



BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG

Christoph Kehl
Rolf Meyer
Saskia Steiger

Digitalisierung der Landwirtschaft: gesellschaftliche Voraussetzungen, Rahmenbedingungen und Effekte

Teil II des Endberichts zum TA-Projekt

September 2021
Arbeitsbericht Nr. 194





Christoph Kehl
Rolf Meyer
Saskia Steiger

**Digitalisierung
der Landwirtschaft:
gesellschaftliche
Voraussetzungen,
Rahmenbedingungen
und Effekte**

Teil II des Endberichts zum TA-Projekt



Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag
Neue Schönhauser Straße 10
10178 Berlin

Telefon: +49 30 28491-0
E-Mail: buero@tab-beim-bundestag.de
Web: www.tab-beim-bundestag.de

2021

Umschlagbild: Andrii Yalanskyi/123RF

Druck: Systemedia Druck und Medien GmbH, Wurmberg

ISSN-Print: 2364-2599

ISSN-Internet: 2364-2602

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) berät das Parlament und seine Ausschüsse in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels. Das TAB wird seit 1990 vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) betrieben. Hierbei kooperiert es seit September 2013 mit dem IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH sowie der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.



Inhalt

Zusammenfassung	5
1 Einleitung	27
2 Auf dem Weg zur digital vernetzten Landwirtschaft: Stand, Perspektiven, Herausforderungen	31
2.1 Von der Präzisionslandwirtschaft zu Landwirtschaft 4.0	32
2.1.1 Erwartungen an die Landwirtschaft 4.0	35
2.1.2 Stand und Voraussetzungen einer digital vernetzten Landwirtschaft	38
2.2 Die Agrarbranche im digitalen Wandel	61
2.2.1 Neue digitale Geschäftsmodelle	64
2.2.2 Das Problem der Datenhoheit	67
2.2.3 Farmmanagementsysteme im Überblick	77
2.3 Fazit	97
3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien	99
3.1 Einflussfaktoren auf die Ausprägung von Umweltwirkungen	100
3.2 Kenntnisstand zu Umweltwirkungen durch Präzisionslandwirtschaft	104
3.2.1 Umweltwirkungen im Pflanzenbau	104
3.2.2 Umweltentlastungen in der Tierproduktion	137
3.3 Kenntnisstand zu Tiergesundheits- und Tierwohlwir- kungen der Präzisionstierwirtschaft	143
3.4 Fazit	146
4 Betriebliche und agrarstrukturelle Wirkungen	151
4.1 Akzeptanz und Verbreitung von digitalen Agrartechnologien	152
4.1.1 Einflussfaktoren einer Nutzung digitaler Agrartechnologien	153
4.1.2 Verbreitung in der landwirtschaftlichen Praxis	156



4.2	Ökonomische Effekte	164
4.2.1	Wirtschaftlichkeitsaspekte von Einzeltechnologien	165
4.2.2	Einflussfaktoren auf Wirtschaftlichkeit: die Bedeutung der Betriebsgröße	179
4.3	Potenzielle Agrarstrukturwirkungen	181
4.3.1	Strukturen und Erwerbsformen in der Landwirtschaft	182
4.3.2	Der Agrarstrukturwandel und seine Ursachen	189
4.3.3	Perspektiven für kleinere und ökologische Betriebe	194
4.4	Landarbeit 4.0	203
4.5	Fazit	210
<hr/>		
5	Resümee und Handlungsfelder	215
5.1	Infrastrukturelle Rahmenbedingungen	218
5.2	Datenhoheit	220
5.3	Sicherstellung des Zugangs zu digitalen Technologien	224
5.4	Innovation und Technikentwicklung	230
5.5	Wissens- und Forschungslücken	236
5.6	Schlussbetrachtung	240
<hr/>		
6	Literatur	243
6.1	In Auftrag gegebene Gutachten	243
6.2	Weitere Literatur	243
<hr/>		
7	Anhang	277
7.1	Abbildungen	277
7.2	Tabellen	277
7.3	Kästen	278



Zusammenfassung

Innovative Agrartechnologien und die digitale Datenverarbeitung gewinnen in der landwirtschaftlichen Praxis immer mehr an Bedeutung, und es ist davon auszugehen, dass die Automatisierung spezifischer landwirtschaftlicher Produktionsschritte mithilfe digitaler Anwendungen weiter voranschreiten wird. Verbunden damit ist die Vision, landwirtschaftliche Maschinen und Prozesse miteinander zu vernetzen, und zwar nicht nur auf Betriebsebene, sondern weit darüber hinaus – von Futtermittel- und Saatgutherstellung über den Anbau der landwirtschaftlichen Erzeugnisse bis hin zu Lebensmittelverarbeitung und Einzelhandel. Ziel ist letztendlich, nicht nur einzelne Prozessabschnitte, sondern gesamte Wertschöpfungsketten zu optimieren, im Sinne einer möglichst effizienten, aber auch ressourcenschonenden Agrar- und Lebensmittelproduktion. Schon jetzt ist abzusehen, dass sich Strukturen, Abläufe und Verantwortlichkeiten in der Landwirtschaft damit grundlegend ändern werden, wenngleich die möglichen Auswirkungen einer umfassenden Digitalisierung der Landwirtschaft derzeit noch weitgehend unklar sind.

Klar ist hingegen, dass es sich um ein Thema mit hohem politischem Gestaltungsbedarf handelt, damit sich die angesprochenen Potenziale – insbesondere die Chance auf eine bessere Vereinbarkeit ökonomischer und ökologischer Ziele – umsetzen lassen. Nachdem im ersten Teil der TA-Analyse Entwicklungstrends digitaler Einzelanwendungen beleuchtet wurden (TAB-Arbeitsbericht Nr. 193), widmet sich der vorliegende Bericht den Voraussetzungen und den potenziellen Wirkungen einer umfassend vernetzten Landwirtschaft.

Auf dem Weg zur digital vernetzten Landwirtschaft: Stand, Perspektiven, Herausforderungen

Der technische Entwicklungsstand digitaler Agrartechnologien ist schon weit fortgeschritten. Melk- und Fütterungsroboter werden in der Tierhaltung bereits verbreitet eingesetzt, im Pflanzenbau sind bestimmte Sensorsysteme zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung sowie automatische Spurführungssysteme und damit verbundene Assistenzfunktionen schon heute Stand der Technik. Noch handelt es sich dabei aber um Einzelanwendungen, die weitgehend unverbunden zum Einsatz kommen. Das größte Potenzial zur Optimierung landwirtschaftlicher Prozesse wird erst in der umfassenden datenbasierten Vernetzung dieser Einzeltechnologien auf Betriebsebene (und darüber hinaus) gesehen.

Die Hoffnung ist, mithilfe der Digitalisierung (bzw. der im Zuge dessen erzeugten Datenmengen) die komplexen, von vielen unwägbareren Faktoren (Wetter- und Umwelteinflüsse etc.) beeinflussten landwirtschaftlichen Prozesse bes-



ser steuern und Betriebsabläufe so effizienter und ressourcenschonender gestalten zu können. Dies betrifft sowohl aus ökologischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht insbesondere wünschenswerte Betriebsmitteleinsparungen, aber auch die Erleichterung von Nachweispflichten und Dokumentationsaufgaben. Darüber hinaus werden Möglichkeiten diskutiert, mittels digitaler Technologien die verschiedenen vor- und nachgelagerten Stufen entlang der agrarischen Wertschöpfungskette (inklusive Landmaschinen- und sonstige Produktionsmittelhersteller, Lebensmittelverarbeitung, Groß- und Einzelhandel) stärker untereinander zu verzahnen, um den gesamten Prozess der Lebensmittelproduktion transparenter auszugestalten und somit letztlich flexibler an gesellschaftlichen Erwartungen auszurichten.

Stand und Voraussetzungen einer digital vernetzten Landwirtschaft

Hinsichtlich der Realisierbarkeit sowie der Implikationen dieser Vernetzungsvision, die unter den Schlagwörtern Smart Farming und Landwirtschaft 4.0 diskutiert wird, sind noch viele Fragen offen. Zwar steigt die Nutzung digitaler Einzellösungen sukzessive, gleichwohl ist der tatsächliche Grad der Digitalisierung des Wissens und der Prozesse um die Einzelmaschinen herum – also die interoperable Anbindung von betrieblichen Managementsystemen, von Softwareplattformen zur Erbringung datenbasierter Dienstleistungen, von Möglichkeiten der durchgängigen Dokumentation der Lebensmittelproduktion vom Saatgut bis auf den Teller etc. – noch als eher gering einzuschätzen. Ein Grund dafür ist die hohe Komplexität und Dynamik der Prozesse in der Landwirtschaft: Anders als in klassischen Industriebereichen hat man es hier mit offenen, lebenden Systemen und heterogenen, variablen Produktionsbedingungen zu tun, die sich nur in bedingtem Maße standardisieren und steuern lassen.

Neben ungeklärten Fragen der datenbasierten Prozesssteuerung sowie -gestaltung steht der Umsetzung einer digital vernetzten Landwirtschaft zudem im Wege, dass viele technische Grundvoraussetzungen bislang nicht oder nur unzureichend erfüllt sind. Abgesehen von der teilweise mangelnden Praxisreife sowie dem unzureichenden Automatisierungsgrad digitaler Agrartechnologien betrifft dies vor allem verschiedene Rahmenbedingungen, die für die Vernetzung wesentlich sind. Defizite bestehen noch hinsichtlich einer leistungsfähigen Breitbandinfrastruktur, die insbesondere im ländlichen Raum vielerorts nicht existiert, der Bereitstellung von behördlichen Geodaten (z. B. Katasterdaten, Bodenkarten, Wegenetze) und der Nutzung herstellerübergreifender Schnittstellen und Datenformate, um die Verknüpfung von Daten aus unterschiedlichen Quellen zu ermöglichen.



Neue digitale Geschäftsmodelle

Die Agrarbranche umfasst im Allgemeinen die Landwirtschaft sowie vor- und nachgelagerte Bereiche der Wertschöpfungskette – darunter Saatguthersteller, Agrarchemieunternehmen (Hersteller von Pestiziden, Düngemitteln etc.), die Landtechnik- und die Nahrungsmittelindustrie sowie den Lebensmittelhandel als besonders wichtige und einflussreiche Sparten. Seit den 1980er Jahren sind alle diese Wirtschaftszweige durch fortschreitende Konzentrationsprozesse geprägt, was dazu geführt hat, dass wenige, global agierende Konzerne einen Großteil des Marktes beherrschen.

Im Zuge der Digitalisierung drängt seit einiger Zeit eine Vielzahl neuer Akteure mit innovativen digitalen Produkten auf den schnell wachsenden, wenn auch noch relativ kleinen Markt für die digitale Landwirtschaft. Dazu gehören branchenferne Technologieunternehmen wie Hersteller von Drohnen und Sensorsystemen, eine zunehmende Zahl von Start-ups sowie etablierte Digitalkonzerne wie SAP, IBM, Amazon oder Alphabet. Letztere investieren nicht nur kräftig in aufstrebende Start-ups, sondern entwickeln teilweise auch selbst digitale Lösungen.

Im Ergebnis sind in den letzten Jahren neue Märkte entstanden, in denen Unternehmen sehr unterschiedlicher Provenienz und Ausrichtung an neuen digitalen Dienstleistungen arbeiten. Die künftige Entwicklung wird maßgeblich dadurch geprägt, dass immer mehr Daten direkt an den Landmaschinen und im Hof erfasst, übertragen und verstärkt zwischen verschiedenen Akteuren, z. B. Berater/innen, Lohnunternehmer/innen und weiteren Service Providern, Zulieferern von Produktionsmitteln, geteilt werden. Den Farmmanagementsystemen kommt bei der Verarbeitung der Hof- und Maschinendaten im landwirtschaftlichen Betrieb eine Schlüsselrolle zu. Dabei handelt es sich um Softwarelösungen, die die Landwirtin/den Landwirt u. a. bei der Dokumentation und der Betriebsplanung unterstützen sollen. Das Spektrum an verfügbaren Funktionalitäten ist sehr breit, entsprechend der Vielfalt an landwirtschaftlichen Betriebstypen und Bedarfen. Um einen Überblick über relevante Merkmale zu geben, werden in diesem Bericht ausgewählte Dienste vorgestellt, die in Deutschland erhältlich sind.

Fast alle Farmmanagementsysteme speichern die Daten inzwischen nicht mehr lokal auf dem Hof-PC, sondern auf einem Netzwerkservers, was die nutzerübergreifende Datenaggregation sowie -analyse und darauf basierend die Bereitstellung intelligenter Dienstleistungen ermöglicht – perspektivisch auch die Anbindung weiterer Akteure. Farmmanagementsysteme fungieren somit zunehmend als Datenplattformen und entwickeln sich zum Dreh- und Angelpunkt der digitalen Wertschöpfung in der Landwirtschaft. Die Plattformökonomie zeichnet sich typischerweise durch Netzwerkeffekte aus, die durch die Ag-



gregation von Daten entsteht. Je mehr Daten, je mehr Marktteilnehmer auf einer Plattform zusammenkommen, desto größer ist der potenzielle Mehrwert für die Nutzer/innen und damit im Endeffekt auch für den Betreiber dieser Plattform. Dies ist u. a. der Grund dafür, dass auf neu entstehenden Plattformmärkten die Marktdynamik besonders ausgeprägt und die längerfristige Tendenz zur Marktkonzentration – bis hin zur Monopolbildung – besonders hoch ist.

Die Agrarbranche befindet sich dadurch in einem fundamentalen Transformationsprozess, der etablierte Akteursnetzwerke und Machtverhältnisse infrage stellt. Um den Anschluss nicht zu verlieren, bauen auch die meisten traditionellen Player inzwischen eigene Digitalsparten auf oder haben dies bereits getan.

Das Problem der Datenhoheit

In einer Plattformökonomie stellt sich die Frage, wer über die auf den Plattformen gespeicherten Daten verfügen darf und von ihrer wirtschaftlichen Verwertung profitiert. Hier treffen konträre wirtschaftliche Interessen aufeinander: Die Betreiber der Plattformen bzw. der Farmmanagementsysteme haben ein genuines Interesse an der Nutzung bzw. Weiterverarbeitung der Daten, die von den Plattformanwender/innen – in der Regel den Landwirt/innen – bereitgestellt werden. Landwirtschaftliche Betriebe und Lohnunternehmen hingegen möchten zumindest mitbestimmen, wer über diese verfügt und was im weiteren Verlauf mit ihnen geschieht.

Die mit der zunehmenden Verbreitung datenbasierter Geschäftsmodelle aufkommende Frage, wer die erhobenen Daten wirtschaftlich nutzen darf, wird unter dem Begriff Datenhoheit (häufig – wenn auch juristisch ungenau – als Dateneigentum bezeichnet) verhandelt. Damit ist das Recht des Einzelnen zu verstehen, selbstbestimmt über die von ihm erzeugten oder ihn betreffenden Daten zu verfügen, d. h. über Art, Umfang und Zwecke ihrer Verwendung zu entscheiden und andere von der Nutzung dieser Daten ausschließen zu können. Umfragen zufolge ist die Sorge der Landwirt/innen vor einem Verlust ihrer betrieblichen Daten relativ deutlich ausgeprägt.

Eine gesetzliche Vorschrift, nach welchen Maßstäben Daten einem bestimmten Rechtssubjekt zuzuordnen sind, existiert allerdings momentan weder auf nationaler noch auf europäischer Ebene. Die bestehenden Rechtsvorschriften regeln bestimmte Sonderfälle – so sind Daten etwa indirekt über das Eigentum am Datenträger oder unter bestimmten Bedingungen als Geschäftsgeheimnisse vor widerrechtlichem Zugriff geschützt –, sie sind jedoch nicht geeignet, die Verfügungsbefugnis und damit die Hoheit über Daten konsistent und allgemein zu regeln. In der juristischen Literatur werden seit Längerem verschiedene rechtliche Ansatzpunkte kontrovers diskutiert, wie sich ein solches eigentumsähnliches Recht an Daten begründen ließe, jedoch ohne dass bislang eine zufriedenstellende Lösung gefunden werden konnte. Insbesondere aufgrund der



vielen denkbaren Einsatzszenarien erscheint die Definition eines allgemeingültigen Kriteriums für die Zuordnung eines Dateneigentums als nahezu unlösbare Aufgabe.

Damit ist zunächst einmal grundsätzlich »Herr der Daten«, wer tatsächlich auf sie zugreifen kann, wobei Zugriffsmöglichkeiten durch vertragliche Vereinbarungen oder Rechte am Datenträger begründet werden können. Bei der Analyse ausgewählter Farmmanagementsysteme stand deshalb vor allem auch die Frage im Vordergrund, wie deren Nutzungsbedingungen hinsichtlich der Verwendung landwirtschaftlicher Betriebsdaten ausgestaltet sind. Dabei zeigt sich eine sehr heterogene Herangehensweise: Während einige Anbieter die Sorgen der Landwirt/innen aufgreifen und explizit mit Gewährleistung von deren Datenhoheit werben, lassen sich andere umfassende Nutzungsrechte an allen anonymisierten Nutzerinhalten einräumen. Wieder andere Anbieter verzichten darauf, transparent offenzulegen, wofür die gespeicherten Betriebsdaten verwendet werden.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die derzeitige Rechtslage, die vor allem auf vertragliche Vereinbarungen baut, Anbietern von Farmmanagementsystemen einen praktisch unbegrenzten Spielraum einräumt, wie sie mit der Datenhoheit umgehen wollen. Eine Pflicht, in den Nutzungsvereinbarungen klar darzulegen, wie mit den erhobenen Daten umgegangen wird, besteht nicht. Außerdem sind die Anbieter frei darin, die einmal getroffenen Vereinbarungen jederzeit anzupassen oder zu verändern. Insofern birgt diese Regelungssituation für die Nutzer/innen von Farmmanagementsystemen potenziell Rechtsunsicherheiten. Verschärfend kommt hinzu, dass sie üblicherweise in einer schwächeren Marktposition sind als die Anbieter.

Die Agrarbranche steht damit wohl an einer entscheidenden Weggabelung – entwickelt sich die digitale Wertschöpfung eher in eine offene, von kollaborativen Beziehungen geprägte oder eher in eine einseitige, von einzelnen Marktakteuren dominierte Richtung? Ähnliche Fragen stellen sich auch in anderen Wirtschaftsbereichen. Angesichts der wachsenden ökonomischen Bedeutung maschinengenerierter Daten ist zum Umgang mit der Datenhoheit auf nationaler wie europäischer Ebene eine Diskussion entbrannt, die weit über die Landwirtschaft hinausreicht und deren Grundzüge im vorliegenden Bericht dargestellt werden.

Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien

Mit der zunehmenden Nutzung von digitalen Anwendungen in der Landwirtschaft wird die Erwartung deutlich positiver Effekte auf Umwelt und Tierwohl verbunden. Angenommen wird, dass sich durch digitale Agrartechnologien der ökologische Fußabdruck der Landwirtschaft reduzieren lässt. Der teilflächen-



spezifische bzw. variierte Einsatz von Betriebsmitteln soll die Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion erhöhen und somit zur Ressourcenschonung und Umweltentlastung beitragen.

Bei den Umwelteffekten der Digitalisierung in der Landwirtschaft ist zu unterscheiden zwischen:

- › direkten Umwelteffekten, die alle Wirkungen infolge der Produktion, Nutzung und Entsorgung der eingesetzten digitalen Technologien umfassen (z. B. den damit verbundenen Energie- und Ressourcenverbrauch und dessen Folgen);
- › indirekten Umwelteffekten durch veränderte landwirtschaftliche Produktionsprozesse, insbesondere infolge eines verringerten Einsatzes von Inputressourcen, wie Dünge- und Pflanzenschutzmittel, sowie der Einsparung von Transportwegen;
- › indirekten Umwelteffekten durch strukturelle Veränderungen bei Produktion und Konsum (z. B. durch sich verändernde Kostenstrukturen und Preise für Agrarprodukte).

Die direkten Umweltwirkungen der Nutzung digitaler Technologien in der Landwirtschaft werden in diesem Bericht nicht behandelt. Die Analyse konzentriert sich stattdessen auf die indirekten Umwelteffekte durch veränderte Produktionsprozesse in der Landwirtschaft infolge des Einsatzes digitaler Technologien. Damit stehen die Umweltwirkungen durch Maßnahmen der Präzisionslandwirtschaft (Precision Agriculture) im Mittelpunkt.

Die Abschätzung der Umweltwirkungen digitaler landwirtschaftlicher Technologien ist mit einigen Schwierigkeiten konfrontiert. Denn die Umweltwirkungen werden von komplexen Zusammenhängen bestimmt und sind jeweils abhängig von der eingesetzten Technologie, der Art des Betriebs und den Standortbedingungen. Sie werden insbesondere beeinflusst durch die konkrete Zielstellung der Technologienutzung im landwirtschaftlichen Betrieb (z. B. zur Verbesserung der Input- oder Arbeitseffizienz), durch das bereits vor der Einführung neuer digitaler Technologien erreichte Niveau der Differenzierung und Datenerhebung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung (z. B. Präzision der Arbeitserledigung im Pflanzenbau, Stand der Tierbeobachtung und -gesundheit), durch die betriebliche Produktionsintensität (z. B. Inputeinsatz, Ertragsniveau) sowie durch die jeweils vorherrschenden naturräumlichen bzw. produktionstechnischen Einsatzbedingungen (z. B. Umfang der Heterogenität von Boden und Pflanzenbestand, Größe und Form der Schläge). Dass die Umweltwirkungen digitaler Agrartechnologien von mannigfaltigen Faktoren bestimmt sind, bedeutet zum einen, dass die im Einzelnen erzielbaren Umwelteffekte nicht einfach verallgemeinerbar sind. Anderenfalls folgt daraus, dass eine teilflächenspezifische bzw. variable Bewirtschaftungsmaßnahme nicht in jedem Fall eine Ressourcenschonung bzw. Umweltentlastung bewirkt.



Während Ausgestaltung und Funktionsfähigkeit sowie die Wirtschaftlichkeit intensiv untersucht sind, gibt es nur eine begrenzte Anzahl wissenschaftlicher Studien zu den Umwelteffekten von Technologien der Präzisionslandwirtschaft, in der Regel basierend auf Feldversuchen oder Modellberechnungen. Die Veränderung von Umweltwirkungen durch in der landwirtschaftlichen Praxis eingeführte Technologien ist bislang fast gar nicht wissenschaftlich dokumentiert. Wenn umweltrelevante Erfahrungen aus der Praxis berichtet werden, handelt es sich oftmals um Vorträge oder Veröffentlichungen von Einzelergebnissen von landwirtschaftlichen Betriebsleitern bzw. Technologieanbietern, die wissenschaftlichen Standards nicht genügen. Dies bedeutet, dass die wissenschaftliche Datenbasis zu Umweltwirkungen bisher begrenzt ist.

Umweltwirkungen der Präzisionslandwirtschaft

Sowohl in der Pflanzen- als auch in der Tierproduktion sind inzwischen etliche innovative Agrartechnologien etabliert, die eine Anwendung der Präzisionslandwirtschaft ermöglichen. Im Ackerbau gehören dazu die teilflächenspezifische Bodenbearbeitung, die Grunddüngung (mit Phosphor, Kalium, Magnesium), Aussaat, Stickstoffdüngung, Unkrautbekämpfung und Bewässerung sowie die variable Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten und die automatisierte Spurführung. Im Bereich der Tierproduktion werden Umweltentlastungspotenziale durch digitale Agrartechnologien vor allem durch eine individualisierte Fütterung (Precision Feeding) sowie durch automatisiertes Melken erwartet.

Der Kenntnisstand zu den Umweltwirkungen dieser Maßnahmen lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- > Eine teilflächenspezifische Bodenbearbeitung ermöglicht Kraftstoffeinsparungen und dadurch verringerte Treibhausgasemissionen, wobei begrenzte Ergebnisse aus Einzelversuchen eine Verallgemeinerung erschweren. Das Potenzial für verbesserten Erosions- und damit Bodenschutz ist dagegen als eher gering einzuschätzen.
- > Die teilflächenspezifische Grunddüngung kann zu einer verbesserten Düngereffizienz und zur Ressourcenschonung führen, die im Falle von Phosphor als begrenzter Ressource von besonderer Bedeutung ist. Es fehlen aber Informationen zur Größenordnung der Effekte.
- > Mit einer teilflächenspezifischen Aussaat können potenziell Einsparungen bei der Saatgutmenge oder aber Mehrerträge erzielt werden. Repräsentative Daten zur Veränderung der Aussaatmengen stehen nicht zur Verfügung.
- > Bei der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung mit online verbundenen Stickstoffsensorsystemen können bei Getreide im Durchschnitt ein etwa 10 % niedrigerer Stickstoffdüngeraufwand und bis zu 5 % höhere Erträge erwartet werden, woraus eine verbesserte Stickstoffeffizienz und niedrigere Stickstoffüberschüsse resultieren.



- › Für eine teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung stehen bislang vor allem Onlinesensorsysteme zur Verfügung, die in Echtzeit Grünpflanzen von unbewachsenem Boden unterscheiden und deshalb nur im Vorlauf, insbesondere bei konservierender Bodenbearbeitung ohne Pflügen, eingesetzt werden können. Wissenschaftliche Untersuchungen haben im Mittel Herbizideinsparungen von rund 40 % ermittelt (bei hoher Spannweite der Ergebnisse). Systeme mit der Fähigkeit zur Unkraut-Kulturpflanzen-Unterscheidung in Echtzeit, die aktuell auf den Markt kommen, versprechen eine Herbizideinsparung von bis zu 90 %.
- › Eine variable Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten ist derzeit in der Praxis nur als variierte Ausbringung von Fungiziden (bzw. auch bei Wachstumsregulatoren) entsprechend der Pflanzenbestandsdichte verfügbar. In Abhängigkeit von der Uneinheitlichkeit des Pflanzenbestandes sind damit Fungizideinsparungen von bis zu 20 % möglich. Wenn zukünftig Sensorsysteme zur Erkennung und Quantifizierung von Befallssituationen im Pflanzenbestand oder Roboter als autonome Kleintechnikgeräte für eine sehr kleinräumige Applikation praxisreif werden, sind deutlich höhere Einsparpotenziale zu erwarten.
- › Die Technik und die Software für eine teilflächenspezifische Bewässerung werden derzeit nur für Kreis- und Linearberegnungsmaschinen angeboten, und die Nutzung wird als sehr gering eingeschätzt. Die erzielbare Wassereinsparung durch eine teilflächenspezifische Bewässerung ist stark abhängig einerseits von der Heterogenität der Bodeneigenschaften und der Pflanzenbestandsentwicklung sowie andererseits vom Beregnungsbedarf in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf.
- › Die automatisierte Spurführung mittels entsprechender Lenksysteme ist eine der verbreitetsten Anwendungen der Präzisionslandwirtschaft, sie vermeidet Überlappungen und bewirkt Betriebsmitteleinsparungen (bei Kraftstoff, Saatgut, Dünger- und Pflanzenschutzmittel). Feste Fahrspuren verringern Bodenverdichtungen und tragen zu einer besseren Bodenstruktur und -gesundheit bei. Die Höhe der erzielbaren Einsparungen ist abhängig vom Automatisierungsgrad des Lenksystems, der zuvor erreichten Fahrgenauigkeit ohne Lenkhilfe, der Feldgröße und -form sowie der Produktionsintensität.
- › Automatische Teilbreitenschaltungen sind für Pflanzenschutzspritzen, Düngerstreuer, Einzelkorn- und Drillsämaschinen, Gülleverteiler und Hackgeräte verfügbar. Die Einsparpotenziale bei den entsprechenden Inputs sind insbesondere abhängig von Form und Größe der Felder, der Anzahl bzw. Breite der abschaltbaren Teilsektoren, der Anzahl der Arbeitsgänge und der Höhe des Betriebsmitteleinsatzes.
- › Potenzielle Umweltentlastungen infolge einer verbesserten Fütterungseffizienz durch eine individuelle Fütterung setzen sich zusammen aus einer



Verringerung der Umweltwirkungen der Futtermittelproduktion durch geringeren Futtermittelbedarf, einer Verringerung der Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung, einer Verringerung der Methanemissionen in der Milchviehhaltung sowie einer reduzierten Stickstoffmenge im Wirtschaftsdünger und dadurch sinkende direkte und indirekte Ammoniak- und Lachgasemissionen aus Wirtschaftsdüngermanagement und -düngung. Letztere werden allerdings zusätzlich maßgeblich durch die Art der Wirtschaftsdüngerlagerung, eine Nutzung in einer Biogasanlage sowie eine bedarfsgerechte und emissionsarme Düngerausbringung beeinflusst.

Tiergesundheits- und Tierwohlwirkungen der Präzisionstierwirtschaft

Die gesellschaftlichen Anforderungen an das Tierwohl sind in den letzten Jahrzehnten in vielen Industriestaaten, insbesondere in Nordwesteuropa, deutlich gestiegen. Erforderliche Verbesserungen im Hinblick auf das Tierwohl werden vornehmlich in den Punkten Platz und Bewegung, Auslauf sowie Reduktion des Medikamenteneinsatzes gesehen.

Von digitalen Sensortechniken zur kontinuierlichen, tierindividuellen Überwachung des Tierzustandes wird erwartet, dass sie nicht nur die Tiergesundheit verbessern, sondern auch Intensivtierhaltung und Tierwohl eher in Einklang bringen können. Dabei kommen u. a. akustische und optische Sensoren sowie Bilderkennungsverfahren zum Einsatz. Eine Grundvoraussetzung ist in der Regel die elektronische Einzeltiererkennung durch Halsband-, Ohrmarken- bzw. Fußtransponder. Ziel ist, Abweichungen von Normwerten bzw. Produktionszielen automatisiert zu erfassen. Oftmals werden dabei Informationen verschiedener Tierparameter verknüpft.

Wissenschaftliche Untersuchungen zu den Überwachungssystemen konzentrieren sich bisher auf die Entwicklung und Validierung von Tierverhaltensparametern und entsprechenden Sensorsystemen. Studien zu den Auswirkungen von Überwachungssystemen auf das Tierwohl in der landwirtschaftlichen Praxis sind nicht bekannt. Deshalb sind keine Aussagen dazu möglich, in welcher Größenordnung digitale Tierüberwachungssysteme den Gesundheitszustand in Nutztierbeständen verbessern. Positive Wirkungen auf das Tierwohl werden vorrangig aus der frühzeitigen und sicheren Erkennung von Gesundheitsproblemen und Stresssituationen erwartet. Damit wird allerdings nur ein Teilaspekt von Tierwohl abgedeckt, da wichtige Aspekte des Wohlbefindens der Tiere, wie z. B. die Möglichkeit zur Ausübung arttypischen Verhaltens, nicht erfasst werden. Grundsätzlich wird diskutiert, dass sich die Mensch-Tier-Beziehung in der Nutztierhaltung durch die Präzisionstierwirtschaft weiter in Richtung einer voranschreitenden Quantifizierung und Objektivierung der Tiere verändert.

Schlussfolgerungen

Insgesamt können digitale Agrartechnologien mittels einer höheren Produktionseffizienz in unterschiedlichem Umfang den Einsatz von Betriebsmitteln verringern und in der Folge Umweltentlastungen bewirken. Die Größenordnung der in der Praxis erzielbaren Entlastungseffekte ist in vielen Fällen jedoch unklar.

Bei einzelnen Einsatzfeldern digitaler Agrartechnologien kann es zudem zu Zielkonflikten kommen. Bei der Unkrautbekämpfung beispielsweise verringern Onlineverfahren, die eine gezielte chemische oder mechanische Bekämpfung von einzelnen erkannten Unkrautpflanzen vornehmen, zwar deutlich die ökotoxikologischen Auswirkungen im Vergleich zur bisherigen, meist präventiven Herbizidanwendung. Sie lassen aber nur eine sehr geringe oder keine Restverunkrautung zu, die als Nahrungsangebot und Habitate für Insekten und Vögel von hoher Bedeutung ist. Potenzielle Umweltentlastungen durch digitale Agrartechnologien müssen deshalb unter Berücksichtigung systemarer Zusammenhänge beurteilt werden. Relevant sind z. B. Effekte einer alternativen Flächennutzung der freigesetzten Produktionsfläche, die sich bei Einsparungen von biologischen Ressourcen aus der Landwirtschaft wie Saatgut oder Futtermittel ergeben können, oder Reboundeffekte, wenn z. B. der effizientere Einsatz einer Ressource die Kosten von deren Nutzung senkt und dadurch eine erhöhte Nachfrage nach dieser Ressource bewirkt.

Mit der technischen Weiterentwicklung und durch weitere Vernetzung sind zukünftig verbesserte positive Umweltwirkungen zu erwarten. Gleichzeitig erscheinen die digitalen Agrartechnologien allein nicht ausreichend, um einige große Umwelt- und Tierwohlprobleme der landwirtschaftlichen Produktion zu beheben (wie z. B. die Überdüngung infolge der Intensivtierhaltung).

Betriebliche und agrarstrukturelle Wirkungen

Die deutsche Landwirtschaft ist von einer großen strukturellen Vielfalt geprägt. Bezüglich der Flächenausstattung der Betriebe ist ein Nord-Süd-, deutlicher aber noch ein Nordost-Südwest-Gefälle festzustellen. Während im Süden Deutschlands die durchschnittliche Betriebsgröße relativ gering ist, dominieren im Norden und insbesondere im Nordosten landwirtschaftliche Großbetriebe. Auch bei den Anteilen unterschiedlicher Erwerbsformen (Haupt-/Nebenerwerb) sowie bezüglich der Größe ökologisch und konventionell wirtschaftender Betriebe sind deutliche regionale Unterschiede zu verzeichnen.

Die landwirtschaftlichen Strukturen und Erwerbsformen sind bereits seit einigen Jahrzehnten einem kontinuierlichen Wandel unterworfen, der sich vor allem auf die kleinen und mittleren Betriebe auswirkt. Zu beobachten ist eine



Produktionsintensivierung, die von der zunehmenden Vergrößerung der bestehenden Betriebe begleitet wird. Es stellt sich die Frage, inwiefern Automatisierung und Digitalisierung diese Entwicklung weiter befördern oder ihr entgegenzuwirken vermögen.

Wissensstand zur Verbreitung digitaler Agrartechnologien

Generell zeichnet sich die Landwirtschaft in Deutschland durch ein hohes Technisierungs- und Automatisierungsniveau aus – im Vergleich zu anderen Branchen gilt sie gar als Vorreiterin der Digitalisierung. Allerdings ist festzuhalten, dass hinsichtlich der tatsächlichen Verbreitung und Nutzung digitaler Agrartechnologien noch große Wissenslücken bestehen. Am besten sind die Diffusion und Verbreitung von Anwendungen der Präzisionslandwirtschaft in Ländern wie den USA, Australien, Großbritannien und Dänemark untersucht, weil es dort staatliche Erhebungen gibt, welche die Verbreitungsquoten neuer Technologien anhand repräsentativer Stichproben und zum Teil in zeitlichem Abstand wiederholt dokumentieren.

Zwar wurde in den letzten Jahren eine Reihe von Umfragen unter deutschen Landwirt/innen durchgeführt, die den hiesigen Einsatzumfang digitaler Agrartechnologien zum Gegenstand hatten. Doch da sich die Repräsentativität der Befragungsergebnisse nicht überprüfen lässt bzw. nicht gewährleistet ist, ist die Aussagekraft dieser Umfragen begrenzt. Insbesondere ergeben sich aus ihnen keine differenzierten, wissenschaftlich belastbaren Befunde zur Verbreitung oder Verbreitungsmustern digitaler Agrartechnologien in der deutschen Landwirtschaft.

Dennoch lassen sich aus den vorliegenden Studien und Umfrageergebnissen einige vorsichtige Schlüsse ziehen. So gibt es Hinweise, dass einzelne digitale Agrartechnologien in Deutschland bereits in größerem Umfang eingesetzt werden. 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. Alle diese Anwendungen zeichnen sich durch eine verhältnismäßig einfache Handhabung sowie durch einen relativ geringen Vernetzungsgrad aus (d. h., sie werden vor allem als Einzelsysteme genutzt). Auch digitale Ackerschlagkarteien kommen schon recht häufig zum Einsatz. Besonders innovative Anwendungen hingegen oder solche, die eine hohe Bedien- und Datenkompetenz erfordern (z. B. Sensor- und Mappingverfahren für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung, Agrobotik, Drohnenanwendungen, Farmmanagementsysteme), sind laut den



vorliegenden Daten in der landwirtschaftlichen Praxis bislang weniger verbreitet, wenngleich es teilweise Hinweise auf eine wachsende Nutzung gibt (z. B. bei den Farmmanagementsystemen).

Ökonomische Effekte

Die Aussicht auf Effizienzsteigerungen und Einspareffekte gehört zu den großen Versprechen digitaler Agrartechnologien. Gleichzeitig ist deren Anschaffung aber teilweise mit hohen Kosten verbunden. Ob ein entsprechendes Investment betriebswirtschaftlich rentabel ist, hängt im Wesentlichen davon ab, ob die realisierbaren Effizienz- und Produktivitätsgewinne die anfallenden Mehrkosten über die Nutzungsdauer hinweg (üblicherweise 10 Jahre) aufwiegen. Eine Kosten-Nutzen-Rechnung sollte möglichst alle wirtschaftlichen Effekte berücksichtigen: Dazu gehören auf der Nutzenseite Betriebsmitteleinsparungen, Mehrerträge und Erhöhungen der Arbeitsproduktivität, auf der Kostenseite die erforderlichen Investitionskosten, die spezifischen Betriebskosten für die Technologie (Ausgaben für Wartung, Reparatur, Versicherungen etc.) sowie der Zeitaufwand für Einarbeitung und Management.

Voraussetzung für aussagekräftige Wirtschaftlichkeitsrechnungen ist demzufolge, dass alle Kosten- und Nutzenpositionen – auch solche, die erst zukünftig anfallen – möglichst exakt bestimmbar sind. Dies ist jedoch meistens nicht der Fall. Während die Preise für die Anschaffung neuer Applikations- und Navigationstechnik, für die Datenerfassung sowie -verwaltung sich relativ genau eingrenzen lassen, sind die durch die neuen Bewirtschaftungsmaßnahmen erzielbaren Einnahmensteigerungen und Kosteneinsparungen ungleich schwerer zu quantifizieren. Dies wird im vorliegenden Bericht für wichtige digitale Agrartechnologien – automatische Melksysteme, automatische Fütterungsanlagen, Parallelfahr- und automatische Lenksysteme, teilflächenspezifische Stickstoffdüngung (N-Sensor), Agrarroboter sowie Drohnen – aufgezeigt. Der Wissensstand zu Investitionsvolumen, Einsparpotenzialen und Wirtschaftlichkeitschwellen wird dabei jeweils grob zusammengefasst.

Die entsprechende Analyse zeigt, dass die Anschaffungen mit stark unterschiedlichen Kosten verbunden sind, wobei die Spanne von wenigen Tausend (Drohnen, nachrüstbare Lenksysteme) über Zehntausende (bestimmte N-Sensorsysteme) bis hin zu Hunderttausenden Euro (automatische Melk- oder Fütterungssysteme) reicht. Demgegenüber stehen teilweise größere Unsicherheiten hinsichtlich der realisierbaren Einsparpotenziale, die zum Teil kaum untersucht (wie bei der Agrarrobotik, Drohnen) oder aber von so vielen Einflussfaktoren bestimmt sind (wie bei Maßnahmen der Teilflächenbewirtschaftung), dass eine Übertragung der Ergebnisse aus Einzeluntersuchungen schwierig ist.

Ob die entsprechenden Mehrerlöse die Kosten für Anschaffung und Unterhalt zu kompensieren vermögen, hängt maßgeblich von der Betriebsgröße ab.



Bei größeren Betrieben ist mit einer höheren Maschinenauslastung zu rechnen, sodass sie die anfallenden Kosten eher amortisieren können. Hingegen erreichen vor allem Familienbetriebe die für einen wirtschaftlichen Einsatz erforderliche Mindestbetriebsgröße oft nicht. Unter den derzeitigen Rahmenbedingungen ist bei Parallelfahr- und automatischen Lenksystemen von einer Wirtschaftlichkeitsschwelle ab etwa 100 ha auszugehen. Deutlich mehr Mindesteinsatzfläche scheinen N-Sensorsysteme zu erfordern, nämlich etwa 300 ha, wobei in der Literatur auch stark abweichende Angaben zu finden sind. Bei automatischen Melksystemen (AMS) wiederum ist ein wirtschaftlicher Einsatz erst ab etwa 60 bis 70 Kühen gegeben.

Potenzielle Agrarstrukturwirkungen

Vor diesem Hintergrund kann angenommen werden, dass Automatisierung und Digitalisierung den kontinuierlichen Strukturwandel verstärken könnten, dem die Landwirtschaft seit Jahrzehnten unterworfen ist. Ein zentrales Merkmal des Agrarstrukturwandels ist die Abnahme der Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe bei gleichzeitiger Zunahme der durchschnittlichen Betriebsgrößen. Ein weiteres Voranschreiten oder gar eine Verschärfung dieser Entwicklung hätte voraussichtlich zur Folge, dass die Familienbetriebe wirtschaftlich weiter unter Druck geraten.

Für den anhaltenden Agrarstrukturwandel werden verschiedene, teils komplex miteinander verflochtene Ursachen verantwortlich gemacht. Ein zentraler Treiber sind die hohen Produktivitätszuwächse, die durch den technischen Fortschritt bedingt sind. Moderne Maschinen und Stalltechnik, der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Mineraldünger sowie der Zuchtfortschritt sowohl im Pflanzenbau als auch in der Tierhaltung haben dazu geführt, dass die Erträge und Leistungen über die Jahre hinweg immer weiter erhöht werden konnten. Insgesamt besteht in der Literatur weitgehende Einigkeit darüber, dass die Digitalisierung tendenziell den strukturellen Wandel befördert und dabei prinzipiell die wirtschaftliche Kluft zwischen Groß- und Kleinbetrieben vertiefen könnte. Für diese These sprechen vor allem zwei Aspekte der Digitalisierung, nämlich der erforderliche Investitionsbedarf sowie das nötige Spezial- und Expertenwissen, welches in kleineren Betrieben weniger verfügbar bzw. aufgrund eingeschränkter Spezialisierungsmöglichkeiten der wenigen Arbeitskräfte schwerer zu beschaffen ist. Inwieweit der digitale Wandel – als aktuelle Entwicklungsstufe der Technisierung – sich in seiner qualitativen und quantitativen Wirkung von vorherigen Phasen der Mechanisierung und Automatisierung der Landwirtschaft abhebt, die ebenso wesentlich zum Agrarstrukturwandel beigetragen haben, ist zum jetzigen Zeitpunkt aber noch unklar. Ein wesentli-



ches Defizit bei der Beurteilung der agrarstrukturellen Wirkungen der Digitalisierung sind die nicht ausreichenden Daten zu Verbreitungsmustern digitaler Agrartechnologien in der deutschen Landwirtschaft.

Dennoch gilt als wichtig, Hürden speziell für kleine und mittlere Betriebe abzubauen, damit diese an der Digitalisierung im Landwirtschaftsbereich ausreichend partizipieren können. Im Fokus stehen dabei insbesondere die Regionen, in denen kleinbetriebliche Strukturen dominieren (Süd- und Südwestdeutschland). Ein Lösungsansatz ist die gemeinschaftliche Nutzung von Technologien, also der teilweise oder vollständige koordinierte Einsatz von Maschinen und Maschinenkapazitäten durch mehrere Betriebe, mit dem primären Ziel, die anfallenden Fixkosten auf mehrere Schultern zu verteilen und einen besseren Auslastungsgrad zu erreichen. Aufgrund ihrer hohen Organisation, ihrer streng gemeinschaftlich ausgerichteten Struktur sowie ihrer starken Präsenz in den landwirtschaftlich kleinstrukturierten Regionen haben insbesondere Maschinenringe großes Potenzial, Landwirt/innen bei der digitalen Transformation ihrer Betriebe unterstützend zu begleiten. Zu beachten ist jedoch, dass sich eine gemeinschaftliche Arbeitserledigung nicht für alle Technologien gleichermaßen eignet und zudem für Landwirt/innen mit Einschränkungen der innerbetrieblichen Entscheidungsautonomie verbunden ist.

Die Frage, wie kleinere Betriebe an den Vorteilen der Digitalisierung teilhaben können, könnte sich zukünftig auch für den Ökolandbau als relevant erweisen. Denn trotz grundlegender Unterschiede bei den Produktionsverfahren gibt es auch im Ökolandbau vielversprechende Anwendungsmöglichkeiten für digitale Agrartechnik. Bisherige Entwicklungstrends im Bereich der Präzisionslandwirtschaft sowie der digitalen Landwirtschaft (z. B. sensorbasierte Stickstoffdüngung, Teilbreitenschaltung, Sensorsysteme für das Herdenmanagement) sind bislang jedoch stark von den Bedürfnissen der konventionellen Landwirtschaft geprägt. Stärker an den Prinzipien des Ökolandbaus orientierte Forschungs- und Entwicklungsbemühungen könnten neue Wege in der Pflanzenproduktion aufzeigen und auch der konventionellen Landwirtschaft wichtige Impulse in Richtung nachhaltiger Intensivierung geben.

Landarbeit 4.0

Durch die Digitalisierung ändert sich die Arbeitswelt grundlegend. Entsprechende gesamtgesellschaftliche Entwicklungen werden unter dem Schlagwort Arbeit 4.0 seit einigen Jahren intensiv diskutiert, und selbstverständlich ist auch die Landwirtschaft davon nicht ausgenommen. Digitale Agrartechnologien haben konkrete Auswirkungen auf betriebliche Abläufe und damit darauf, wie, wo und wann Landarbeit betrieben wird. Die Effekte der digitalen Arbeit, insbesondere deren spezifische Anforderungen und Belastungen, wurden jedoch für die



Landwirtschaft bislang wenig untersucht, und wenn, dann vor allem mit Fokus auf die Milchviehwirtschaft.

Obwohl sich die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Arbeit in der Landwirtschaft zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht scharf abzeichnen, scheinen die Folgen ambivalent zu sein. Chancen bieten sich hinsichtlich einer autonomen Arbeitsgestaltung, der physischen Entlastung und ggf. der Gewinnung zeitlicher Freiräume; die Risiken liegen vor allem in einer steigenden Arbeitsintensität und in psychischen Mehrbelastungen. Letzteres ist von Bedeutung, da psychische Erkrankungen, wie Burnout und Depressionen, unter Landwirt/innen stetig zunehmen und inzwischen die zweithäufigste Ursache für Erwerbsminderung darstellen. Wie sich digitale Technologien konkret auf Arbeitsanforderungen und -qualität auswirken, hängt letztlich wesentlich von ihrer Nutzerfreundlichkeit ab. Je einfacher Technologien zu handhaben sind, desto geringer ist der kognitive und zeitliche Aufwand, der für ihren Betrieb aufgewendet werden muss.

Generell ist im Bereich der digitalen Landwirtschaft ein Trend zur immer stärkeren datenbasierten Automatisierung von Abläufen festzustellen, was sich bei der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung in der zunehmenden Verbreitung von Onlineverfahren bemerkbar macht. Dadurch droht zum einen eine stärkere Abhängigkeit von algorithmisch gesteuerten Entscheidungsprozessen, die von den Nutzer/innen nicht mehr zu durchschauen sind – erstens, weil Landwirt/innen dafür in der Regel nicht über die erforderliche Expertise verfügen, und zweitens, weil die Algorithmen von den Herstellern meist nicht offenlegt werden. Zum anderen besteht damit die Gefahr, dass mit dem steigenden Einsatz automatisierter Entscheidungssysteme bäuerliches Erfahrungswissen sukzessive verlorengelht, da es im Arbeitsalltag nicht mehr direkt gebraucht wird.

Erfahrungswissen ist aber nach wie vor wichtig, damit Landwirt/innen den Output digitaler Systeme beurteilen, Fehler erkennen und ggf. korrigieren können. Denn landwirtschaftliche Produktionsprozesse sind mit so heterogenen und veränderlichen Standortbedingungen konfrontiert, dass ihre algorithmische Steuerung – alleine schon aufgrund der unsicheren Datenqualität – schneller an Grenzen stößt als in anderen Bereichen. Digitale Agrartechnik kann und sollte die Landwirt/innen also nicht überflüssig machen, sondern eine unterstützende Aufgabe haben, indem sie deren Situationsverständnis erweitert und vertieft. Voraussetzung dafür ist, dass diese den Output sowie die komplexen Funktionszusammenhänge vernetzter Systeme zu beurteilen vermögen, was entsprechende erfordert.

Klar ist: Die Digitalisierung hat grundlegende Auswirkungen auf das Berufsbild der Landwirtin/des Landwirts, die Qualifizierungsanforderungen und damit die Arbeitskräftestruktur in der Landwirtschaft. Es ist damit zu rechnen, dass manuelle physische Arbeit auf dem Feld und im Stall weniger und dafür



Büro- und Managementarbeiten zunehmen werden. Durch die wachsende Komplexität der digitalen Technologien, die in den Betrieben eingesetzt werden, steigen die Anforderungen an die Qualifikationen von Mitarbeiter/innen und Betriebsleitungen entsprechend an, während der Bedarf an niedrigqualifizierten Beschäftigten zurückgehen dürfte.

Handlungsfelder

Außer Frage steht, dass die digitale Transformation der Landwirtschaft einer vorausschauenden Gestaltung bedarf. Dabei geht es keineswegs nur um Technikinnovation im engeren Sinne. Vielmehr hat die Digitalisierung Auswirkungen auf Abläufe und Prozesse in Betrieben und auf die gesamte landwirtschaftliche Wertschöpfungskette, was infrastrukturelle, rechtliche und auch bildungspolitische Fragen aufwirft.

Infrastrukturelle Rahmenbedingungen

Die Digitalisierung bedarf zukunftsfähiger Infrastrukturen. Benötigt wird eine Funkverbindung zwischen den beteiligten Maschinen untereinander und zu der planenden Instanz (Rechner, Onlineservice etc.). Das Potenzial vieler digitaler Agrartechnologien kann zudem erst ausgeschöpft werden, wenn neben einem reibungslosen Datenfluss auch ein einfacher Zugriff auf externe Geodaten und andere Datenbestände besteht (Wetter-, Kataster-, Satellitendaten etc.). In beiden Bereichen gibt es noch deutliche Defizite. Die Politik ist gefordert, eine ausreichende Versorgung mit den entsprechenden Gütern sicherzustellen bzw. diese zu unterstützen:

- › Bei der Breitbandversorgung soll die Mobilfunkstrategie des Bundes eine flächendeckende Versorgung gewährleisten. Die Strategie enthält ein Bündel von Maßnahmen und wird durch zahlreiche Förderprogramme auf Bundes- und Länderebene ergänzt. Hier sind vor allem eine gute Koordination und Abstimmung der Einzelmaßnahmen zwischen den verschiedenen Akteuren sowie eine möglichst unbürokratische Vergabe der Fördergelder erforderlich. Prioritär erscheint aus Sicht der Landwirtschaft, die vorhandenen Ressourcen vorerst auf die Schließung der bestehenden Mobilfunklöcher im LTE(Long-Term-Evolution)-Netz zu konzentrieren, bevor mit dem flächendeckenden Ausbau des 5G-Netzes begonnen wird. Entscheidend ist zudem, dass die formulierten Zielvorgaben beim Mobilfunkausbau verlässlich eingehalten werden, um eine klare Planungsgrundlage für die Betriebe zu schaffen.
- › Die Geodatenbestände, die für die Landwirtschaft von hoher Bedeutung sind, liegen mehrheitlich in der Hoheit der Länder und sind häufig nicht



frei verfügbar. Eine Harmonisierung der föderal sehr unterschiedlichen Zugangsregelungen wäre sehr wünschenswert, um in Deutschland einheitliche Rahmenbedingungen zu erreichen. Dabei wäre darauf zu achten, dass die Bereitstellung in ausreichender Qualität sowie einem standardisierten Format im Rahmen einer nutzerfreundlichen Dateninfrastruktur erfolgt.

Datenhoheit

Während die Verarbeitung und Nutzung personenbezogener Daten umfassend geregelt ist, ist die Rechtslage bezüglich des Umgangs mit nicht personenbezogenen landwirtschaftlichen Daten (Betriebs- und Maschinendaten) bislang unklar. Da inzwischen fast alle Wirtschaftsbereiche von der Digitalisierung erfasst sind, stellen sich ähnliche rechtliche Problemlagen nicht nur in der Landwirtschaft. Wünschenswert wäre deshalb, zügig zu klären, ob und wie das Eigentum an Daten ausgestaltet werden kann und soll. Dabei kommt einerseits die Schaffung einer gesetzlichen Regelung zur Datenhoheit in Betracht, wobei allerdings Sinn und Zweck einer rechtlichen Lösung unter Expert/innen umstritten ist. Falls andererseits die Zuweisung von Rechten an Daten alleine den Parteien durch vertragliche Vereinbarung vorbehalten bleiben soll, wären Anpassungen des Rechts der Allgemeinen Geschäftsbedingungen (§§ 305 ff. Bürgerliches Gesetzbuch – BGB) in Erwägung zu ziehen, um datenspezifische Problemlagen besser zu erfassen und die Rechte der Nutzer/innen zu stärken.

Darüber hinaus sollte die Bundesregierung weitere flankierende Maßnahmen ergreifen, um angesichts verbreiteter Monopolisierungstendenzen zu verhindern, dass einzelne Konzerne eine allzu große Datenmacht erlangen. Der Umgang mit Monopolen ist dem Gesetzgeber zwar durchaus vertraut (etwa aus dem Bereich des Kartellrechts), und das geltende Recht enthält mit dem Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB) bereits ein Instrumentarium zur Bekämpfung von Verhaltensweisen, die eine Verhinderung, Einschränkung oder Verfälschung des Wettbewerbs bezwecken oder bewirken. Allerdings sind die aktuellen Vorschriften nicht ausreichend für die Datenökonomie gerüstet; beispielsweise greift die Fusionskontrolle erst ab einer bestimmten Umsatzschwelle, die digitale Geschäftsmodelle oftmals nicht erreichen. Mit der anstehenden Reform des GWB bietet sich die Chance, Vorschriften zu erlassen, die eine effektivere wettbewerbsrechtliche Kontrolle datengetriebener Plattformen ermöglichen. Das Kartellrecht diesbezüglich zu modernisieren, ist mit Blick auf die Landwirtschaft von großer Bedeutung.

Schließlich ist auch die Förderung offener Datenplattformen ein wichtiges Element zur Sicherstellung einer vertrauensvollen und fairen Interaktion. Solche Plattformen können im Rahmen regionaler Produktionscluster die jeweiligen Akteure vernetzen (z. B. Nutztierhalter/innen, Tierarzt/innen, Futtermittel-



anbieter, Landeskontrollverbände) oder/und in modernen Agro-Food-Wertschöpfungsketten treuhänderische Koordinationsfunktionen übernehmen. Solche Lösungen hätten nicht nur den Vorteil, dass sich die Datenhoheit für die nutzenden Betriebe einfach sichern ließe, sondern auch hinsichtlich der unkomplizierten Bereitstellung von amtlichen Geodaten oder der Vereinfachung administrativer Prozesse böten sie großes Potenzial. Zu klären sind allerdings noch etliche Fragen: etwa, wie eine solche staatlich initiierte Plattform organisiert sein soll (treuhänderisch, genossenschaftlich oder staatlich), wie die IT-Sicherheit garantiert wird und ob und zu welchen Bedingungen kommerzielle Dienste auf die gesammelten Daten zugreifen und diese verwenden können.

Sicherstellung des Zugangs zu digitalen Technologien

Der Einstieg in die Digitalisierung stellt vor allem für kleinere und mittlere Betriebe ein ökonomisches Risiko dar. Als Maßnahmen zum Abbau von Einstiegschürden kommen die Unterstützung überbetrieblicher Gemeinschaften, die Stärkung von Ausbildung und Beratung sowie die Etablierung finanzieller Förderinstrumente in Betracht.

Überbetriebliche Bewirtschaftungsformen (z.B. Maschinengemeinschaften, Maschinenringe, Lohnunternehmer/innen) bieten auch kleineren und mittleren Betrieben die Chance, kostenintensive Agrartechnik wirtschaftlich nutzen zu können. Allerdings befinden sich die Maschinenringe derzeit selbst in einem digitalen Transformationsprozess und müssen sich die notwendigen Kompetenzen zu digitalen Techniken erst aneignen. Erforderlich ist nicht nur die stärkere Ausrichtung auf digitale Dienste (Maschinenring 4.0), sondern auch die Weiterentwicklung der Beratungsangebote. Zu überlegen wäre, wie die Maschinenringe staatlicherseits bei der Erbringung und Weiterentwicklung ihrer Dienstleistungen gestärkt werden können. Angesprochen sind hier insbesondere die Bundesländer mit vielen kleinen und mittleren Betrieben (Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz). In Betracht käme sowohl eine finanzielle Förderung der überbetrieblichen Maschinenvermittlung, wie sie beispielsweise von Bayern praktiziert wird, als auch eine enge Kooperation – ggf. ebenfalls unterstützt durch öffentliche Mittel – zwischen den Maschinenringen und den verantwortlichen staatlichen Beratungseinrichtungen beim Aufbau digitaler Beratungskapazitäten und -angebote.

Angesichts der Herausforderungen der Digitalisierung haben viele Familienbetriebe sowohl vor und während als auch nach der digitalen Umstellung erhöhten Beratungsbedarf. Die Agrarberatung ist in Zeiten der Digitalisierung mehr denn je mit der Aufgabe konfrontiert, individuelle Lösungen zu entwickeln, die auf die konkreten Bedarfe der Betriebe zugeschnitten sind. Da Bildungs- und Beratungsaufgaben im Hoheitsbereich der Bundesländer liegen, ist



die landwirtschaftliche Beratungslandschaft in Deutschland äußerst vielschichtig strukturiert und von einer großen Organisationsvielfalt geprägt. Insofern wäre es wünschenswert, dass sich die maßgeblichen Akteure (Verband der Landwirtschaftskammern, Bundesverband der Maschinenringe, Genossenschaftsverband, Öko-Verbände etc.) hinsichtlich der strategischen Weiterentwicklung der Agrarberatung zukünftig stärker vernetzen. Zudem mangelt es bislang noch an ausreichenden Praxiserfahrungen, wie sich die Vorteile der Digitalisierung auch für kleinere und mittlere Betriebe nutzbar machen lassen. Sinnvoll wären diesbezüglich Demonstrationsbetriebe, wie sie beispielsweise an Hochschulen und Universitäten bereits erfolgreich unterhalten werden. Schließlich stellt sich auch die Frage, wie zukünftig ein ausreichender Ausbildungsstand der Landwirt/innen gewährleistet werden kann, der den digitalen Herausforderungen und dem rasanten technischen Wandel gerecht wird. Bedarf gibt es u. a. bei der Entwicklung neuer Studiengänge, die den interdisziplinären Anforderungen der Präzisionslandwirtschaft Rechnung tragen und ausreichende IT-Kompetenzen vermitteln. Außerdem sollte die Grundausbildung durch geeignete Weiterbildungsangebote ergänzt werden. Diese sollten speziell auf die Bedürfnisse von kleineren und mittleren Landwirtschaftsbetrieben ausgerichtet sein, um deren erhöhten Weiterbildungsbedarf zu decken. Helfen könnte dabei die verstärkte Einbindung neuer digitaler Lernmethoden.

Ein bewährtes Instrument, die Modernisierung der landwirtschaftlichen Produktion zu unterstützen und die Verbreitung neuer Technologien zu fördern, stellen staatliche Investitionszuschüsse dar. Durch die Gewährung von Beihilfen für den Erwerb bestimmter Technologien sinken die Investitionskosten. Damit besteht die Chance, dass die Technologien für eine größere Zahl kleinerer Betriebe rentabel einsetzbar werden, da mit geringeren Fixkosten auch die Wirtschaftlichkeitsschwelle niedriger liegt. Grundsätzlich ist die Gewährung von Investitionszuschüssen allerdings nur für solche Agrartechnologien zu empfehlen, die einen erwiesenen betrieblichen Nutzen haben und deren Umwelt- bzw. Tierwohlwirkungen positiv ausfallen.

Innovation und Technikentwicklung

Mit der Digitalisierung der Landwirtschaft eröffnet sich ein weites Innovationsfeld, das sehr unterschiedliche Technologiebereiche wie Sensorik, Robotik und künstliche Intelligenz inklusive Datenanalyseverfahren umfasst. Diese Technologien bieten die große Chance, die Landwirtschaft nicht nur kostengünstiger, sondern vor allem nachhaltiger zu gestalten. Um diese Ziele zu erreichen, ist eine rein technikgetriebene, an der Effizienzsteigerung orientierte Innovation der Agrarproduktion vermutlich nicht ausreichend. Der Trend zur Entwicklung immer größerer Maschinen und von Hightechlösungen, der die



Landwirtschaft schon seit vielen Jahrzehnten geprägt hat, scheint derzeit allerdings ungebrochen. Dies hat nicht zuletzt damit zu tun, dass nach wie vor primär die großen Landtechnikhersteller aufgrund ihrer massiven Investitionen tonangebend sind.

Der Politik kommt vor diesem Hintergrund die Aufgabe zu, eigene Innovationsakzente zu setzen und Forschungs- und Entwicklungsprogramme zu initiieren, welche sich stärker auch an agrarökologischen Prinzipien orientieren. Im Hinblick auf eine umweltverträglichere Landbewirtschaftung eröffnen speziell autonome Roboter Perspektiven, einzelne große Landmaschinen durch viele kleinere (zum Teil schwarmbasiert) zu ersetzen, die weitgehend eigenständig agieren und rund um die Uhr im Einsatz sein können. Dabei sollten die Innovationsanstrengungen bei digitalen Technologien enger verknüpft werden mit anderen angestrebten Veränderungen im Ackerbau (z. B. Erweiterung des Kulturpflanzenspektrums und der Fruchtfolgen). Erst bei abgestimmtem und sich gegenseitig unterstützendem Vorgehen ist ein spürbarer Beitrag zu einer nachhaltigeren Landbewirtschaftung zu erwarten. Wünschenswert wäre daher eine stärkere Differenzierung der digitalen Technologien, sodass abgestufte Technikvarianten für unterschiedliche betriebliche Strukturen zur Verfügung stehen, um der Vielfalt der deutschen Landwirtschaft gerecht zu werden. Zusätzlich sollten die Bedürfnisse der kleinbäuerlichen Landwirtschaft des Globalen Südens, die für die weltweite Ernährungssicherung eine eminent wichtige Rolle spielt, stärker in den Fokus genommen werden. Zielführend sind hier vor allem preiswerte, kleinteiligere Anwendungen, die auch bei begrenzter Tierzahl bzw. Einsatzfläche sinnvoll nutzbar sind.

Forschung und Entwicklung zu nachhaltigen Produktionstechnologien und Agrarsystemen werden noch primär von der anwendungsorientierten Grundlagenforschung getragen und sind deshalb von öffentlichen Fördermitteln abhängig. Deutschland verfügt mit seiner hervorragenden Agrar- und Ökolandbauforschung, den 2019 eingerichteten digitalen Experimentierfeldern, dem Innovationsförderprogramm der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) sowie dem Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) prinzipiell über beste Voraussetzungen, um in diesen Innovationsbereichen eine führende Rolle einzunehmen. Um die vorhandenen Mittel möglichst zielgerichtet einsetzen sowie Synergien zwischen diesen verschiedenen Programmen nutzen zu können, erscheint die Erarbeitung einer übergreifenden Forschungsstrategie durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) – ggf. unter Mitwirkung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) – sinnvoll.

Unabhängig davon erscheint schon heute eine umfassende Förderung von Open-Source-Software angebracht. Dies ist nicht zuletzt auch deshalb wichtig, da algorithmische Entscheidungssysteme (AES) zukünftig noch weiter an Ein-

fluss gewinnen und voraussichtlich an allen relevanten Schaltstellen der Agrarproduktion zum Einsatz kommen werden. Die Offenlegung des Quellcodes ist eine wichtige (wenn auch nicht hinreichende) Voraussetzung, um Algorithmen überprüfen, mögliche Schwachstellen aufdecken und so das Vertrauen in die Produkte stärken zu können. Deshalb wäre in mit öffentlichen Fördergeldern unterstützten Entwicklungsprojekten in Erwägung zu ziehen, Open Source zur Bedingung zu machen.

Wissens- und Forschungslücken

Obwohl die Digitalisierung bereits seit Längerem in der Landwirtschaft Einzug gehalten hat, sind etliche relevante Aspekte noch unzureichend untersucht. Wissenslücken bestehen insbesondere hinsichtlich der Verbreitungsmuster und des Nutzungsgrades digitaler Agrartechnologien sowie ökologischer und betriebswirtschaftlicher Effekte.

In welchen Betrieben bzw. Betriebstypen welche digitalen Agrartechnologien in welchem Umfang eingesetzt werden, ist bislang noch weitgehend unklar. Die vorliegenden Untersuchungen dazu sind größtenteils nicht repräsentativ oder bilden die verschiedenen Technologietypen nicht differenziert genug ab. Dieses Defizit ist einer der Gründe, wieso bislang kaum valide abschätzbar ist, wie sich die bisherige Digitalisierung auf die Wettbewerbsfähigkeit kleinerer Betriebe oder den Agrarstrukturwandel ausgewirkt hat. Wünschenswert wäre deshalb die staatliche Implementierung statistischer Erhebungen zur Nutzung digitaler Technologien in der Landwirtschaft, wie sie für etablierte Technologien in Deutschland und zu digitalen Agrartechnologien in anderen Ländern bereits durchgeführt werden. Eine Erhebung zu digitalen Technologien sollte als Erweiterung der regelmäßig durchgeführten Agrarstrukturserhebungen realisiert werden.

Zudem bestehen hinsichtlich der ökologischen und betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der digitalen Landwirtschaft noch große Unsicherheiten. Das ist insofern problematisch, als gerade in diesen beiden Bereichen die größten Chancen der Digitalisierung gesehen werden. Um diese Wissenslücken zu schließen und somit zu einer fundierteren Einschätzung des ökologischen sowie des betriebswirtschaftlichen Nutzens digitaler Agrartechnologien zu kommen, wären gezielte systematische Forschungsanstrengungen erforderlich. Vordringlich erscheinen:

- > repräsentative Untersuchungen zur Wirkung von Digitaltechnologien in der Pflanzenproduktion unter Praxisbedingungen, um verallgemeinerbare und vergleichende Aussagen zu unterschiedlichen Wirkungen in Abhängigkeit von verschiedenen betrieblichen Bedingungen zu ermöglichen;
- > ein Monitoring der Auswirkungen auf betrieblicher Ebene, um den betrieblichen Veränderungen infolge der Einführung digitaler Technologien in



- den landwirtschaftlichen Betrieben und eventuellen agrarstrukturellen Auswirkungen auf den Grund zu gehen;
- › die Entwicklung von Kalkulationstools zu Kosten und Nutzen von digitalen Systemen, um die Grundlage für eine sichere Einschätzung der betriebswirtschaftlichen Voraussetzungen und Wirkungen zu schaffen;
- › Forschung zu systemaren Folgewirkungen (wie z. B. Reboundeffekten), um die Anpassungsreaktionen, die durch digitale Technologien ausgelöst werden, auf Betriebs- und Sektorebene besser zu verstehen.

Schlussbemerkung

Die gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen werden entscheidend prägen, inwieweit die Digitalisierung einen Beitrag zur Bewältigung der Herausforderungen in der Landwirtschaft leisten kann. Neben Innovationsförderung, rechtlichen Vorgaben sowie der Ausgestaltung der europäischen und nationalen Agrarpolitik wäre darüber hinaus wichtig, sich auf gesellschaftlicher Ebene über die Ziele und die Entwicklungsrichtung zu verständigen, denen die Landwirtschaft zukünftig folgen soll. Dazu gehören Fragen nach der Rolle der Landwirt/innen in der Vermarktungskette, nach dem angemessenen Preis für Agrarprodukte, dem Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz, dem Wert tierischen Lebens oder dem Stellenwert von Familienbetrieben sowie der kleinbäuerlichen Landwirtschaft in einer globalisierten Welt. Erst vor dem Hintergrund eines derartigen Orientierungsrahmens lässt sich der digitale Fortschritt in der Landwirtschaft sinnvoll gestalten.

1 Einleitung

Die Digitalisierung schreitet auch in der Landwirtschaft rasch voran – eine Entwicklung, die unter dem Begriff Landwirtschaft 4.0 zunehmend in Politik und Öffentlichkeit diskutiert und mit großen Erwartungen verbunden wird. Generell ist festzustellen, dass in der Diskussion und den vorliegenden Veröffentlichungen gerne auf erfolgreiche Einzelanwendungen und ihre Potenziale verwiesen wird. Hinsichtlich der Fragen, wie eine umfassend vernetzte Landwirtschaft 4.0 realisiert werden könnte und welche Wirkungen sie hätte, gibt es jedoch noch große Unsicherheiten.

Offensichtlich ist, dass es sich um ein Thema mit hohem politischem Gestaltungsbedarf handelt, damit sich die erhofften Potenziale – insbesondere die Chance auf eine bessere Vereinbarkeit ökonomischer und ökologischer Ziele – umsetzen lassen. Vor diesem Hintergrund beauftragte der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages das TAB mit einer Untersuchung zu Stand und Perspektiven der Digitalisierung in der Landwirtschaft.

Das dazugehörige TA-Projekt wurde zweistufig durchgeführt. Nachdem in der ersten Projektphase Entwicklungstrends digitaler Einzelanwendungen in vier relevanten Technikfeldern (Sensorik, Landmaschinen, Drohnen, Robotik) beleuchtet worden waren (TAB 2021), lag das Augenmerk in der zweiten Projektphase auf den Voraussetzungen und den potenziellen Wirkungen einer umfassend vernetzten Landwirtschaft. Im Fokus standen dabei die folgenden Untersuchungsschwerpunkte:

- > *Vernetzung und Datenhoheit:* Mit den steigenden Datenmengen stellen sich neue Fragen hinsichtlich der Datenhoheit, denn Voraussetzung für die digital vernetzte Landwirtschaft ist der Austausch von sensiblen Betriebsdaten über Agrar-Wertschöpfungsketten hinweg. Bereits heute ist festzustellen, dass neue Dienstleister auf den Markt drängen, die sich mit der Speicherung, Verknüpfung und Auswertung der anfallenden Daten beschäftigen. Da der Schutz von nicht personenbezogenen Betriebsdaten bislang nur unzureichend geregelt ist, birgt das Thema erheblichen Sprengstoff in wirtschaftlicher Hinsicht – insbesondere aus Sicht der Landwirt/innen, die die Hoheit über die eigenen Betriebsdaten zunehmend zu verlieren drohen. Insbesondere könnte diese Entwicklung dazu führen, dass sich bereits bestehende Abhängigkeiten von landtechnischen Anbietern und Agrarkonzernen weiter verstärken.
- > *Umwelt- und Tierwohlwirkungen:* Ein Versprechen der digitalen Landwirtschaft ist der präzisere und damit sparsamere Einsatz von Produktionsmitteln wie Dünger, Saatgut, Pflanzenschutz- und Futtermitteln (Präzisions-



landwirtschaft). Dies bietet nicht nur betriebswirtschaftliche Vorteile, sondern könnte auch dazu beitragen, steigende Produktivität mit einem effizienteren Einsatz von Produktionsmitteln zu verbinden. Offen ist, in welchem Umfang Effizienzgewinne möglich sind und ob diese ausreichen, um den Wandel zu einer umweltverträglicheren Landbewirtschaftung zu gewährleisten.

- › *Betriebliche und agrarstrukturelle Effekte:* Die Landwirtschaft in Deutschland unterliegt seit Jahrzehnten einem kontinuierlichen Strukturwandel hin zu stärker spezialisierten und größeren Betrieben. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwieweit Technikentwicklungen und Anwendungskonstellationen (z.B. durch Maschinenringe und andere Dienstleister) denkbar sind, die auch kleinere landwirtschaftliche Betriebe nutzen könnten.

Aufbau des Berichts

Der vorliegende TAB-Arbeitsbericht Nr. 194 fasst die Ergebnisse der zweiten Untersuchungsphase zusammen. Er gliedert sich wie folgt:

In Kapitel 2 werden Stand, Perspektiven und Herausforderungen einer digital vernetzten Landwirtschaft erläutert; zunächst werden die damit verbundenen Erwartungen beschrieben, anschließend Status und Voraussetzungen der Vernetzung (digitale Infrastrukturen, Schnittstellen und Standards, Bereitstellung externer Daten) analysiert, bevor schließlich die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Geschäftsmodelle in der Agrarbranche und die rechtlichen Implikationen bezüglich der Datenhoheit diskutiert werden.

In Kapitel 3 werden die aktuellen Kenntnisse zu Umwelt- und Tierwohlwirkungen der Präzisionslandwirtschaft detailliert aufgeschlüsselt. Im Fokus stehen dabei die durch die Digitalisierung landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen ausgelösten möglichen Entlastungseffekte, insbesondere infolge eines verringerten Einsatzes von Inputressourcen (wie Dünge- und Pflanzenschutzmittel) sowie der Einsparung von Transportwegen. Behandelt werden die verschiedenen Ansätze eines teilflächenspezifischen bzw. -variieren Einsatzes von landwirtschaftlichen Produktionsmitteln, aber auch mögliche Auswirkungen der Präzisionstierwirtschaft auf das Tierwohl werden diskutiert.

In Kapitel 4 wird sich den potenziellen Folgen der Digitalisierung für Betriebe und den Agrarstrukturwandel gewidmet. Dazu wird erst der aktuelle Wissensstand hinsichtlich der Verbreitung digitaler Agrartechnologien dargelegt. Danach wird die Wirtschaftlichkeit ausgewählter Digitaltechnologien beleuchtet, es werden potenzielle agrarstrukturelle Wirkungen beschrieben und die besonderen Herausforderungen für kleinere und ökologisch wirtschaftende Betriebe aufgezeigt. Abschließend wird die Frage thematisiert, wie die Digitalisierung die Arbeit in der Landwirtschaft verändern könnte.

In Kapitel 5 werden schließlich Handlungsfelder für die Politik identifiziert und Handlungsoptionen aufgezeigt.

In Auftrag gegebene Gutachten

Die Berichtsergebnisse basieren zum einen auf einer umfangreichen Recherche und Auswertung der wissenschaftlichen Literatur. Zum anderen wurden zur Vertiefung der zuvor genannten Untersuchungsaspekte die folgenden Gutachten in Auftrag gegeben:

- › Neue Geschäftsmodelle und die Frage der Datenhoheit in der Landwirtschaft 4.0. Prof. Dr. Eric Hilgendorf, Paul Vogel, Pia Mesenberg; Forschungsstelle RobotRecht der Universität Würzburg, Würzburg
- › Auswirkungen der Digitalisierung auf landwirtschaftliche Betriebe. Prof. Dr. Reiner Doluschitz und Dr. Nicola Gindele, Göppingen

Zusätzlich flossen in diesen Bericht auch Teile eines Gutachtens ein, das im Rahmen der ersten Projektphase erstellt wurde:

- › Stand und Perspektiven autonomer und satellitengestützter Navigation in Landmaschinen. Prof. Dr. Joachim Hertzberg, Dr. Kai Lingemann, Dr. Stephan Scheuren, Dr. Stefan Stiene; Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, Osnabrück

Die Verantwortung für die Auswahl und Interpretation der Gutachtenergebnisse liegt ausdrücklich bei den Autoren und der Autorin des vorliegenden Berichts. Eine Kommentierung des Berichtsentwurfs durch die Gutachter/innen ist erfolgt. Ihnen sei für die gute Zusammenarbeit herzlich gedankt.

Ein besonderer Dank geht auch an Carmen Priefer für die Mitarbeit an konzeptionellen Fragen, Christoph Revermann und Arnold Sauter für die Durchsicht und Kommentierung von Entwurfsversionen sowie an Carmen Dienhardt und Brigitta-Ulrike Goelsdorf für die redaktionelle Bearbeitung des Manuskripts und die Erstellung des Endlayouts.



2 Auf dem Weg zur digital vernetzten Landwirtschaft: Stand, Perspektiven, Herausforderungen

Wie Teil I des TAB-Projekts gezeigt hat (TAB 2021), ist der technische Entwicklungsstand digitaler Agrartechnologien bereits weit fortgeschritten. Melk- und Fütterungsroboter werden in der Tierhaltung bereits verbreitet eingesetzt, im Pflanzenbau sind bestimmte Sensorsysteme zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung sowie automatische Spurführungssysteme und damit verbundene Assistenzfunktionen schon heute Stand der Technik. Noch handelt es sich dabei um Einzelanwendungen, die weitgehend unverbunden zum Einsatz kommen. Das größte Potenzial zur Optimierung landwirtschaftlicher Prozesse wird jedoch erst in der umfassenden datenbasierten Vernetzung dieser Einzeltechnologien auf Betriebsebene (und darüber hinaus) gesehen.

Hinsichtlich der Realisierbarkeit sowie der Implikationen dieser Vernetzungsvision, die unter den Schlagwörtern Smart Farming und Landwirtschaft 4.0 diskutiert wird, sind noch viele Fragen offen. Voraussetzung ist nicht nur eine ausreichende Breitbandversorgung, sondern u. a. auch standardisierte Schnittstellen, die die Kommunikation und den Datenaustausch zwischen Maschinen unterschiedlicher Hersteller ermöglichen, sowie digitale Plattformen und Managementsysteme, mit denen sich die erhobenen Daten verwalten, analysieren und interpretieren lassen. Schließlich befördert die digitale Vernetzung neue datenbasierte Geschäftsmodelle, welche die wirtschaftlichen Beziehungen in der Agrarbranche nachhaltig verändern könnten.

In diesem Kapitel werden der Status, die Herausforderungen und Perspektiven der Vernetzung und Integration digitaler Agrartechnologien beleuchtet. Nach einer kurzen Systematisierung von Begriffen wie Präzisionslandwirtschaft, Smart Farming und Landwirtschaft 4.0 werden erstens die damit verbundenen Erwartungen beschrieben (Kap. 2.1.1). Zweitens werden die Voraussetzungen der Vernetzung und deren Stand analysiert; dazu gehören die Verfügbarkeit von herstellerübergreifenden Schnittstellen und Standards, infrastrukturelle Aspekte (digitale Plattformen und Breitbandausbau) sowie die ausreichende Bereitstellung externer Datenbestände (Wetter-, Satellitendaten etc.) (Kap. 2.1.2). Drittens werden die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Agrarbranche thematisiert, die sich durch das Aufkommen neuer digitaler Geschäftsmodelle in einem grundlegenden Wandlungsprozess befindet (Kap. 2.2). Eine Schlüsselrolle bei der Ausgestaltung zukünftiger Wertschöpfungsbeziehungen spielt die Frage, wer über die Daten, die in landwirtschaftlichen Betrieben anfallen, verfügen darf. Diese Thematik, die auch unter dem Schlagwort Datenhoheit verhandelt wird, wird sowohl in ihren rechtlichen Bezügen als auch mit Blick auf die gängige Praxis dargestellt.



2.1 Von der Präzisionslandwirtschaft zu Landwirtschaft 4.0

Wenn von der Digitalisierung der Landwirtschaft die Rede ist, kommen oft verschiedene Begriffe wie Präzisionslandwirtschaft (Precision Farming), Smart Farming oder Landwirtschaft 4.0 ins Spiel. Diese Konzepte sind nicht präzise definiert und werden meist unscharf verwendet (Roosen 2017, S.22). Eine verbreitete Möglichkeit der Abgrenzung besteht darin, sie einem Entwicklungskontinuum zuzuordnen, wobei Präzisionslandwirtschaft als erste und Landwirtschaft 4.0 als aktuell letzte Stufe der Digitalisierung der Landwirtschaft verstanden wird (Doluschitz/Gindele 2019, S.22; Gandorfer et al. 2017a).

Unter *Präzisionslandwirtschaft* (PL) wird die primär betriebswirtschaftliche Optimierung landwirtschaftlicher Produktionsprozesse mithilfe digitaler Techniken aufgefasst (Kritikos 2017; Rösch et al. 2007). Teilbereiche sind der Präzisionsackerbau (Precision Farming) und die Präzisionstierwirtschaft (Precision Livestock Farming), je nachdem, ob die Präzisionslandwirtschaft auf dem Feld oder im Stall zur Anwendung kommt. Auf dem Feld wird die Landmaschine beispielsweise mit Anbaugeräten wie Sämaschine oder Düngerstreuer intelligent vernetzt (zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S.22). In Abhängigkeit des über das Global-Navigation-Satellite-System(GNSS)-Signal (TAB 2021, Kap. 3.1) ermittelten Standort der Landmaschine kann dann die gezielte Ausbringung des Saatguts bzw. des Düngers erfolgen. In der Tierhaltung wiederum kann die Zuteilung des Futters mit dem Wiegen des Tieres verknüpft werden. Abhängig vom Gewicht des Tieres erfolgt eine automatisch angepasste Zuteilung der Krafffuttermenge. Zentrales Ziel ist es jeweils, mittels Automatisierung sowie Sensor- und/oder Satellitendaten eine differenziertere – also teilflächen-spezifische bzw. einzeltierbezogene – Bewirtschaftung (Düngung, Pflanzenschutz, Sortenwahl, Tierfütterung) zu erreichen und dadurch zum einen die Erträge zu erhöhen und zum anderen Betriebsmittel einzusparen. In der Pflanzenproduktion gehören GNSS-gesteuerte Landmaschinen, in der Tierproduktion automatische Melk- und Fütterungssysteme zu den PL-Schlüsseltechnologien (TAB 2021).

Bei *Smart Farming* als der nächstfolgenden Entwicklungsstufe geht es um die Optimierung von ganzen Prozessketten/Produktionssystemen und ggf. der Gesamtleistung eines landwirtschaftlichen Betriebs (zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S.23). Hierfür ist erforderlich, betriebliche Daten, Prozesse und Maschinen miteinander zu vernetzen. Der Datenaustausch erfolgt nun auch zwischen unterschiedlichen Landmaschinen, beispielsweise zur logistischen Koordination in der Ernte zwischen Mähdrescher und Überladewagen. In der Tierhaltung findet die Zuteilung der Krafffuttermenge parallel zum Melkvorgang im Melkroboter statt. Während des Melkvorgangs werden neben dem Gewicht der Kuh weitere Daten über das Tier erfasst wie Milchleistung oder



Gesundheitszustand. In Abhängigkeit von diesen Informationen wird die verabreichte Kraftfuttermenge kontinuierlich angepasst. Zudem werden auch externe Daten miteinbezogen und mit den Daten des landwirtschaftlichen Betriebs vernetzt. Idealerweise erfolgt dies in einem Herden- bzw. Farmmanagementsystem (Kap. 2.2.3). Dabei handelt es sich um Softwaresysteme, in denen Betriebsdaten unterschiedlicher Art und Herkunft sowie auch solche aus externen Quellen (Wetter- und Geodaten, digitale Marktplätze etc.) zusammenfließen und analysiert werden, um daraus für die einzelnen Produktionsbereiche Handlungsempfehlungen oder gar automatisierte Handlungsanweisungen abzuleiten. In einem reinen Ackerbaubetrieb findet auf dieser Stufe die Gesamtsteuerung aller produktionstechnischen Vorgänge unter Einbeziehung von Umwelt- sowie Betriebsdaten statt. Tierhaltende Betriebe betreiben überwiegend auch Ackerbau zur eigenen Futtergewinnung. In diesem Fall fließen sowohl die Daten aus dem Ackerbau als auch aus der Tierhaltung zusammen.

In der *Landwirtschaft 4.0* geht die datenbasierte Vernetzung über den Einzelbetrieb hinaus und umfasst im Prinzip die gesamte Wertschöpfungskette, die von Herstellern von Betriebsmitteln (wie Saatgut, Agrarchemie und Maschinen) über den Landwirt bis hin zum Einzelhandel und schließlich zum Verbraucher reicht. Ähnlich zur Industrie 4.0 besteht das Ziel letztlich darin, die landwirtschaftliche Produktion sowie die vor- und nachgelagerten Logistikprozesse so zu organisieren, dass sie flexibler an sich verändernde Kundenwünsche und neue Marktbedingungen angepasst werden können (TAB 2017, S.70 ff.). Ermöglicht werden soll dies durch »die intelligente digitale Vernetzung von verschiedenen Unternehmen entlang der Werkschöpfungsstufen sowie die autonome, regelbasierte Entscheidungsfindung und Steuerung einzelner Wertschöpfungsfunktionen innerhalb eines Unternehmens« (Sauter et al. 2015, S.3). Dreh- und Angelpunkt einer zukünftigen Landwirtschaft 4.0 könnten digitale Plattformen bilden, die alle beteiligten Akteure miteinander verknüpfen und den Datenaustausch erleichtern; die Steuerung der Produktionsprozesse soll jedoch analog zur Industrie 4.0 eher dezentral und dank künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen weitgehend selbstorganisiert ablaufen (BMBF 2015b, S.6). Grundsätzlich gilt: Je komplexer vernetzt Produktionssysteme sind, umso wichtiger erscheint auch deren Automatisierung bzw. Autonomisierung, da Menschen mit der Steuerung der Vielzahl von Einzelprozessen überfordert sein könnten.

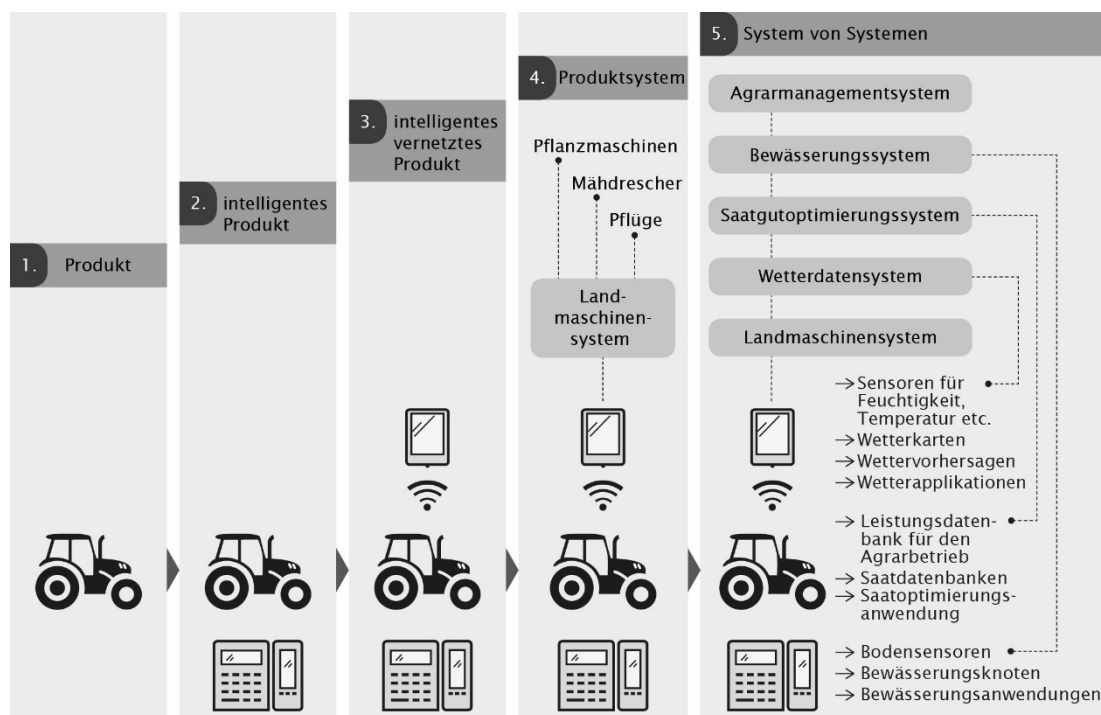
Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass die hier vorgenommene Systematisierung nur eine von vielen möglichen darstellt und in der Literatur auch



2 Auf dem Weg zur digital vernetzten Landwirtschaft

andere begriffliche Abgrenzungen zu finden sind (Roosen 2017, S.22).¹ Wesentlich ist, dass die Digitalisierung der Landwirtschaft den Bogen von der digitalen Einzeltechnologie über intelligent vernetzte Technologien bis hin zu miteinander kommunizierenden Technologiesystemen (System von Systemen, Abb. 2.1) spannt (BMEL 2017b, S. 6; Doluschitz/Gindele 2019, S. 22 ff.). Der entscheidende Faktor ist der vorhandene Vernetzungs- und Automatisierungsgrad, also wie und in welchem Umfang digitalisierte Einzelmaschinen, Prozesse, Datenbestände und Unternehmen in einem virtuellen, cyberphysischen Raum miteinander verzahnt werden (TAB 2017, S.71 f.). Hier sind – wie die Abbildung 2.1 illustriert – durchaus auch feinere Abstufungen denkbar als zuvor skizziert (Doluschitz/Gindele 2019, S. 22 f.).²

Abb. 2.1 Entwicklungsstufen der Digitalisierung in der Landwirtschaft



Quelle: BMEL 2016, S. 9, nach Porter/Heppelmann 2014

- 1 So wird beispielsweise in einer Studie von PricewaterhouseCoopers (PwC 2016, S. 9) Precision Farming von Smart Farming anhand des Automatisierungsgrades abgegrenzt: Bei Precision Farming handle es sich um einen informationsbasierten Ansatz, der der Entscheidungsunterstützung diene; Smart Farming hingegen sei wissensbasiert und dadurch gekennzeichnet, dass »Maschinen und Geräte die Informationen selbstständig [verarbeiten] und [...] zumindest teilautonome Entscheidungen« treffen.
- 2 In Abbildung 2.1 entspricht Entwicklungsstufe 3 in etwa der Präzisionslandwirtschaft, Stufe 4 dem Smart Farming und Stufe 5 der Landwirtschaft 4.0.



2.1.1 Erwartungen an die Landwirtschaft 4.0

Von der zunehmenden digitalen Vernetzung erhofft man sich ganz neue Möglichkeiten für Gestaltung und Optimierung von Prozessen entlang der gesamten landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette (Hertzberg et al. 2017, S. 5). In erster Linie sind damit wirtschaftliche Erwartungen³ auf unterschiedlichen Ebenen verbunden:

- > auf der Ebene der Produktion eine erhöhte Ressourceneffizienz durch den gezielteren und sparsameren Einsatz von Betriebsmitteln (Kraftstoff, Saatgut, Tierfutter, Mineraldünger, Pestizide etc.) sowie eine verbesserte Arbeitsproduktivität im Zuge der Automatisierung und Autonomisierung von Abläufen. Von Produktivitätssteigerungen verspricht man sich einen Beitrag zur Ernährungssicherung für eine wachsende Weltbevölkerung⁴ – sowie auch eine Chance, den sich abzeichnenden Fachkräftemangel in der Landwirtschaft abzufedern (Gindele et al. 2016);
- > auf der administrativen Ebene eine erleichterte Arbeitsplanung und -dokumentation durch spezialisierte IT-Systeme, die eine standortspezifische und teilweise automatische Erfassung z. B. von Arbeitszeiten, ausgebrachten Betriebsmitteln, eingesetzten Maschinen und entstandenen Kosten ermöglichen. Dies ist gerade auch angesichts der wachsenden behördlichen Dokumentationspflichten beispielsweise im Rahmen der EU-Agrarförderung (Cross-Compliance-Anforderungen; Direktor der Landwirtschaftskammer NRW 2019) oder der neuen Stoffstrombilanzverordnung⁵ von Bedeutung, die für die landwirtschaftlichen Betriebe mit einem erheblichen Arbeitsaufwand verbunden sind;
- > auf der logistischen Ebene eine effizientere und vor allem bedarfsorientierte Lenkung der Warenströme durch automatischen Informationsaustausch zwischen den vor- und nachgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette (sogenannte Just-in-Time-Strategien). Eine bessere logistische Koordination mittels digitaler Lösungen könnte z. B. einen wichtigen Beitrag leisten, um dem beträchtlichen Verlust bzw. der Verschwendung von Lebensmitteln entgegenzuwirken (BMEL 2019c, S. 14f.), der sich laut der Food and Agriculture Organization (FAO 2017, S. 39) auf fast ein Drittel der weltweiten Produktion summiert. Außerdem werden nennenswerte Potenziale zur

3 Für einen Überblick über die Chancen der digitalisierten Landwirtschaft BMEL 2016.

4 Die FAO (2017) prognostiziert, dass die landwirtschaftliche Produktion bis 2050 gegenüber dem Stand von 2012 um 50 % ansteigen muss, um die Versorgung der dann 10 Mrd. Menschen sicherstellen zu können.

5 https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/_Texte/Stoffstrombilanz.html (18.8.2021)

- proaktiven Instandhaltung von landwirtschaftlichen Maschinen und Anlagen durch die automatisierte Überwachung von Maschinendaten erwartet (Predictive Maintenance; TAB 2021, Kap. 3.2);
- › auf der Produktebene neue Möglichkeiten zur umfassenden, lückenlosen Dokumentation der Lebensmittelproduktion vom Saatgut bis auf den Teller. Die transparente Rückverfolgbarkeit von Produkten, ihren Inhaltsstoffen sowie Entstehungsbedingungen dient nicht nur der Qualitätskontrolle und damit der Prozessoptimierung, sondern bietet auch große Potenziale für die Lebensmittelsicherheit und den Verbraucherschutz.

Der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien und das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (Bitkom/Fraunhofer IAO 2014, S. 35) kamen 2014 zu dem Schluss, dass die Produktivitätssteigerungen durch »verbesserte Prozesse sowie neue Geschäftsmodelle« in der deutschen Landwirtschaft bis 2025 eine Bruttowertschöpfung in Höhe von knapp 3 Mrd. Euro erzeugen könnten.⁶ Festzuhalten ist allerdings, dass derartige Schätzungen spekulativ sind und gesicherte Zahlen zum Wertschöpfungspotenzial sowohl der Präzisionslandwirtschaft als auch erst recht von Smart Farming bislang nicht vorliegen.

Daneben besteht auch die große Hoffnung, durch die stärkere Vernetzung von Informationen entlang der bioökonomischen Wertschöpfungskette »zur Realisierung einer transparenten, nachhaltigen, umwelt-, tier- und verbraucher-gerechten Produktion von Nahrungsmitteln und biobasierten Rohstoffen« beitragen zu können (Leibniz-Forschungsverbund o. J., S. 2). Denn die teilflächen-spezifische Bewirtschaftung ist ja nicht nur wirtschaftlich vorteilhaft, sondern könnte gleichzeitig auch zu einer ökologisch verträglicheren Produktion beitragen, insofern dadurch Mineraldünger- sowie Pestizideinsatz reduziert werden (Kap. 3). Dasselbe gilt für das Tierwohl, das durch die kontinuierliche Erhebung von Gesundheits- und Verhaltensparametern (Wiederkautätigkeit, Körpertemperatur, Weideverhalten etc.) ggf. gesteigert werden kann. Und mit Blick auf die transparente Ausgestaltung von Produktionsketten lässt sich festhalten, dass sich so die Chance bietet, »die gesellschaftlichen Interessen sowie die Qualitätsanforderungen der Gesellschaft und der Verbraucher an das Produkt direkt mit Produktionsmöglichkeiten zu verbinden« (Leibniz-Forschungsverbund o. J., S. 2), was letztlich ebenfalls einer nachhaltigeren Ausrichtung der landwirtschaftlichen Produktionssysteme zuträglich sein könnte.

Insofern ist die Aussicht auf die Möglichkeit, ökonomische, ökologische sowie gesellschaftliche Aspekte der Landwirtschaft mithilfe der Digitalisierung simultan optimieren zu können (Kasten 2.1) – und zwar ausgehend »vom realen Gesellschafts-/Kunden-/Marktinteresse« (Leibniz-Forschungsverbund o. J., S. 2) –,

6 Zum Vergleich: 2019 betrug die Bruttowertschöpfung (zu Herstellungspreisen) der deutschen Landwirtschaft ca. 22 Mrd. Euro (<https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/landwirtschaftliche-gesamtrechnung/>; 18.8.2021).



sicherlich eine Erklärung dafür, wieso das Thema »Digitalisierung der Landwirtschaft« derzeit eine derart große Anziehungskraft in Politik und Öffentlichkeit erfährt. Dies ist umso mehr der Fall, als eine intensivierete Landwirtschaft mit zahlreichen negativen Umweltwirkungen verbunden ist (UBA 2019a), die zunehmend im Fokus stehen.

Kasten 2.1 Agrarsysteme der Zukunft – das Projekt »DAKIS«

Um Lösungsansätze für eine zukünftig nachhaltige Agrarproduktion aufzuzeigen, startete das BMBF 2015 den Strategieprozess »Agrarsysteme der Zukunft«⁷, der schließlich in die gleichnamige Fördermaßnahme mündete (BMBF 2016). Ziel ist es, mithilfe »moderner Zukunftstechnologien [...] Konzepte für neuartige, ressourceneffiziente Agrarsysteme« zu entwickeln, die allen drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (Ökologie, Wirtschaft und Soziales) Rechnung tragen und insbesondere »vor- und nachgelagerte Wirtschaftsbereiche und die gesellschaftlichen Erwartungen an die Agrarproduktion« berücksichtigen (BMBF 2016). Eines der geförderten Vorhaben ist das vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V. (ZALF) koordinierte Projekt »DAKIS« (»Digitales Wissens- und Informationssystem für die Landwirtschaft«). Es soll in zwei landwirtschaftlich unterschiedlichen Testregionen – gelegen zum einen in der kleinstrukturierten Agrarlandschaft Niederbayerns, zum anderen in großbetrieblich geprägten Landkreisen Brandenburgs – Lösungsansätze für die Praxis entwickeln, um »Anbausysteme mithilfe von Robotik, Sensorik und Computermodellen ökonomisch effizienter und gleichzeitig ökologisch nachhaltiger« zu gestalten (ZALF 2019). Das BMBF stellt für »DAKIS« über einen Zeitraum von 5 Jahren insgesamt 7,4 Mio. Euro bereit (ZALF 2019). Das Projekt startete im April 2019; das Vorgehen wird wie folgt beschrieben:

»Zunächst wird ein Status quo der beiden Regionen ermittelt: Welche Versorgungsleistungen erbringt die Landwirtschaft aktuell, d.h., wie viel Nahrung für Mensch und Tier, wie viel nachwachsende Rohstoffe werden produziert? Welche regulierenden Leistungen sind vorhanden, z. B. Überflutungsgebiete, die Kapazitäten zur Freisetzung und Speicherung von Kohlenstoffdioxid oder auch die Bestäubungsleistung von Nutzpflanzen? Welche Tier- und Pflanzenarten leben in den Regionen und unter welchen Bedingungen? [...]

Parallel wird in beiden Testregionen ein drahtloses Sensornetzwerk aus statischen Sensoren und aus zum Teil autonom agierenden Robotern aufgebaut. Das System erfasst kontinuierlich wichtige Landschaftsparameter, etwa

⁷ <https://www.agrarsysteme-der-zukunft.de/en/home> (18.8.2021)

zur Bodenbeschaffenheit, zum Pflanzenbestand oder zu meteorologischen Daten und verknüpft es mit satellitengestützter Beobachtung. So können Veränderungen in der Landschaft kontinuierlich beobachtet und in das Entscheidungssystem rückgekoppelt werden.

Mithilfe dieser Daten sowie den gesellschaftlichen Anforderungen an die Landwirtschaft berechnen Computermodelle den auf die Region angepassten idealen landwirtschaftlichen Betrieb, der das Spannungsverhältnis zwischen Produktionsmaximierung, Ökosystemleistungen und technischer Umsetzbarkeit perfekt ausbalanciert. Die Modelle berücksichtigen betriebsökonomische Faktoren: DAKIS soll beispielsweise auch in der Planung von langfristigen Investitionen, wie etwa bei der Anschaffung von Beregnungsanlagen oder Landmaschinen, unterstützen. Gleichzeitig werden die Anbausysteme auf Wirtschaftlichkeit, etwa mit Blick auf die Witterungsbedingungen, untersucht. Der Einsatz von Ressourcen, wie Wasser, Dünger und Pestiziden, wird auf ein Minimum reduziert.

Gleichzeitig soll das System kleinflächige Bewirtschaftung, den sogenannten Patchanbau, ermöglichen. Mit diesem Wechsel im Anbausystem weg von immer größeren Feldern mit Monokulturen und tonnenschweren Landmaschinen hin zu kleineren und diverseren Feldeinheiten könnten zwei nachteiligen Entwicklungen begegnet werden: dem Rückgang der Artenvielfalt in Agrarlandschaften sowie dem sehr eingeschränkten Anbauportfolio. Dies führt mittelfristig dazu, dass bestimmte Nutzpflanzen aussterben, weil sie schlichtweg nicht mehr angebaut werden. Gleichzeitig entstehen durch die betriebsübergreifende Vernetzung in der Landwirtschaft mit DAKIS neue Möglichkeiten der Zusammenarbeit und Arbeitsteilung.«

Quelle: ZALF 2019

2.1.2 Stand und Voraussetzungen einer digital vernetzten Landwirtschaft

Aktuell steht die Entwicklung der digitalen Landwirtschaft noch fast am Anfang und es ist weitgehend unklar, inwieweit sich die damit verbundenen Zielsetzungen auch tatsächlich erreichen lassen. Zwar sind die technischen Voraussetzungen für die Präzisionslandwirtschaft überwiegend gegeben – dies hat der Überblick über die Technikfelder in Teil I gezeigt (TAB 2021) –, und ansatzweise ist auch Smart Farming bereits realisierbar; Befragungen (z. B. Bitkom et al. 2020; PwC 2016) lassen vermuten, dass die inzwischen zahlreich vorhandenen Farmmanagementsysteme zunehmend verbreitet sind, wenngleich diesbezüglich noch kein differenziertes, ausreichend klares Bild vorliegt (dazu im Detail Kap. 4.1.2). Doch auch wenn die Nutzung digitaler Einzellösungen sukzessive steigt, ist der tatsächliche Grad der Digitalisierung des Wissens und der Prozesse



»um die Einzelmaschinen herum« – also die interoperable Anbindung von betrieblichen Managementsystemen, von Softwareplattformen zur Erbringung datenbasierter Dienstleistungen, von Möglichkeiten der durchgängigen Dokumentation der Lebensmittelproduktion vom Saatgut bis auf den Teller etc. (Hertzberg et al. 2017, S. 6) – noch als eher gering einzuschätzen (Gindele/Doluschitz 2018).

Zwei Gründe dafür sind die hohe Komplexität und die Dynamik der Prozesse in der Landwirtschaft: Anders als in klassischen Industriebereichen hat man es hier mit offenen, lebenden Systemen und heterogenen, variablen Produktionsbedingungen zu tun, die sich nur in bedingtem Maße standardisieren und steuern lassen (Krombholz 2019, S. 241; Roosen 2017, S. 9). Landwirtschaftliche Betriebsabläufe sind aufgrund der Eigengesetzlichkeit natürlicher Systeme bestimmten Restriktionen unterworfen, die der Individualisierung und Flexibilisierung der Prozesse klare Grenzen setzt. So ist beispielsweise die Produktion im Pflanzenbau von der Aussaat bis zur Ernte weitgehend festgelegt und Fruchtfolgerestriktionen bedeuten Begrenzungen über das einzelne Anbaujahr hinaus. Ähnliches gilt für die tierische Produktion, die ebenfalls von langfristigen natürlichen Kreisläufen bestimmt ist. Aufgrund dieser Spezifika lassen sich Konzepte der Industrie 4.0 nicht einfach auf die Landwirtschaft übertragen, wie es teilweise suggeriert wird. Bei der Mehrheit der landwirtschaftlichen Produkte handelt es sich um Massenware, bei der wenige Möglichkeiten zur Differenzierung bestehen, deren Herstellung aber dennoch von vielfältigen, kaum kontrollierbaren Einflussfaktoren (wie Wetter und Klima, Bodenfruchtbarkeit, Schädlingen und Krankheiten etc.) bestimmt ist. Die datenbasierte Planung und Steuerung landwirtschaftlicher Prozesse bietet dadurch zwar vielversprechende Perspektiven, steht jedoch auch vor besonderen Herausforderungen (Kasten 2.2).

Kasten 2.2 Herausforderungen und Perspektiven der datenbasierten Steuerung landwirtschaftlicher Prozesse

Eine besondere Stärke der Digitalisierung landwirtschaftlicher Prozesse ist darin zu sehen, die gesammelten Daten für eine Optimierung der Feldbearbeitung, der ganzen Prozesskette bis hin zu Fruchtfolgen über Jahre hinweg verwenden zu können. Ein Beispiel sind Herbizide mit Langzeitwirkung, wie sie heutzutage im Maisanbau Verwendung finden, die jedoch mit gewissen Folgefrüchten wie der Zuckerrübe nicht verträglich sind (agrarheute 2015a). Eine mehrjährige Betrachtung ist u. a. auch in Bezug auf Langzeitauswirkungen der Bodenbefahrung in Hinblick auf Verdichtung, Erosion, Überweidung und Versalzung von großer Relevanz. Insbesondere die Einbeziehung externer Informationen wie Satelliten- und Wetterdaten sowie Prognosekarten über Ertrag und Reifegrad liefern neuartige Möglichkeiten, landwirtschaftliche Prozesse zu steuern, sogar über mehrere Jahre hinweg.

Datenbasierte Planungssysteme, die auf eine umfassende Steuerung gesamter Prozessketten abzielen, sind jedoch noch weit von der Produktreife entfernt, auch wenn erste Ansätze schon als spezialisierte Bausteine in Farmmanagementsysteme Eingang gefunden haben (Kap. 2.2.3). Ein zentrales Problem ist sicherlich die Komplexität der betrachteten Prozesse, insbesondere die Vielfalt und Vielschichtigkeit der Einflussfaktoren, was besondere Anforderungen sowohl an das Datenmaterial als auch die involvierten Expertensysteme stellt.

Planungssysteme, die nicht nur einzelne Maschinen betrachten, steuern und überwachen, sondern die gesamte Flotte oder gar Prozesskette, sind aktuell Themen diverser Forschungsvorhaben:

- > Das Projekt »SOILAssist«⁸ hat die »nachhaltige Sicherung und Verbesserung von Bodenfunktionen durch intelligente Landbewirtschaftung« zum Gegenstand. Es handelt sich um ein Projekt der BMBF-Förderinitiative »BonaRes«, die »Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie« von verschiedenen Seiten beleuchtet und nach eigener Darstellung das Ziel verfolgt, »die Leistungs- und Ertragsfähigkeit der Ressource Boden langfristig zu sichern und möglichst auch zu steigern«.⁹ Digitales Kartenmaterial über den A-priori-Zustand des Feldes vor der Befahrung soll zusammen mit einem Bodenmodell dazu genutzt werden, eine möglichst bodenschonende Bearbeitung des Feldes zu planen. Das Bodenmodell betrachtet prozessrelevante Parameter der beteiligten Maschinen wie Gewicht, maximale Beladung und Geschwindigkeit. Damit ist es möglich, die Ausführung der generierten Bearbeitungspläne zu simulieren, Vorhersagen über die Veränderung des Bodens durch die Feldbearbeitung zu treffen, zu evaluieren und auf diese Weise die optimale Befahrung zu berechnen sowie Handlungsempfehlungen an die Landwirtin/den Landwirt (wie etwa die Veränderung des Reifendrucks) auszusprechen oder gar automatisch durchzuführen.
- > Ein Beispiel für die großen Möglichkeiten, die eine umfassende Prozesskettensteuerung liefert, ist das vom BMEL geförderte Verbundprojekt »prospective.HARVEST« (Laufzeit: 2016–2019). Auf dessen Webseite wird das Ziel definiert, eine »Infrastruktur zur proaktiven Unterstützung landwirtschaftlicher Prozesse am Anwendungsbeispiel der Silomais-ernte [umzusetzen]. Der zentrale Baustein ist die Integration von Daten aus Quellen, die bereits gemeinhin verfügbar sind, aber bislang nicht oder nur in anderen Anwendungskontexten genutzt werden. [...] Sie werden erschlossen und den Akteuren in Form von komplementären

8 <https://www.soilassist.de/> (18.8.2021)

9 <https://www.bonares.de/home-de> (18.8.2021)



Diensten bereitgestellt«. ¹⁰ Mithilfe dieser Dienste soll es möglich werden, auf der Grundlage satellitengestützter Daten eine Planung der Feldbearbeitung einer ganzen Kampagne durchzuführen, angefangen mit der zeitlichen Abfolge der Schläge (basierend auf prognostizierten Reifezeitpunkten) über die detaillierte Bewegungsplanung auf dem Feld bis hin zu der prospektiven Ansteuerung der Maschine, also der vorausschauenden Einstellung von Maschinenparametern, aufbauend auf Ertragsprognosekarten des Feldes und dem geplanten Pfad. Letztendlich ist damit die Überwachung des gesamten Prozesses möglich, die nicht nur den jeweiligen Status quo berücksichtigt (wie: Gibt es aktuell signifikante Abweichungen von dem Plan?), sondern auch Vorhersagen darüber treffen kann, ob und wann zeitliche oder Ressourcenprobleme eventuell aufkommen werden.

- › Einen generelleren Ansatz der Prozesskettenoptimierung wurde mit dem vom BMBF geförderten Projekt »SOFiA« ¹¹ (»Smart Objects und Smart Finance Ansätze«; Laufzeit: 2015–2018) verfolgt: Das Vorhaben zielte auf die Optimierung der Prozessabwicklung in allgemeinen Wertschöpfungsnetzen ab und richtete sich damit zunächst einmal an Industrieanwendungen – ein Szenario beschreibt die Behandlung von Verzögerungen im Planungsablauf, wenn beispielsweise ein Seefrachtcontainer erst verspätet das Schiff erreicht. Ein Praxisbeispiel für eine Prozessoptimierung in der Landwirtschaft wurde von dem Projektpartner CLAAS beigesteuert. Hier sollte das entwickelte System Anwendung bei der »Flottensteuerung von Maschinen zur Ernte, zum Transport und Einlagerung von landwirtschaftlichen Rohstoffen« finden. Betrachtet wurde also ein ähnliches Szenario wie beim zuvor beschriebenen Projekt »prospective.HARVEST«.

Quelle: Hertzberg et al. 2017, S. 30 f.

Neben offenen Fragen der datenbasierten Prozesssteuerung sowie -gestaltung steht der Umsetzung einer Landwirtschaft 4.0 zudem im Wege, dass viele technische Grundvoraussetzungen bislang nicht oder nur unzureichend erfüllt sind (BMEL 2017a). Abgesehen von der teilweise noch mangelnden Praxisreife sowie dem unzureichenden Automatisierungsgrad digitaler Agrartechnologien (TAB

10 <https://www.prospectiveharvest.de/de/startseite.html> (18.8.2021). Die Daten, die in »prospective.HARVEST« verarbeitet werden, stammen aus Farmmanagementsystemen, den Maschinen selbst, öffentlichen Satellitenprogrammen (z. B. »Copernicus«) und unternehmensexternen Quellen (z. B. Ernteprognosen oder Abreifekarten, die den aktuellen Reifegrad der Pflanzen differenziert sichtbar machen [basierend z. B. auf Satellitenbildern]).

11 https://www.iml.fraunhofer.de/de/abteilungen/b2/supply_chain_engineering/forschungsprojekte/sofia.html (18.8.2021)



2021) betrifft dies vor allem verschiedene Rahmenbedingungen, die für die horizontale (Betrieb, Prozesse, Maschinen) sowie vertikale (Betrieb, Geschäftspartner, Umfeld) Vernetzung wesentlich sind (z. B. VDMA 2016). Dazu gehören erstens die digitale Infrastruktur (insbesondere leistungsfähige Internetversorgung), zweitens standardisierte Schnittstellen (z. B. ISOBUS) inklusive Datenformate für die Interoperabilität von Soft- und Hardware sowie drittens die Bereitstellung externer Datenbestände (Wetter-, Geo- und Satellitendaten etc.) – Aspekte, die im Folgenden genauer betrachtet werden sollen.

2.1.2.1 Kompatibilität: Schnittstellen und Standards

Grundlage der digitalen Landwirtschaft ist der automatisierte Informationsaustausch zwischen den verschiedenen involvierten Einzelgeräten, was auch als Machine-to-Machine-Vernetzung (M2M) bezeichnet wird (TAB 2017, S. 72 ff.). Aufgrund der Vielzahl von Herstellern für Landmaschinen und Anbaugeräte und deren üblicherweise heterogenen Zusammenstellung in landwirtschaftlichen Betrieben sind dafür zum einen herstellerübergreifende Maschineschnittstellen sowie zum anderen standardisierte Datenformate sowie Austauschprotokolle erforderlich (Hertzberg et al. 2017, S. 19). Die Voraussetzungen dafür sind derzeit jedoch nur unzureichend erfüllt: Hersteller von Soft- und Hardware haben üblicherweise kein gesteigertes Interesse an offenen Standards, da sie Kunden möglichst langfristig an sich binden möchten (Lock-in-Effekt). Auch bei vielen digitalen Anwendungen in der Landwirtschaft handelt es sich derzeit um Insellösungen, die »weder herstellerübergreifend kompatibel, noch vernetzbar« sind und damit »nur schwer in ein Gesamtkonzept integriert werden können« (365FarmNet 2017, S. 6).

Die mangelnde Kompatibilität von Daten und Schnittstellen gilt somit zu Recht als eine der zentralen Hürden für die Weiterentwicklung der digitalen Landwirtschaft (z. B. EIP-AGRI Focus Group 2015, S. 15 ff.). Das BMEL (2017b, S. 18) hält es deshalb für wichtig, »ein offenes System zu kreieren, das dem Zusammenspiel von Geräten unterschiedlicher Firmen auch im Rahmen der Digitalisierung und neuen technischen Entwicklungen Rechnung trägt«. Ein Meilenstein in diese Richtung ist der ISOBUS-Standard, der auf eine Initiative des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA) zurückgeht (Prankl 2006, S. 4; zum Folgenden Hertzberg et al. 2017, S. 19 f.). Ein Bus-System verbindet die verschiedenen elektronischen Komponenten eines Maschinensystems (Traktoren, Erntemaschinen etc.) mit einer zentralen Steuerungseinheit und sorgt für eine reibungslose Datenübertragung. Der ISOBUS wurde spezifisch für landwirtschaftliche Geräte entwickelt: Er definiert die Schnittstellen und die Übertragungstechnik zwischen Traktor und den verschiedenen Anbaugeräten auf Basis der internationalen ISO-Norm 11783, sodass sich kompatible



Geräte verschiedener Hersteller per Plug-and-play koppeln und über ein gemeinsames Terminal steuern lassen. Über das gemeinsame ISO-XML-Datenformat ist auch die Anbindung von kompatiblen Betriebsmanagementsystemen am Hof-PC möglich. Die ersten Anwendungen auf der Grundlage des Standards wurden im November 2001 auf der »Agritechnica« in Hannover vorgestellt. Seither hat sich der ISOBUS zu einem weltweit etablierten Standard entwickelt und einen Innovationsschub in der Landtechnik ausgelöst, da sich dadurch intelligent vernetzte und hochautomatisierte Maschinensysteme realisieren lassen.

Auch nach Einführung des ISOBUS-Standards ist das Problem mangelnder Maschinenkompatibilität allerdings noch nicht restlos gelöst: Zum einen besteht der landwirtschaftliche Fuhrpark in vielen Betrieben nach wie vor aus älteren nicht ISOBUS-fähigen Maschinen. Hier können Nachrüstlösungen Abhilfe schaffen (Kampschulte 2018). Zum anderen ist aber auch für ISOBUS-zertifizierte Geräte nicht garantiert, dass sie harmonisieren (Kritikos 2017, S. 12). Grund dafür ist, dass ein ISOBUS-System unterschiedliche Funktionalitäten und Ausstattungsoptionen bereitstellen kann, die bei den verschiedenen Produkten zusammenpassen müssen, damit ein funktionierendes Gesamtsystem entsteht. Hilfestellung bietet eine von der Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF) entwickelte Datenbank, die »Informationen zu Funktionalitäten und Kompatibilität von ISOBUS Produkten« verschiedener Hersteller bereithält.¹² Die AEF wurde 2008 gegründet, um die herstellerübergreifende Kompatibilität von elektronischen Komponenten sicherzustellen und den ISOBUS-Standard weiterzuentwickeln. Alle wichtigen Landtechnikhersteller Europas und Nordamerikas sind Mitglied (darunter der VDMA). In Deutschland wiederum nimmt sich das 2009 gegründete Competence Center ISOBUS e. V.¹³ der technischen Weiterentwicklung und Praxiseinführung des ISOBUS an.

Während die Standardisierung von Maschinenschnittstellen dank ISOBUS auf einem guten Wege scheint, stellen die oftmals inkompatiblen Datenformate noch eine große Herausforderung dar. Mit ISO-XML gibt es zwar ein Datenformat (basierend auf der ISO-Norm 11783), das den standardisierten Austausch von Daten zwischen ISOBUS-zertifizierten Landmaschinen und der Schlagkartei¹⁴ auf dem Hof-PC ermöglicht. Für die branchenübergreifende Datenkommunikation, also zwischen landwirtschaftlichen Betrieben, Behörden und weiteren Akteuren des Agribusiness, existieren jedoch noch keine etablierten Standards. Verschiedene Einrichtungen arbeiten hier jedoch an Lösungen.

12 <https://www.aef-online.org/de/produkte/aef-isobus-datenbank.html> (18.8.2021)

13 <https://www.cc-isobus.com/> (18.8.2021)

14 Ackerschlagkarteien zeigen als Stammdaten die Flächen des Betriebs, Maschinen und Betriebsmittel und ermöglichen die Anbauplanung und Buchung von Prozessen (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 19). Dabei werden Anbauverhältnisse, Saatgut- und Düngbedarf angezeigt. Über Buchungen werden durchzuführende Maßnahmen (etwa Düngungen) den Stammdaten und einer bestimmten Fläche zugeordnet. Über eine Eintragung der Erträge kann der finanzielle Erfolg abgebildet und dokumentiert werden (siehe auch top agrar online 2014).

Zu nennen ist insbesondere das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL 2007, S. 40 ff.), das bereits 2007 den Datenstandard agroXML vorgelegt hat, der einen einheitlichen und effizienten Datenaustausch im gesamten Agrarsektor sicherstellen soll. Nutzen lässt sich der Datenstandard beispielsweise zur Dokumentation von Maßnahmen im landwirtschaftlichen Betrieb.

Von der OPC-Foundation¹⁵, einer herstellerunabhängigen Non-Profit-Organisation, wurde der offene Kommunikationsstandard OPC-UA (Open Platform Communications Unified Architecture) entwickelt, der den standardisierten Datenaustausch von Maschinendaten und damit die digitale Vernetzung von Maschinen unterschiedlicher Hersteller ermöglichen soll. Der Standard gilt insbesondere für die Industrie-4.0-Kommunikation als wegweisend (VDMA/Fraunhofer IOSB-INA 2017), eignet sich prinzipiell aber auch für Anwendungen in der Landwirtschaft 4.0 (Oksanen et al. 2016).

An globalen Standards »für effiziente, unternehmensübergreifende Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette« arbeitet die GS1 Germany GmbH¹⁶. Tätigkeitsfelder des Unternehmens sind u. a. die Standardisierung von Barcodes sowie der RFID(Radio Frequency-Identification)-Technik. Im Landwirtschaftsbereich ist GS1 Germany an dem EU-Projekt »Internet of Food and Farm 2020«¹⁷ beteiligt, in welchem anhand verschiedener Fallstudien die Anwendung von Internet-of-Things-Technologien in der europäischen Land- und Ernährungswirtschaft untersucht wird. Dabei geht es u. a. »um die Rückverfolgbarkeit von Transportboxen« mithilfe des Datenaustauschformats EPCIS (Electronic Product Code Information Services) (GS1 Germany 2017).

Einen etwas anderen Weg als über einen einheitlichen Datenstandard geht die Digitale Kommunikation und Entwicklung DKE-Data GmbH. Sie hat die Datendrehscheibe »agrirouter«¹⁸ entwickelt, die einen sicheren und insbesondere produkt- und herstellerübergreifenden Datentransport zwischen geeigneten Maschinen- und Agrarsoftwareanwendungen bereitstellen soll (Hertzberg et al. 2017, S. 20 f.). Die Produkte verschiedener Landtechnikhersteller sowie Softwareanbieter sind bereits mit »agrirouter«¹⁹ kompatibel. Die Datendrehscheibe ist als zentrale Instanz mit allen am Datenaustausch beteiligten Partnern verbunden und ermöglicht die automatische Konvertierung unterschiedlicher Datenformate. Es handelt sich dabei um eine reine Datenaustauschplattform; die Daten selbst werden nicht gespeichert und die Nutzer/innen behalten damit die vollständige Datenkontrolle.

15 <https://opcfoundation.org/> (18.8.2021)

16 <https://www.gs1-germany.de/gs1-standards/> (18.8.2021)

17 <https://www.iof2020.eu/about> (18.8.2021)

18 <https://my-agrirouter.com/> (18.8.2021)

19 <https://my-agrirouter.com/agrirouter/marken/>; <https://my-agrirouter.com/marketplace/agrarsoftware/> (18.8.2021)



2.1.2.2 Digitale Infrastruktur

Zur weiteren Etablierung der Digitalisierung sind aus infrastruktureller Sicht mindestens zwei Aspekte relevant: zum ersten digitale Plattformen, welche die datenbasierte Interaktion zwischen verschiedenen Akteuren sowie die Aggregation und Weiterverarbeitung der Daten erlauben; zum zweiten eine flächendeckende sowie leistungsfähige Breitbandversorgung, um den kontinuierlichen Datenfluss zwischen den verschiedenen Diensten und Beteiligten sicherzustellen.

Digitale Plattformen

Oft ist im Zusammenhang mit der Digitalisierung von der »Plattformökonomie« die Rede (BMW 2017; Herda et al. 2018). Gemeint ist, dass ein maßgeblicher Teil der Wertschöpfung im digitalen Zeitalter auf Plattformen erzeugt wird. Diese fungieren als »Intermediäre«, welche die verschiedenen Marktakteure miteinander vernetzen und ganz neue Optionen der »Interaktion und Transaktion« eröffnen (BMW 2016, S.26; typische Beispiele sind Amazons Marketplace oder Airbnb). Außerdem ermöglichen sie, Daten unterschiedlicher Herkunft zu aggregieren, zu analysieren und auf dieser Basis neue datenbasierte Dienstleistungen zu generieren (sogenannte Smart Services; Acatech 2017).

Inzwischen gibt es auch in der Landwirtschaft sowie den vor- und nachgelagerten Bereichen eine wachsende Zahl von datenbasierten Plattformlösungen. Die meisten dieser Dienste stammen von kommerziellen Anbietern und sind auf einen relativ eng umrissenen Anwendungszweck zugeschnitten – etwa das Management betrieblicher Daten (sogenannte Farmmanagementsysteme; für einen Überblick Kap. 2.2.3), die Koordination logistischer Abläufe oder Telemetriesysteme, die u. a. der Überwachung landwirtschaftlicher Maschinen dienen. Oft handelt es sich dabei um proprietäre Insellösungen, die im Hinblick auf offene Schnittstellen nur unzureichend ausgestattet sind. Darüber hinaus ist bei vielen kommerziellen Diensten auch unklar, wer über die erhobenen Daten verfügen darf (zum Problem der Datenhoheit Kap. 2.2.2).

Deshalb werden Plattformen zur Vernetzung und zum Datenaustausch benötigt, die offene herstellerübergreifende Schnittstellen bieten und den Schutz und die Sicherheit der erhobenen Daten sicherstellen (Rotz et al. 2019a). Eine Möglichkeit wäre, staatlicherseits eine Datenplattform zu initiieren, die diese Zielsetzungen zu erfüllen vermag – zu den Anforderungen und der Realisierbarkeit einer entsprechenden »Agrarmasterplattform« führte das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering (Fraunhofer IESE 2020, S. 420) eine Machbarkeitsstudie durch. Darin kommt man zu dem Schluss, dass »die technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen für eine [solche] Plattform« grundsätzlich gegeben sind. Bereits sind etliche Projekte im Gange, die in eine sehr ähnliche Richtung weisen (zum Folgenden Hertzberg et al. 2017, S. 20).

In dem BMBF-Verbundprojekt »ODiL – Offene Software-Plattform für Dienstleistungsinnovationen in einem Wertschöpfungsnetz in der Landwirtschaft«; Laufzeit: 2016–2019) ging es um die Entwicklung einer offenen Dienstleistungsplattform zur »vernetzten und sicheren Repräsentation, Kommunikation und Bearbeitung von Daten und Diensten im Umfeld von Landwirtschaftsbetrieben« (DFKI o.J.).²⁰ Ziel war eine Open-Source-Plattform, die es »Akteuren der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette [ermöglichen soll], Anforderungen, Dienste und Daten gezielt zu teilen und sicher auszutauschen«. Ein besonderer Fokus lag auf der Schaffung einer dezentralen Architektur: Daten sollen nur direkt zwischen Prozessbeteiligten und nicht über eine zentrale Instanz kommuniziert werden. Außerdem sollen die Betriebs- und Prozessdaten im direkten Zugriff der/des jeweiligen Nutzerin/Nutzers von »ODiL« im eigenen geschützten Datenbereich gespeichert und erst nach ausdrücklicher Genehmigung freigegeben werden (z. B. Bauer et al. 2018).

Ein weiteres BMBF-Vorhaben war das im Mai 2019 abgeschlossene Projekt »Smart-Farming-Welt«, in welchem sich mit der Vernetzung von Elementen (Feldern/Schlägen sowie Maschinen) im Bereich der Landwirtschaft befasst wurde. Das Ziel bestand in der »herstellerübergreifenden Vernetzung von Maschinen im landwirtschaftlichen Pflanzenbau mithilfe einer Serviceplattform«. ²¹ Mittels intelligenter Systeme werden auf der Plattform »kontextsensitive Smart Services angeboten, die die Produktivität der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion erhöhen« sollen. Dabei werden auch externe Daten wie Wetter- oder Topologiedaten eingebunden.

Auch im vom BMEL geförderten Projekt »Smarte Daten, Smarte Dienste.«²² (Laufzeit: 2017–2020) wurde sich dem sicheren Umgang und der selektiven Freigabe von Daten innerhalb der Prozesskette gewidmet. Es setzte auf der zuvor genannten Datendrehscheibe des DKE auf. Ziel war die Entwicklung eines »offene[n] Ökosystem[s] mehrerer Software[k]omponenten, welches hersteller- und diensteübergreifenden Datenaustausch und Datenauswertung« erlauben

20 Als Forschungseinrichtungen waren das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, die Hochschule Osnabrück und die Universitäten aus Bonn, Osnabrück und Würzburg sowie das Competence Center ISOBUS e. V. und m2xpert als weitere Partner beteiligt.

21 <https://smart-farming-welt.de/> (18.8.2021). Konsortialführer war die FIR e.V. an der RWTH Aachen, die das Projekt zusammen mit CLAAS, der deutschen Telekom, dem DFKI, der Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG und der Logic Way GmbH durchführte.

22 <https://www.dfki.de/web/forschung/projekte-publicationen/projekte/projekt/sdsd/> (18.8.2021)



soll.²³ Neben der technischen Infrastruktur, bestehend aus Schnittstellen, Datenbankstruktur etc., sollten auch »ausgewählte Basis[d]ienste« zur Unterstützung landwirtschaftlicher Arbeitsprozesse implementiert werden und damit ein »Wissensmanagement für die Landwirtschaft« möglich machen (Sonnen 2019, S. 32).

Das Ende 2018 gestartete Projekt »GeoBox I« wird ebenfalls vom BMEL gefördert.²⁴ Geplant ist der Aufbau einer kostenlosen, dezentral aufgebauten Informations- und Kommunikationsinfrastruktur (vorerst in Rheinland-Pfalz als Pilotregion), die als Datendrehscheibe fungiert und betriebliche Daten mit öffentlichen Daten verknüpfen soll. Ein Fokus liegt auf der Bereitstellung wichtiger Geodaten. Neben der Entwicklung einheitlicher Datenstandards umfasst das Projekt auch die Implementierung von »individualisierte[n] Informations- und Beratungsdienste[n] zur umweltschonenden und ressourceneffizienten Pflanzenproduktion« (BMEL 2018f).

Die meisten der vorab beschriebenen Plattformen haben eine dezentrale Architektur. Das heißt, die Daten werden nicht auf einem zentralen Server gespeichert, sondern direkt zwischen beteiligten Akteuren getauscht. Dies hat den Vorteil, dass Nutzer/innen die Kontrolle über ihre Daten behalten und selbst entscheiden können, mit wem sie sie austauschen möchten.

Einen dezentralen Ansatz, jedoch ganz anderer Art, wird auch mit Blockchaintechnologien verfolgt, die in der Landwirtschaft ebenfalls an Bedeutung gewinnen. Als Blockchain wird ein Konzept bezeichnet, das Transaktionen fälschungssicher und anonymisiert durchführt. Bei jeder Transaktion wird ein neuer Block erzeugt und mittels digitaler Signaturen und kryptografischer Verfahren so mit den bestehenden Blöcken verknüpft, dass die entstehende Blockchain nachträglich nicht mehr veränderbar ist (TAB 2016, S. 2). Alle Informationen werden zudem in einem Peer-to-Peer-Netzwerk gespeichert, sodass keinerlei Daten auf zentralen Servern vorgehalten werden müssen. Dies senkt die Transaktionskosten, da keine Intermediäre wie z. B. Plattformanbieter involviert sind (Engelhardt et al. 2017, S. 13), und erhöht die Sicherheit und Transparenz, weil alle Transaktionsschritte lückenlos nachvollziehbar sind. Es ist allerdings nicht damit zu rechnen, dass die Blockchain digitale Plattformen überflüssig macht, wie teilweise vermutet wird. Dafür sind die Einsatzgebiete und

23 <http://sdsd-projekt.de/index.php> (18.8.2021). Das Projekt wird von einem breiten Konsortium getragen und von der Maschinenfabrik Bernard Krone GmbH angeführt. Weitere Partner sind die AGCO GmbH, das Competence Center ISOBUS e. V., die DKE-Data GmbH & Co KG, die Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co KG, die Same Deutz-Fahr Deutschland GmbH, die Hochschule Osnabrück sowie die Müller-Elektronik GmbH & Co KG.

24 <http://geobox-infrastruktur.de/> (18.8.2021). Durchgeführt wird das Projekt von dem Deutschen Forschungsinstitut für Künstliche Intelligenz, dem Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), der Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz, der TU Darmstadt sowie der expeer GmbH.



die Anforderungen der beiden Technologien zu unterschiedlich. Zu erwarten ist jedoch, dass sich die Konzepte in Zukunft besser ergänzen werden (Engelhardt et al. 2017, S. 14).

Bekanntheit erreichte die Blockchaintechnologie als Grundlage von Kryptowährungen wie Bitcoin. Die Einsatzmöglichkeiten reichen jedoch weit darüber hinaus. So ist ein möglicher Anwendungszweck die Absicherung und Dokumentation von Transaktionen in Wertschöpfungsketten: »Jede Ressource und jeder Prozess [werden] mithilfe der Blockchain dokumentiert und mit jedem einzelnen Produkt fest verknüpft. So ist exakt nachvollziehbar, transparent und abrufbar, welche Arbeitsschritte und Ressourceneinsätze wann erfolgt sind, bis hin zum Händler und Endverbraucher, der das Produkt gekauft hat (bei anonymer Identität in der Blockchain).« (Düring/Fisbeck 2017) Auf diese Weise bieten sich auch für die Landwirtschaft (und die vor- und nachgelagerten Bereiche) vielversprechende Perspektiven, insbesondere im Hinblick auf eines der zentralen Ziele der Landwirtschaft 4.0, die Rückverfolgbarkeit landwirtschaftlicher Produkte »vom Teller bis zum Acker« (Kap. 2.1.1; Pesce et al. 2019, S. 38 ff.).

Wie mittels Blockchain »transparente, vollständige und vertrauenswürdige Informationen entlang der Lieferkette« ausgetauscht werden können, will die Bundesregierung im Rahmen der 2019 verabschiedeten Blockchainstrategie genauer untersuchen (BMW/BMF 2019, S. 11).²⁵ Entsprechende Vorhaben werden bereits in der Praxis angewandt: Ende 2018 stellten die SELEGGT GmbH und das BMEL (2018e) ein neues Verfahren vor, das es ermöglicht, Eier mit männlichen Küken frühzeitig auszusortieren und so das Töten der Eintagsküken zu verhindern. Die Blockchaintechnologie wird anschließend dazu verwendet, die Herkunft von Eiern, die aus entsprechend ethischer Produktion stammen, lückenlos dokumentieren zu können – das Verfahren ist marktreif und SELEGGT-Eier sind in Berliner Rewe- und Penny-Märkten bereits erhältlich. Auch in anderen Ländern gibt es Bestrebungen, die Blockchaintechnologie für die Lebensmittelwertschöpfungskette nutzbar zu machen (Foods Standards Agency 2018; Trendov et al. 2019, S. 112 ff.).

Breitbandversorgung

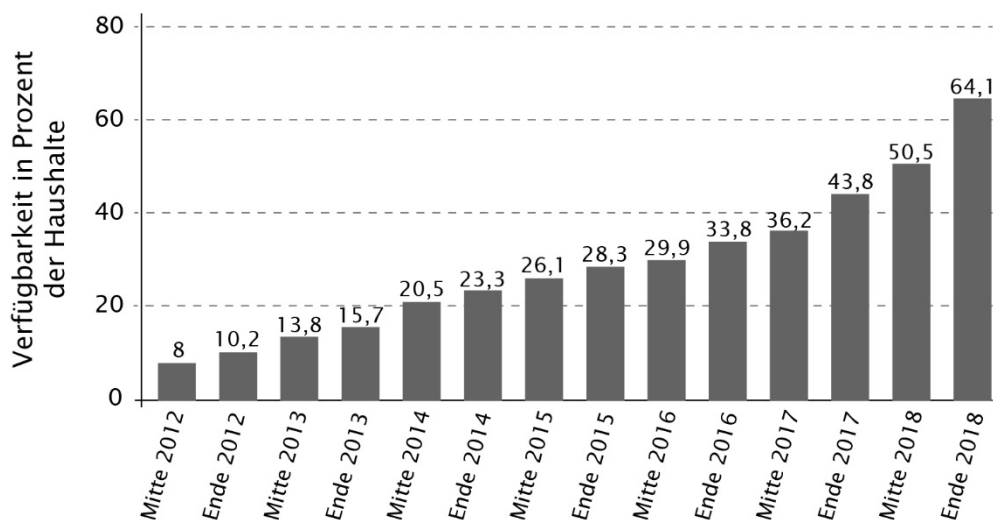
Während digitale Plattformen auch mit Blick auf die Landwirtschaft zentrale Treiber der Digitalisierung darstellen (zu den neu entstehenden Geschäftsmodellen Kap. 2.2.1), sind in Deutschland gegenwärtig die festnetzgebundene und

25 Unter anderem ist das Thema Blockchain Gegenstand des Verbundprojekts »Experimentierfeld zur datengetriebenen Vernetzung und Digitalisierung in der Landwirtschaft« (»EXPRESS«), das im Rahmen der sogenannten Experimentierfelder zur Digitalisierung der Landwirtschaft vom BMEL gefördert wird (Bundesregierung 2019a).



die mobile Netzversorgung des ländlichen Raums anerkanntermaßen unzureichend und zwar sowohl die Abdeckung als auch die Bandbreite betreffend. Laut Konjunkturbarometer Agrar sind 77 % der befragten Landwirt/innen mit der Internetversorgung ihrer Betriebe unzufrieden (Raiffeisen-Landbund 2018). Dies passt zu Daten des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI 2018a), dem die Zuständigkeit in der Bundesregierung für den Ausbau digitaler Infrastruktur obliegt. Demzufolge verfügten Ende 2018 ca. 64 % der Haushalte ländlicher Gemeinden²⁶ über schnelles Breitbandinternet (≥ 50 Mbit/s; drahtlos oder leitungsgebunden; Abb. 2.2). Dies ist zwar eine deutliche Steigerung gegenüber 2012, als es erst 8 % waren, verfehlt aber dennoch deutlich das selbstgesteckte Ziel der Bundesregierung (2014, S. 4), bis Ende 2018 eine flächendeckende Breitbandversorgung mit mindestens 50 Mbit/s zu gewährleisten.

Abb. 2.2 Verfügbarkeit von schnellem Breitbandinternet (≥ 50 Mbit/s) für Haushalte in ländlichen Gemeinden (Bevölkerungsdichte kleiner als 100 Einwohner pro km²) in Deutschland von 2012 bis 2018



Quelle: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/611766/umfrage/verfuegbarkeit-von-schnellem-internet-%25E2%2589%25A5-50mbit-s-in-laendlichen-gemeinden/>; BMVI 2018a

²⁶ Unter ländlichen Gemeinden werden Gemeinden mit einer Bevölkerungsdichte kleiner als 100 Einwohner/km² verstanden.



Wie der Blick auf den vom BMVI herausgegebenen Breitbandatlas zeigt, ist es besonders um die drahtlose Netzversorgung in der Fläche (per UMTS [Universal Mobile Telecommunication System] oder LTE) schlecht bestellt.²⁷ In konkreten Zahlen ausgedrückt hatten Ende 2018 deutschlandweit nur 6,6% der Haushalte drahtlosen Zugang zu Bandbreiten ≥ 16 Mbit/s (BMVI 2018a). Die Gründe dafür liegen u. a. darin, dass die Bereitstellung der Breitbandinfrastruktur vom Staat per Lizenz an private Telekommunikationsunternehmen übertragen wurde und gerade in ländlichen dünn besiedelten Regionen kaum wirtschaftliche Anreize für den Aufbau der erforderlichen Infrastruktur bestehen.

Praktisch alle Expert/innen sind sich einig, dass die mangelnde Mobilfunkversorgung in ländlichen Gebieten eine große Hürde für die Digitalisierung der Landwirtschaft darstellt (Bitkom 2016, S. 2 ff.; dazu und zum Folgenden Hertzberg et al. 2017, S. 18 f.). Denn innovative Anwendungen der digitalen Landwirtschaft setzen zunehmend voraus, dass Daten während des Betriebs kontinuierlich übertragen bzw. aktualisiert werden, z. B. um logistische Prozesse von Erntevorgängen in Echtzeit planen und anpassen zu können.²⁸ Dafür wird eine Funkverbindung der beteiligten Maschinen untereinander und zu der planenden Instanz (z. B. einer Maschine mit leistungsstarkem Rechner, einem Server auf dem Hof oder einem über eine Plattform bereitgestellten Onlineservice) benötigt. Während in Hofnähe ggf. noch eine WLAN-Verbindung genutzt werden kann, ist für den Onlinezugriff von auf dem Feld positionierten Anwendungen eine robuste und flächige Verfügbarkeit von leistungsfähigem mobilem Internet fast alternativlos. Eine stabile Mobilfunkverbindung wird zudem auch für die hochpräzise Ortung satellitengestützt navigierender Fahrzeuge im Rahmen der RTK (Real-Time-Kinematic)-Vermessung benötigt (Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung 2019; siehe auch TAB 2021, Kap. 3.1.1).

Den Ausbau des Mobilfunknetzes im ländlichen Raum bezüglich Abdeckung und Bandbreite zu beschleunigen, ist deshalb ein Vorhaben, das in der Politik unisono über alle Ebenen (Kreise, Länder, Bund, EU) und alle politischen Parteien hinweg gefordert wird. Die Bundesregierung hat sich in ihrer Digitalstrategie von 2018 das Ziel gesetzt, dass bis Ende 2025 »ganz Deutschland über gigabitfähige Netze versorgt wird« (Bundesregierung 2018c, S. 21). Bereits 2015 wurden Frequenzen aus dem bislang dem terrestrischen Rundfunk vorbehaltenen 700-MHz-Band versteigert und sollten bis Mitte 2019 sukzessive für den Mobilfunk verfügbar gemacht werden (Bundesnetzagentur 2013). Laut

27 <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Breitbandausbau/Breitbandatlas-Karte/start.html> (18.8.2021)

28 Die Alternative dazu sind Offlineanwendungen, die auf Daten zurückgreifen, die während der Ausführung nicht geändert oder aktualisiert werden müssen (Hertzberg et al. 2017, S. 18 f.). Wenn beispielsweise per Fernerkundung erstelltes Kartenmaterial als Datengrundlage für eine Feldbearbeitung genutzt werden soll, so können die Kartendaten vorab über eine Breitbandverbindung des Betriebs geladen und im Hofnetzwerk auf eine Landmaschine übertragen werden. Auf diese Weise wäre zum Zeitpunkt der Ausführung auf dem Schlag keine Onlineverbindung nötig.



Bundesregierung (2016, S. 2) ist dieses Vorhaben »ein wesentlicher Baustein dafür, schnellstmöglich eine leistungsfähige flächendeckende Versorgung mit schnellem Internet auch im ländlichen Raum zu gewährleisten« – allerdings scheint die Nutzung dieses Frequenzbandes durch die Telekommunikationsunternehmen bislang eher schleppend zu verlaufen (Sawall 2018b, 2019). Weitere große Hoffnungen werden in den 5G-Mobilfunkstandard gelegt, der Bandbreiten bis zu 10 Gbit/s ermöglichen soll – und dies bei geringerem Energieverbrauch pro übertragenem Bit sowie deutlich höherer Reaktionsgeschwindigkeit (Latenzzeit) als beim 4G-Netz.²⁹ Dem Aufbau eines 5G-Netzes wird deshalb für die perspektivische Entwicklung von Industrie 4.0 bzw. Landwirtschaft 4.0, die auf die gleichzeitige Vernetzung einer möglichst großen Zahl von Geräten abzielen (Internet der Dinge), eine eminent wichtige Bedeutung zugewiesen (BMVI 2017a).

Die Bundesregierung hat erklärt, Deutschland bis 2025 zum Leitmarkt für 5G entwickeln zu wollen (Bundesregierung 2019c, S. 10). Nachdem im Juni 2018 5G-Standards vom zuständigen Gremium Third Generation Partnership Project (3GPP) verabschiedet wurden (Sawall 2018a), fand in Deutschland von März bis Juni 2019 eine erste Versteigerung von 5G-Lizenzen durch die Bundesnetzagentur statt. Um eine ausreichende Versorgung mit dem neuen Mobilfunkstandard sicherzustellen, wurden an die Auktion bestimmte Auflagen geknüpft: So müssen erfolgreiche Bieter »bis Ende 2022 jeweils 98 % der Haushalte je Bundesland und alle Bundesautobahnen, die wichtigsten Bundesstraßen und Schienenwege mit mindestens 100 Mbit/s versorgen. Bis Ende 2024 sollen alle übrigen Bundesstraßen mit mindestens 100 Mbit/s, alle Landes- und Staatsstraßen, die Seehäfen und wichtigsten Wasserstraßen und alle übrigen Schienenwege mit mindestens 50 Mbit/s versorgt werden« (Bundesnetzagentur 2019a). Mit der flächendeckenden Versorgung des ländlichen Raumes mit Gigabitnetzen ist also vorerst nicht zu rechnen, auch deshalb nicht, da die versteigerten Frequenzen im 2-GHz- und 3,6-GHz-Band nur über kurze Reichweiten verfügen (Breitinger/Zacharakis 2019). Außerdem setzt der Aufbau eines 5G-Netzes ein leistungsfähiges Glasfasernetz voraus, an das die Mobilfunkstationen angeschlossen werden können (Digital-Gipfel 2017). Gerade beim Glasfaserausbau hinkt Deutschland mit einem Glasfaseranteil von 2,6 % (Stand 2019) an den Breitbandanschlüssen laut der Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)³⁰ im internationalen Vergleich aber weit hinterher und belegt damit bei den OECD-Staaten den sechstletzten Platz (Spitzenreiter Südkorea verfügt über einen Glasfaseranteil von 78,5 %).

Die Bundesregierung versucht deshalb mit verschiedenen begleitenden Maßnahmen, den Ausbau der Breitbandinfrastruktur voranzutreiben. Ziel ist es, »gemeinsam mit den Telekommunikationsunternehmen flächendeckend in

29 <https://www.informationszentrum-mobilfunk.de/technik/funktionsweise/5g> (18.8.2021)

30 www.oecd.org/internet/broadband/broadband-statistics-update.htm (18.8.2021)



2 Auf dem Weg zur digital vernetzten Landwirtschaft

Deutschland Gigabit-Netze zu schaffen« und überall dort politisch unterstützend einzugreifen, wo kein »marktgetriebener Ausbau stattfindet«:³¹

- › Im November 2019 wurde zu diesem Zweck von den Koalitionsfraktionen die Mobilfunkstrategie beschlossen. Deren Herzstück ist die Gründung einer Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft des Bundes, »mit der die öffentliche Hand erstmalig durch eigenes Engagement Defizite beim Mobilfunknetzausbau beseitigen und den Bau eigener Mobilfunkmasten beauftragen kann« (CDU/CSU/SPD 2019). Außerdem wird u. a. auch der Aufbau lokaler 5G-Netze »zur Eigennutzung durch landwirtschaftliche Betriebe« speziell gefördert (BMVI 2019, S. 42).³²
- › Weiterhin hat die Bundesregierung 2016 das Gesetz zur Erleichterung des Ausbaus digitaler Hochgeschwindigkeitsnetze (DigiNetzG) beschlossen. Es soll den »Weg für eine neue Dynamik beim Ausbau von Glasfaserkabeln« frei machen, indem bei allen öffentlich (teil)finanzierten Bauarbeiten (Verkehrswege, Erschließung von Neubaugebieten etc.) die Pflicht besteht, Glasfaserkabel mitzulegen.³³ Außerdem sollen, so sieht es das DigiNetzG vor, beim öffentlich geförderten Netzausbau eines Anbieters andere ihre Glasfaserkabel mitverlegen können.³⁴
- › Zudem wurde bereits 2015 vom BMVI (2018b) das Breitbandförderprogramm initiiert, das 2018 neu aufgelegt wurde. Kommunen, die bislang nicht an schnelles Internet angeschlossen sind, können nun auf Antrag mit bis zu 30 Mio. Euro beim Glasfaserausbau unterstützt werden.

Eine Ergänzung zum Glasfaserausbau, um Gemeinden in strukturschwachen Gebieten mit schnellem Internet zu versorgen, stellt die Satellitenkommunikation dar. Erforderlich ist dafür vor Ort der Aufbau einer Empfangs- und Sendetechnik, was in der Regel mit höheren Kosten verbunden ist – diese Möglichkeit wird in Deutschland bislang nur vereinzelt genutzt (Hofmann et al. 2018). Eine kostengünstige Alternative, die zwar nicht für den Breitbandausbau zur Verfügung steht, aber immerhin die kabellose Vernetzung von Geräten sicherstellen

31 <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Breitbandausbau/Breitbandfoerderung/breitbandfoerderung.html> (18.8.2021)

32 Neben den Frequenzen, die für die etablierten Netzbetreiber reserviert sind, stellt die Bundesnetzagentur für den Aufbau lokaler, nicht öffentlicher Industrienetze den Frequenzbereich von 3,7 bis 3,8 GHz zur Verfügung. Die Frequenzen werden Antragsstellern gegen Gebühr zugeteilt, sie können »insbesondere für Industrie 4.0, aber auch die Land- und Forstwirtschaft eingesetzt werden« (Bundesnetzagentur 2019b).

33 <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/diginetz-gesetz.html> (18.8.2021)

34 Dies führte zu Protesten verschiedener Verbände, da davon kontraproduktive Effekte befürchtet werden (Sawall 2018a). Denn dass Konkurrenten die Möglichkeit eingeräumt wird, bei Ausbauvorhaben in wirtschaftlich unattraktiven Gebieten ihre eigene Glasfaserinfrastruktur mitzulegen, könnte die Investitionsanreize tendenziell schwächen, statt sie zu fördern (Briegleb 2018). Die Bundesregierung (2018a) hat deshalb das DigiNetzG 2019 novelliert und u. a. um eine Klausel ergänzt, die den Überbau eines bereits geplanten und öffentlich geförderten Glasfasernetzes für unzumutbar erklärt.



kann, ist die Bluetoothtechnologie. Mit dem neuesten Standard Bluetooth 5 lassen sich viele verschiedene Geräte gleichzeitig miteinander vernetzen (sogenannte Meshvernetzung; z. B. Woolley 2018) – bei höherer Reichweite (bis ca. 200 m) und Bandbreite –, womit die Technik für Industrie-/Landwirtschaft-4.0-Anwendungen vielversprechende Perspektiven eröffnet. Attraktiv an Bluetooth ist zudem, dass sich auch ältere, eigentlich nicht kommunikationsfähige Geräte mit Bluetoothsendern (Beacons) nachrüsten lassen und damit, wenn auch in begrenztem Umfang, digital vernetzt werden können.

2.1.2.3 Bereitstellung externer Daten

Bei den Daten, die für den Betrieb von digitalen landwirtschaftlichen Anwendungen benötigt werden, gehören neben den betrieblichen Maschinen- und Prozessdaten (wie z. B. zu Erträgen, zu Nährstoffgehalten des Bodens, zur Tiergesundheit) zu einem beträchtlichen Anteil auch solche, die aus externen Quellen stammen (BMEL 2017b, S. 8). Öffentlich oder im öffentlichen Auftrag erhobene Daten spielen dabei eine große Rolle. Zu den wichtigsten zählen Wetter-, Satelliten- sowie Geodaten.

Wetterdaten

Möglichst aktuelle und spezifische agrarmeteorologische Daten (zu Temperatur, Wind, Niederschlag, Bodenfeuchte etc.) sind für die Landwirtschaft unerlässlich, um Klima- und Witterungsbedingungen frühzeitig einschätzen, landwirtschaftliche Aktivitäten (Bewässerung, Pflanzenschutz, Ernte, Düngung, Aussaat etc.) optimal planen und im Falle drohender Extremwetterereignisse Schutzmaßnahmen ergreifen zu können. In Deutschland ist der Deutsche Wetterdienst (DWD) als Bundesbehörde für die Erbringung meteorologischer und klimatologischer Dienstleistungen zuständig. Die rechtliche Grundlage dafür bildet das DWD-Gesetz (DWDG)³⁵, das im Juli 2017 novelliert wurde. Seither ist der DWD verpflichtet, »seine Wetter- und Klimainformationen weitgehend entgeltfrei zur Verfügung [zu] stellen« (DWD 2017).

Seit Februar 2019 stellt der DWD den Ländern über das Portal »ISABEL«³⁶ (Informationssystem für die Agrarmeteorologische Beratung der Landwirtschaft) eine Reihe von agrarmeteorologischen Daten kostenfrei zur Verfügung. Dies umfasst ortsbezogene Angaben zu Lufttemperaturen, Niederschlag und Verdunstung, Gesamtschneehöhe, klimatische Wasserbilanz, relative Luftfeuchtigkeit, Sonnenscheindauer, Windrichtung und -geschwindigkeit sowie

35 Gesetz über den Deutschen Wetterdienst (DWD-Gesetz – DWDG)

36 <https://isabel.dwd.de/cae/servlet/path/common/LoginPages?view=renderLogin>
(18.8.2021)



ein Wettervorhersage- und Agrarhinweistext. Zusätzlich sind ergänzende Informationen zu den Bereichen Pflanzenbau, Pflanzenschutz, Grünland, Winteraps, Getreide, Zuckerrüben, Mais, Kartoffeln, Obstbau, Forstwirtschaft und Tierhaltung verfügbar.³⁷ Die Länder dürfen diese Informationen kostenlos an die Landwirt/innen weitergeben. Die über »ISABEL« verfügbaren agrarmeteorologischen Daten stammen von den Wetterstationen des DWD, die über die gesamte Bundesrepublik verteilt sind. Dazu gehören 182 hauptamtliche Wetterwarten, Flugwetterwarten und Wetterstationen, 1744 nebenamtliche Wetter- und Niederschlagsstationen sowie 1.088 phänologische Beobachtungsstellen zur Aufzeichnung von Vegetationsstadien (DWD 2019). Obwohl der DWD über ein flächendeckendes Messnetz verfügt, ist die Zahl der Wetterstationen kaum ausreichend, um agrarmeteorologische Informationen für ganz Deutschland in ausreichender lokaler Differenzierung zur Verfügung stellen zu können. Verschiedene Landesbehörden betreiben deshalb ergänzend zum DWD eigene agrarmeteorologische Messnetze, so z. B. das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie³⁸ oder die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.³⁹

Satellitendaten

Satelliten sind nicht nur für die Ortung und Navigation bei Landmaschinen (TAB 2021, Kap. 3.1.1) sowie für die Wetterbeobachtung von eminenter Bedeutung, sondern liefern darüber hinaus Erdbeobachtungsdaten in hochaufgelöster Form, die auch für die Landwirtschaft von großem Nutzen sind. Hinsichtlich der zugrundeliegenden Fernerkundungstechnologie ist dabei im Wesentlichen zu unterscheiden zwischen optischen Systemen und Radarsystemen:⁴⁰

- › Optische Systeme zeichnen die von Objekten auf der Erdoberfläche ausgestrahlte bzw. reflektierte elektromagnetische Strahlung auf (vom nahen UV-Bereich über das sichtbare Licht bis zur thermalen Infrarotstrahlung). Da sie zu den passiven Systemen gehören, also über keine eigene Strahlungsquelle verfügen, sind sie auf geeignete Licht- und Wetterverhältnisse angewiesen. Von besonderer Bedeutung für die Landwirtschaft sind Hyperspektralsensoren, welche die spektrale Differenzierung des rückgestreuten Lichts detailliert erfassen. Damit lassen sich z. B. Biomassegehalte von Objekten sowie der Stickstoffgehalt in Böden und Pflanzen abschätzen.
- › Radarsysteme senden Strahlung im Mikrowellenbereich aus und messen das von der Erdoberfläche reflektierte Signal, aus dem sich Informationen

37 <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/7/action/isabel.html> (18.8.2021)

38 <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/Wetter09/asp/inhalt.asp?seite=uebersicht> (18.8.2021)

39 <https://www.lfl.bayern.de/service/agrarwetter/204408/index.php> (18.8.2021)

40 Zu den technischen Grundlagen TAB 2012a, S. 43 ff.



über Bodenbeschaffenheit, Vegetation oder Topographie ableiten lassen. Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens ist, dass es unabhängig von natürlichen Strahlungsquellen ist und somit zu jeder Tages- und Nachtzeit sowie auch bei starker Bewölkung hochaufgelöste Daten liefern kann.

Fast alle Industriestaaten, viele Privatunternehmen und auch zahlreiche Forschungseinrichtungen betreiben eigene Fernerkundungssysteme für verschiedene Anwendungszwecke (Navigations- und Kommunikationsdienste, Erdbeobachtung etc.). Für die Landwirtschaft in Deutschland von besonderer Bedeutung ist das Erdbeobachtungsprogramm »Copernicus«, das 1998 von der Europäischen Kommission zusammen mit der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) ins Leben gerufen wurde.⁴¹ Es stellt – basierend auf den Beobachtungssatelliten »Sentinel« – über verschiedene Kerndienste u. a. »Datenprodukte zum Monitoring der Landoberfläche und von Binnengewässern« sowie »Daten und Produkte zur Überwachung, Vorhersage und Projektion des Klimawandels« bereit.⁴² Seit 2013 sind die Daten von »Copernicus« kostenfrei und offen zugänglich und stehen somit grundsätzlich auch für landwirtschaftliche Zwecke zur Verfügung. Die Missionen von »Sentinel« liefern zeitlich sowie räumlich hochaufgelöste Informationen z. B. »zu Nutzungsart und -intensität (Grasland und Ackerland), angebauten Feldfrüchten, Bewässerung und Wasserbedarf, Pflanzenzustand, Bodeneigenschaften, Ernteabschätzungen, Agro(bio)diversität, sowie zur frühzeitigen Erkennung von Risiken und Umweltschäden« (Dittus 2019).

Um Interessierten einen möglichst unkomplizierten Zugang zu dem riesigen Datenpool zu eröffnen, hat das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR 2017a) im Auftrag des BMVI 2017 die nationale Plattform »CODE-DE« (Copernicus Data and Exploitation Platform – Deutschland)⁴³ freigeschaltet, über die »Copernicus«-Daten einfach und schnell zugänglich sind. Dies entspricht dem Ziel der Bundesregierung (2017), wie in der »Copernicus«-Strategie⁴⁴ von 2017 dargelegt, sich bei der Umsetzung des »Copernicus«-Programms eng am konkreten Bedarf auszurichten und in Deutschland eine möglichst

41 Aus landwirtschaftlicher Sicht erwähnenswert sind außerdem noch folgende nationalen Erdbeobachtungsmissionen: Die Radarsatelliten »TerraSar-X« (seit 2008) sowie »TANDEM-X« (seit 2010), die beide ein Gespann bilden und u. a. für die hochpräzise Kartierung von »Waldflächen, die Erstellung und regelmäßige Aktualisierung von Landnutzungskarten, die Erfassung von Feldfruchtarten auf landwirtschaftlich genutzten Flächen« genutzt werden können (DLR 2009, S. 15); in Planung befinden sich zudem die Missionen »Tandem-L« zur Erfassung dynamischer Prozesse der Erdoberfläche (Bodenfeuchte, Biomasse; vorgesehener Start 2024; DLR 2018) und der Hyperspektralsatellit »EnMap«, der »spektral hochaufgelöste Daten« liefern soll, aus denen sich z. B. »frühzeitig Aussagen über Pflanzenkrankheiten« ableiten lassen (vorgesehener Start 2020; Dittus 2019).

42 <https://www.d-copernicus.de/daten/fernerkundungsdienste/copernicus-kerndienste/landueberwachung/> (18.8.2021)

43 <https://code-de.org/> (18.8.2021)

44 <https://www.d-copernicus.de/programm/copernicus-strategie-der-bundesregierung/> (18.8.2021)



breite wirtschaftliche Nutzung zu ermöglichen. Fernerkundungsdaten lassen sich grundsätzlich aber auch für diverse staatliche Zwecke wie agrarstatistische Erhebungen (z. B. bei der Ernte, Arnold/Kleine 2017) oder die Kontrolle von EU-Agrarzahlungen einsetzen (Deter 2018b). Um den entsprechenden Informationsbedarf von Ministerien und Behörden zu unterstützen, wurde am Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, das Forschungszentrum für landwirtschaftliche Fernerkundung eingerichtet.⁴⁵

Damit Fernerkundungsdaten für landwirtschaftliche Anwendungen nutzbar sind, müssen die Rohdaten bereinigt und ausgewertet, in geeigneter Form aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden. Aufgrund der Komplexität der Daten und der Dateninterpretation übernehmen diese Aufgabe in der Regel spezialisierte Dienstleister (Kasten 2.3).

Kasten 2.3 Satellitendaten: Dienstleistungen für die Landwirtschaft

Verschiedene Dienstleister entwickeln auf Basis von Satellitendaten innovative und einfach nutzbare Produkte für unterschiedliche landwirtschaftliche Anwendungszwecke. Die folgende Liste gibt einen Überblick über einige Forschungsprojekte und kommerzielle Anwendungen in diesem Bereich:

Der Service »Talking-Fields« der Vista GmbH umfasst verschiedene kommerzielle Produkte, die es Landwirt/innen ermöglichen sollen, die aktuelle Biomasse und den Chlorophyllgehalt einer landwirtschaftlichen Fläche zu quantifizieren und daraus verschiedene Informationen abzuleiten (Analyse der Ertragspotenziale, Vitalität eines Standortes etc.). Der Dienst basiert primär auf der Auswertung von »Copernicus«-Daten.⁴⁶

Bei »Geo-Care« (»Geoinformationstechnologie für landwirtschaftlichen Ressourcenschutz und Risikomanagement«) handelte es sich um ein BMEL-gefördertes Forschungsprojekt unter Leitung der GAF AG (Laufzeit: 2016–2019). Ziel war »die Entwicklung eines Verfahrens zur flächendeckenden Ertrags- und Qualitätsabschätzung im Grünland« mithilfe von Radarsatellitendaten des »Copernicus«-Programms. Die resultierenden Informationen könnten dabei helfen, die optimalen Zeitpunkte für Düngung und Mahd besser einzuschätzen.⁴⁷

Die US-Firma Planet hat ein umfangreiches Netz eigener Kleinsatelliten aufgebaut, die eine kontinuierliche Überwachung der Erdoberfläche mit einer Auflösung von 3 bis 5 m erlauben. Die erhobenen Daten stehen auch für landwirtschaftliche Anwendungszwecke bereit und sind beispielsweise für

45 Für eine Auflistung von Projekten <https://flf.julius-kuehn.de/projekte.html> (18.8.2021).

46 Weitere Informationen unter <https://www.talkingfields.de> (18.8.2021).

47 <https://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/148995/index.php> (24.2.2020)



ein tagesaktuelles Wachstumsmonitoring nutzbar. Seit 2019 kooperiert Planet mit BASF und stellt seine Satellitendaten der BASF-eigenen Farmingplattform »Xarvio« zur Verfügung (BASF 2018a).⁴⁸

»SARfields« ist ein 2017 abgeschlossenes Projekt unter Leitung der Spatial Business Integration GmbH (SBI GmbH). Ziel war die Entwicklung eines Verfahrens, um Radaraufnahmen für die Messung der Bodenfeuchte landwirtschaftlicher Fläche verwertbar zu machen. Die genaue Kenntnis der Bodenfeuchte ist z.B. für die Planung der Aussaat von Bedeutung. Die SBI GmbH stellt darüber hinaus weitere satellitenbasierte Angebote für die Landwirtschaft bereit.⁴⁹

Mit dem Projekt »AGRO-DE« unter Leitung des Julius Kühn-Instituts und gefördert durch das BMEL soll »ein Daten- und Auswertungscluster geschaffen werden, welches landwirtschaftlichen Betrieben, Berater/innen, Lohnunternehmer/innen und Service Providern ermöglicht, vorverarbeitete Fernerkundungsinformationen zeitnah nutzen zu können und in ihre Betriebsabläufe zu integrieren«. Die Produkte sind weitgehend kostenlos nutzbar und sollen insbesondere »kleinstrukturierte Betriebe und Betriebe mit ökologischem Landbau ansprechen«.⁵⁰

Das Projekt »Sen2-Agri« der ESA hat zum Ziel, »den Nutzen der »Sentinel-2«-Mission für den landwirtschaftlichen Bereich anhand einer Reihe von Nutzpflanzen und landwirtschaftlichen Praktiken aufzuzeigen« und Anwender/innen validierte, frei verfügbare Algorithmen für die Verarbeitung der »Sentinel-2«-Daten an die Hand zu geben.⁵¹

Quelle: DLR 2017b

Auch zahlreiche kommerzielle Anbieter von Farmmanagementsystemen bieten aufbereitete Satellitendaten über ihre Dienste an und machen sie damit für landwirtschaftliche Betriebe einfach nutzbar (Kap. 2.2.3). Um die branchenübergreifende Vernetzung relevanter Akteure aus den Bereichen Raumfahrt und Landwirtschaft sowie die Identifizierung neuer Kommerzialisierungspotenziale voranzutreiben, wurde vom Raumfahrtmanagement des DLR – als Bestandteil des Nationalen Programms für Weltraum und Innovation des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie sowie im Rahmen der Initiative »INNOspace« des DLR – das »INNOspace«-Netzwerk »Space2Agriculture«⁵² gegründet.

48 Weitere Informationen unter <https://www.planet.com/markets/monitoring-for-precision-agriculture/> (18.8.2021).

49 Weitere Informationen unter <https://www.spatial-business-integration.com/13418/> (24.2.2020).

50 Weitere Informationen unter <https://agro-de.info/> (18.8.2021).

51 Weitere Informationen unter www.esa-sen2agri.org/ (18.8.2021).

52 <https://www.space2agriculture.de/> (18.8.2021)



Amtliche Geodaten

Unabdingbare Grundlage für die Durchführung von Maßnahmen der Präzisionslandwirtschaft ist die Verfügbarkeit von möglichst detaillierten raumbezogenen Informationen in digitaler Form – sogenannten Geodaten (KTBL 2007). Zu den Geodaten zählen zum einen Fachdaten wie die bereits erwähnten Wetter- sowie Fernerkundungsdaten, zum anderen amtliche Verwaltungsdaten, die für die Landwirtschaft wertvolle Informationen enthalten – zu Flurstücken, Nutzungen und Gebäuden (Katasterdaten), zur Topografie (digitale Geländemodelle), zum Wegenetz sowie zu Gewässer- und Saumstrukturen (z. B. Bitkom 2016, S. 6). Den essenziellen Raumbezug stellen dabei die Geobasisdaten her (digitale Orthofotos, topografische Karten; z. B. KTBL 2007, S. 18), die von den Vermessungsämtern bereitgestellt werden und als Basis für die Georeferenzierung dienen (BMEL 2017b, S. 33).⁵³

Diese vielfältigen Datenbestände gilt es in einem standardisierten und maschinenlesbaren Format anzubieten, damit sie für Anwendungen der Präzisionslandwirtschaft nutzbar sind. Eine wichtige Grundlage dafür ist die Richtlinie 2007/2/EG⁵⁴ von 2007, die alle Mitgliedsländer der EU verpflichtet, bis 2021 Geodaten zu bestimmten Themen – etwa Flur- bzw. Grundstücke, Verkehrs- und Gewässernetze, Schutzgebiete, Bodennutzung, landwirtschaftliche Anlagen und Aquakulturanlagen etc. – in einem einheitlichen, interoperablen Format über Internetdienste bereitzustellen. Ziel ist die Schaffung einer einheitlichen europäischen Geodateninfrastruktur und dadurch, so eine Informationsbrochure der Koordinierungsstelle GDI-DE (2016) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, »die grenzübergreifende Nutzung von Geodaten in Europa [...], insbesondere um gemeinschaftliche umweltpolitische Entscheidungen zu unterstützen«. Die Umsetzung der Richtlinie 2007/2/EG in deutsches Recht erfolgte 2009 mit dem Geodatenzugangsgesetz (GeoZG)⁵⁵, womit auch in Deutschland eine Geodateninfrastruktur (GDI-DE) aufgebaut wurde. Sowohl vonseiten des Bundes als auch der Bundesländer wurden Geoportale aufgebaut, über die INSPIRE-relevante Daten in strukturierter Form abgerufen werden können. Ein Beispiel für die erfolgreiche Harmonisierung von Geodaten mit großer landwirtschaftlicher Bedeutung ist das amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS), das die Grunddaten des amtlichen Liegenschaftskatasters bundesweit vereinheitlicht.

Damit in engem Zusammenhang stehen die politischen Bemühungen, Verwaltungsdaten (darunter auch alle amtlichen Geodaten) als Open Data für die Allgemeinheit freizugeben – möglichst in maschinenlesbarem Format und ohne

53 www.geoinformatik.uni-rostock.de/einzel.asp?ID=756 (18.8.2021)

54 Richtlinie 2007/2/EG zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE)

55 Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten (Geodatenzugangsgesetz – GeoZG)



einschränkende Nutzungslizenzen.⁵⁶ Hintergrund bilden die Open-Data-Charta des G8-Gipfels von 2013 und der entsprechende nationale Umsetzungsplan der Bundesregierung (BMI 2014), im Zuge dessen in Deutschland 2017 das Erste Gesetz zur Änderung des E-Government-Gesetzes verabschiedet wurde. Es verpflichtet die Behörden der unmittelbaren Bundesverwaltung, ihre Rohdaten soweit möglich unentgeltlich, frei und maschinenlesbar zu veröffentlichen.⁵⁷

Laut BMEL (2017b, S. 33) liegt in der öffentlichen Verwaltung ein »Daten-schatz« mit vielfach noch unerschlossenem Nutzungspotenzial, das weit über den Zweck hinausgeht, für den sie erhoben wurden«. In einer Studie im Auftrag der Konrad-Adenauer-Stiftung (Dapp et al. 2016) wurde der gesamte volkswirtschaftliche Mehrwert der freien Verfügbarkeit von Verwaltungsdaten bestenfalls auf bis zu 131 Mrd. Euro pro Jahr beziffert.⁵⁸ Die Landwirtschaft würde in besonderem Maße profitieren, da die Bereitstellung von amtlichen Geodaten einer der wichtigsten Treibstoffe für die Entwicklung innovativer digitaler Applikationen ist. Seit geraumer Zeit wird deshalb von verschiedenen Verbänden mit Blick auf die Landwirtschaft immer wieder angemahnt, die Aktivitäten im Bereich Open Data weiter voranzutreiben (Bitkom 2016, S. 5 ff.; DBV 2016, S. 2; DLG 2018a, S. 10). Im Fokus stehen dabei besonders die Länder und Kommunen, da diese für die Landesvermessung und damit die Veröffentlichung der grundlegenden Geobasisdaten zuständig sind. Während alle Geodaten des Bundes seit der Novellierung des GeoZG vom 7. November 2012 als Open Data verfügbar sind, haben bislang erst vier Bundesländer (Berlin, Hamburg, Nordrhein-Westfalen und Thüringen) ihre umfangreichen Geodatenbestände vollumfänglich freigegeben (Stand Mitte 2018); in anderen sind die Datenbestände nicht entgeltfrei oder teilweise gar nicht verfügbar (Tab. 2.1). Ein Beispiel für die föderale Zersplitterung ist etwa die heterogene Handhabung des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung (SAPOS; TAB 2021, Kap. 3.1.1), der in einigen Bundesländern kostenlos verfügbar, in anderen jedoch weiterhin kostenpflichtig ist (Bundesregierung 2018b).

Wichtig für die Nutzbarkeit von Geodaten in der Landwirtschaft ist allerdings nicht nur deren freie Verfügbarkeit. Von zentraler Bedeutung ist vor al-

56 Gemäß BMI (2014, S. 5) »bezeichnet der Begriff »Open (Government) Data« – oder offene (Regierungs- und Verwaltungs-)Daten – bestehende Datenbestände, die in der Regel in Form von Rohdaten zur Nutzung, insbesondere zur Weiterverwendung und Weiterverbreitung, öffentlich bereitgestellt werden. Ausgeklammert sind von vornherein – auch nach internationalen Definitionen – datenschutz- und sicherheitsrelevante Daten«.

57 <https://www.bmi.bund.de/DE/themen/moderne-verwaltung/open-government/open-data/open-data-node.html> (18.8.2021)

58 Diese Zahl bezieht sich nicht nur auf den landwirtschaftlichen Bereich, sondern umfasst das volkswirtschaftliche Gesamtpotenzial von Open Data in Deutschland, das bis 2026 maximal realisierbar erscheint. Voraussetzung wäre, dass es Deutschland gelingt, »zur weltweit führende[n] Open-Data-Nation zu werden« (Dapp et al. 2016, S. 10). Die konservative Schätzung der Konrad-Adenauer-Stiftung beläuft sich auf ein Wertschöpfungspotenzial von 12,1 Mrd. Euro.

lem auch eine nutzerfreundliche, möglichst gebündelte Bereitstellung in bestmöglicher Qualität über eine standardisierte Datenbank. Hier sticht besonders Rheinland-Pfalz hervor, das landwirtschaftlichen Betrieben seit 2015 als erstes Bundesland seine amtlichen Geobasis- und Geofachdaten über eine zentrale Internetplattform kostenlos anbietet – abrufen lassen sich über das »Mobile AgrarPortal Rheinland-Pfalz« beispielsweise die »Liegenschaftskarten mit den Lagen und Umrissen [der] Felder, Luftbilder und topogra[f]ische Karten mit wichtigen Landschaftsstrukturen und Verkehrswegen« (Landesregierung Rheinland-Pfalz 2015). Aufgrund dieser Vorreiterrolle ist es deshalb nur folgerichtig, dass für den Aufbau der bereits erwähnten Datendrehscheibe »Geobox« (Kap. 2.1.2) Rheinland-Pfalz als Pilotregion ausgewählt wurde.

Tab. 2.1 Öffentliche Verfügbarkeit von Geobasisdaten in den deutschen Bundesländern

	BW	BY	BE	BB	HB	HH	HE	MV	NI	NW	RP	SL	SN	ST	SH	TH
DLM	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen
DTK	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen
DGM	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen
DOM	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	nicht vorhanden	teilweise offen	nicht vorhanden	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen
digitale Orthofotos	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen
Verwaltungsgrenzen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen
Flurgrenzen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen
Liegenschaftskataster (ohne Eigentümer)	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen
Hausumringe	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen
3-D-Gebäudemodelle	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen	teilweise offen

Stand 30.6.2018

komplett offen
 teilweise offen
 nicht offen
 nicht vorhanden

DLM: digitales Landschaftsmodell; DTK: digitale topografische Karte; DGM: digitales Geländemodell; DOM: digitales Oberflächenmodell; Hausumringe: Gebäudeumrisse

Quelle: nach OpenGeoEdu (<https://learn.opengeoedu.de/opendata/vorlesung/offengeodaten/verfuegbarkeit-amtlicher-geodaten>), Geo-Informationssysteme, CC BY-SA 4.0



Aufgrund der föderalen Zersplitterung liegt in Deutschland hinsichtlich der Verfügbarkeit amtlicher Geodaten alles in allem noch eine eher unübersichtliche, uneinheitliche und nicht immer nutzerfreundliche Situation vor. Das spiegelt sich auch in der Vielzahl der Geo- und Open-Data-Portale wider.⁵⁹ Vor diesem Hintergrund kommt etwa Bitkom (2017, S. 22) zu dem Schluss, dass »die Bereitstellung von Geo Open Data bei Bund und manchen Ländern politisch gewollt und technisch umgesetzt bzw. machbar ist, jedoch weder flächendeckend noch konsumentengerecht erfolgt«. Immerhin haben die Bundesländer am 14. Oktober 2016 in Berlin auf der Konferenz der Regierungschef/innen von Bund und Ländern zugesagt, eigene Open-Data-Gesetze auf den Weg zu bringen. Gleichzeitig haben sich die EU-Gremien auf die Richtlinie (EU) 2019/1024⁶⁰ geeinigt, die im Sommer 2019 in Kraft trat und die Offenheit von Geo-, Erdbeobachtungs-, Umwelt- sowie meteorologischen Daten garantieren soll (Palmetshofer 2019)⁶¹ die EU-Staaten haben bis 2021 Zeit, die Richtlinie in nationales Recht zu überführen. Insgesamt scheinen die Weichen für eine Hebung landwirtschaftlich relevanter Geodaten damit also grundsätzlich positiv gestellt, auch wenn die elektronische Aufbereitung sowie die Veröffentlichung der riesigen sowie verstreuten öffentlichen Datensätze noch geraume Zeit in Anspruch nehmen dürften und vielleicht nie ganz abgeschlossen sein werden.

2.2 Die Agrarbranche im digitalen Wandel

Die Agrarbranche umfasst traditionell die Landwirtschaft sowie vor- und nachgelagerte Bereiche der Wertschöpfungskette – darunter die Saatguthersteller, die Agrarchemieunternehmen (Hersteller von Pestiziden, Düngemitteln etc.), die Landtechnikindustrie, die Lebensmittelhersteller sowie den Lebensmittelhandel als besonders wichtige und einflussreiche Sparten. Seit den 1980er

59 Eine Kartenübersicht zu den zahlreichen Open-Data-Portalen und Geodateninfrastrukturen in Deutschland, Österreich und der Schweiz findet sich auf <https://portal.opengeo-edu.de> (18.8.2021). Wichtige Zugangspunkte, »um Geodaten von Bund, Ländern und Kommunen zu suchen, zu finden und zu nutzen«, bieten die Geodateninfrastruktur Deutschland (<https://geoportal.de/portal/main/>; 18.8.2021) sowie das Dienstleistungszentrum des Bundes für Geoinformation und Geodäsie (www.geodatenzentrum.de; 18.8.2021). Einen »einheitlichen, zentralen Zugang zu Verwaltungsdaten aus Bund, Ländern und Kommunen«, darunter Geodaten, bietet das Portal »GovData« (<https://www.govdata.de/>; 18.8.2021). Daneben stellt z.B. auch das BMEL über das Geoportale »GDI-BMEL« (<https://gdi.bmel.de/>; 18.8.2021) Geoinformationen aus den Bereichen Landwirtschaft und Forstwirtschaft für die Öffentlichkeit bereit.

60 Richtlinie (EU) 2019/1024 über offene Daten und die Weiterverwendung von Informationen des öffentlichen Sektors

61 Die endgültige Liste der »hochwertigen Datensätze«, die über kostenlose Programmierschnittstellen zur Verfügung gestellt werden sollen, wird erst später festgelegt. Im Anhang der Richtlinie sind derzeit sechs vorläufige Kategorien aufgelistet: Georaum, Erdbeobachtung und Umwelt, Meteorologie, Statistik, Unternehmen und Eigentümerschaft von Unternehmen sowie Mobilität (Palmetshofer 2019).

Jahren ist sie durch fortschreitende Konzentrationsprozesse geprägt, was dazu geführt hat, dass wenige global agierende Konzerne einen Großteil des Marktes beherrschen.⁶² Zu den führenden Unternehmen gehören auch etliche aus Deutschland, wie die folgende Tabelle 2.2 zeigt.

Die jüngsten Großfusionen von Bayer und Monsanto (jetzt Bayer), von Dow und DuPont (jetzt Corteva Agriscience) sowie von ChemChina und Syngenta (jetzt ChemChina-Syngenta) haben zu einer weiteren Konzentration der Branche im Bereich Agrarchemie und Saatgut geführt (Abb. 2.3). Die ETC Group schätzt, dass diese drei Unternehmen zusammen mit BASF etwa 63 % des internationalen Saatgutmarktes und 70 % des Pestizidmarktes kontrollieren (Mooney 2018, S. 11; basierend auf IPBES-Food 2017). Zu beobachten ist zudem eine zunehmende vertikale Integration der Branche, das heißt eine Bündelung von Marktmacht in der Hand einzelner Großkonzerne entlang verschiedener Segmente der Wertschöpfungskette (ETC Group/IPBES-Food 2018, S. 5).

Tab. 2.2 Umsatz und Marktanteile führender Unternehmen der Agrarbranche (2014)

Unternehmen	Umsatz in Mrd. US-Dollar	Marktanteil weltweit in %
<i>Saatgut</i>		
Monsanto (USA)	12,20	26,5
DuPont (USA)	7,57	18,7
Syngenta (Schweiz)	3,16	7,8
Vilmorin & Cie (Frankreich)	1,77	4,4
Dow (USA)	1,60	4,0
KWS Saat (Deutschland)	1,51	3,7
<i>Agrarchemie</i>		
Syngenta (Schweiz)	11,38	20,3
Bayer CropScience (Deutschland)	10,25	18,3
BASF (Deutschland)	7,24	12,9
Dow AgroSciences (USA)	5,69	10,1
Monsanto (USA)	5,12	9,1
<i>Landtechnik</i>		
Deere & Co. (USA)	26,83	23,1
CNH Industrial (Niederlande)	15,20	13,3
Kubota (Japan)	10,01	8,8

62 Für einen kurzen historischen Überblick über die Entwicklung der Agrarbranche Wilkinson 2017.

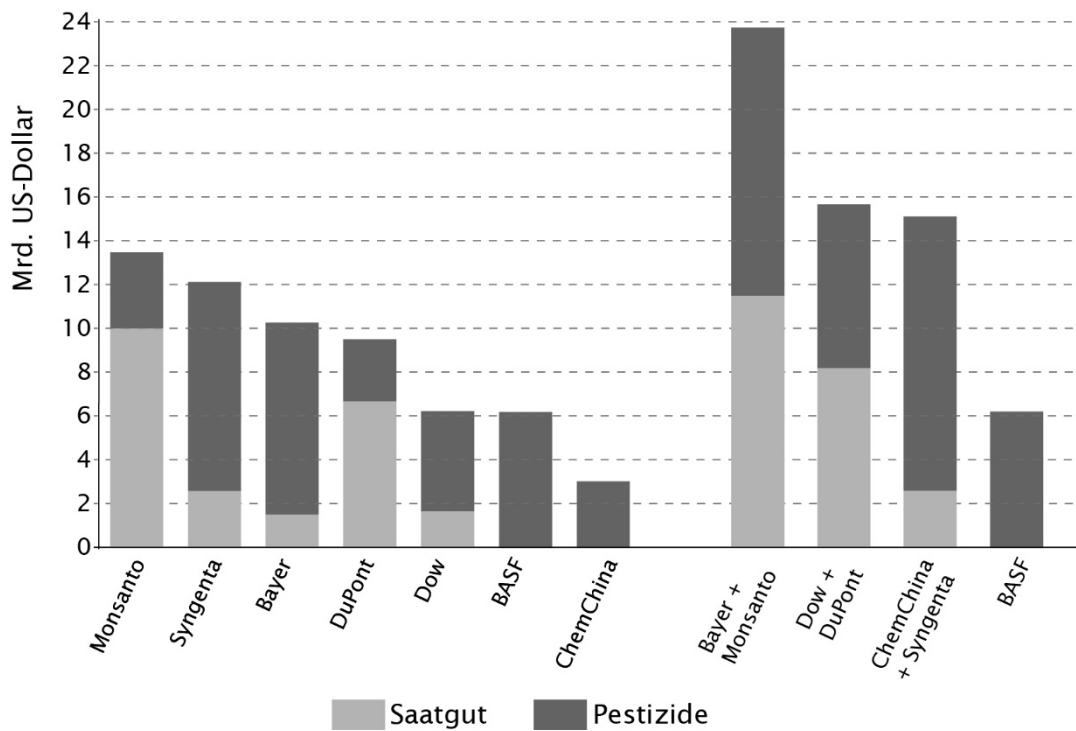
2.2 Die Agrarbranche im digitalen Wandel



AGCO (USA)	9,72	8,5
CLAAS (Deutschland)	5,19	4,6
<i>Lebensmittelhersteller</i>		
Anheuser-Busch In-Bev + SABMiller (Belgien)	75,00	15,2
Nestlé (Schweiz)	72,20	14,6
PepsiCo (USA)	66,60	13,5
JBS (Brasilien)	52,60	10,6
Coca-Cola (USA)	46,00	9,3
<i>Lebensmittelhandel</i>		
Walmart (USA)	262,50	
Schwarz-Gruppe (Lidl, Kaufland; Deutschland)	82,20	
Kroger (USA)	78,60	
Aldi (Deutschland)	69,20	

Quelle: ETC Group/IPBES-Food 2018

Abb. 2.3 Vergleich der agrarchemischen Industrie vor (2014, links) und nach der jüngsten Fusionswelle (2017, rechts)



Quelle: Bonny 2017



2.2.1 Neue digitale Geschäftsmodelle

Im Zuge der Digitalisierung drängt eine Vielzahl neuer Akteure mit innovativen digitalen Produkten auf den schnell wachsenden, wenn auch noch relativ kleinen Markt für die digitale Landwirtschaft.⁶³ Dazu gehören branchenferne Technologieunternehmen wie Drohnen- oder Sensorikhersteller, eine zunehmende Zahl von Start-ups im AgTech-Bereich⁶⁴, die 2017 Risikokapital in Höhe von weltweit ca. 2 Mrd. US-Dollar einsammeln konnten (Finistere Ventures 2018), sowie etablierte Digitalkonzerne wie SAP, IBM, Amazon oder Alphabet. Letztere investieren nicht nur kräftig in aufstrebende Start-ups, sondern entwickeln teilweise auch selbst digitale Lösungen. So ist etwa Amazon in den Onlinehandel mit Lebensmitteln eingestiegen (»amazon fresh«), während SAP eigene IT-Lösungen im Bereich Agribusiness anbietet – vom Lieferketten- bis zum Vertragsmanagement.⁶⁵

Im Ergebnis sind in den letzten Jahren neue Märkte entstanden, in denen Unternehmen sehr unterschiedlicher Provenienz und Ausrichtung an neuen digitalen Dienstleistungen arbeiten (JRC 2014, S. 27 ff.). Die künftige Entwicklung wird maßgeblich dadurch geprägt, dass immer mehr Daten direkt an den Landmaschinen und im Hof erfasst, übertragen und verstärkt zwischen verschiedenen Akteuren, z. B. Berater/innen, Lohnunternehmer/innen und weiteren Serviceprovidern, Zulieferern von Produktionsmitteln, geteilt werden (Doluschitz/Gindele 2019, S. 67). Den Farmmanagementsystemen kommt bei der Verarbeitung der Hof- und Maschinendaten eine Schlüsselrolle zu (Tsiropoulos et al. 2017). Dabei handelt es sich um Softwarelösungen, die die Landwirtin/den Landwirt u. a. bei der Dokumentation und der Betriebsplanung unterstützen sollen. Das Spektrum an verfügbaren Funktionalitäten ist sehr breit, entsprechend der Vielfalt an landwirtschaftlichen Betriebstypen und Bedarfen (Fountas et al. 2015; Winter 2014; für einen aktuellen Überblick Kap. 2.2.3).

Noch handelt es sich in der Regel um singuläre Lösungen, die auf die Nutzung durch einen Endanwender (typischerweise landwirtschaftliche Betriebe) zugeschnitten sind (Moser 2018). Fast alle Farmmanagementsysteme speichern die Daten jedoch inzwischen nicht mehr lokal auf dem Hof-PC, sondern auf einem Netzwerkserver, was die nutzerübergreifende Datenaggregation sowie -analyse und darauf basierend die Bereitstellung intelligenter Dienstleistungen

63 Laut der Unternehmensberatung Roland Berger (2015) hatte der weltweite Markt für Technologien der Präzisionslandwirtschaft (Hard- und Software 2014 ein Volumen von 2,3 Mrd. Euro. Die durchschnittliche Marktwachstumsrate wird auf 12 % geschätzt, womit sich das Marktvolumen bis 2020 fast verdoppeln und dann 4,5 Mrd. Euro betragen könnte.

64 AgTech steht für Agricultural Technology und bezeichnet »innovative, digitale Lösungen im Bereich der Agrartechnologie« (Landwirtschaftliche Rentenbank 2019, S. 14).

65 <https://www.sap.com/germany/industries/agribusiness.html> (18.8.2021)



ermöglicht – perspektivisch auch die Anbindung weiterer Akteure. Farmmanagementsysteme fungieren somit zunehmend als Datenplattformen und entwickeln sich zum Dreh- und Angelpunkt der digitalen Wertschöpfung im Bereich der Landwirtschaft. Die entstehende Wertschöpfungskette lässt sich dabei in vier Stufen unterteilen (Dewenter/Lüth 2018, S. 16 ff.):

- › *Datenerhebung*: Landwirtschaftliche Betriebs- und Maschinendaten werden üblicherweise beim Einsatz und bei der Nutzung digitaler, mit Sensorik ausgestatteter Agrartechnologien erhoben und direkt (bei Vorliegen geeigneter Schnittstellen) oder per Zwischenschritt (über ein externes Speichergerät) auf das Farmmanagementsystem übertragen. Weitere Daten können in unterschiedlichem Umfang manuell eingepflegt werden (z. B. Stammdaten, Angaben zu Arbeitszeiten, verwendeten Betriebsmitteln), darüber hinaus werden von den Diensten ggf. weitere, teilweise personenbezogene Informationen automatisch aufgezeichnet (Standortangaben, Nutzerverhalten etc.).
- › *Datenspeicherung*: Die Daten werden lokal auf dem Computer oder, was inzwischen die Regel ist, auf einem Cloud-Server gespeichert. Letzteres erleichtert den Zugriff auf die Daten von verschiedenen Endgeräten aus, außerdem eröffnen sich durch die Aggregation einer großen Menge von Nutzerdaten ganz neue Möglichkeiten der Big-Data-Analyse. Laut einer Umfrage von KPMG und Bitkom setzen inzwischen drei von vier Unternehmen auf Cloud-Computing (KPMG/Bitkom research 2019). Plattformbetreiber verfügen jedoch kaum noch über eigene Serverkapazitäten, sondern kaufen Speicherplatz auf externen Servern ein. Fast alle großen Digitalkonzerne betreiben über Tochtergesellschaften Cloud-Computing-Plattformen (»Amazon Web Services«, »Google Cloud Platform«, »Microsoft Azure« etc.).
- › *Datenanalyse*: Der hauptsächliche Mehrwert wird durch die Datenauswertung geschaffen, deren Güte sowohl von der Menge als auch der Qualität der Rohdaten abhängt. Auf Basis der Datenanalyse bereitgestellte Smart Services, die auf unterschiedliche Anwendungszwecke zugeschnitten sind, bilden die Kernfunktionalität der meisten Farmmanagementsysteme. Es ist nicht unüblich, dass diese von externen Dienstleistern bereitgestellt werden (z. B. in Form zubuchbarer Softwaremodule).
- › *Datennutzung*: Mithilfe der Monetarisierung der gewonnenen Informationen erfolgt die eigentliche Wertschöpfung aus Sicht des Plattformbetreibers. Die Geschäftsmodelle können sehr unterschiedlicher Art sein: Üblich ist die Erhebung eines Entgeltes für die Nutzung des Dienstes bzw. der Dienstleistungen, das durchaus gestaffelt sein kann, je nach Art oder Umfang der Nutzung. Weitere mögliche Verwertungsformen sind der Weiterverkauf der erhobenen Informationen an Dritte, etwa zu Marketingzwecken, oder deren Nutzung zur Verbesserung eigener Dienstleistungen und



2 Auf dem Weg zur digital vernetzten Landwirtschaft

Produkte, was wiederum Wettbewerbsvorteile verspricht. Ein häufig zu beobachtendes Geschäftskalkül ist zudem, dass der Plattformanbieter mittels proprietärer Schnittstellen oder Nutzungsvereinbarungen versucht, die Nutzer/innen der Datenplattform langfristig an seine Produkte und Dienste zu binden (Lock-in-Effekt).

Die Plattformökonomie zeichnet sich typischerweise durch Netzwerkeffekte aus, »die durch die Aggregation von Daten auf technischer Ebene und die Anbindung von unterschiedlichen Kunden auf betriebswirtschaftlicher Ebene entstehen« (acatech 2017, S. 7). Das heißt, je mehr Daten, je mehr Marktteilnehmer auf einer Plattform zusammenkommen, desto größer ist der potenzielle Mehrwert für die Nutzer/innen und damit im Endeffekt auch für den Betreiber dieser Plattform (dazu und zum Folgenden Engelhardt et al. 2017, S. 13 ff.). So entsteht ein sich selbst verstärkender Effekt. Das ist u. a. der Grund dafür, dass auf neuen Plattformmärkten die Marktdynamik typischerweise besonders ausgeprägt und die längerfristige Tendenz zur Monopolbildung bzw. Marktkonzentration besonders hoch ist. Für Markteinsteiger stellt dies wiederum eine nicht unerhebliche Hürde dar, da neue Dienste und Dienstleister eine bestimmte kritische Masse erreichen müssen, um sich am Markt durchsetzen zu können.

Die Agrarbranche befindet sich dadurch in einem fundamentalen Transformationsprozess, der etablierte Akteursnetzwerke und Machtverhältnisse infrage stellt (Wolfert et al. 2017, S. 75). Die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG 2017) bemerkt mit Blick auf die neu entstehenden Plattformen im Landwirtschaftsbereich, dass diese bzw. ihre Anbieter »in scharfem Wettbewerb um die Schlüsselpositionen in der Branche [stehen] und [...] deswegen oftmals von einem oder wenigen starken Unternehmen dominiert [sind]«. Um den Anschluss nicht zu verlieren, bauen auch die meisten traditionellen Player inzwischen eigene Digitalsparten auf, oder haben dies bereits getan. Zu nennen sind hier insbesondere Monsanto oder John Deere, die bereits früh die Chance eigener digitaler Lösungen erkannt haben. So soll Monsanto 2013 über 1 Mrd. US-Dollar in den Erwerb der Digital-Farming-Plattform »Climate Corporation« investiert haben (Specter 2013). Weitere Start-up-Übernahmen durch große Agrikonzerne folgten in den kommenden Jahren. Um weitere Beispiele zu nennen: 2017 erwarb John Deere (2017b) das US-amerikanische Unternehmen Blue River Technology, das Technologien für »eine gezielte Behandlung von Einzelpflanzen« entwickelt, 2018 wurde das deutsche Start-up trekker.com vom norwegischen Düngemittelhersteller Yara (2018) aufgekauft und 2019 wurde der Dienst »Cropio« von Syngenta (2019) übernommen. Gleichzeitig kam es in den letzten Jahren zu etlichen Kooperationen zwischen Großkonzernen bezüglich der (Weiter-)Entwicklung digitaler Produkte, wobei sich die Landtechnikhersteller dabei in einer besonders günstigen Marktposition zu befinden scheinen, da sie exklusiv und quasi an der Quelle Zugriff auf landwirtschaftliche Maschinen- und Betriebsdaten haben (Chemnitz 2017).



Besondere Aufmerksamkeit erregte in dieser Hinsicht die Übernahme von Monsanto durch Bayer im Jahr 2018, durch die der weltweit größte Konzern für Saatgut und Agrarchemikalien entstanden ist. Da Monsanto mit Climate Corporation bereits über eine etablierte Digitalsparte verfügt, wäre Bayer mit einem Schlag zum führenden Anbieter im Bereich der digitalen Landwirtschaft aufgestiegen. Deshalb haben die Wettbewerbsbehörden Bayer verpflichtet, die eigene Digitalsparte im Zuge der Übernahme an BASF zu verkaufen (Fröndhoff 2018).

Die Gefahr, die mit derartigen Konzentrationstendenzen verbunden ist, betrifft nicht nur die heimische Landwirtschaft. Die kleinbäuerlichen Betriebe des Globalen Südens, die den wesentlichen Beitrag zur Ernährungssicherung in den Entwicklungsländern leisten, sind einer Bündelung der Marktmacht besonders schutzlos ausgeliefert (Mooney 2018). Angesichts der Globalisierung der Agrarmärkte sind die Folgen der Digitalisierung deshalb immer auch in einem weltweiten Kontext zu bewerten.

2.2.2 Das Problem der Datenhoheit

In einer Plattformökonomie stellt sich die Frage, wer über die auf den Plattformen gespeicherten Daten verfügen darf und von ihrer wirtschaftlichen Verwertung profitiert. Hier treffen konträre wirtschaftliche Interessen aufeinander:

- › Die *Betreiber* der Plattformen bzw. der Farmmanagementsysteme haben ein genuines Interesse an der Nutzung bzw. Weiterverarbeitung der Daten, die ihnen von den Plattformanwender/innen – in der Regel den Landwirt/innen – zur Verfügung gestellt werden. Letztlich ist es das Bestreben, größtmögliche Datenmengen anzusammeln und auszuwerten, welche den Kern der neuen plattformbasierten Geschäftsmodelle ausmacht (Wiggerthale 2019). Im industriellen sowie landwirtschaftlichen Bereich handelt es sich dabei größtenteils um Maschinen- bzw. Betriebsdaten, die aufgrund ihres fehlenden Personenbezugs als solche grundsätzlich nicht unter das Datenschutzrecht fallen, jedoch wertvolle Informationen über Betriebsabläufe, Nutzungsarten von Maschinen etc. liefern.
- › *Landwirtschaftliche Betriebe und Lohnunternehmen* haben üblicherweise kein Interesse daran, die Hoheit über ihre eigenen betrieblichen Daten zu verlieren, sie möchten (zumindest) mitbestimmen, wer über diese verfügt und was im weiteren Verlauf mit ihnen geschieht (Hertzberg et al. 2017, S.37 f.; Vogel/Mesenberg 2018, S.5 ff.). Trotz der Potenziale der digitalen Anwendungen im Hinblick auf Prozessoptimierung und Produktivitätssteigerung besteht berechtigterweise die Befürchtung, langfristig wirtschaftliche Nachteile zu erleiden, wenn sensible Betriebsdaten an Konkurrenten oder Geschäftspartner weitergegeben werden.



Dieses wirtschaftliche Spannungsfeld wird dadurch verstärkt, dass die am Agrargeschäft beteiligten Unternehmen – wie zuvor gezeigt – von extrem unterschiedlichem wirtschaftlichem »Kaliber« sind (Hertzberg et al. 2017, S.37f.). Die Spanne reicht von Kleinstbetrieben (einzelnen Landwirt/innen, kleinen Lohnunternehmer/innen) über kleine Mittelständler (Agrarbetriebe, Lohnunternehmer/innen, Landmaschinentechnik), große Mittelständler (Landmaschinenhersteller) und national tätigen Unternehmen (Einzelhandel, Lebensmittelproduktion) bis hin zu international aufgestellten Großkonzernen (Agrarchemie, Saatgut, Agrarhandel, Lebensmittelproduzenten, einzelne Landtechnikunternehmen, Lebensmitteleinzelhandel). Durch die umfassende Kenntnis und Kontrolle landwirtschaftlicher Betriebsdaten könnten insbesondere die großen Konzerne ihre Verhandlungsposition und Marktstellung weiter ausbauen, was es vor allem kleineren Betrieben immer schwerer machen würde, ihre Interessen durchzusetzen (Carbonell 2016; Lianos 2018). Die Folge wäre laut Lianos (2018, S.1) eine weiter zunehmende Konzentration auf dem Agrarmarkt, einhergehend mit »einem Anstieg der Preise für Saatgut und Pestizide, einer höheren technologischen und wirtschaftlichen Abhängigkeit der Landwirte von einigen wenigen integrierten Vollservice-Shop-Plattformen, der Reduzierung der Aktivität unabhängiger Innovationszentren in der Industrie und demzufolge weniger Innovation in Anbetracht der verringerten Konkurrenz«.

Die mit der wachsenden Verbreitung datenbasierter Geschäftsmodelle aufkommende Frage, wer die erhobenen Daten wirtschaftlich nutzen darf, wird unter dem Begriff Datenhoheit (häufig – wenn auch juristisch ungenau – als Dateneigentum bezeichnet) verhandelt (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S.37). Damit ist das Recht des Einzelnen zu verstehen, selbstbestimmt über die von ihm erzeugten oder ihn betreffenden Daten zu verfügen, d.h. über Art, Umfang und Zwecke ihrer Nutzung zu entscheiden und andere von der Nutzung dieser Daten ausschließen zu können. Abzugrenzen davon ist der Datenschutz, der sich allein mit personenbezogenen Daten befasst und darauf abzielt, natürliche Personen gegen die unbegrenzte Erhebung, Speicherung, Verwendung und Weitergabe ihrer persönlichen Daten zu schützen (Recht auf informationelle Selbstbestimmung). Allerdings lassen sich beide Begriffe nicht scharf voneinander trennen. Denn auch reine Betriebsdaten lassen sich häufig mit begrenztem technischem Aufwand einer konkreten Person zuordnen. Wesentlich für den hier relevanten Kontext ist, dass der Begriff der Datenhoheit neben personenbezogenen auch nicht personenbezogene Daten umfasst und den Fokus auf die Frage einer Verfügungsbefugnis über die eigenen Daten legt.

Wie Umfragen zeigen, ist die Sorge der Landwirt/innen vor einem Verlust ihrer betrieblichen Daten relativ deutlich ausgeprägt. Laut einer repräsentativen Umfrage von Bitkom sowie des Deutschen Bauernverbandes (DBV) unter



521 Landwirt/innen stimmten 80 % der Befragten der Aussage zu, dass die landwirtschaftliche Produktion durch die Digitalisierung mit all ihren Facetten gläsern wird. Bei den Hemmnissen steht der Verlust der Datenhoheit mit 30 % Zustimmung unter den Befragten an vierter Stelle, nach hohen Investitionskosten (64 %), Sorge um IT- und Datensicherheit (42 %) und unzureichender Internetversorgung (39 %) (Bitkom/DBV 2016). Die Landwirtschaftliche Rentenbank (2019, S. 19) kommt in einer aktuelleren Erhebung unter 401 Landwirt/innen zu einem ähnlichen Ergebnis: Die Sorge vor dem Verlust der Datenhoheit oder vor Datendiebstahl wurde von knapp 20 % der befragten landwirtschaftlichen Betriebsleiter genannt und gehört damit zu den größten Hindernissen für die Nutzung digitaler Agrartechnologien, nur übertroffen von den hohen Anschaffungskosten (23 %). Gestützt werden diese Umfrageergebnisse durch eine Medienanalyse von drei landwirtschaftlichen Fachzeitschriften (»top agrar«, »dlz agrarmagazin« sowie das »Bayerische Landwirtschaftliche Wochenblatt«) durch Schleicher und Gandorfer (2018). Untersucht wurde, wie häufig in den Artikeln, die zwischen 2009 bis 2016 erschienen, jeweils bestimmte Akzeptanzhemmnisse problematisiert wurden. Das Thema Datenhoheit steht im Zeitraum von 2013 bis 2016 mit einer relativen Nennungshäufigkeit von knapp über 30 % an dritter Stelle (nach Datenschutz und Inkompatibilität). Auffällig ist dabei, dass es offenbar deutlich an Bedeutung gewinnt, was mit dem Aufkommen produktübergreifender Datenplattformen erklärt wird.

Vor diesem Hintergrund fordert die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG 2018a), dass »der Landwirt aus Geschäften mit seinen Daten Nutzen ziehen kann, die Datenhoheit stets beim Landwirt verbleibt und Big-Data-Analysen transparent ablaufen« – andere Verbände vertreten eine ähnlich gelagerte Position (Bitkom 2016; DBV 2016). Allerdings besteht vor allem auf juristischer Ebene noch deutlicher Klärungsbedarf, wie sich eine solche Forderung rechtlich absichern ließe.

2.2.2.1 Rechtlicher Rahmen zur Datenhoheit

Eine gesetzliche Vorschrift, nach welchen Maßstäben Daten bestimmten Rechtssubjekten zuzuordnen sind, existiert momentan weder auf nationaler noch auf europäischer Ebene. Ein »absolut wirkendes exklusives eigentumsähnliches Recht« (Specht/Kerber 2017, S. 152) an Daten, das es einem Dateneigentümer erlauben würde, souverän über seine Daten zu verfügen und insbesondere andere von deren Nutzung auszuschließen, besteht somit nicht. In der juristischen Literatur werden seit Längerem verschiedene rechtliche Ansatzpunkte kontrovers diskutiert, wie sich ein solches eigentumsähnliches Recht an Daten begründen ließe, jedoch ohne dass bislang eine zufriedenstellende Lösung gefunden werden konnte. Dabei geht es vornehmlich um die Frage, ob

man eine dahingehende gesetzgeberische Intention nicht aus anderen Rechtsgebieten herleiten kann (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 37 ff.):⁶⁶

- › Eine direkte Zuordnung über das *Eigentumsrecht* (§ 903 BGB) scheitert daran, dass es sich bei Daten nicht um Sachen, sondern um Immaterialgüter – nicht körperliche Gegenstände – handelt, die weder sinnlich wahrnehmbar noch räumlich abgrenzbar sind. So kann zwar ein Eigentumsrecht an dem Datenträger bestehen, auf dem die Daten gespeichert sind, aber nicht an den Daten selbst. Auch eine analoge Anwendung der Regelungen des bürgerlichen Eigentumsrechts erweist sich als schwierig, da es auf dem Gedanken der Einräumung einer exklusiven Nutzungsmöglichkeit beruht. Diese ist bei Daten aber gerade nicht gegeben, da sie beliebig oft kopierbar und somit grundsätzlich nicht exklusiv nutzbar sind.
- › Diskutiert wird zudem, ob das *Urheberrecht* nach dem Urheberrechtsgesetz (UrhG)⁶⁷ Anknüpfungspunkte für eine Regelung der Datenhoheit bietet. Ein genuines Urheberrecht an Daten würde voraussetzen, dass es sich bei diesen um persönliche geistige Schöpfungen handelt (§ 2 Abs. 2 UrhG), womit beispielsweise maschinengenerierte Daten als solche bereits aus dem unmittelbaren Anwendungsbereich des Urheberrechts ausscheiden. Auch ein Schutz von Daten als solche über das Datenbankherstellerrrecht (§§ 87a, 87b UrhG) kommt nicht in Betracht. Diese Normen schützen zwar wesentliche Investitionen in die systematische Anordnung von Daten, die Inhalte der Datenbank (also die Einzeldaten selbst) sind jedoch nicht geschützt.
- › Ein weiterer Ansatzpunkt ist der Schutz der Daten als *Betriebsgeheimnis* gemäß dem 2019 erlassenen Gesetz zum Schutz von Geschäftsgeheimnissen (GeschGehG)⁶⁸. Der wettbewerbsrechtliche Know-how-Schutz normiert strafrechtliche Konsequenzen im Fall des Verrats von Geschäfts- und Betriebsgeheimnissen. Als Inhaber eines Geschäftsgeheimnisses gilt »jede natürliche oder juristische Person, die die rechtmäßige Kontrolle über ein Geschäftsgeheimnis hat« (§ 2 Abs. 2 GeschGehG). Soweit allerdings – wie es bei Daten regelmäßig der Fall ist – umstritten ist, wer in rechtmäßiger Weise die Kontrolle ausübt, läuft der Geheimnisschutz ins Leere (Ensthaller/Haase 2017).

Somit kann die geltende Rechtslage in Bezug auf die Datenhoheit als »Flickenteppich« (Konferenz der Justizministerinnen und Justizminister der Länder 2017, S. 60) bezeichnet werden. Die genannten Rechtsvorschriften regeln bestimmte

66 Für eine vergleichende Perspektive auf die diesbezügliche Rechtslage in Europa und den USA Specht/Kerber 2017.

67 Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (Urheberrechtsgesetz – UrhG)

68 Das GeschGehG basiert auf der Richtlinie (EU) 2016/943 über den Schutz vertraulichen Know-hows und vertraulicher Geschäftsinformationen (Geschäftsgeheimnisse) vor rechtswidrigem Erwerb sowie rechtswidriger Nutzung und Offenlegung.



Sonderfälle – so sind Daten etwa indirekt über das Eigentum am Datenträger oder unter bestimmten Bedingungen als Geschäftsgeheimnisse vor widerrechtlichem Zugriff geschützt –, sie sind jedoch nicht in der Lage, die Verfügungsbezugnis und damit Hoheit über Daten konsistent und allgemein zu regeln.

Damit ist zunächst einmal grundsätzlich derjenige »Herr der Daten«, der tatsächlich auf sie zugreifen kann, wobei Zugriffsmöglichkeiten durch vertragliche Vereinbarungen oder Rechte am Datenträger begründet werden können (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 51 f.). Ob eine Beschränkung auf vertragliche Vereinbarungen – etwa im Rahmen von Nutzungsvereinbarungen digitaler Dienste – ausreichend ist, ist jedoch umstritten. Kritiker/innen dieser Regelungssituation verweisen darauf, dass nicht immer alle Datenquellen und -zwecke zu antizipieren sind, sodass sich vertragliche Regelungslücken kaum ausschließen lassen (z. B. Van Asbroeck et al. 2017, S. 8). Diese Problematik zeigt sich besonders im Fall von umfangreichen Anwendungsszenarien, die sich durch eine Vielzahl von Datenquellen, -speicherungen und -analysen sowie beteiligte Akteure auszeichnen – wie sie beispielsweise in der Industrie oder bei einem vernetzten Straßenverkehr anfallen können. Hier erscheint eine umfassende, rechtssichere vertragliche Regelung äußerst schwierig umsetzbar. Hinzu kommt, dass Verträge grundsätzlich nur zwischen den Parteien gelten, die sie vereinbart haben, sodass Abreden hinsichtlich der Zuordnung von Daten mit den Mitteln des Vertragsrechts gegenüber Dritten nicht durchgesetzt werden können. Eine weitere Problematik in diesem Zusammenhang ist die Tatsache, dass das Vertragsrecht in der EU nicht harmonisiert ist, was für die beteiligten Vertragsparteien hohe Rechtsunsicherheiten mit sich bringen kann (Kritikos 2017, S. 17).

2.2.2.2 Regelung der Datenhoheit? Für und Wider einer gesetzlichen Klarstellung

Angesichts der wachsenden ökonomischen Bedeutung maschinengenerierter Daten in verschiedenen Wirtschaftsbereichen ist in den letzten Jahren eine Diskussion über den rechtlichen Umgang mit der Datenhoheit bzw. des Dateneigentums entbrannt, die weit über den Bereich der Landwirtschaft hinausreicht. Auch wenn bislang eine zufriedenstellende und konsensfähige Lösung im gesellschaftlichen wie politischen Dialog noch nicht gefunden werden konnte, sind politische Entscheidungsträger auf nationaler wie supranationaler Ebene durchaus um die Klärung dieser hochumstrittenen Frage bemüht (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 56). Das Spektrum der Lösungsvorschläge ist breit. So wird teilweise die Schaffung eines eigentumsähnlichen Rechts im Rahmen einer gesetzlichen Regelung gefordert, wohingegen andere mit Verweis auf die ökonomische Bedeutung des freien Datenflusses ein regu-



latives Eingreifen gänzlich ablehnen und die Zuweisung der Verfügungsbefugnis an Daten dem Markt – also den Parteien durch vertragliche Abrede – überlassen wollen. Neben dem Für und Wider der Schaffung eines neuen Datenrechts werden auch weitere Handlungsalternativen diskutiert (Kasten 2.4), darunter

- › freiwillige Selbstverpflichtungen datenverarbeitender Konzerne (Code of Conduct; DBV et al. 2018),
- › eine Anpassung des AGB-Rechts (Rechts der Allgemeinen Geschäftsbedingungen), um unangemessene Benachteiligungen einer Vertragspartei zu unterbinden,
- › sowie die Stärkung und konsequente Anwendung des Wettbewerbs- und Kartellrechts, um der Bildung von Datenmonopolen entgegenzuwirken.

Kasten 2.4 Positionen von Interessenvertretern und politischen Entscheidungsträgern

Das BMVI (2017b) hält in seiner herausgegebenen Studie eine Zuordnung von (insbesondere Mobilitäts-)Daten zum wirtschaftlichen Berechtigten für sachgerecht. Zur Bestimmung des »Dateneigentümers« sollen dabei einige Indizien herangezogen werden, denen vor allem wirtschaftliche Erwägungen zugrunde liegen. Auch wenn das BMVI (2017b, S. 110 ff.) für die Schaffung einer klaren Regelung zum Dateneigentum plädiert, verschließt es nicht die Augen vor diversen Handlungsalternativen. So wäre insbesondere eine Fokussierung auf die – momentan wie aufgezeigt alternativlose – rein vertragliche Zuordnung denkbar, sofern der Gesetzgeber die Rechte des Verbrauchers stärkt und ein effektives Vertragskontrollrecht schafft, das auch »datenspezifische Problemlagen« erfasst (BMVI 2017b, S. 111). Außerdem wird das Wettbewerbs- und Kartellrecht als wichtiges Instrument hervorgehoben, um den Wettbewerb zu stärken, Innovation zu fördern und Monopole zu verhindern.

Demgegenüber sieht die Arbeitsgruppe »Digitaler Neustart« der Konferenz der Justizministerinnen und Justizminister der Länder in ihrem Bericht von 2017 keine Schutzlücke, die der Gesetzgeber schließen müsste.⁶⁹ Auch wenn nach geltender Gesetzeslage kein absolutes Recht an Daten existiert, besteht aber wegen des Flickenteppichs aus allerlei zivilrechtlichen Vor-

69 Ähnlich die Datenethikkommission der Bundesregierung (2019, S. 104), die »derzeit keine hinreichenden Gründe [sieht], zusätzliche eigentumsähnliche Verwertungsrechte einzuführen, welche eine wirtschaftliche Partizipation an mithilfe von Daten generierten Gewinnen ermöglichen würden«. Begründet wird dies damit, dass »dem Einzelnen [...] bereits jetzt aufgrund des Datenschutzrechts oder des allgemeinen Zivilrechts genügend Rechtspositionen mit Drittwirkung [zustehen], deren Einschränkung er theoretisch nur gegen Zahlung eines entsprechenden Entgelts dulden müsste«.



schriften ein »hinreichend geschlossenes Schutzsystem« (Konferenz der Justizministerinnen und Justizminister der Länder 2017, S.99). Die Arbeitsgruppe weist allerdings darauf hin, dass sich die gegenwärtige Einschätzung im Lichte der dynamischen technischen Entwicklung ändern könnte und das Thema Dateneigentum daher »weiterhin intensiv im Blick zu behalten« ist (Konferenz der Justizministerinnen und Justizminister der Länder 2017, S.97). Unter Umständen drohten »Fehlentwicklungen, namentlich wenn marktbeherrschende Unternehmen nur unzureichend zur Weitergabe von Daten bereit sind und damit die Entstehung oder das Erstarken neuer Märkte und neuer Wettbewerber verhindern«. Inwieweit es mithilfe des Kartellrechts gelingen könnte, solchen Entwicklungen gegenzusteuern, bleibt abzuwarten.

In einem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) herausgegebenen Ergebnispapier der Plattform Industrie 4.0 (2016) wird ein Eingreifen des Gesetzgebers in Bezug auf den Erlass von Regelungen zur Datenhoheit ebenfalls skeptisch gesehen, da dies eine Beeinträchtigung der wirtschaftlichen Entfaltungsfreiheit sowie der Chancengleichheit für andere Interessenträger als die durch eine gesetzliche geregelte Zuordnung Begünstigten zur Folge haben könnte. Daher sollen statt einer Datenzuordnung über gesetzliche Regelungen Unternehmen »besser in die Lage versetzt werden, die jeweiligen Rechte vertraglich untereinander festzulegen« (Plattform Industrie 4.0 2016, S.23). Um bestehende Rechtsunsicherheiten zu beseitigen, die den Geschäftsverkehr behindern können, wird eine Überarbeitung des in den §§ 305 ff. BGB geregelten AGB-Rechts empfohlen.

In einer gemeinsamen Branchenempfehlung haben der DBV, die DLG und der VDMA im Sinne einer freiwilligen Selbstverpflichtung gemeinsame Richtlinien »bei der Nutzung digitaler land- und forstwirtschaftlicher Betriebsdaten« (DBV et al. 2018, S.2) formuliert. Insbesondere sind die Unterzeichnenden der Ansicht, dass die auf landwirtschaftlichen Flächen gewonnenen Daten grundsätzlich den Landwirt/innen gehören und (zunächst) nur von diesen umfassend genutzt werden dürfen, unabhängig von der Art der Erfassung (manuell oder automatisiert) (DBV et al. 2018, S.2). Die Landwirtin/der Landwirt als Inhaber/in der Daten hat ein Recht auf jederzeitige Auskunft über die von den Partnern erhobenen und verarbeiteten Daten und das Recht auf jederzeitige Löschung und Rückübertragung der betrieblichen Daten, soweit gesetzliche Aufbewahrungspflichten dem nicht entgegenstehen (DBV et al. 2018, S.3). Auch auf europäischer Ebene wurde ein ähnlich gela-

gerter Code of Conduct formuliert, der von verschiedenen Verbänden des Agribusiness unterzeichnet wurde (Copa-Cogeca et al. 2018).⁷⁰

In seinem Positionspapier »Digitalisierung der Landwirtschaft« betont der Digitalverband Bitkom (2016, S. 7) den großen Wert landwirtschaftlicher Betriebsdaten für alle Beteiligten der Agrarwertschöpfungskette und das daraus folgende Bedürfnis, diese Daten vor dem unbefugten Zugriff Dritter zu schützen. Nach heutigem Stand sei für die Landwirtin/den Landwirt nicht ersichtlich, inwieweit beispielsweise der Landmaschinenhersteller bei der Erhebung von Maschinendaten Zugriff auf diese hat. Um dem abzuhelpfen, sollten die Datenströme der Analyse und Kontrolle durch Externe zugänglich sein, um die Einhaltung von Datenschutzanforderungen überprüfen zu können. Zudem sollten Landwirt/innen in die Lage versetzt werden, einzelne Daten je nach Empfänger/in oder Nutzungssituation ein- oder ausblenden zu können, um entscheiden zu können, welche/r Empfänger/in welche Daten sieht. Wichtig sei, dass Anbieter ihre Datenschutzerklärungen transparenter und einfacher ausgestalten, um das Vertrauen in die Nutzung von IT-Lösungen in der Landwirtschaft zu stärken (Bitkom 2016, S. 8).

Quelle: Vogel/Mesenberg 2018, S. 58 ff.

Sollte sich der Gesetzgeber dazu entschließen, eine irgendwie geartete gesetzliche Regelung zum Dateneigentum auf den Weg bringen zu wollen – diese Möglichkeit haben die Regierungsparteien im Koalitionsvertrag zur 19. Legislaturperiode geäußert⁷¹ und sie wird auch auf EU-Ebene diskutiert –, stellen sich einige Anschlussfragen, wie ein derartiges Recht auszugestalten wäre (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 51 f.). Hinsichtlich der Grundstruktur gibt es verschiedene Vorschläge, die hier nicht in ihren Einzelheiten erörtert werden sollen:

- › Möglich wäre die Schaffung eines eigentumsähnlichen Rechts an Daten, das demjenigen, dem das Dateneigentum zugeordnet wird, die ausschließliche Verfügungsbefugnis über diese Daten zuweist (BMVI 2017b, S. 88 ff.).

70 Unterzeichnet haben diese Selbstverpflichtung der europäische Dachverband der Landwirte (Copa), der europäische Dachverband der landwirtschaftlichen Genossenschaften (Cogeca), der europäische Landmaschinenverband (CEMA), der europäische Zentralverband der land- und forstwirtschaftlichen Lohnunternehmer (CEETAR), der Verband der europäischen Saatgutindustrie (ESA), der Verband der europäischen Düngemittelindustrie (Fertilizers Europe), der Verband der europäischen Pflanzenschutzindustrie (ECPA), das Europäische Forum der Tierzüchter (EFFAB), der Europäische Rat der Junglandwirte (CEJA), der Verband des Landmaschinen-Handels und -Handwerks in Europa (CLIMMAR) sowie der europäische Verband für Tiergesundheit (AnimalhealthEurope).

71 »Die Frage, ob und wie ein Eigentum an Daten ausgestaltet sein kann, müssen wir zügig angehen.« (CDU/CSU/SPD 2018, S. 129)

2.2 Die Agrarbranche im digitalen Wandel



- › Eine Alternative wäre die Definition reiner Abwehrrechte bezüglich der *unbefugten* Nutzung maschinengenerierter Daten – ähnlich dem Geschäftsgeheimnisschutz –, mit denen aber keine eigentumsähnlichen Rechte verbunden sind (EK 2017b; Stepanov 2019, S. 10).
- › Schließlich wäre auch ein neu zu entwickelndes Leistungsschutzrecht denkbar: Wer Daten erzeugt, dem steht ein Ausgleichsanspruch für den dadurch entstandenen wirtschaftlichen Aufwand zu, ohne dass damit in irgendeiner Form exklusive Nutzungsrechte an den Daten verbunden wären (analog zu § 950 BGB, Ensthaler/Haase 2017).

Eine Grundfrage bei der Ausgestaltung eines zu schaffenden Rechts an Daten lautet, wem nach welchen Kriterien ein Dateneigentum zugeordnet werden soll. In der juristischen Debatte wird diesbezüglich vor allem auf zwei mögliche Kriterien Bezug genommen, auf den Skripturakt und auf Erwägungen der Verkehrsanschauung (zum Folgenden Konferenz der Justizministerinnen und Justizminister der Länder 2017, S. 77 ff.; Vogel/Mesenberg 2018, S. 42 f. u. 52 ff.):

- › Als *Skripturakt* wird das erstmalige Abspeichern der Daten bezeichnet. Skribent/in und damit Dateninhaber/in wäre demzufolge, wer die Speicherung oder Übermittlung der Daten selbst bewirkt hat. Nach dieser Auffassung steht z. B. die Landwirtin, die selbst mit dem datensammelnden Traktor über das Feld fährt, den Daten näher als jeder andere Beteiligte (etwa der Landmaschinenhersteller), womit sie die Hoheit über die erzeugten Daten erwirbt. Anhand dieses Beispiels zeigt sich allerdings auch die Schwäche dieses Ansatzes: Denn unter Umständen steht die Fahrerin den Daten deutlich ferner als etwa der Eigentümer oder Pächter des Feldes oder der Hersteller der Landmaschine – etwa, wenn die Fahrerin nur als Lohnunternehmerin oder nebenberuflich Felder bearbeitet (Konferenz der Justizministerinnen und Justizminister der Länder 2017, S. 77). Im Falle von Maschinendaten wurde daher vorgeschlagen, die Verfügungsbefugnis stets dem Hersteller der Maschine zuzuordnen (Becker 2016). Dennoch bleiben Zweifel, ob der Skripturakt als Anknüpfungspunkt in allen denkbaren Anwendungsszenarien taugt (Konferenz der Justizministerinnen und Justizminister der Länder 2017, S. 78).
- › Bei einer Zuordnung nach der *Verkehrsanschauung* wird ein Dateneigentum nicht derjenigen (juristischen) Person zugewiesen, die das Codieren der Daten unmittelbar veranlasst hat, sondern derjenigen, die wirtschaftlich dafür verantwortlich ist, d. h. die erforderliche wirtschaftliche Investition getätigt hat. Berechtigte an Daten sind demzufolge diejenigen, die dafür Sorge tragen, »dass die Aufnahme- bzw. Messvorrichtung unterhalten und effizient eingesetzt wird, und [...] die dafür erforderlichen Aufwendungen« getätigt haben (Konferenz der Justizministerinnen und Justizminister der Länder 2017, S. 78; nach Zech 2015). In der Praxis trifft das meist auf die

wirtschaftlichen Betreiber der datengenerierenden Maschinen zu, mithin etwa auf Halter/innen von Fahrzeugen oder Unternehmensinhaber/innen, die Produktionsmaschinen einsetzen. Auch bei dieser Lösung zeigt sich aber die Schwäche eines generalisierenden Ansatzes. Im Landwirtschaftskontext beispielsweise leisten regelmäßig und je nach Anwendungsfall mehrere Beteiligte einen wirtschaftlichen Beitrag zur Erzeugung von Landmaschinen-daten (z. B. Landwirt/in, Lohnunternehmer/in, Hersteller) und haben damit ein genuines und berechtigtes Interesse an den erhobenen Daten.

Aufgrund der Vielzahl an denkbaren Einsatzszenarien erscheint die Definition eines allgemeingültigen Kriteriums für die Zuordnung eines »Dateneigentums« als nahezu unlösbare Aufgabe – laut Justizministerkonferenz »käme wohl nur eine generalklauselartige gesetzliche Zuordnung in Betracht« (Konferenz der Justizministerinnen und Justizminister der Länder 2017, S.79). Einzelheiten müssten anschließend durch die Rechtsprechung geklärt werden, was entsprechend lange dauern würde, bis sich eine hinreichend eindeutige Zuordnung herausbilden würde. Sinn und Zweck der Neuentwicklung eines eigentumsähnlichen Datenrechts werden deshalb aus juristischer Sicht kontrovers diskutiert, wobei die skeptischen Stimmen zu überwiegen scheinen (z. B. Datenethikkommission der Bundesregierung 2019, S. 22).

Auch auf der supranationalen Ebene der Europäischen Union, wo ein neu zu schaffendes Datenrecht sinnvollerweise erlassen werden müsste, ist das Thema Dateneigentum seit längerem Gegenstand der Diskussion (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S.61). Die entsprechenden Debatten sind im Kontext der Bemühungen angesiedelt, die die Kommission am 10. Januar 2017 mit ihrer Mitteilung »Aufbau einer europäischen Datenwirtschaft« präsentierte (EK 2017a). Ziel ist der Abbau von Beschränkungen, die einer europäischen Datenwirtschaft im Wege stehen. Dies beinhaltet insbesondere

- › die Verbesserung des Zugangs zu anonymen, von Maschinen erzeugten Daten,
- › Erleichterungen und Anreize für das Teilen solcher Daten,
- › den Schutz von Investitionen mittels eines fairen Vorteilsausgleichs für alle an der Wertschöpfungskette Beteiligten sowie
- › die Minimierung von Lock-in-Effekten, die sich aus ungleichen Verhandlungspositionen ergeben (EK 2017a, S. 12f.).

Zur Vermeidung eines unkoordinierten Vorgehens der nationalen Gesetzgeber, das die Gefahr einer Fragmentierung und eines Schadens für den Aufbau einer EU-Datenwirtschaft bergen würde, schlug die Kommission die Aufnahme eines Dialogs über einen etwaigen künftigen EU-Rechtsrahmen für den Datenzugang vor (EK 2017a, S. 12). Ein erstes Ergebnis war die Publikation eines Arbeitsdokuments (Staff Working Document), in dem die möglichen Grundzüge eines neuen europäischen Datenrechts für nicht personenbezogene Daten skizziert



werden (EK 2017b). Demzufolge scheint die Kommission tendenziell einen Ansatz zu präferieren, der auf der Verkehrsanschauung aufbaut, wobei allerdings auch Alternativen erwogen werden (Specht/Kerber 2017, S. 70 ff.). Die Erörterung der Frage des Datenzugangs und der Datenhoheit ist auf EU-Ebene also noch nicht abgeschlossen und es bleibt abzuwarten, wie sich die Debatte weiterentwickelt (EK 2020).

2.2.3 Farmmanagementsysteme im Überblick

Als Farmmanagementsysteme werden Softwareprodukte verstanden, die spezifisch auf landwirtschaftliche Anwendungszwecke zugeschnitten sind und – auf Basis betrieblicher Daten – der Dokumentation, Analyse und Optimierung landwirtschaftlicher Prozesse dienen. Das Angebot an kommerziellen Farmmanagementsystemen ist in den letzten Jahren stark gewachsen. Neben kleineren Start-ups bieten auch viele große Konzerne Softwarelösungen für die Verwaltung landwirtschaftlicher Betriebsdaten an. Um einen Überblick über die in Deutschland aktuell erhältlichen Dienste zu gewinnen, wurde im Rahmen der Gutachtenerstellung der Forschungsstelle RobotRecht der Universität Würzburg eine umfassende, wenn auch nicht abschließende Recherche zu den in Deutschland erhältlichen Diensten durchgeführt (Vogel/Mesenberg 2018, S. 11 ff.). Diese förderte 23 Softwareprodukte zutage, die im weitesten Sinne als Farmmanagementsysteme einzuordnen sind. Im Folgenden werden – basierend auf der Darstellung von Vogel und Mesenberg (2018, S. 11 ff.) – erst deren generellen Merkmale und Funktionalitäten dargestellt, bevor elf Dienste genauer vorgestellt werden. Ausgewählt wurden diese Dienste anhand bestimmter Kriterien: ihre Zuordnung zu Produktionsbereichen (Pflanzen- oder Tierwirtschaft), Größe und Bedeutung des betreibenden Unternehmens, dessen Standort bzw. Hauptsitz sowie die Zielgruppe der Nutzer/innen (Landwirt/innen, Lohnunternehmer/innen, andere Akteure der Wertschöpfungskette). Das Ziel war, einen möglichst breiten Querschnitt zu erreichen und die Vielfalt der Anwendungen angemessen abzubilden. Die ausgewählten Dienste und ihre Kernmerkmale sind in Tabelle 2.3 aufgeführt.

Bei der Analyse der ausgewählten Dienste stand neben der Erläuterung der Kernfunktionalitäten (Stand Juli 2019) vor allem die Frage im Vordergrund, wie deren Nutzungsbedingungen hinsichtlich der Verwendung landwirtschaftlicher Betriebsdaten ausgestaltet sind. Davon hängt ab, wer über die entsprechenden Daten wie verfügen darf, da das geltende Recht diese Frage nicht ausdrücklich regelt und deshalb vertragliche Vereinbarungen entscheidend sind (Kap. 2.2.2). Der Umgang der Diensteanbieter mit der Datenhoheit wird abschließend noch einmal gesondert zusammengefasst und bewertet.

Tab. 2.3 Ausgewählte Farmmanagementsysteme

Name des Dienstes	Anwendungsbereiche	Anbieter	Sitz	Zielgruppe
»365FarmNet«	Pflanze/Tier	365FarmNet GmbH (CLAAS)	Deutschland	LW
»AgriCircle«	Pflanze	AgriCircle AG	Schweiz	LW, LU
»arvato farmpilot«	Pflanze	Arvato Systems GmbH (Bertelsmann)	Deutschland	aA
»Climate FieldView«	Pflanze	The Climate Corporation (Bayer)	USA/ Deutschland	LW
»MyJohnDeere.com«	Pflanze	John Deere GmbH	USA	LW
»Cropio«	Pflanze	Syngenta Agro AG	Schweiz	LW
»FarmBookpro«	Tier	Big Dutchman AG	Deutschland	LW
»Farmbrite«	Pflanze/Tier	Farmbrite	USA	LW
»fodjan«	Tier	Fodjan GmbH	Deutschland	LW, aA
»trecker.com«	Pflanze	YARA GmbH & Co. KG	Norwegen	LW, LU
»Xarvio«	Pflanze	BASF Digital Farming GmbH	Deutschland	LW

LW = Landwirt/innen; LU = Lohnunternehmer/innen; aA = andere Akteure der Agrarwertschöpfungskette

Quelle: Vogel/Mesenberg 2018, S. 15

2.2.3.1 Merkmale in Deutschland verfügbarer Dienste⁷²

Als wesentliche Gemeinsamkeit der betrachteten Dienste lässt sich festhalten, dass die Anwendungen fast sämtlich auf die Bedürfnisse von Landwirt/innen zugeschnitten sind (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 12 f.). Lediglich einzelne Dienste sehen ihre Zielgruppe vorwiegend bei anderen Beteiligten, etwa bei Landwirtschaftsberater/innen oder größeren Lohnunternehmen bzw. Maschinenringen (z. B. »arvato farmpilot«). Die meisten Dienste spezialisieren sich auf die Pflanzenwirtschaft und bieten eine digitale Ackerschlagkartei, Möglichkeiten zur Planung der Fruchtfolge auf ihren Feldern sowie zur

⁷² Die folgenden Beschreibungen der Funktionalitäten der Dienste, ihrer Preismodelle sowie Nutzungsbedingungen reflektieren den Stand zu Redaktionsschluss im April 2020.



Optimierung und Dokumentation des Betriebsmitteleinsatzes. Weitere gängige Funktionalitäten in diesem Bereich sind das Flotten- sowie Arbeitszeitmanagement (Planung und Dokumentation von Einsatzorten und -zeiten von Landmaschinen sowie automatisierte Arbeitszeiterfassungen). Andere Anwendungen konzentrieren sich stärker auf Fragen des Pflanzenschutzes, indem unter Zuhilfenahme von bildgestützten Analyseverfahren sowie anhand des Wachstumsstadiums der Felder das Krankheits- und Schädlingsrisiko bestimmt wird – mit dem Ziel, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln punktuell nach konkreter Notwendigkeit zu steuern und ihn insgesamt zu reduzieren (z. B. »Xarvio Scouting« und »Xarvio Field Manager«). Daneben existieren diverse Dienste, die sich speziell an die Tierwirtschaft richten (u. a. »fodjan«, »FarmBook-pro«). Neben einem Herdenmanagement mit Datensätzen für jedes Tier als Grundfunktion bieten einige Anbieter auch spezielle Features wie ein innovatives Stallmanagement, das unter Auswertung von Stalltemperatur und -klima die Tiergesundheit und Produktionseffizienz verbessern soll.⁷³

In aller Regel arbeiten die Dienste auf der Grundlage von Basisdaten, die von den Nutzer/innen manuell eingepflegt werden (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S.12). Angefangen bei den Stammdaten des Betriebs (Name, Adresse, Größe) und der Eingabe von Felddaten und Feldgrenzen bei pflanzenbaubezogenen Anwendungen (digitale Schlagkartei) muss etwa bei Herdenmanagementsystemen für jedes Tier üblicherweise ein Datensatz angelegt werden. Darüber hinaus ist jedoch bei den meisten Diensten der automatische Import externer Daten inzwischen standardmäßig implementiert: Bei den pflanzenbaubezogenen Anwendungen gehören dazu detaillierte Informationen zu aktuellen und teilweise auch historischen Wetterbedingungen sowie hochaufgelöste Satellitenbilder der Schläge, die von externen Anbietern wie dem Programm »Copernicus« stammen und aus denen sich teilflächenspezifische Informationen ableiten lassen. Auch der Abruf aktueller Marktpreise für Betriebs- und Futtermittel und darauf basierende Wirtschaftlichkeitsanalysen sind teilweise integriert (z. B. bei »fodjan«, »365FarmNet«). Bietet der Dienst eine Verfolgung des Standorts der Landmaschinen, werden die dafür erforderlichen Positionsdaten häufig über ein GNSS-fähiges Endgerät im Fahrzeug erhoben und per WLAN oder Mobilfunk automatisch übertragen.

Nur wenige Dienste erfordern spezifische Hardware im Fahrzeug oder Stall. Dies betrifft am ehesten solche, die von Landmaschinenherstellern selbst entwickelt und betrieben werden und an herstellerspezifische Telemetriesysteme angebunden sind (wie »JDlink« von John Deere oder »Telematics« von CLAAS). Ein Beispiel dafür ist die Anwendung »MyJohnDeere.com«, die ihre volle Funktionalität nur im Zusammenspiel mit John-Deere-Produkten optimal ausspielt,

73 So z. B. das von Big Dutchman speziell für die Schweinehaltung und Geflügelmast entwickelte Steuerungs- und Managementsystem »BigFarmNet« (<https://www.bigfarmnet.com/portal/portal-de.html>; 18.8.2021).

sodass die bestmögliche Nutzung zumindest faktisch den Erwerb entsprechender Maschinen voraussetzt. Dasselbe gilt für die Anwendung »365FarmNet«, die vor allem auf die Nutzung mit CLAAS-Maschinen abgestimmt ist. Vielfach haben Landwirt/innen jedoch nicht nur Fahrzeuge von einem Hersteller, sondern einen breiten Querschnitt aus älteren und neueren Geräten unterschiedlichster Fabrikationen. Die digitale Vernetzung heterogener Maschinenparks stellt trotz der weitverbreiteten Nutzung der ISOBUS-Schnittstelle und des ISO-XML-Datenformats ein Problem dar. Deshalb arbeiten Anbieter wie John Deere oder CLAAS an gemeinsamen Cloud-to-Cloud-Lösungen, die einen einfachen Tausch von Maschinendaten zwischen den Plattformen verschiedener Hersteller ermöglichen sollen (John Deere 2019b). Andere Anwendungen wiederum (etwa »NEXT Machine Management«) haben den »agrirouter« implementiert (Kap. 2.1.2), um den Umgang mit gemischten Flotten zu vereinfachen und Maschinendaten herstellerübergreifend einbinden zu können.

Darüber hinaus waren keine mit der Nutzung der Farmmanagementsysteme einhergehenden Lock-in-Effekte erkennbar, etwa bezüglich der Betriebsmittel wie Saatgut oder Pestiziden. Allerdings arbeiten die Farmmanagementsysteme selbst nur ausnahmsweise entwicklerübergreifend zusammen – eine einfache Datenmigration zwischen den verschiedenen Anwendungen ist in der Regel nicht möglich (eine Ausnahme ist »MyJohnDeere.com«). Entschließen sich Nutzer/innen also, von einem Farmmanagementsystem zum anderen zu wechseln, dürfte dies ohne Datenverluste gewöhnlich kaum zu bewerkstelligen sein.⁷⁴

Die Geschäftsmodelle der einzelnen Dienste sind vielfältig ausgestaltet (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 13). In aller Regel wird für die Benutzung ein Entgelt verlangt, das sich bei Farmmanagementsystemen meist an der zu bewirtschaftenden Fläche und bei Herdenmanagementsystemen nach der Zahl der Tiere richtet. Einige Dienste bieten eine Grundversion mit eingeschränkter Funktionalität kostenfrei an, zumindest ein Testzeitraum ist in aller Regel entgeltfrei. Dabei sind einige als Baukastensystem ausgestaltet: Landwirt/innen können bei diesen Anbietern diejenigen Funktionen und Module buchen, die für ihren Betrieb relevant sind (etwa bei »365FarmNet« oder bei »Xarvio«). Aufgrund der mitunter stark divergierenden Anforderungen des jeweiligen Hofes ermöglicht dieses Preismodell eine zielgenaue Buchung der erforderlichen Funktionen und verhindert, dass Geld für Anwendungen ausgegeben werden muss, die gar nicht benötigt werden. In einzelnen Fällen ist die Nutzung des Dienstes auch komplett kostenfrei. In diesem Fall ist aber davon auszugehen, dass sich der Anbieter die Nutzung anderweitig vergüten lässt, etwa durch die umfassende Einräumung der Hoheit über die übermittelten Betriebsdaten.

74 Verfügen die jeweiligen Programme über eine ISO-XML-Schnittstelle, lassen sich immerhin Stammdaten (Betriebe, Schläge etc.) sowie Maschinendaten (Maschinenaufträge etc.) relativ problemlos migrieren.



In technischer Hinsicht besteht beinahe durchgängig die Gemeinsamkeit, dass die Daten in der Cloud abgelegt werden (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 13). Das hat den Vorteil, dass die Nutzer/innen von mehreren Endgeräten aus Zugriff auf die Portale haben. In aller Regel bieten die Dienste auch eine Smartphone- oder Tablet-App an, um den Zugriff auf die Daten direkt auf dem Feld zu ermöglichen. Viele Anbieter betonen, dass sie die Daten aus IT-Sicherheitsgründen nur auf ISO-zertifizierten Servern (relevant ist hier vor allem die Norm ISO/IEC 27001⁷⁵) ablegen. Bei einigen Diensten wird zudem ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die umfassende Verfügungsbefugnis der Nutzer/innen über deren Daten respektiert wird (u. a. bei »arvato farmpilot«). Bei anderen hingegen lassen sich die Anbieter weitreichende Nutzungs- und Verwertungsrechte an allen übermittelten Daten einräumen (u. a. bei »Xarvio Field Manager« oder »Cropio«).

365FarmNet

Die Software »365FarmNet« bietet eine umfassende Agrarmanagementsoftware, um einen Betrieb herstellerunabhängig und betriebszweigübergreifend in einem Programm managen zu können (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 16 f.).⁷⁶ Durch die Anbindung an den Landmaschinenkonzern CLAAS, der 100 % der Geschäftsanteile an dem als GmbH organisierten Unternehmen hält, steht hinter der 365FarmNet GmbH ein größeres Unternehmen. Bei »365FarmNet« ist man zwar nicht auf den Besitz von CLAAS-Fahrzeugen angewiesen, Nutzer/innen entsprechender Maschinen können allerdings umfangreichere Funktionen verwenden (so wird etwa eine Feldroutenoptimierung oder eine Maschinenkommunikation speziell für CLAAS-Landmaschinen angeboten).

Das Preismodell von »365FarmNet« ist als Baukastensystem ausgestaltet (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 16 f.): Die Basisversion, die im Wesentlichen eine digitale Ackerschlagkartei beinhaltet und so eine Übersicht über die Schläge und den Stand der Bearbeitung der Felder ermöglicht, ist kostenfrei nutzbar. Allerdings beschränkt sich »365FarmNet« nicht allein auf Pflanzenbau, vielmehr ist auch eine Herdenmanagement-Funktion in der Basisversion enthalten. Auf Wunsch und je nach individuellem Bedarf können darüber hinaus weitere Bausteine hinzugebucht werden, wobei sich deren Preis hauptsächlich nach der Betriebsgröße (ha) richtet. Diese zusätzlichen Module beziehen sich auf die Bereiche Pflanze, Maschinenkommunikation, Rind, Be-

75 https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/Zertifizierung-und-Anerkennung/zertifizierung-und-erkennung_node.html (18.8.2021)

76 <https://www.365farmnet.com/de/produkte/kostenloses-basispaket/> (18.8.2021)



trieb, Futter und Active (zeitaktuelle, direkte Dokumentation von Arbeitszeiten). Als Beispiele für diese Bausteine seien etwa eine Fruchtfolgen- und Sortenplanung, eine Feldroutenoptimierung oder ein tierspezifisches Herdenmanagement genannt.⁷⁷

In technischer Hinsicht soll das Produkt ein »smartes Management« des Betriebs erlauben, indem nach einmaligem Einstellen der relevanten Daten (z. B. Stammdaten, geplante oder abgeschlossene Feldbearbeitungen) im XML-Format schnell auf eine umfassende Übersicht zugegriffen werden kann, die u. a. Marktpreise, Luftbildaufnahmen der Schläge und weitere Features beinhaltet (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 17f.).⁷⁸ Der Zugriff auf die Plattform erfolgt webbasiert und ist daher mit jedem internetfähigen Endgerät möglich. Die eingegebenen Nutzerdaten werden dabei zentral auf ISO-zertifizierten Servern in Deutschland (in der Cloud) gespeichert.⁷⁹ Der versprochene herstellerunabhängige Datenaustausch wird über eine ISO-XML-Anbindung gewährleistet, wobei diese Funktion als separater Baustein zur Grundversion zubuchbar ist.⁸⁰

Zur Datenhoheit versichert der Anbieter, dass jede/r Nutzer/in selbst regeln und bestimmen kann, wer Zugriff auf die Daten hat (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 18).⁸¹ In der Datenschutzerklärung heißt es, dass »keine der uns [365FarmNet] anvertrauten Daten (sowohl personenbezogene Daten als auch Betriebsdaten) an Dritte [weitergegeben werden] – auch nicht an unsere Partner«. ⁸² Sofern eine Weitergabe im Rahmen der unmittelbaren Abwicklung von Geschäftsprozessen unter Verhältnismäßigkeitsaspekten nicht zu vermeiden ist, erfolgt dies der 365FarmNet GmbH zufolge stets zweckgebunden und unter Beachtung größter Sorgfaltspflichten. Inhaltsdaten ohne Personenbezug können allerdings gemäß den Nutzungsbedingungen der Software auch ohne Zustimmung oder vorherige Information der Nutzerin/des Nutzers an den Hersteller eines Bausteins (z. B. AGRAVIS Raiffeisen AG) übermittelt werden, wenn die Funktionsweise des jeweiligen Bausteins dies erfordert.⁸³ Damit gewährt die 365FarmNet GmbH zwar im Grundsatz der Landwirtin/dem Landwirt die umfassende Hoheit über die eingebrachten Daten. Im Falle von zugebuchten Bausteinen, die einen Datenaustausch mit externen Dienstleistern

77 Eine vollständige Übersicht aller verfügbaren Bausteine und deren Kosten findet sich unter <https://www.365farmnet.com/de/agrarsoftware/365plus-agrarmanagement/> (18.8.2021).

78 <https://www.365farmnet.com/de/unternehmen/#ueber-365farmne> (18.8.2021).

79 <https://www.365farmnet.com/de/support/>, Punkt »FAQ Datensicherheit«, »Welche Sicherheitsvorkehrungen werden zum Schutz der Daten getroffen?« (19.3.2020).

80 <https://www.365farmnet.com/de/agrarsoftware/365plus-agrarmanagement/maschinenkommunikation-precision-farming/iso-xml/> (18.8.2021).

81 <https://www.365farmnet.com/de/support/>, Punkt »FAQ Datensicherheit«, »Wer hat Zugriff auf meine Daten?« (4.7.2018).

82 <https://www.365farmnet.com/de/datenschutz/> (19.3.2020).

83 https://www.365farmnet.com/fileadmin/user_upload/downloads/2018/ANB-2017-12-19-de.pdf, S. 7, Punkt 9.5 (19.3.2020)



voraussetzen, lässt sich der Anbieter allerdings vertraglich das Recht zur Weitergabe dieser Daten einräumen.

AgriCircle

Bei »AgriCircle« handelt es sich um eine Plattform der 2012 gegründeten schweizerischen AgriCircle AG (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 18f.). Der Dienst bietet Betrieben zum einen die Möglichkeit, sich digital mit Lohnunternehmen oder Landwirtschaftsberater/innen zu vernetzen, um die Zusammenarbeit zu erleichtern – etwa durch digitale Zugänglichkeit der Schlagdaten und unmittelbare Eintragung der ausgeführten Arbeiten in der Schlagkartei.⁸⁴ Zum anderen hat der Dienst zum Ziel, durch den intelligenten Einsatz von Saatmaschinen, Mähdreschern oder Düngerstreuern zu einer präziseren Feldbewirtschaftung beizutragen. Zur Verfügung gestellt werden dabei eine digitale Ackerschlagkartei und umfassende Dokumentationsfunktionen bezüglich des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln und Düngern. Die Stammdaten können auch von InVeKoS (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem, EU-weit geführtes System zur Identifizierung landwirtschaftlich genutzter Parzellen) als Schnittstelle importiert werden (agrarheute 2015b). »AgriCircle« ist durchgehend kostenpflichtig (Vogel/Mesenberg 2018, S. 19).⁸⁵

Die Daten werden in einer Cloud gespeichert (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 19f.).⁸⁶ Dabei werden neben personenbezogenen Daten, welche unerlässlich für das Erstellen eines AgriCircle-Kontos sind, auch beispielsweise individuelle Suchanfragen innerhalb der Plattform gespeichert und in einem Protokoll festgehalten. Laut Datenschutzerklärung des Unternehmens⁸⁷ wird für alle nicht in der Datenschutzerklärung enthaltenen Nutzungszwecke sowie die Weitergabe personenbezogener Daten eine gesonderte Einwilligung der Nutzer/innen eingeholt. AgriCircle behält sich das Recht vor, alle hochgeladenen Inhalte länderübergreifend zu verwenden, zu vervielfältigen, zu verändern und zu veröffentlichen.⁸⁸ Zudem erklärt der Anbieter in seiner Datenschutzerklärung, dass er »möglicherweise zusammengefasste, nicht personenbezogene Daten an die Öffentlichkeit und unsere Partner – wie beispielsweise Forschungsanstalten oder Vertriebspartner« weitergibt.⁸⁹ Von umfassender Datenhoheit der Landwirtin/des Landwirts kann bei diesem Dienst daher keine Rede sein.

84 <https://www.agricircle.com/about-us> (18.8.2021)

85 <https://www.agricircle.com/#pricing-container> (19.3.2020)

86 <https://www.smart-farming.de/produkt/agricircle/> (19.3.2020)

87 <https://www.agricircle.com/privacy-policy> (19.3.2020)

88 <https://www.agricircle.com/terms-of-service> (19.3.2020)

89 <https://www.agricircle.com/privacy-policy> (19.3.2020)



arvato farmpilot

Eine andere Zielgruppe adressiert »arvato farmpilot« (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S.20). Dabei handelt es sich um ein Farmmanagementsystem der Arvato Systems GmbH, einer 100%igen Tochter der Bertelsmann SE & Co. KGaA. Primär ist es für Lohnunternehmen und Maschinenringe ausgelegt; auch für Lebensmittelhersteller oder Biogasanlagenbetreiber, die ihre Dienstleister und Fahrzeuggruppen miteinander vernetzen und effizient steuern möchten, ist das Programm geeignet.⁹⁰ Zwar können auch Landwirt/innen die Anwendung nutzen, allerdings beschränkt sich die Funktionalität auf die Möglichkeit, ihre Stammdaten zu pflegen und diese an andere Anwender/innen von »farmpilot«(Arvato Systems o. J.) weiterzureichen.

Im Wesentlichen will der Dienst durch die Verknüpfung aller Fahrzeuge des Fuhrparks eines Lohnunternehmens oder Maschinenrings mit dessen die Aufträge disponierenden Leitstelle eine umfassende Logistikorganisation ermöglichen und damit eine bestmögliche Auslastung erreichen (Deter 2012; dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S.20f.). Disponent/innen in einer Leitstelle können alle im Einsatz befindlichen und mit einem entsprechenden Endgerät ausgestatteten Fahrzeuge verfolgen und abschätzen, wie lange der aktuelle Auftrag noch dauert. Anschließend können neue Aufträge (z. B. Ernten oder Düngungen) direkt auf das Endgerät des Fahrers gesendet werden, auf dem dieser alle relevanten Informationen einsehen kann. Zudem können die Fahrer/innen selbst ihre Arbeitszeiten unmittelbar im Terminal auf dem Fahrzeug erfassen, wodurch eine genaue Dokumentation des Arbeitseinsatzes gewährleistet wird.

Das Geschäftsmodell des »arvato farmpilot« ist transparent ausgestaltet: Pro Endgerät (Smartphone oder Tablet) und Monat ist ein Entgelt von 19,50 Euro zu entrichten (Vogel/Mesenberg 2018, S.21). Dabei werden die Kosten nur für die Geräte berechnet, die im jeweiligen Kalendermonat verwendet wurden.⁹¹ Ab einer Nutzung in mindestens 10 Monaten pro Jahr lohnt sich eine Jahreslizenz für 189 Euro pro Endgerät.

Der Datenaustausch zwischen Leitstelle und Fahrzeug erfolgt dabei über eine Cloud (Bayer 2012; dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S.21f.). Zur Frage des Datenschutzes versichert die Arvato Systems GmbH die Einhaltung datenschutzrechtlicher Standards nach der Verordnung (EU) 2016/679 (Datenschutz-Grundverordnung)⁹². Insbesondere werden ihr zufolge keine über die Plattform übermittelten Daten an Dritte weitergeleitet, es sei denn, dies

90 <https://www.arvato-systems.de/arvato-systems/farmpilot> (19.3.2020)

91 <https://www.arvato-systems.de/arvato-systems/farmpilot> (19.3.2020)

92 Verordnung (EU) 2016/679 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung)



ist für die Erbringung von nicht näher benannten Leistungen erforderlich ist.⁹³ Konkretisiert werden die datenschutzrechtlichen Verpflichtungen der Vertragsparteien in einer ausführlichen Auftragsverarbeitungsvereinbarung (Version 4.0 vom 1.10.2020),⁹⁴ in der umfassend die entsprechenden Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung (insbesondere Art. 28) erläutert werden. Datenschutz und Datensicherheit werden demnach auf einem hohen Niveau garantiert. Hinsichtlich des Umgangs mit nicht personenbezogenen Daten sind die Vereinbarungen weniger klar. Gemäß Auftragsverarbeitungsvereinbarung ist die Nutzerin/der Nutzer »alleiniger Herr der Daten«⁹⁵. Nutzende haben zudem ein Recht auf Rückgabe ihrer Daten nach Beendigung des Vertragsverhältnisses, »sofern dies technisch möglich ist«⁹⁶, womit eine ausreichende Datenhoheit gewährleistet scheint.

Climate FieldView

Zum internationalen Vergleich wird im Folgenden die weltweit agierende Plattform »Climate FieldView« des US-amerikanischen Unternehmens The Climate Corporation vorgestellt. Dieses wurde 2006 als Start-up gegründet und 2013 vom ehemaligen Konzern Monsanto aufgekauft (Specter 2013), der wiederum 2018 von Bayer übernommen wurde.

Ziel der Plattform ist es, eine digitale Schlagkartei zu erstellen, Betriebsdaten zu analysieren und so Betriebe bei einer effizienten und produktiven Feldplanung zu unterstützen (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 22 f.). Die im laufenden Betrieb anfallenden Daten werden automatisch und direkt über die ISOBUS-Schnittstelle von Landmaschinen ausgelesen. Benötigt wird dafür das »FieldView Drive«, das mit den Maschinen diverser Hersteller (u. a. Case IH und John Deere), aber längst nicht mit allen kompatibel ist.⁹⁷ Die Daten werden über das »FieldView Drive« zentral erfasst, die Nutzer/innen können jederzeit mit mobilen Endgeräten darauf zugreifen. Die Schlagkartei wird in Echtzeit erstellt, darüber hinaus werden hochauflösende Satellitenbilder von Airbus eingebunden (The Daily Scoop 2019). Durch Farbüberlagerungen lassen sich realistische Abbilder der Ackerschläge herstellen, die über Problembereiche, Staunässe und andere Veränderungen auf dem Acker informieren.⁹⁸

93 https://portal.farmpilot.de/FarmpilotGUI/resources/public/doc/PrivacyPolicy_de.pdf (19.3.2020)

94 https://portal.farmpilot.de/FarmpilotGUI/resources/public/doc/adv_de.pdf (19.3.2020)

95 https://portal.farmpilot.de/FarmpilotGUI/resources/public/doc/adv_de.pdf (19.3.2020), Punkt 6.1, S. 5

96 https://portal.farmpilot.de/FarmpilotGUI/resources/public/doc/adv_de.pdf (19.3.2020), Punkt 10.3, S. 7.

97 Eine Liste mit kompatiblen Maschinen findet sich unter Climate FieldView 2017.

98 <https://climatefieldview.de/funktionen/entdecken-sie-wertvolle-schlag-einsichten> (18.8.2021)



Außerdem befindet sich eine Datenverarbeitungstechnologie zur vorausschauenden Saatgutauswahl in einem fortgeschrittenen Stadium der Entwicklung (»Seed Advisor«, Climate FieldView 2018).

Das Preismodell von »Climate FieldView« ist gestaffelt (Vogel/Mesenberg 2018, S.23). Die Grundversion, die lediglich eine vereinfachte Datenaufbereitung und Speicherplatz in der Cloud bietet, ist kostenfrei nutzbar. Darüber hinausgehende Lösungen (»FieldView Plus/Pro«), mit denen Feldberichte, Ertragsanalysen und zukünftig auch spezifische Saatgutempfehlungen ermöglicht werden, sind kostenpflichtig (grundsätzlich 999 US-Dollar pro Jahr).⁹⁹

In seiner Datenschutzerklärung von Mai 2018 klärt der Anbieter über die Art der gesammelten Daten auf (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S.23). Dazu gehören neben den für die Verwendung des Dienstes erforderlichen Stammdaten auch Informationen über Arbeitsabläufe auf dem Feld (Farming Operations).¹⁰⁰ The Climate Corporation gibt an, die Daten nur für die dort abschließend aufgezählten Zwecke zu verwenden, u. a. zur Verbesserung der Dienste. Darüber hinaus erfolgt laut Anbieter keine Datenweitergabe ohne ausdrückliche Einwilligung der Nutzerin/des Nutzers.¹⁰¹ Insbesondere wird ausdrücklich versichert, die Daten nicht zur Preisermittlung oder für spekulative Geschäfte zu verwenden oder sie an Dritte zu verkaufen.¹⁰² Insgesamt verspricht der Dienst daher ein hohes Maß an Datenhoheit.

MyJohnDeere.com

Das vernetzte Farmmanagement des US-amerikanischen Landtechnikweltmarktführers John Deere bietet diverse Funktionen zur einfacheren Verwaltung der Felder und ist damit als klassisches Farmmanagementsystem einzuordnen. Der Hersteller von Landmaschinen beschäftigt derzeit etwa 75.000 Mitarbeiter und ist als potenziell großer Player auf dem Markt für digitale Agrardienstleistungen anzusehen (Deere & Company 2018).

Die Kernfunktionalitäten des Dienstes sind weitgefächert (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S.23 f.): Über die Einsatzzentrale des Portals »MyJohnDeere.com« besteht die Möglichkeit, eine digitale Ackerschlagkartei anzulegen und verschiedene Betriebsdaten zu erfassen und zu verwalten. Die erforderlichen Stammdaten zum Hof sind von den Landwirt/innen selbst auf der Plattform einzutragen, seit 2019 verfügt »MyJohnDeere.com« allerdings

99 <https://climate.com/pricing> (19.3.2020)

100 <https://www.climate.com/legal-assets/us/pp-20140801-en-82b8c983-145c-42f2-97d0-f9595af48ccb-bfe076bf.pdf>, S. 1 (19.3.2020)

101 <https://www.climate.com/legal-assets/us/pp-20140801-en-82b8c983-145c-42f2-97d0-f9595af48ccb-bfe076bf.pdf>, S. 1 f. (19.3.2020)

102 <https://www.climate.com/legal-assets/us/pp-20140801-en-82b8c983-145c-42f2-97d0-f9595af48ccb-bfe076bf.pdf>, S. 2 (19.3.2020)



auch über eine Schnittstelle für den Import von Daten bestimmter externer Anbieter (Göggerle 2019). Satellitendaten zur grafischen Darstellung der Felder werden von Google Maps bereitgestellt.¹⁰³ Integrierte Werkzeuge, die teilweise auch per Smartphone-App verfügbar sind, sollen die agronomische Entscheidungsfindung unterstützen und damit die Effizienz des Betriebs erhöhen (John Deere 2017a, S. 41). So können etwa mittels einer Streckenhistorie der Arbeitsfortschritt und die Wege der Maschinen auf dem Feld überwacht werden. Voraussetzung hierfür ist aber der Erwerb des hauseigenen Telematiksystems¹⁰⁴ »JDLink«, bei dem es sich um eine Maschinenmanagementlösung (Telemetriesystem) handelt, »mit dem die Eigentümer und Verwalter eine Funkverbindung zu ihren Maschinen herstellen und Warnungen und Maschineninformationen, einschließlich Standort, Auslastung, Leistung und Wartungsdaten, abrufen können«.¹⁰⁵ Während Basisversionen des Moduls mit allen Fabrikaten und Modellen kompatibel sind, ist die Nutzung von »JDLink«/ZXLINK Ultimate, welches die umfangreichsten Funktionsmerkmale und Servicestufen bereitstellt, auf John-Deere-Maschinenmodelle beschränkt.¹⁰⁶

Die Grundfunktionen (Überblick über Feldgrenzen, Anbauhistorie, letzte Maßnahmen) von »MyJohnDeere.com« sind kostenfrei, weitere smarte Agrarlösungen wie Parallelfahrssysteme und Hardware (z. B. John-Deere-Lenksysteme zuzüglich eines besonderen John-Deere-Monitors) kostenpflichtig zu erwerben (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 24). Der Dienst ist grundsätzlich auch für Systeme von Drittanbietern offen. Allerdings stehen innovative Wartungs- sowie Managementfunktionen offenbar nur für John-Deere-Maschinen zur Verfügung, was die Nutzer/innen des Farmmanagementdienstes faktisch an diesen Hersteller bindet, wenn sie dessen Funktionalitäten ganz ausschöpfen wollen.

John Deere sichert Landwirt/innen in seiner Erklärung zur Datenhoheit und Datensicherheit von September 2018 die »volle Datenkontrolle« zu (John Deere 2018). So wird u. a. garantiert, dass nur der Landwirt »selbst entscheidet, wer zu seinen Mitarbeitern oder Partnern gehört und welche Informationen diese sehen und ggf. bearbeiten dürfen«. Die in der Einsatzzentrale »MyJohnDeere.com« von der Maschine oder mobilen Sensoren anfallenden Informationen kann die Kundin/der Kunde einsehen und deren Weitergabe an Partner wie

103 <https://www.deere.com/en/privacy-and-data/terms/>, Abschnitt 11: »Consent on Data Processing and Privacy and Data Statement« (19.3.2020)

104 Unter Telematik (Zusammensetzung aus Telekommunikation und Informatik) ist eine Technologie zu verstehen, die die digitale Übertragung von Daten aus Fahrzeugen und die anschließende Analyse und Nutzbarmachung dieser ermöglicht (Vogel/Mesenberg 2018, S. 24); hierzu anschaulich <https://telematics.dako.de/was-ist-fahrzeugtelematik/> (18.8.2021).

105 https://stellarsupport.deere.com/site_media/downloads/guides/jdlink/jdlink_help/de/Getting_Started/WhatIsJDLink.htm (19.3.2020)

106 https://stellarsupport.deere.com/site_media/pdf/de/manuals/jdlink/ompdf14412_g4_body_cvr.pdf, S. 10 (19.3.2020)



beispielsweise Lohnunternehmer, Anbauberater oder John-Deere-Vertriebspartner aktiv steuern. Werden laut Anbieter für bestimmte vertragliche Dienst- und Serviceleistungen nicht anonymisierte Kundendatensätze benötigt, wird von der Nutzerin/dem Nutzer eine explizite Zustimmungserklärung eingeholt. Explizit wird darauf hingewiesen, dass sich der Umgang mit Nutzungsrechten im Einklang mit der Empfehlung »Datenhoheit des Landwirts« befindet, die im Frühjahr 2018 von verschiedenen Verbänden und Institutionen vorgelegt wurde (DBV et al. 2018).

Cropio

»Cropio« wurde ursprünglich von der zypriotischen The Cropio Group entwickelt, die 2019 von der Syngenta Agro AG übernommen wurde. Der Dienst bietet eine Onlineplattform zur effizienten Planung und Ausführung landwirtschaftlicher Arbeiten an (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S.25 f.). Darüber hinaus hält »Cropio« eine Telematikfunktion bereit, mit der landwirtschaftliche Flächen aus der Ferne satellitengestützt überwacht werden können. Die Satellitendaten stammen dabei aus verschiedenen Systemen und Datenquellen, darunter optische sowie Wettersatellitendaten und Daten aus sogenannten Synthetic Aperture Radars (SAR) (Business Wire 2017). Dadurch lassen sich hochauflösende Bilder der Schläge herstellen, mit denen das Wachstum der Feldfrüchte überwacht und wachstumsschwache Teile des Feldes identifiziert werden können.¹⁰⁷ Besitzer/innen einer AgEagle-Drohne¹⁰⁸, die auf landwirtschaftliche Einsatzzwecke spezialisiert ist, können Drohnenaufnahmen ihrer Felder direkt auf die Plattform hochladen und ihre Analysen auf dieser – deutlich detailreicheren – Basis vornehmen lassen (Burwood-Taylor 2016). Im Juli 2019 wurde verkündet, dass der Dienst nunmehr über eine Schnittstelle zur Einsatzzentrale »MyJohnDeere.com« verfügt (Business Wire 2019).

Die Kosten für die Nutzung des webbasierten Dienstes inklusive seiner Funktionen (vor allem Telematik und Satellitenüberwachung) liegen zwischen 1 und 5 US-Dollar pro überwachtem ha und Jahr.¹⁰⁹ Weiteres Zubehör oder Hardware sind nach den Angaben des Anbieters nicht erforderlich.

In seiner Datenschutzerklärung versichert der Anbieter einerseits, dass Daten niemals ohne Einwilligung an Dritte verkauft oder weitergegeben werden (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S.26).¹¹⁰ Andererseits lässt er sich in den Nutzungsbedingungen ein vollumfängliches Nutzungsrecht an

107 www.farmmanagement.pro/farm-management-system-focused-on-performance/ (18.8.2021)

108 <https://www.ageagle.com/drones> (18.8.2021)

109 <https://about.cropio.com/#frequently-asked-questions> (19.3.2020)

110 <https://about.cropio.com/privacy-policy/>, Abschnitt »How We Use Your Data« (19.3.2020)



den übertragenen Inhalten einräumen.¹¹¹ Wenngleich eine unautorisierte Weitergabe nicht erfolgen sollte, geht die Hoheit über die Daten dennoch auf den Anbieter über. Insofern unterscheidet sich »Cropio« von anderen Diensten, die zum Teil ausdrücklich die Datenhoheit der Landwirt/innen betonen.

FarmBook-pro

Als speziell für die Geflügelmast konzipierter Dienst wurde »FarmBook-pro« ausgewählt (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 27 f.). Er wird von der deutschen Big Dutchman AG angeboten, die knapp 3.600 Mitarbeiter/innen¹¹² beschäftigt (Stand 2019) und Stall- und Fütterungsanlagen für die Geflügel- und Schweinehaltung produziert.¹¹³ Mit der für iOS- und Androidgeräte angebotenen App müssen die Daten manuell eingepflegt werden – von den Initialdaten der Ställe und Silos bis hin zur Temperatur, Luftfeuchtigkeit und dem Futterverbrauch. Die App ermöglicht es vor allem, einen besseren Überblick über die relevanten Betriebsdaten zu behalten. Zusätzlich können aus den erfassten Daten ein Bericht und eine Stallkarte im PDF-Format generiert werden.¹¹⁴

Die App und die Nutzung des Dienstes werden komplett kostenfrei angeboten.¹¹⁵ Als Zusatzfunktion wird eine Weboberfläche bereitgestellt, die mit der App interagiert und ausführlichere Auswertungen sowie eine grafische Aufbereitung der erfassten Daten liefert. Bis zum 1. Juni 2018 wurde auch diese Zusatzdienstleistung kostenfrei angeboten. Seither behält sich Big Dutchman offenbar vor, für den Webclient ein monatliches Entgelt zu erheben.

In seiner Datenschutzerklärung (Stand 13. November 2018) teilt der Anbieter mit, dass sämtliche eingegebenen Daten mit einem Zeitstempel versehen, an einen Server übertragen und dort bis zum Ende des Nutzungsverhältnisses gespeichert werden (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 28).¹¹⁶ Das Unternehmen setzt folglich auf eine Cloud-Lösung. Eine Weitergabe von personenbezogenen Daten an Dritte erfolgt ohne Einwilligung der Nutzerin/des Nutzers nur in den in der Datenschutzerklärung explizit genannten Fällen: u. a. zur Kundenbetreuung innerhalb der Big-Dutchman-Unternehmensgruppe, zur Aufklärung rechtswidriger oder missbräuchlicher Nutzungen des Dienstes sowie zur Erbringung der Dienstleistungen (z. B. das Webhosting) an externe Serviceprovider.¹¹⁷ Eine etwaige Weitergabe erfolgt demnach stets auf Grundlage

111 <https://about.cropio.com/terms-and-conditions/>, Abschnitt 7 »Content« (19.3.2020)

112 <https://www.bigdutchman.de/de/unternehmen/ueber-uns/zahlen.html> (19.3.2020)

113 <https://www.bigdutchman.de/de/unternehmen/ueber-uns/big-dutchman-kurz-knapp/> (19.3.2020)

114 <https://www.farmbookpro.com/de/> (19.3.2020)

115 <https://www.farmbookpro.com/de/pricing> (19.3.2020)

116 <https://www.farmbookpro.com/de/data-protection-notice>, Abschnitt 4.3 (19.3.2020)

117 <https://www.farmbookpro.com/de/data-protection-notice>, Abschnitt 5 (19.3.2020)



der geltenden Vorschriften der Datenschutz-Grundverordnung. Allerdings behält sich der Anbieter bezüglich anonymisierter Daten das Recht vor, »die mit dem Service erhobenen Daten, z. B. Produktionsdaten, für weitere Zwecke zu verwenden und auszuwerten, z. B. zur Verbesserung von Produkten, zur Verbesserung des Service, zur Entwicklung neuer Features und Funktionen sowie zur Optimierung der Benutzeroberflächen«. ¹¹⁸ Da die Verwendungszwecke nur sehr unbestimmt formuliert sind, ist die vollumfängliche Datenhoheit der Nutzerin/des Nutzers nicht eindeutig gesichert.

Farmbrite

Bei Farmbrite handelt es sich um ein US-amerikanisches Start-up, das vor allem kleinen Landwirtschaftsbetrieben dabei helfen soll, die auf ihren Höfen anfallenden Betriebsdaten nutzbringend zu verwerten (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S.28 f.). ¹¹⁹ Sämtliche Daten (z. B. Daten über Schläge, Aussaat, Feldbearbeitungen, Tiere) müssen eigenständig eingegeben werden, eine Importfunktion (etwa aus Exceltabellen) erleichtert aber den Einstieg. Die Funktionalitäten lassen sich in die drei Kategorien »Crop Management« (z. B. Aufzeichnung der Produktivität, Errechnung benötigter Saatgutmengen, grafische Erfassung der Feldgrenzen), »Livestock Management« (z. B. Informationen darüber, ob die Tendenz zur Zeugung tierischer Nachkommen zu- oder abnimmt, oder welche Tiere am erfolgreichsten Nachkommen produzieren ¹²⁰ sowie der Produktivität, Berichte über Reproduktionsraten) und »Farm Management« (z. B. Erfassung der Ein- und Ausgaben, Planung von Ereignissen wie etwa Tierarztbesuche, Erstellung von Arbeitsplänen) einteilen. ¹²¹

Die Grundversion, mit der im Wesentlichen nur eine digitale Bestandsführung und eine Kalenderfunktion angeboten werden, ist kostenfrei erhältlich. Weitere Funktionen sind in mehreren Preismodellen für 15 bis 50 US-Dollar pro Monat buchbar. ¹²²

Die von den Nutzer/innen erfassten Daten werden auf Servern gespeichert und sind damit von mehreren Endgeräten aus abrufbar (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S.28). ¹²³ Der Anbieter erklärt zwar in seinen Datenschutzhinweisen ¹²⁴, dass Farmbrite alleiniger Eigentümer aller auf der Website und der mobilen App gesammelten Informationen ist. Dennoch ist von ei-

118 <https://www.farmbookpro.com/de/data-protection-notice>, Abschnitt 2 (19.3.2020)

119 <http://www.farmbrite.com> (19.3.2020)

120 <http://help.farmbrite.com/help/reproduction-report> (19.3.2020)

121 <https://www.farmbrite.com/farm-management-software> (19.3.2020)

122 <https://www.farmbrite.com/plans-pricing> (19.3.2020)

123 <https://help.farmbrite.com/help/frequently-asked-questions> (19.3.2020)

124 <https://www.farmbrite.com/privacy>; Stand 8.2.2018 (19.3.2020)



nem relativ hohen Maß an Datenhoheit auszugehen, da der Anbieter gleichzeitig in den FAQ¹²⁵ versichert, dass die Daten zu keinem Zeitpunkt an Dritte weitergegeben werden: »Ihre Daten gehören immer Ihnen. Wir werden sie niemals verkaufen oder mit anderen teilen.«

fodjan

Die 2014 gegründete¹²⁶ deutsche fodjan GmbH stellt einen auf das Futtermanagement spezialisierten Dienst bereit. Fodjan kooperiert mit der BayWa AG¹²⁷ und dem niederländischen Landmaschinenhersteller Lely und will ein Smart Feeding ermöglichen (High-Tech Gründerfonds 2017), das die Fütterung der Tiere datenbasiert optimieren und effizienter gestalten soll.¹²⁸

Angeboten wird der Dienst für die Haltung von Schweinen, Mastrindern und Milchkühen (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 30). Die Futterdaten (u. a. verwendetes Futtermittel, Häufigkeit der Fütterung) werden von den Nutzer/innen eingegeben, woraufhin diese Daten analysiert und die Effizienz der Fütterung bewertet sowie Vorschläge für die Zusammensetzung der Futtermittel gemacht werden. Das Ziel ist, Futtermittel bestmöglich einzusetzen und einsparen zu können. Die Bedienung ist ortsunabhängig per App oder über die webbasierte Anwendung »fodjan pro« möglich, auf der alle »fütterungsrelevante[n] Daten vereint und für den Anwender nutzbar und auswertbar bereitgestellt« werden.¹²⁹ Die Preise für die Nutzung des Dienstes sind gestaffelt nach Betriebsgröße (Anzahl der Tiere) und reichen von 39 bis 69 Euro pro Monat.

In der Datenschutzerklärung des Unternehmens¹³⁰ steht, dass personenbezogene Daten nur unter den gesetzlichen Voraussetzungen erhoben, gespeichert, verwendet und falls erforderlich weitergegeben werden (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 30 f.). An den nicht personenbezogenen Anwendungsdaten lässt sich fodjan allerdings in seinen Nutzungsbedingungen ein nicht ausschließliches, zeitlich und räumlich unbefristetes sowie unentgeltliches Nutzungsrecht einräumen, insbesondere zum Zweck der Verbesserung und Weiterentwicklung des Dienstes.¹³¹ Der Anbieter versichert, dass die bei

125 Im Original: »Your data is always yours. We will never sell it or share it with anyone.« <https://help.farmbrite.com/help/frequently-asked-questions> (19.3.2020)

126 <https://fodjan.de/infos/story> (19.3.2020)

127 <https://www.baywa.de/de/i/entdecken/smart-farming/fodjan-smart-feeding/> (18.8.2021)

128 Für BayWa ermöglicht die Kooperation das Angebot eines Exklusivpakets »BayWa Rind« für BayWa-Fütterungsberater, die mithilfe dieses Tools Landwirt/innen hinsichtlich einer individuellen Betriebsoptimierung beraten können. Die Kooperation mit Lely hat strategische Zwecke und soll durch die Zusammenarbeit die Software weiterentwickeln und »damit auf die nächste Ebene heben« (fodjan GmbH 2016).

129 <https://fodjan.de/> (18.8.2021)

130 <https://fodjan.de/infos/policy>; Stand 25.9.2017 (19.3.2020)

131 <https://fodjan.de/infos/terms>, § 5 Abs. 3 (19.3.2020)



der Registrierung und Nutzung des Dienstes oder der App freiwillig eingetragenen Daten ausschließlich zur Erfüllung der vorher definierten Zwecke verwendet werden.¹³² Dies vermittelt zumindest eine gewisse Sicherheit für die Nutzer/innen, wenngleich die Hoheit über die nicht personenbezogenen Daten de jure komplett an den Anbieter abgegeben wird (vergleichbar mit dem Dienst »Cropio«).

trecker.com

Bei »trecker.com« handelt sich primär um eine Dokumentationssoftware. »trecker.com« startete 2012 an der Humboldt-Universität zu Berlin (Brisslinger 2016), gehört aber seit dem 2. Juli 2018 zum norwegischen Düngemittelhersteller Yara (Yara 2018). Das cloudbasierte System enthält vor allem eine digitale Ackerschlagkartei, in die alle Informationen zu erledigten Maßnahmen, ausgebrachten Betriebsmitteln, angefallenen Kosten und Arbeitszeiten übertragen werden können (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 31). Das geschieht automatisch, indem die Mitarbeiter/innen des Betriebs die Smartphone-App »trecker.com« nutzen, um die Schritte abzuarbeiten.¹³³ Wege- und Arbeitszeiten können durch die Erfassung von GNSS-Daten des Smartphones auf die Minute genau dokumentiert werden, was insbesondere für die Einhaltung von aus dem Mindestlohngesetz (MiLoG)¹³⁴ stammenden Dokumentationspflichten hilfreich ist. Zudem erfasst die Software alle Kosten der Maßnahmen und Schläge, rechnet sie zusammen und bereitet sie grafisch auf. Bis Oktober 2018 galten für die Nutzung folgende Preise:¹³⁵ Eine Einsteigerversion, die im Wesentlichen eine mobile Ackerschlagkartei enthält, ist dauerhaft kostenfrei erhältlich. Die Vollversion, die darüber hinaus die genannten Funktionen zur Arbeitszeit- und Kostenerfassung sowie Wegeverläufe der Mitarbeiter und eine Übersicht über deren aktuelle Position auf einer Karte enthält, ist dagegen kostenpflichtig (ab 50 Euro pro Monat).

Personenbezogene Daten bei der Nutzung von »trecker.com« werden u. a. bei der Registrierung erfasst, aber laut Datenschutzerklärung von Yara Digital Farming (Stand 18. Januar 2019) den gesetzlichen Vorgaben entsprechend nur für definierte Zwecke verwendet.¹³⁶ Dies gilt jedoch nicht für anderweitige Da-

132 Der Nutzer soll »Herr« über all seine persönlichen Daten sein (<https://blog.fodjan.de/dsgvo/>; 19.3.2020).

133 <https://www.trecker.com/index.php/kein-papierkram-mehr-mit-der-ackerschlagkartei-von-trecker-com/funktionen/> (19.3.2020)

134 Gesetz zur Regelung eines allgemeinen Mindestlohns (Mindestlohngesetz – MiLoG)

135 Zum Redaktionsschluss dieses Berichts (April 2020) waren die Preisinformationen nicht mehr auf der Webseite abrufbar, sodass nicht ausgeschlossen ist, dass sich die Preispolitik des Anbieters nach der Übernahme durch Yara geändert haben könnte.

136 <https://www.yara.com/privacy-and-legal/digital-farming-privacy/digital-farming-privacy-german/> (19.3.2020)



ten (z. B. agronomische und geschäftsbezogene Daten, Soft- und Hardwaredaten), die sich nicht auf eine konkrete Person beziehen. Diese Informationen können laut Datenschutzerklärung »für beliebige Zwecke« genutzt und offengelegt werden, sofern dies nicht geltenden Gesetzen zuwiderläuft. Die Datenhoheit der Landwirtin/des Landwirts bezüglich dieser Daten ist folglich nicht umfassend gewährleistet. Dies steht in gewissem Widerspruch zu ursprünglichen Aussagen des neuen Betreibers Yara, wonach alle von »trecker.com« erhobenen Daten streng vertraulich behandelt und weder extern noch intern weitergegeben werden sollen (Eder 2018b).

Xarvio

Bei »Xarvio« handelt es sich um einen Dienst, der einen Fokus speziell auf die Erkennung von Krankheits- und Schädlingsrisiken legt. »Xarvio« wurde 2017 als Digitalmarke von Bayer eingeführt (Deter 2017). 2018 wurde der Dienst von der BASF SE erworben (BASF 2018b), nachdem Bayer seine eigene Digitalsparte im Zuge des Kartellverfahrens zur Monsanto-Übernahme verkaufen musste (Fröndhoff 2018).

Bestandteil von »Xarvio« ist einerseits der Field Manager und andererseits das Scouting. Der Field Manager ist als Webanwendung und App verfügbar und soll dem User einen Überblick über den Schlag verschaffen, dessen effiziente Bewirtschaftung ermöglichen und durch die ständige Überwachung vor Schädlingsbefall schützen helfen.¹³⁷ Mit dem Feldmonitor lassen sich, basierend auf Satellitendaten und aktuellen Wetterinformationen, feldzonenspezifische Informationen ableiten (Biomassekarten, Übersicht über leistungsstarke Feldzonen, Dokumentation und Analyse von Feldmanagementaktivitäten, stündliche Wettervorhersage etc.). Ein Applikationstimer wiederum dient der Identifikation von Krankheits- und Schädlingsrisiken anhand des Wachstumsstadiums der Felder sowie anhand von Wetter- und Felddaten, um somit Pflanzenschutzmittel möglichst effizient einsetzen zu können. Ergänzend dazu geben variable Applikationskarten anhand der Vegetationsdichte an, mit welcher Aufwandsmenge Fungizide im Winterweizen gezielt auszubringen sind.

Die auszuwertenden Daten über angebaute Kulturen (Saatzeitpunkt, Ertragserwartung, Vorfrucht, Bodenbearbeitungssystem) werden vom Anwender selbst eingegeben (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 32 f.). Entscheidungshilfen bietet das Programm dann durch automatisierte Analysen, Vorhersagen und Empfehlungen – etwa bezüglich der Zeit, der Auswahl und der Menge an Pflanzenschutzmitteln. Die Module des Field Manager sind kostenpflichtig: Der Feldmonitor kostet 450 Euro pro Betrieb und Jahr, der Applikationstimer zwischen 200 und 300 Euro (je nach angebaute Pflanzenart), und

137 <https://www.xarvio.com/de/Field-Manager> (19.3.2020)



die Kosten für die Applikationskarten belaufen sich auf 3 Euro/ha.¹³⁸ Eine besondere Abhängigkeit von BASF-Produkten für die (umfassende) Nutzung des Dienstes ist nicht erkennbar.

Ergänzend bietet »Xarvio« mit dem Scouting eine kostenlose Smartphone-App an. »Scouting identifiziert Unkräuter, zählt und bestimmt Insekten in der Gelbschale, erkennt Krankheiten, analysiert Blattschäden und zeigt [...] den Stickstoffstatus.«¹³⁹ Dabei bedient sich die App eines selbstlernenden Algorithmus, womit sich die Genauigkeit des Dienstes durch die Vielzahl an hochgeladenen Daten durch maschinelles Lernen stetig verbessern soll.

Die vom Field Manager gesammelten Daten werden in einer ISO-zertifizierten Cloud gespeichert (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 33).¹⁴⁰ In seinen Nutzungsbedingungen setzt BASF das Einverständnis voraus, dass »die Informationen, die durch den Nutzer oder Dritte, denen er Zugang gewährt hat, zur Verfügung gestellt wurden [...], nach Anonymisierung für jeden Geschäftszweck des BASF-Konzerns (einschließlich aber nicht beschränkt auf den Zweck der kontinuierlichen Verbesserung von Algorithmen im Bereich der digitalen Landwirtschaft« genutzt werden dürfen.¹⁴¹ Insofern lässt sich der Anbieter die umfassende Hoheit über die übermittelten Daten einräumen, gewährleistet aber zumindest eine vorherige Anonymisierung.

2.2.3.2 Umgang der Dienste mit der Datenhoheit

Die analysierten Dienste behandeln die Datenhoheit höchst unterschiedlich (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 34):

- > Einige Anbieter greifen die Sorgen der Landwirt/innen auf und werben explizit mit Gewährleistung von deren Datenhoheit (vor allem Farmbrite; ein hohes Maß an Datenhoheit bieten aber auch die Dienste »ClimateField-View« oder »MyJohnDeere.com«). Welches Niveau an Datenhoheit im Einzelnen eingeräumt wird, ist jedoch unterschiedlich: Während die meisten sich auf die Zusicherung beschränken, die Daten nur für vorher festgelegte Zwecke und im Übrigen nur nach Zustimmung der Nutzerin/des Nutzers zu verwenden (z. B. »Climate FieldView«), gewähren andere darüber hinaus Einsichtnahme in die gespeicherten Daten (»MyJohnDeere.com«) und/oder sichern sogar das Recht zu, dass sämtliche Daten nach Beendigung des Vertragsverhältnisses auf Verlangen gelöscht bzw. zurückgegeben werden (z. B. »arvato farmpilot«).
- > Bei anderen Diensten wiederum lassen sich die Anbieter explizit weitreichende Nutzungsrechte an allen anonymisierten Nutzerinhalten gewähren

138 <https://www.xarvio.com/de/de/pricing.html> (19.3.2020)

139 <https://www.xarvio.com/de/de/Scouting.html> (19.3.2020)

140 https://fm.xarvio.com/docs/faq/de_de.html (19.3.2020)

141 https://fm.xarvio.com/docs/tc/de_de.html (19.3.2020)



- (vor allem der Dienst »Xarvio«, Ähnliches gilt für »Cropio« oder »Agri-Circle«).
- › Wieder andere Anbieter verzichten darauf, Interessenten und Nutzende ihrer Dienste über den Umfang ihrer Datenhoheit umfassend und transparent aufzuklären (u. a. »fodjan«, »FarmBook-pro«). Fodjan z. B. versichert auf seiner Webseite zwar, dass die bei der Registrierung und Nutzung des Dienstes anfallenden Daten ausschließlich zur Erfüllung bestimmter Zwecke (etwa der Rationsberechnung) verwendet werden¹⁴² – gleichzeitig lässt sich das Unternehmen aber gemäß seiner Datenschutzerklärung ein Nutzungsrecht an allen nicht personenbezogenen Anwendungsdaten zubilligen.¹⁴³

Dabei lassen sich diese gegensätzlichen Herangehensweisen nicht an dem Sitz des Anbieters festmachen (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 34). So gibt es auf der einen Seite deutsche Anbieter, die Landwirt/innen keine Datenhoheit garantieren (wie etwa BASF mit »Xarvio«), und auf der anderen Seite US-amerikanische Dienste, die umfassende Kontrolle über die eigenen Daten zusichern (z. B. John Deere oder The Climate Corporation mit »Climate FieldView«) – und umgekehrt. Auch die Größe des Unternehmens scheint nicht ausschlaggebend zu sein: Sowohl große (BASF, John Deere) als auch kleine Unternehmen (AgriCircle, Farmbrite) verhalten sich in dieser Frage sehr unterschiedlich.

Ein entscheidender Aspekt mit Blick auf die Datenhoheit ist die Frage, ob transparent offengelegt wird, zu welchen Zwecken die erhobenen Daten verarbeitet werden dürfen (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 35). Hier gilt es, zwischen personen- und nicht personenbezogenen Daten zu differenzieren. Hinsichtlich personenbezogener Daten sieht das europäische Datenschutzrecht in Art. 5 Abs. 1 lit. b Datenschutz-Grundverordnung einen strikten Zweckbindungsgrundsatz vor. Demnach dürfen personenbezogene Daten nur »für festgelegte, eindeutige und legitime Zwecke erhoben werden und dürfen nicht in einer mit diesen Zwecken nicht zu vereinbarenden Weise weiterverarbeitet werden«. Soweit also personenbezogene Daten in Rede stehen, ist der Dienstanbieter an einer willkürlichen Weiterverarbeitung der erhobenen Daten gehindert.

Anders ist dies im Fall von nicht personenbezogenen Daten (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 35). Da wie dargelegt für diese Art von Daten, zu der auch auf dem Hof anfallende Betriebsdaten zählen, keine besonderen gesetzlichen Regelungen existieren, sind dem Dienstanbieter grundsätzlich keine Grenzen gesetzt, zu welchen Zwecken er die gewonnenen Informa-

142 <https://blog.fodjan.de/dsgvo/> (19.3.2020)

143 <https://fodjan.de/infos/terms>, § 5 Abs. 3 (19.3.2020)



tionen verwendet. Allenfalls bei einer vertraglich vereinbarten Zweckbestimmung ist er an die entsprechende Klausel der Vereinbarung gebunden. Sofern eine solche nicht existiert, weil er die Daten beispielsweise ohne vertragliche Grundlage erlangt hat oder eine solche Klausel vertraglich nicht festgelegt wurde, sind nach geltender Rechtslage keine Einschränkungen in Bezug auf den Zweck der Datenverwendung gegeben.

Hinsichtlich der zuvor näher analysierten Dienste ist festzustellen, dass etwa The Climate Corporation (Betreiber von »Climate FieldView«) sich in seiner Datenschutzerklärung dazu verpflichtet, personenbezogene ebenso wie nicht personenbezogene Daten nur zu den in der Erklärung abschließend aufgezählten Zwecken zu nutzen (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 35 f.). Anders ist dies etwa bei »FarmBook-pro« geregelt. In der Datenschutzerklärung des Betreibers steht, dass anonymisierte Daten wie z. B. Produktionsdaten »für weitere Zwecke« verwendet werden, wobei lediglich eine Auswahl daraus aufgezählt wird (»zur Verbesserung von Produkten, zur Verbesserung des Service« etc.).¹⁴⁴ Das ermöglicht es dem Unternehmen, die nicht personenbezogenen Produktionsdaten zu beliebigen Zwecken einzusetzen. Sofern also die Zwecke hinsichtlich der Verwendung nicht personenbezogener Daten vertraglich nicht klar und eindeutig definiert werden, hat die Nutzerin/der Nutzer der Anwendung keine wirkliche Kontrolle darüber, was mit den Betriebsdaten geschieht. Dieser Umstand macht es – zusammen mit den oft vagen Formulierungen in den Nutzungsvereinbarungen – für Landwirt/innen tendenziell schwierig einzuschätzen, wem und in welchem Umfang sie die Nutzungsrechte an ihren Daten übertragen, wenn sie einen Dienst nutzen.

Insgesamt ist also festzustellen, dass die derzeitige Rechtslage, die vor allem auf vertragliche Vereinbarungen baut, Anbietern von Farmmanagementsystemen einen praktisch unbegrenzten Spielraum einräumt, wie sie mit der Datenhoheit umgehen wollen. Eine Pflicht, in den Nutzungsvereinbarungen transparent und klar darzulegen, wie mit den erhobenen Daten verfahren wird, besteht nicht. Außerdem sind die Anbieter frei darin, die einmal getroffenen Vereinbarungen jederzeit anzupassen oder zu verändern, wie das Beispiel »trecker.com« zeigt. Zwar besteht in solchen Fällen die Möglichkeit, den Nutzungsvertrag zu kündigen. Die auf der Plattform gespeicherten Betriebsdaten verbleiben jedoch üblicherweise beim Betreiber und können – es sei denn, es wurde explizit etwas anderes vereinbart, was selten der Fall ist – nicht zurückgefordert werden. Insofern birgt diese Regelungssituation für die Nutzer/innen von Farmmanagementsystemen potenzielle Rechtsunsicherheiten. Verschärfend kommt hinzu, dass sie üblicherweise in einer schwächeren Marktposition sind als die Anbieter.

¹⁴⁴ <https://www.farmbookpro.com/de/data-protection-notice> (19.3.2020)



2.3 Fazit

In diesem Kapitel wurden der Stand, die Herausforderungen und Perspektiven der Landwirtschaft 4.0 beleuchtet, die als die nächste landwirtschaftliche Entwicklungsstufe gilt. Wie sich zeigt, steht die Verwirklichung einer umfassend vernetzten Landwirtschaft noch vor diversen Hürden. Defizite gibt es noch hinsichtlich einer leistungsfähigen Breitbandinfrastruktur, die insbesondere im ländlichen Raum vielerorts nicht existiert, der Bereitstellung von behördlichen Geodaten (z. B. Katasterdaten, Bodenkarten, Wegenetze) sowie offener Schnittstellen und Datenformate, um die Verknüpfung von Daten aus unterschiedlichen Quellen zu ermöglichen. Da davon auszugehen ist, dass landwirtschaftliche Betriebe insbesondere bei der Datenauswertung zunehmend auf externe Dienstleister angewiesen sein werden, kann dies zu potenziell neuen wirtschaftlichen Abhängigkeiten führen, vor allem da der Schutz von Betriebsdaten und die Nutzung und Verarbeitung durch Dritte wie Maschinen- oder Softwarehersteller rechtlich bislang nicht verbindlich geregelt sind. Bereits seit einigen Jahren sind Tendenzen im Bereich der Agrarbranche zu beobachten, die befürchten lassen, dass sich die ökonomischen Machtrelationen zuungunsten der Landwirt/innen entwickeln könnten, sollten digitale Plattformen und darauf basierende Geschäftsmodelle in der Agrarbranche weiter an Bedeutung gewinnen. In Befragungen wird dies immer wieder als eines der größten Hemmnisse für die Anwendung digitaler Technologien benannt.

Wie dargelegt, bringt die fortschreitende Digitalisierung potenzielle Veränderungen in den landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten mit sich, deren Ausprägungen derzeit aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums der Landwirtschaft 4.0 noch weitgehend offen sind. Hinsichtlich der »Marktverbindungsbeziehungen in Wertschöpfungsketten« unterscheidet Roosen (2017, S. 17 ff.; im Anschluss an Gereffi et al. 2005) zwischen fünf Typen, die von »freie[n] Marktbeziehungen zwischen allen Teilen der Wertschöpfungskette« über flexible Formen – geprägt von direkten Geschäftsbeziehungen zwischen Produzenten und Abnehmern – bis hin zu stärker von Einzelunternehmen dominierten und hierarchisch geprägten Wertschöpfungsketten reichen. Bei der letzteren Variante werden »Daten und Produktionsentscheidungen auf vorgelagerte oder nachgelagerte Unternehmen« übertragen, was sehr wahrscheinlich zur Folge hätte, dass »der Handlungsspielraum, z. B. in der Landwirtschaft, stark eingeschränkt wird« (Roosen 2017, S. 17). Die Agrarbranche steht mit der Digitalisierung diesbezüglich wohl an einer entscheidenden Weggabelung: Entwickeln sich die Wertschöpfungsketten eher in eine offene, von kollaborativen Beziehungen geprägte oder in eine eher einseitige, von einzelnen Marktakteuren dominierte Richtung (Rotz et al. 2019a; Wolfert et al. 2017)?

Der Datenhoheit kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Denn die weitere Entwicklung der digitalen Landwirtschaft hängt maßgeblich davon ab, wer über die



2 Auf dem Weg zur digital vernetzten Landwirtschaft

landwirtschaftlichen Daten verfügen und sie verwerten darf – wer also letztlich von der digitalen Wertschöpfung am stärksten profitiert. Deshalb ist es wichtig sicherzustellen, dass die wirtschaftlichen Interessen der Landwirt/innen auch in einer zukünftigen Plattformwirtschaft angemessen Berücksichtigung finden. Dazu gehört, wie auch das BMEL (2017b, S. 19) betont, Abhängigkeiten zu vermeiden und landwirtschaftlichen Betrieben »möglichst viele Alternativen [z. B. beim Kauf von Betriebsmitteln]« offenzuhalten. In erster Linie geht es aber darum, dass Landwirt/innen die Chance bekommen, an der mit ihren Daten erzeugten digitalen Wertschöpfung angemessen zu partizipieren.

3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien

Mit der zunehmenden Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und ihren digitalen Anwendungen in der Landwirtschaft wird die Erwartung deutlich positiver Effekte auf Umwelt und Tierwohl verbunden. Angenommen wird, dass sich durch digitale Agrartechnologien der ökologische Fußabdruck der Landwirtschaft reduzieren lässt (Walter et al. 2017). Der teilflächenspezifische bzw. -variierte Einsatz von Betriebsmitteln soll die Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion erhöhen und somit zur Ressourcenschonung und Umweltentlastung beitragen.

Bei den Umwelteffekten der Digitalisierung in der Landwirtschaft ist zu unterscheiden zwischen (Weller von Ahlefeld 2019)

- › direkten Umwelteffekten (First-Order-Effekte): Diese umfassen alle Wirkungen infolge der Produktion, Nutzung und Entsorgung der eingesetzten IKT, d. h. z. B. den damit verbundenen Energie- und Ressourcenverbrauch und seine Folgen;
- › indirekten Umwelteffekten durch veränderte landwirtschaftliche Produktionsprozesse (Second-Order-Effekte): Diese beinhalten die durch die Digitalisierung landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen ausgelösten Wirkungen, insbesondere infolge eines verringerten Einsatzes von Inputressourcen (wie Dünge- und Pflanzenschutzmittel) sowie der Einsparung von Transportwegen;
- › indirekten Umwelteffekten durch Veränderungen bei Produktion und Konsum (Third-Order-Effekte; z. B. durch sich verändernde Kostenstrukturen und Preise für Agrarprodukte): Digitalisierungsschritte in der Landwirtschaft können über veränderte Kosten und Nachfrage zu neuen Produktionsstrukturen führen, die wiederum Umweltwirkungen verursachen.

Die *direkten Umweltwirkungen* (First-Order-Effekte) der Nutzung digitaler Technologien in der Landwirtschaft werden in dem hier vorliegenden Bericht nicht behandelt. Eine Bestimmung des Anteils der Landwirtschaft am Energie- und Ressourcenverbrauch sowie der Umweltwirkungen bei der Produktion, Nutzung und Entsorgung von IKT wurde bisher nicht vorgenommen.

Die folgende Analyse konzentriert sich auf die *indirekten Umwelteffekte* (Second-Order-Effekte) durch veränderte Produktionsprozesse in der Landwirtschaft infolge des Einsatzes digitaler Technologien. Damit stehen die Umweltwirkungen der Präzisionslandwirtschaft (Precision Agriculture) im Mittelpunkt. Dazu werden die verschiedenen Ansätze eines teilflächenspezifischen bzw. -variierten Einsatzes von landwirtschaftlichen Produktionsmitteln, die die Effi-

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

zienz der landwirtschaftlichen Produktion steigern sollen, behandelt (Kap. 3.2). Außerdem werden die Auswirkungen auf das Tierwohl diskutiert (Kap. 3.3).

Die *indirekten Umwelteffekte* (Third-Order-Effekte) *durch veränderte Produktionsstrukturen* infolge der Digitalisierung stellen komplexe Zusammenhänge dar, die durch veränderte Agrarstrukturen sowie Anpassungsreaktionen bei Produktion und Konsum verursacht werden. Hier interessieren insbesondere sogenannte Reboundeffekte. Als Reboundeffekt wird eine Entwicklung bezeichnet, bei der die potenzielle Einsparung einer Ressource bei der Einführung einer effizienteren und damit ressourcensparenderen Technologie teilweise oder vollständig durch eine höhere Nachfrage nach der Ressource kompensiert wird. Damit geht ein mehr oder weniger großer Teil der möglichen Ressourcenschonung bzw. Umweltentlastung wieder verloren (Berkhout et al. 2000; Weller von Ahlefeld 2019). Dieser Effekt kann dadurch entstehen, dass der effizientere Einsatz einer Ressource die Kosten der Ressourcennutzung senkt und eine erhöhte Nachfrage nach dieser Ressource wirtschaftlich macht (direkter Reboundeffekt) oder dass die durch die Kostenersparnis freiwerdenden Mittel zu einer steigenden Nachfrage nach einer anderen Ressource führen (indirekter Reboundeffekt). Reboundeffekte durch Präzisionslandwirtschaft wurden bisher wenig betrachtet, ihre Möglichkeit wird im Folgenden exemplarisch für die teilflächenspezifische Bewässerung diskutiert (Kap. 3.2.1).

Die Erforschung und Entwicklung digitaler Agrartechnologien schreiten schnell voran (TAB 2021), und ihre Verfügbarkeit und Nutzung in der Landwirtschaft sind im Fluss. Bei der Diskussion der Umweltwirkungen ist deshalb zwischen bereits eingetretenen Effekten und potenziellen zukünftigen Umweltentlastungen zu unterscheiden.

Aussagen zu Umweltwirkungen basieren auf Feldversuchen, betrieblichen Erhebungen und Modellberechnungen. Allerdings stehen insbesondere bei älteren Untersuchungen die Funktionsfähigkeit von digitalen Technologien zum teilflächenspezifischen bzw. -variieren Einsatz von Inputs und ihre Wirtschaftlichkeit im Mittelpunkt. Es gibt nur eine begrenzte Anzahl von Einzeluntersuchungen, in der explizit die ökologischen Wirkungen der Anwendung digitaler Technologien in der Landwirtschaft beleuchtet werden. Reviews und Metaanalysen fehlen weitgehend, da die wissenschaftliche Datenbasis zu Umweltwirkungen bisher begrenzt ist.

3.1 Einflussfaktoren auf die Ausprägung von Umweltwirkungen

Die Abschätzung der Umweltwirkungen digitaler landwirtschaftlicher Technologien ist mit einigen Schwierigkeiten verbunden (Rösch et al. 2007, S. 130f.). Denn eine Reihe von Faktoren bestimmt die aktuelle und mögliche zukünftige Ausprägung von Umweltentlastungen. Es ist grundsätzlich zu unterscheiden

3.1 Einflussfaktoren auf die Ausprägung von Umweltwirkungen



zwischen Unsicherheiten bei der wissenschaftlichen Bestimmung und Bewertung von Umweltwirkungen einerseits sowie bei der Ausprägung von Umweltentlastungen durch die Nutzung digitaler Technologien in der landwirtschaftlichen Praxis andererseits.

Problemfelder bei der wissenschaftlichen Bestimmung und Bewertung von Umweltwirkungen von digitalen Agrartechnologien sind:

- > *Repräsentationsproblem*: Die bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse beziehen sich auf spezifische Standort- bzw. Haltungsbedingungen sowie ausgewählte Technologien und Kulturarten. Damit stellt sich die Frage, inwieweit die Untersuchungsansätze repräsentativ sind für die Landwirtschaft, also typische Standorte, Anbauverfahren und Betriebscharakteristika erfasst sind. Beispielsweise beruhen Aussagen zu Umweltwirkungen teilweise auf Untersuchungen in Australien und den USA. Aufgrund der stark unterschiedlich ausprägten Anbaubedingungen und -systeme sind die Ergebnisse nicht automatisch auf deutsche bzw. europäische Anbausysteme übertragbar. In der Regel steht nicht die Richtung der veränderten Umweltwirkungen infrage, aber die erzielbare Größenordnung der Umweltentlastung ist dadurch unsicher. Im Folgenden wird deshalb soweit wie möglich auf deutsche und europäische Versuchsergebnisse Bezug genommen.
- > *Übertragungsproblem*: Die Versuchsbedingungen müssen nicht zwangsläufig mit der landwirtschaftlichen Praxis übereinstimmen. Vielfach stammen Aussagen aus wissenschaftlichen Untersuchungen, die in den 1990er und 2000er Jahren durchgeführt wurden, bevor entsprechende Technologien (z. B. N-Sensorsysteme) kommerziell verfügbar waren. Dies bedeutete beispielsweise, dass die angewandten Erhebungsmethoden (z. B. zur Unkrauterfassung) und die eingesetzten technischen Lösungen nicht direkt für landwirtschaftliche Betriebe nutzbar waren. Die Folge kann eine Über- oder Unterschätzung von Umweltbelastungspotenzialen sein. Eine Überschätzung kann bestehen, falls sich die Versuchsbedingungen nicht vollständig in die landwirtschaftliche Praxis übertragen lassen. Eine Unterschätzung kann vorliegen, wenn die mittlerweile kommerziell verfügbaren Technologien effizienter sind.
- > *Verallgemeinerungsproblem*: Wissenschaftliche Untersuchungen sind bisher weitgehend auf bestimmte Standorte, Kulturarten und Verfahren beschränkt. Dadurch ist unsicher, ob und in welchem Umfang die Ergebnisse auf einen großflächigen Einsatz und neue Anwendungen der Präzisionslandwirtschaft übertragbar sind.
- > *Kombinationsproblem*: Bisher werden ausschließlich die Auswirkungen von einzelnen Maßnahmen einer teilflächenspezifischen bzw. -variieren Bewirtschaftung (z. B. Dünge-, Pflanzenschutzmitteleinsatz) diskutiert. Umwelteffekte, die von der Nutzung einer Vielzahl von digitalen Anwendungen

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

gen im landwirtschaftlichen Betrieb ausgehen, wurden bisher nicht betrachtet. Bestimmte Umweltentlastungen werden additiv sein, beispielsweise die potenziellen Kraftstoffeinsparungen durch teilflächenspezifische Bodenbearbeitung und Parallelfahrssysteme. Es sind aber auch Zusammenhänge möglich, wo eine teilflächenspezifische Maßnahme (z. B. Aussaat) das Einsparpotenzial einer anderen teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsmaßnahme (z. B. Stickstoffdüngung) verringert.

- > *Komplexitätsproblem:* Die ökologischen Wirkungszusammenhänge in Agrarökosystemen sind hochgradig komplex, sodass bei einer Änderung der Aufwandsmengen zwar das Risikopotenzial abnimmt, aber nicht automatisch auf entsprechende Umweltentlastungen geschlossen werden kann. Faktoren wie Bodentyp und -beschaffenheit des Standorts oder Witterungsbedingungen bei der Applikation spielen eine wichtige Rolle. Beispielsweise wird der durch die Düngung bedingte Nitrateintrag in tiefere Bodenschichten und ins Grundwasser u. a. davon beeinflusst, wie die Stickstoffdynamik im Boden abläuft, welche Bindungsfähigkeit für Stickstoff der Boden aufweist und welche Auswaschungsgefährdung infolge von Niederschlägen besteht (Rösch et al. 2007, S. 130).
- > *Bewertungsproblem:* Anwendungen der Präzisionslandwirtschaft werden durchweg mit den entsprechenden flächeneinheitlichen Bewirtschaftungsverfahren der gleichen Bewirtschaftungsintensität verglichen. Vergleichsmaßstab bei der Beurteilung von Umwelteffekten ist somit die konventionelle Landwirtschaft. Wenn andere Vergleichsmaßstäbe wie extensivere Anbausysteme oder der ökologische Landbau herangezogen würden, dann verändert sich das Bewertungsergebnis. Somit wird die Beurteilung von Umweltwirkungen in erheblichem Maße dadurch beeinflusst, mit welchem Produktionsverfahren Anwendungen der Präzisionslandwirtschaft verglichen werden.

Die *in der landwirtschaftlichen Produktion potenziell realisierbare Umweltentlastung* durch digitale Agrartechnologien ist insbesondere von folgenden Einflussfaktoren abhängig:

- > *Stand und Perspektiven der Nutzung digitaler Agrartechnologien:* Umweltentlastungen können nur so weit eintreten, wie die entsprechenden Technologien in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Repräsentative und gesicherte Daten über die aktuelle Verbreitung digitaler Agrartechnologien in Deutschland fehlen jedoch. Die vorliegenden Befragungen deuten an, dass beispielsweise die Anwendung teilflächenspezifischer Bewirtschaftungsmaßnahmen relativ gering ist (Kap. 4.1.2). Noch größer werden die Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen technischen Entwicklung und Nutzung in der Landwirtschaft.

3.1 Einflussfaktoren auf die Ausprägung von Umweltwirkungen



- > *Ausgangslage vor der Einführung neuer digitaler Agrartechnologien und betriebliche Bedingungen:* Die erzielbaren Umweltentlastungen sind vom Intensitätsniveau vor der Einführung teilflächenspezifischer Bewirtschaftung (z. B. beim Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinsatz) und der Bewirtschaftungspräzision vor der Nutzung digitaler Anwendungen (z. B. Parallelfahrssystem) abhängig. Grundsätzlich gilt, dass die Einspareffekte umso kleiner sind, je extensiver die Bewirtschaftung ist. Außerdem ist die Ertragslage der landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland sehr uneinheitlich (BMEL 2018g, S.10). Ursachen sind strukturelle Bedingungen, die Qualifikation der Betriebsleitung und die Qualität des Betriebsmanagements. Letzteres hat auch Rückwirkungen auf die realisierbaren Effizienzgewinne. Beispielsweise verringert sich die Einsparung durch ein Parallelfahrssystem, wenn schon vorher exakt und mit minimalen Überlappungen gearbeitet wurde.
- > *Naturräumliche bzw. produktionstechnische Bedingungen des Einsatzes digitaler Agrartechnologien:* Die Beschaffenheit der Betriebsflächen (wie z. B. die Heterogenität des Bodens, das Auftreten von Unkräutern bzw. Pflanzenkrankheiten oder die Größe und Form der Ackerschläge) bestimmt die vorzunehmende Variation des Betriebsmitteleinsatzes und damit die erzielbare Einsparung von Inputs und Umweltentlastungen. So ist z. B. zu erwarten, dass tendenziell relevante naturräumliche Unterschiede umso wahrscheinlicher auftreten, je größer die jeweiligen Ackerschläge bzw. Grünlandflächen sind.
- > *Eignung und Ausgestaltung digitaler Agrartechnologien im Hinblick auf Umweltentlastungen:* Verfahren der Präzisionslandwirtschaft werden fast immer nur dann genutzt, wenn ihre Wirtschaftlichkeit gegeben ist. Wirtschaftlichkeit wird bei vielen Anwendungen durch einen effizienteren Einsatz von Inputs erreicht, was dann auch ein Umweltentlastungspotenzial bedeutet. Eine effizientere Agrarproduktion kann aber auch in einer höheren Arbeitsproduktivität bestehen. Damit haben die verschiedenen digitalen Agrartechnologien je nach ihrer Ausgestaltung ein jeweils unterschiedliches Verbesserungspotenzial im Hinblick auf Umweltwirkungen der Landbewirtschaftung. Außerdem wird die erzielte Umweltentlastung dadurch beeinflusst, wer der Entscheidungsträger ist, also ob Landwirt, Dienstleister oder Technikanbieter letztlich die Managemententscheidungen (z. B. über das Düngungsniveau) trifft.
- > *Relation zu bestehenden Umwelt- bzw. Tierschutzproblemen:* Für die Beurteilung von Umweltentlastungen durch digitale Agrartechnologien ist schließlich von Bedeutung, in welchen Bereichen der Agrarproduktion diese erzielt werden. Die Betriebe und Einsatzfelder, wo digitale Technologien genutzt werden, müssen nicht mit den Schwerpunkten der landwirtschaftlichen Umweltprobleme übereinstimmen. Beispielsweise kann eine

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

teilflächenspezifische Stickstoffdüngung in Ackerbaubetrieben Stickstoffüberschüsse verringern, adressiert aber nicht die regional hohen Aufwandmengen organischer Dünger sowie die daraus resultierenden Stickstoffüberschüsse und die Nitratbelastung des Grundwassers aufgrund einer hohen Tierhaltungsdichte. Die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung ist damit für sich genommen nicht geeignet, die Überdüngungsproblematik infolge der Intensivtierhaltung zu lösen.

Die angesprochenen Punkte erschweren die Abschätzung der ökologischen Wirkungen digitaler Agrartechnologien, was bei der folgenden Darstellung des Kenntnisstandes zu den spezifischen Anwendungsfeldern zu berücksichtigen ist.

3.2 Kenntnisstand zu Umweltwirkungen der Präzisionslandwirtschaft

In diesem Kapitel werden potenzielle Umweltwirkungen digitaler Technologien zunächst in der Pflanzenproduktion (Kap. 3.2.1) und dann in der Tierproduktion (Kap. 3.2.2) diskutiert. Dabei konzentriert sich die Untersuchung auf Einsatzfelder und Technologien, die anwendungsreif sind und bereits in einem gewissen Umfang in der Landwirtschaft genutzt werden oder für die in absehbarer Zeit eine Nutzung erwartet wird. Diese Anwendungen kombinieren in der Regel mehrere digitale Technologien, die im TAB-Arbeitsbericht Nr. 193 (TAB 2021) erörtert werden.

3.2.1 Umweltwirkungen im Pflanzenbau

Im Folgenden werden die potenziellen Umweltwirkungen der teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung, Grunddüngung, Aussaat, Stickstoffdüngung, Unkrautbekämpfung und Bewässerung sowie der variablen Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten und der automatisierten Spurführung betrachtet.

3.2.1.1 Teilflächenspezifische Bodenbearbeitung

Bodenbearbeitungsverfahren erfordern einen hohen Energiebedarf für die Zugleistung (Herlitzius et al. 2019). Außerdem beeinflusst die Bodenbearbeitung neben dem Klima und dem Bewuchs wesentlich die Struktur und die Eigenschaften landwirtschaftlicher Böden. Eine *konservierende Bodenbearbeitung* ohne Pflügen, stattdessen mit flacher, nicht wendender Bodenbearbeitung und



Mulchsaat¹⁴⁵, gewinnt zunehmend an Bedeutung, um Struktur und biologische Aktivität im Boden zu erhöhen und die Erosionsgefahr zu verringern. Beim Pflugverzicht werden Grubber oder Grubber-Scheibeneggen-Kombinationen¹⁴⁶ eingesetzt, um das Stroh gleichmäßig zu verteilen und mit dem Boden zu vermischen. Die teilflächenspezifische Ausgestaltung dieser Maßnahme beruht darauf, dass sandige Teilflächen zur Dichtlagerung neigen und deshalb intensiver und tiefer bearbeitet werden müssen, während lehmige Teilflächen aufgrund eines gewissen Selbstlockerungsvermögens über die Frostgare¹⁴⁷ im Winter flacher bearbeitet werden können. Mit der flacheren Bodenbearbeitung auf den geeigneten Teilflächen können eine ausreichende Bodenbedeckung, ein guter Feldaufgang und vergleichbare Erträge erzielt werden (Wilhelm et al. 2010).

Eine teilflächenspezifische Bodenbearbeitung kann sowohl im *Offline*- (z. B. mittels Boden-, Relief-, Ertragskarten) als auch im *Onlineansatz* (z. B. mit Kamerasensor für Strohbedeckung, Bodenleitfähigkeitssensor) realisiert werden (Wilhelm et al. 2010). Die Bearbeitungstiefe wird über die Tiefenführungshydraulik des Bodenbearbeitungsgeräts gesteuert. Die notwendigen technischen Komponenten sind verfügbar (Herlitzius et al. 2013).

Gemäß der Agrarstrukturerhebung 2016 (Destatis 2017a, S.5) wurde im Wirtschaftsjahr 2015/2016 eine konservierende Bodenbearbeitung auf 40 % der Ackerfläche durchgeführt, von 36,8 % aller Betriebe. Insbesondere die größeren Betriebe Ostdeutschlands setzten auf eine vereinfachte Bodenbearbeitung ohne Pflug (Destatis 2017a; Herlitzius et al. 2018), womit diese Betriebe zu den potenziellen Anwendern einer teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung gehören. Angaben zur Anzahl der Betriebe, die das Verfahren in der Praxis einsetzen (sowie der von ihnen bewirtschafteten Fläche), liegen nicht vor.

Die teilflächenspezifische Bodenbearbeitung verringert den Kraftstoffverbrauch pro Flächeneinheit und erhöht die Arbeitsleistung, d. h. die pro Stunde bearbeitbare Ackerfläche. Bei einem Mulchsaatversuch auf einem landwirtschaftlichen Betrieb in Schleswig-Holstein zwischen 2007 und 2009 wurden bei einer Verringerung der Bearbeitungstiefe von 18 auf 10 cm ein um ca. 30 % reduzierter Kraftstoffverbrauch und eine um ca. 40 % erhöhte Arbeitsleistung bestimmt (Wilhelm et al. 2010). Das Einsparpotenzial an Kraftstoff pro ha hängt von der Verteilung der Bodenarten und der entsprechenden jeweiligen Arbeitstiefen ab.

145 Bei der Mulchsaat ist die Bodenoberfläche mit Pflanzenresten einer Zwischenfrucht oder dem Stroh der Vorfrucht bedeckt, um Bodenerosion und Verschlammung zu verhindern.

146 Dies sind nicht wendende Bodenbearbeitungsgeräte, die zur Lockerung und Krümelung des Bodens sowie zur Unkrautbekämpfung und Einarbeitung von organischem Material in den Boden eingesetzt werden.

147 Frostgare bezeichnet eine günstige Feinkörnigkeit des Oberbodens von Ackerböden, die durch die Volumenänderung des Bodenwassers beim winterlichen Gefrieren und Wiederauftauen entsteht.

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

Mit einer teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung können folgende *Umweltentlastungen* erreicht werden:

- > durch Kraftstoffeinsparung eine *Verringerung von Treibhausgasemissionen* und mit der Kraftstoffbereitstellung verbundenen Emissionen;
- > durch höheren Bodenbedeckungsgrad ein *verbesserter Erosionsschutz*.

Die Größenordnung der durch eine teilflächenspezifische Bodenbearbeitung erzielbaren Kraftstoffeinsparung und ihre Relation zum gesamten Kraftstoffverbrauch in der Pflanzenproduktion kann nicht beurteilt werden, da Informationen über den Anteil einer veränderten Bearbeitungstiefe bei teilflächenspezifischer Bodenbearbeitung sowie repräsentative Daten zu erzielten Kraftstoffeinsparungen pro Flächeneinheit fehlen.

Im Hinblick auf den Bodenschutz sind die Verbesserungspotenziale durch die teilflächenspezifische Bodenbearbeitung als eher gering einzuschätzen. Nicht die teilweise verringerte Bodenbearbeitungstiefe, sondern die Gestaltung der Fruchtfolge, der Anbau von Zwischenfrüchten und eine möglichst lange Bodenbedeckung, die Zufuhr organischer Substanz sowie die konservierende Bodenbearbeitung an sich sind entscheidend für die Erhaltung bzw. Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und die Vermeidung von Bodenerosion.

3.2.1.2 Teilflächenspezifische Grunddüngung

Die Grunddüngung mit den Makronährstoffen Phosphat, Kalzium und Magnesium hat zum Ziel, die mit den Ernteprodukten entzogenen Nährstoffe zu ersetzen und eine optimale Nährstoffversorgung des Bodens zu erhalten (Domsch/Schirrmann 2009, S. 8). Die Kalkung dient der Einstellung des Boden-pH-Wertes, um ein optimales Niveau für die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe zu gewährleisten (Rösch et al. 2007, S. 62). Bei langjähriger flächeneinheitlicher Grunddüngung kann es in Bereichen niedriger Erträge mit geringer Abfuhr von Nährstoffen zu einer allmählichen Anreicherung insbesondere von Phosphor kommen. In Hohertragsbereichen hingegen ist durch Abfahren in den Ernteprodukten, die über der Zufuhr durch die Düngung liegen, eine Senkung der Nährstoffvorräte im Boden möglich (Domsch/Schirrmann 2009, S. 9). Mit der teilflächenspezifischen Grunddüngung sollen solche Standort- und Ertragsunterschiede innerhalb einer Ackerfläche berücksichtigt werden, um eine pflanzenbedarfsgerechte Düngung in allen Teilbereichen zu erzielen (Lorenz/Münchhoff 2018).

Grundlage einer teilflächenspezifischen Grunddüngung ist eine *Aufteilung der Ackerfläche in Teilflächen*, die sich an Bodenunterschieden und Unterschieden im Pflanzenwachstum und Ertrag orientieren. Mögliche Datenquellen sind beschreibende Daten wie elektrische Leitfähigkeitsmessung des Bodens, Luft- und Satellitenbilder, Biomasse- und Ertragskarten sowie erklärende Informa-



tionen wie Bodenschätzung, geologische Informationen und die Erfahrung der Bewirtschafter/innen (Lorenz/Münchhoff 2018).

Der vorliegende *Nährstoffgehalt des Bodens* muss durch Bodenproben bestimmt werden. Die Untersuchung auf Nährstoffgehalte kann sowohl nach Teilflächen als auch nach einem Raster, also einem gleichmäßigen Gitter (mit z. B. einer Bodenprobe pro ha), durchgeführt werden. Unverzichtbar sind weiterhin verlässliche Informationen zur *Bodenart* (z. B. anlehmiger Sand oder schluffiger Lehm), die mittels einer Schlämm- oder Sedimentationsanalyse im Labor oder per Fingerprobe ermittelt werden kann, sowie zum Humusgehalt des Bodens (Lorenz/Münchhoff 2018; Obenauf et al. 2013a).

Ergebnis der Bodenuntersuchung ist die Einordnung der Teilflächen in *Gehaltsklassen* (z. B. von Gehaltsklasse A für einen sehr niedrigen bis Gehaltsklasse E für einen sehr hohen Phosphorgehalt; Wiesler et al. 2018), die die Nährstoffverfügbarkeit im Boden wiedergeben. Aus der teilflächenspezifischen Nährstoffverfügbarkeit, dem Nährstoffbedarf der Kulturart in Abhängigkeit vom Ertrag und dem Nährstoffgehalt des Düngers wird schließlich die Ausbringungskarte (Applikationskarte) erstellt (Lorenz/Münchhoff 2018).

Das Ergebnis einer teilflächenspezifischen Grunddüngung wird wesentlich von der Probenahme und Analyse der Bodenproben, der Bodenartbestimmung und der Kartenerstellung beeinflusst. Eine exakte Erfassung der Nährstoffverteilung auf einem Schlag ist aufgrund der relativ hohen Kosten der Untersuchung meist nicht möglich. Bei größeren Teilflächen und auch bei einer Probenahme pro ha kann nicht verhindert werden, dass kleinräumige Fehldüngungen in Form von Überdüngung bzw. unzureichender Düngung auftreten, da die mittleren Nährstoffgehalte einer Teilfläche nicht jeden Teilbereich darin exakt kennzeichnen (Domsch/Schirrmann 2009, S. 56; Schulte-Ostermann/Wagner 2019). Aktuell wird an der Entwicklung mobiler Bodensensoren und darauf abgestimmter Bodenprozessmodelle gearbeitet (z. B. Projekt »I4S – Integriertes System zum ortsspezifischen Management der Bodenfruchtbarkeit«¹⁴⁸ im Rahmen des BMBF-Programms »BonaRes«), die zukünftig während der Überfahrt Makronährstoffe räumlich hochaufgelöst bestimmen und in Echtzeit die Grunddüngung steuern sollen. Damit würden die derzeit hohen Kosten für Bodenproben und Analyse wegfallen, was die Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit der teilflächenspezifischen Grunddüngung deutlich verbessern würde (Wagner/Marz 2017a).

Die teilflächenspezifische Grunddüngung führt zu einer *Verringerung der Varianz* bei der Nährstoffverfügbarkeit und somit zu einer flächendeckend ausgeglicheneren Makronährstoffversorgung, wie bei einem Langzeitversuch über 10 Jahre für Phosphor festgestellt wurde (Wagner/Marz 2017b). Vor allem die

148 <https://www.bonares.de/i4s-de> (18.8.2021)

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

Vermeidung von Unterversorgung hat deutliche Ertragssteigerungen zur Folge (Zorn/Schröter 2018). Zumindest die Verhinderung von Überdüngung bewirkt eine verbesserte *Düngereffizienz*. Angaben zu Effizienzsteigerungen bei teilflächenspezifischer Grunddüngung wurden nicht gefunden.

Im Hinblick auf die Ressourcenverfügbarkeit ist die Situation bei Phosphor kritisch, da die globalen Phosphatreserven begrenzt und endlich sind.¹⁴⁹ Wenn die teilflächenspezifische Grunddüngung eine reduzierte Phosphordüngung mit sich bringt, wäre dies ein Beitrag zur *Ressourcenschonung*. Ob es zu einer niedrigen Phosphordüngung kommt, ist vor allem abhängig von der vorherigen einheitlichen Düngepraxis, der Verteilung über- und unterversorgter Teilbereiche sowie der Abgrenzung der Phosphorgehaltsklassen, also der Zuordnung von pflanzenverfügbarem Phosphorgehalt des Bodens zu Gehaltsklassen und den daraus abgeleiteten Düngeempfehlungen. Die teilflächenspezifische Düngung kann zu einer niedrigeren Düngeraufwandmenge und/oder zu höheren Erträgen führen. Einzelbeispiele zeigen allerdings, dass die teilflächenspezifische Grunddüngung auch höhere Düngergaben bewirken kann, wenn sich in den vorangegangenen Jahren eine Unterversorgung entwickelt hat (Obenauf et al. 2013a). Dies bedeutet dann eine größere Ressourcenbeanspruchung. Schließlich können Wechselwirkungen mit der Verringerung anderer Umweltbelastungen bestehen. So verbessert die bedarfsgerechte Phosphordüngung an Standorten mit starker Phosphorunterversorgung die Effizienz der Stickstoffdüngung und senkt das Risiko von Nitratverlagerungen in tiefere Bodenschichten (Zorn/Schröter 2018). Der grundsätzliche Zusammenhang ist, dass die Behebung eines ertragsbegrenzten Faktors, hier des Phosphormangels, eine bessere Ausnutzung der anderen Inputs bewirkt.

Zwischen 1950 und 1999 wurden durch die Phosphordüngung in den alten Bundesländern insgesamt durchschnittlich 900 bis 1.100 kg P/ha und in den neuen Bundesländern insgesamt durchschnittlich 600 bis 800 kg P/ha angereichert, die nicht in Ertrag umgesetzt wurden (Holsten et al. 2016, S. 18). Vor diesem Hintergrund wirkt sich eine reduzierte Phosphordüngung nur nach Jahren bis Jahrzehnten auf den Phosphorgehalt des Bodens und die Erträge aus (Holsten et al. 2016, S. 16f.). In Reaktion darauf wurden mittlerweile von dem Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) die Richtwerte für die Phosphorgehaltsklassen abgesenkt (Wiesler et al. 2018). Eine Metaanalyse von 30 langfristigen Feldversuchen zur Phosphordüngung in Deutschland und Österreich hat außerdem gezeigt, dass der Düngerbedarf und die Ertragswirkung nicht nur vom pflanzenverfügbaren Phosphor im Boden, sondern auch vom Boden-pH-Wert, dem Gehalt an organischer Bodensubstanz, dem Düngertyp und der Kulturart abhängig sind

149 Die Vorräte an wirtschaftlich abbaubarem Rohphosphat, aus dem mineralische Phosphatdünger hergestellt werden, werden noch etwa 50 bis 200 Jahre reichen (Cordell et al. 2009; Kratz et al. 2014).



(Buczko et al. 2018). Nach wie vor wird kontrovers diskutiert, welche Düngempfehlungen bei Phosphor angemessen sind.

Insbesondere in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen sind mehrere 100.000 ha Ackerfläche in hohem Maße mit Phosphat angereichert, bedingt durch die große Viehdichte (Römer 2014). Gut die Hälfte des jährlichen Phosphorbedarfs der deutschen Landwirtschaft wird mit tierischen Wirtschaftsdüngern und nur rund ein Viertel mit phosphorhaltigen Mineraldüngern gedeckt (Kratz et al. 2014). Der gesamte Phosphorbedarf könnte grundsätzlich mengenmäßig mit Phosphat aus Wirtschaftsdünger erfüllt werden (UBA 2015), was aber durch die zunehmende räumliche Trennung von Ackerbau und Tierhaltung verhindert wird, da die mögliche Entfernung für einen wirtschaftlichen Transport organischer Dünger begrenzt ist. Die potenzielle Umweltentlastung durch die teilflächenspezifische Phosphordüngung im Ackerbau wird insoweit relativiert, dass das Problem der Flächen mit starker Phosphoranreicherung dadurch nicht adressiert werden kann.

Phosphorausträge von landwirtschaftlichen Flächen tragen wesentlich zur Eutrophierung von Gewässern bei. Phosphorverluste erfolgen vor allem über Erosion sowie Abschwemmung und Drainagen (Holsten et al. 2016, S. 20). Das Risiko von Phosphorausträgen ist besonders hoch auf Flächen mit (Holsten et al. 2016, S. 40)

- > starker Hangneigung,
- > großer Hanglänge,
- > hohen Phosphorbodengehalten,
- > Moorböden,
- > hohem Wirtschaftsdüngereinsatz,
- > oberflächlicher Düngerausbringung,
- > direkter Gewässeranbindung.

Phosphorverluste durch Erosion sind der wichtigste Austragungspfad mit einem Anteil von 43 % an den diffusen Phosphorausträgen (Holsten et al. 2016, S. 22). Für Verluste durch Erosion ist eine potenzielle Reduzierung der Phosphordüngung von geringer Wirkung. Im Vordergrund muss die Verhinderung von Erosion stehen, beispielsweise durch konservierende Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau, Windschutzpflanzung oder reduzierte Schlaggröße.

Etwa 30 % der Phosphorverluste aus diffusen Quellen gelangen über das Grundwasser in Flüsse, Seen und Meere. Dies ist bundesweit der zweitwichtigste Austragungspfad. Die Einträge ins Grundwasser pro Flächeneinheit sind meist gering, da Phosphor überwiegend an Bodenpartikel gebunden vorliegt und gelöster Phosphor während der Bodenpassage wieder gebunden wird. Da diese Verluste aber auf der gesamten landwirtschaftlichen Fläche auftreten, summieren sie sich bundesweit auf. Zur Reduktion der Phosphorverluste über den Aus-

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

tragungspfad Grundwasser ist eine großflächige Absenkung der Phosphorbordegehalte erforderlich (Holsten et al. 2016, S.26). Die teilflächenspezifische Phosphordüngung kann hier potenziell längerfristig ein Beitrag leisten.

3.2.1.3 Teilflächenspezifische Aussaat

Die Aussaat folgt als nächster Anbauschnitt nach Bodenbearbeitung und Grunddüngung. Die teilflächenspezifische Aussaat hat zum Ziel, die *Saatstärke* (Anzahl der Samenkörner pro Ackerfläche) an die Ertragskapazität des Bodens anzupassen, um eine optimale Bestandsdichte an Kulturpflanzen zu erreichen. Dies ist bei Mais besonders interessant, da die Fähigkeit von Getreide, durch Bestockung (Bildung von Seitentrieben) oder Rückbildung von Halmen eine optimale Halmdichte trotz ungünstiger Pflanzenzahl hervorzubringen, bei den Getreidearten unterschiedlich ausgeprägt ist. Bei Roggen ist die Bestockungsfähigkeit stark ausgebildet, bei Weizen besteht sie nur bedingt und bei Mais generell nicht.

Bei der teilflächenspezifischen Aussaat wird die Saatstärke auf schwereren Bodenteilstücken (z. B. lehmigen Teilflächen) mit großem Ertragspotenzial erhöht und auf sandigen Teilflächen bzw. Kuppen, wo die Wasserverfügbarkeit ertragslimitierend ist, reduziert. Die optimale *Ablagetiefe für das Saatgut* hängt von den Bodenverhältnissen ab, insbesondere von der Bodenfeuchte und der Bodenart. Auf Teilflächen mit hoher Feuchte sollte die Saattiefe vermindert werden (Rösch et al. 2007, S. 59 ff.).

Die Variation der Saatstärke und ggf. der Ablagetiefe erfolgt über eine digitale Saatkarte, also einen *Kartenansatz*. Sämaschinen für eine teilflächenspezifische Anpassung der Aussaat sind auf dem Markt verfügbar. Eine Anpassung der Aussaatstärke wurde bisher schon oft in Ackerbaubetrieben manuell in Abhängigkeit von Boden und Relief vorgenommen. Die digitale teilflächenspezifische Aussaat stellt in diesen Fällen eine Arbeitserleichterung dar und erhöht potenziell die Genauigkeit.

Mit einer teilflächenspezifischen Aussaat können eventuell *Einsparungen bei der Saatgutmenge oder Mehrerträge* erzielt werden (Rösch et al. 2007, S. 103). Die Veränderung der Saatgutmenge ist von der ersetzten betriebsüblichen Aussaatpraxis, der Heterogenität des Bodens sowie dem Verhältnis von erhöhter und reduzierter Saatstärke abhängig. Eine teilflächenspezifische, an die Bodenunterschiede angepasste Aussaatmenge kann einen so homogenen Bestand mit sich bringen, dass im weiteren Vegetationsverlauf keine ausreichenden Unterschiede auftreten, um eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung zu rechtfertigen (Obenauf et al. 2013b).

Untersuchungen, in denen die Umweltwirkungen einer teilflächenspezifischen Aussaat explizit behandelt wurden, sind nicht bekannt. Eine reduzierte



Saatgutmenge kann potenziell zu *Umwelientlastungen* bei der Saatgutproduktion führen, indem sich der entsprechende Bedarf an Fläche, Dünge- und Pflanzenschutz- sowie chemischen Beizmitteln bei der Saatgutproduktion verringert (Rösch et al. 2007, S. 132). Der Entlastungseffekt hängt davon ab, welche Ersatznutzung auf der eingesparten Saatgutbaufläche erfolgt. Insgesamt sind die zu erwartenden positiven Umweltwirkungen als gering einzuschätzen.

3.2.1.4 Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung

Eine optimale Stickstoffversorgung während der Vegetationsphasen ist von entscheidender Bedeutung für die Bestandsentwicklung und Ertragsbildung (Rösch et al. 2007, S. 64). Bei der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung wird die Düngung dem Ertragspotenzial der Teilfläche bzw. dem Versorgungszustand und Bedarf der Pflanzen angepasst. Dies bedeutet, dass gegenüber einer schlageinheitlichen bzw. betriebsüblichen Stickstoffdüngung die Düngergabe in gut versorgten Teilen des Pflanzenbestandes reduziert und auf Teilflächen mit verzögerter Bestandsentwicklung oder hohem Ertragspotenzial (etwa aufgrund besserer Bodeneigenschaften) gesteigert wird. Umweltrelevante Zielsetzungen sind eine verbesserte Stickstoffeffizienz und ein verringerter Stickstoffüberschuss. Weitere produktionstechnische Effekte können ein geringeres Risiko von Lagergetreide (d. h. großflächiges Umknicken der Getreidepflanzen) sowie einheitlichere Bestände und eine gleichmäßigere Abreife sein, was zu einer erhöhten Mähdruschleistung führen kann (Drücker 2018).

Beim *Kartenansatz* werden Düngungsentscheidungen mittels Ertragspotenzialkarten, die auf historischen Ertragsdaten und Standorteigenschaften basieren, getroffen. Die Vermeidung von Stickstoffüberschüssen auf ertragschwachen Teilflächen und eine bessere Nutzung des Ertragspotenzials auf ertragsstarken Teilflächen kann damit im Prinzip erreicht werden. Die alleinige Nutzung des Kartenansatzes ist allerdings problematisch, weil Erträge von Teilflächen über die Jahre sehr variabel sein können und eine Mittelung der Werte oft keine sichere Prognose darstellt. Beispielsweise kann eine Mulde aufgrund des höheren Wasserspeicherpotenzials bewirken, dass auf dieser Teilfläche in trockenen Jahren deutlich höhere Erträge als im Rest des Feldes gebildet werden, in feuchteren Jahren hingegen deutlich niedrigere (Flessa et al. 2012, S. 80). Daher spielt der alleinige Kartenansatz bei der Stickstoffdüngung in der landwirtschaftlichen Praxis keine Rolle.

Seit etwa 15 Jahren sind *Sensoren* für eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung in Deutschland verfügbar (Drücker 2016) und somit Stand der Technik (TAB 2021, Kap. 2.2.2; Kasten 3.1). Inzwischen sind sechs verschiedene Typen von Stickstoffsensoren auf dem deutschen Markt erhältlich.

Kasten 3.1 Funktionsweise von Stickstoffsensorsystemen

Alle Sensoren nutzen die Lichtreflexion der Pflanzen, um daraus indirekt den Stickstoffbedarf abzuschätzen. Dabei muss ein Einfluss weiterer Faktoren wie Pflanzenkrankheiten, Bodenverdichtungen, Trockenstress oder Stau-nässe, die sich ebenfalls auf die Blattfarbe und damit die Reflexionseigen-schaften der Pflanzen auswirken, ausgeschlossen werden. Eine Kalibrierung des N-Sensors ist für jedes Feld auf einer repräsentativen Referenzfläche not-wendig, um zum Düngungszeitpunkt eine Anpassung an die am Standort herrschenden Verhältnisse (Bestandsentwicklung, Düngestrategie, Stickstoff-bebedarf und sortenspezifische Reflexion) vorzunehmen (Reckleben 2014a). Aus den sensorisch erfassten Messwerten wird über hinterlegte Algorithmen die Stickstoffdüngermenge, die an den Düngerstreuer weitergegeben wird, errechnet (Drücker 2018). Teilweise ist eine *Kombination mit Ertragspoten-zialkarten* möglich. Alle namhaften Hersteller von Düngerstreuern bieten Geräte an, die eine automatische Regelung der Ausbringmenge ermöglichen.

Die teilflächenspezifische Ausbringung von mineralischen (synthetischen) Stick-stoffdüngern wird vor allem bei *Getreide und Raps* eingesetzt. Ein Sensoreinsatz ist nur nach einer gewissen Bestandsentwicklung, bei Getreide zur zweiten und dritten Stickstoffdüngergabe sowie ggf. bei einer zusätzlichen Qualitätsgabe möglich (Dölger/Gerwers 2014).¹⁵⁰ Im Jahr 2014 wurde geschätzt, dass sich in Deutschland etwa 700 Sensorsysteme für die Düngung im Einsatz befanden (Reckleben 2014a). Aktuelle wissenschaftlich abgesicherte Zahlen liegen nicht vor (Kap. 4.1.2). Aufgrund der vergleichsweise hohen Investitionskosten in Re-lation zu den positiven wirtschaftlichen Effekten (Mehrertrag, Stickstoffein-sparung, höherer Proteingehalt, Steigerung der Druschleistung) ist jedoch da-von auszugehen, dass die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung bisher fast ausschließlich in Großbetrieben angewendet wird (Kap. 4.2.1).

Potenzielle Umweltentlastungseffekte

Im Falle eines reduzierten Einsatzes von Stickstoffdünger bzw. einer besseren Ausnutzung der Stickstoffdüngung durch den Pflanzenbestand können durch eine teilflächenspezifische Düngung folgende *Umweltentlastungen* erreicht wer-den (SRU 2015, S. 180 ff.):

150 Bei jungen Beständen (erste Stickstoffdüngung im Herbst/Frühjahr) ist der Pflanzenbe-stand noch dünn und die Bodenreflexion stellt eine erhebliche Störgröße dar. In späteren Entwicklungsstadien des Pflanzenbestandes verlieren die Vegetationsindizes ihre Sensiti-vität (Lilienthal 2014).

3.2 Kenntnisstand zu Umweltwirkungen der Präzisionslandwirtschaft



- › *Verringerung des Stickstoffüberschusses*¹⁵¹, womit das Risiko von Nitratbelastungen des Grundwassers, einer Eutrophierung von Gewässern und von klimarelevanten Lachgasemissionen reduziert werden kann;
- › *Erhöhung der Stickstoffeffizienz*¹⁵², was Energiebedarf und Klimagasemissionen bei den Vorleistungen (insbesondere Düngemittelherstellung) verringert, wenn die Produktion von Stickstoffdüngern entsprechend gesenkt wird.

Eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung muss nicht in jedem Fall zu einer Reduktion der ausgebrachten Stickstoffmenge führen, auch wenn die teilflächenspezifische Düngung ökonomisch rentabel ist. Die *Veränderung der Düngeraufwandmenge* ist von verschiedenen Faktoren abhängig:

- › *Heterogenität des Ertragspotenzials bzw. der Bestandsentwicklung des Schlags*: Je geringer die Unterschiede sind, desto geringer werden mögliche Veränderungen der Stickstoffdüngung ausfallen, was wiederum die möglichen ökologischen Vorteile schmälert (Bongiovanni/Lowenberg-Deboer 2004).
- › *Verwendeter Düngeralgorithmus*: Das optimale Düngungsniveau und die teilflächenspezifische Bestimmung der Düngeraufwandmenge beruhen auf den zugrunde gelegten Produktionsfunktionen, die die Beziehung zwischen dem Input Stickstoffdünger und dem Output pflanzenbauliches Erzeugnis abbilden.
- › *Gewähltes Intensitätsniveau*: In fast allen Vergleichsstudien wird von einem gleichen Intensitätsniveau bzw. Ertragsziel bei konstanter und variabler Düngung ausgegangen. In der Praxis muss dies aber nicht zwangsläufig der Fall sein. Neben einem Abbau von Risikozuschlägen sind auch Betriebssituationen denkbar, die bei dem Ziel einer optimierten Nutzung des Ertragspotenzials des Standortes zu höheren Düngergaben bei der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung führen.
- › *Ökonomisch optimales Düngeniveau*: Laut Dillon und Kusunose (2013) gibt es betriebliche Situationen, bei denen nach rein ökonomischen Kriterien erhöhte Stickstoffgaben auf den weniger produktiven Teilflächen und ein insgesamt höherer Stickstoffeinsatz auf betrieblicher Ebene bei einer teilflächenspezifischen Düngung wirtschaftlich vorteilhaft sind.

Inwieweit eine für die Teilflächen optimierte Stickstoffdüngung zu einem geringeren Stickstoffüberschuss und einer verbesserten Stickstoffeffizienz führt, hängt davon ab, inwieweit der ausgebrachte Stickstoff in Ertrag umgesetzt wird.

151 Der Stickstoffüberschuss bzw. -saldo ergibt sich aus der Differenz von Stickstoffinput (Zufuhr von Stickstoff durch Düngung, Stickstoffbindung und -deposition) und Stickstoffoutput (Stickstoffgehalt des Erntegutes).

152 Stickstoffeffizienz bezeichnet das Verhältnis von Stickstoffinput und -output und ist ein Indikator für die Effizienz der Ressourcennutzung.

3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien

Eine unvollständige Nutzung des Stickstoffangebots und damit ein höherer Stickstoffüberschuss können durch folgende Situationen bewirkt werden:

- › *Witterungseinfluss*: Nach dem Düngungstermin sind ausreichende Niederschläge bzw. eine genügende Bodenfeuchte notwendig, damit die bedarfsgerechte Stickstoffmenge von der Pflanze aufgenommen werden kann. Entsprechende witterungsbedingte Unsicherheiten bei Ertragsbildung und Stickstoffausnutzung lassen sich derzeit nicht vermeiden (Liu et al. 2006; Obenauf et al. 2014).
- › *Andere ertragsbegrenzende Faktoren*: Nur wenn Stickstoff der entscheidende ertragsbegrenzende Faktor ist, kann die variierte Düngergabe effizient von der Pflanze genutzt werden (Zillmann et al. 2006). Ein Risiko der Überdüngung besteht, wenn andere ertragsbegrenzende Faktoren (z. B. Pflanzenkrankheiten, Mangel anderer Nährstoffe) vorliegen und diese beim Sensoreinsatz nicht erkannt werden (Flessa et al. 2012, S.81).
- › *Stickstoffvorrat im Boden*: Ein Teil der Stickstoffmenge aus einer vorherigen Düngergabe kann sich unter Umständen noch im Boden befinden, also von den Pflanzen noch nicht aufgenommen sein, was sich mittels N-Sensor anhand des Bestandsbildes nicht erfassen lässt, sodass es zu einer zu hohen Gesamtstickstoffmenge bei der Düngung kommen kann (Obenauf et al. 2014).
- › *Fehleinschätzungen*: Für jeden Applikationstermin einer sensorgesteuerten Stickstoffdüngung müssen von der Landwirtin/dem Landwirt eine Referenzmenge Stickstoff anhand eines im Bestand gemessenen Stickstoffbedarfs der Pflanze sowie minimale und maximale Stickstoffmengen definiert werden. Die Erfahrung zeigt, dass hier das Risiko von Fehleinschätzungen besteht, insbesondere in der Anfangsphase einer Sensornutzung (Reckleben 2011).

Untersuchungsergebnisse zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung

Die genannten Zusammenhänge werden durch *Untersuchungen aus Deutschland* zum Vergleich von teilflächenspezifischer mit einheitlicher bzw. betriebsüblicher Stickstoffdüngung bestätigt (Tab. 3.1). Diese Versuche zeigen, dass nicht auf allen Schlägen bzw. nicht in allen Jahren mit der teilflächenspezifischen Düngung ein verringerter Düngereinsatz und reduzierter Stickstoffüberschuss erzielt wurde (Maidl 2009; Maidl et al. 2014; Obenauf et al. 2013b; Ramm/Reckleben 2019).

3.2 Kenntnisstand zu Umweltwirkungen der Präzisionslandwirtschaft



Tab. 3.1 Ergebnisse von Versuchen zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung in Deutschland

Quelle	Kultur	Region Zeitraum	Versuchs- typ (Anzahl*)	Verfahren	N-Dün- gung gesamt in kg/ha	Verände- rung N-Auf- wand ¹ in kg/ha; %	Ertrag in dt/ha	Verände- rung Er- trag ¹ in dt/ha; %	N-Bilanz in kg/ha	Verände- rung N-Bi- lanz ¹ in kg/ha; %
Ehlert/ Thöle 2008	Winter- weizen	Ost- deutsch- land 2005-2007	On-Farm- Versuch (20)	Sensor (Crop- Meter)	k.A.	-17; -	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Ehlert/ Thöle 2008	Winter- weizen	Ost- deutsch- land 2005-2007	Streifen- versuch (15)	Sensor (Crop- Meter)	k.A.	-21; -	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Maidl 2009	Winter- weizen	Bayern 2007-2008	Streifen- versuch (1)	Mapping Sensor Mapping + Sensor	180 187 167	0; 0 7; 3,9 -13; -7,2	87 94 97	-4; -4,4 3; 3,3 6; 6,6	k.A. k.A.	k.A.
Wróbel 2011	Winter- weizen	k.A. 2001-2005	k.A. (20)	Sensor	k.A.	-; -12	k.A.	-; 6	k.A.	k.A.
Obenauf et al. 2013b	Winter- weizen	Schleswig- Holstein 2008-2012 (9 Schläge, 1 Betrieb)	On-Farm- Versuch	Sensor ² Sensor ³	261 149	10; 4 -70; -32	85,7 96,1	-0,2; -0,2 -5,4; -3,3	111 4	5; 4,7 -61; -93,8

3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien

	Winterweizen	Bayern	Streifenversuch 2 Jahre	Mapping Sensor	k.A.	k.A.	96	k.A.	-5; -13; -10; -	k.A.
Maidl et al. 2014	Winterweizen	Bayern	Streifenversuch 2 Jahre	Mapping Sensor	k.A.	k.A.	96	k.A.	-5; -13; -10; -	k.A.
Hülsbergen et al. 2017	Winterweizen	Bayern 2015-2016	On-Farm-Versuch (2)	Sensor ⁴ Sensor ⁵	193 184	-26; -11,9 -16; -8	113,9 95,8	-1,0; -0,9 0,9; 0,9	-17 -4	-24 -22
Ramm/Reckleben 2019	Winterweizen	Schleswig-Holstein 2017	On-Farm-Versuch (1)	Sensor (Green Seeker)	274	-5; -1,8	111	6; 5,7	71	-24; -25,3
				Mapping + Sensor (Isaria)	302	23; 8,2	105	0; 0	121	26; 27,4
				Satellit (Talking Fields)	298	19; 6,8	110	5; 4,8	99	4; 4,2

* Die Anzahl bezieht sich auf die Zahl der Schläge bei On-Farm-Versuchen bzw. die Anzahl der Streifenversuche bzw. die Anzahl der Versuche bei fehlender Spezifizierung des Versuchstyps.

1 gegenüber einheitlich bzw. betriebsüblich; 2 Schlag Hansberg 2008; 3 Schlag Hohenkamp 2010; 4 Düngevergleich Praxis-schlag 2015; 5 Düngevergleich Praxis-schlag 2016

Eigene Zusammenstellung



Allerdings wurden Versuchsansatz und -ergebnisse des On-Farm-Vorhabens¹⁵³ in Schleswig-Holstein kritisiert: In diesem Versuch wurden die Felder nur in drei Teilflächen (Einmaldüngung, betriebsübliche Düngung, Düngung mit N-Sensor) unterteilt (Obenauf et al. 2013b). Dadurch sind die Anforderungen einer mindestens dreifachen Wiederholung der Versuchsvarianten (als Streifenversuch), eine zufällige Verteilung der Versuchspartzellen (Randomisation) und gleiche Versuchsbedingungen für die untersuchten Varianten (Ceteris-Paribus-Prinzip) nicht gegeben. Durch die Nichteinhaltung von Versuchsstandards sei in diesem Fall das Ergebnis zufällig bzw. verfälscht (agricon 2016).

Die Mehrzahl der Versuchsergebnisse weist niedrigere Düngermengen und höhere Erträge nach (Tab. 3.1). Dies muss zu einer Reduktion des Stickstoffüberschusses und einer Verbesserung der Stickstoffeffizienz führen. Allerdings wurde nicht bei allen Versuchen die Veränderung des Stickstoffüberschusses mit einer Stickstoffbilanz untersucht bzw. veröffentlicht. Auswirkungen auf die Stickstoffeffizienz werden in diesen Veröffentlichungen nicht behandelt.

Die heterogenen Versuchsergebnisse in Deutschland werden durch folgende Beispiele aus *anderen europäischen Ländern* bestätigt:

- > Feldexperiment mit Kartoffeln auf Versuchsbetrieben in den Niederlanden: Eine zweite sensorbasierte Stickstoffdüngung im Bestand anstelle einer einmaligen Stickstoffdüngung hat zu einer durchschnittlichen Reduktion des Stickstoffaufwandes von 44 kg N/ha bei etwa gleichbleibenden Erträgen geführt (van Evert et al. 2012).
- > Feldexperiment mit Winterweizen und Sommergerste in Schweden: Die Erhöhung von Ertrag und Stickstoffeffizienz durch teilflächenspezifische Düngung war unter den vorherrschenden feuchten Bedingungen begrenzt; die Unsicherheit über den weiteren Witterungsverlauf zum Düngungszeitpunkt stellte eine zusätzliche Schwierigkeit dar (Delin et al. 2005).
- > Streifenversuch On-Farm¹⁵⁴ mit Weizen in Polen: In Abhängigkeit von Jahr und Feld war eine Verringerung des Stickstoffeinsatzes von rund 14 % bis zu einer geringfügigen Steigerung von 1,5 % festzustellen, die Erträge wichen kaum voneinander ab und der Stickstoffüberschuss variierte von einer Abnahme um rund 30 % bis zu einer Zunahme von 8 % (Samborski et al. 2016).

153 Als On-Farm-Vorhaben werden angewandte Forschungen bezeichnet, die direkt in den Betrieben durchgeführt werden, um neue Techniken sowie Bewirtschaftungspraktiken zu testen und wissenschaftlich zu evaluieren.

154 Im Gegensatz zum Parzellenversuch auf Versuchsstationen bezeichnet ein Streifenversuch in einem On-Farm-Experiment, dass auf einem landwirtschaftlichen Betrieb ein Schlag in lange Streifen, die mit den üblichen Landmaschinen unter Praxisbedingungen bewirtschaftet werden, unterteilt wird, wobei die Streifen der verschiedenen Versuchsvarianten wiederholt und zufällig verteilt werden (IBS-DR 2012).

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

Auch unter anderen agroökologischen Bedingungen und Produktionssystemen werden Potenziale zur Optimierung der Stickstoffdüngung gesehen, wie die folgenden *internationalen Beispiele* zeigen:

- > Streifenversuch mit Weizen in Brasilien: Für die zwei Versuchsfelder wurden ein um 25 bzw. 59 % reduzierter Stickstoffeinsatz bei Sensorverwendung bestimmt (Colaço et al. 2012).
- > Feldversuch mit Mais in den USA: Aus einem Stickstoffsteigerungsversuch wird geschlossen, dass mit einer teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung rund die Hälfte der empfohlenen Stickstoffmenge für eine einheitliche Düngung eingespart werden könnte (Mamo et al. 2003).
- > Feldversuch mit Winterweizen in den USA: Eine Erhöhung der Nitratreffizienz um 15 % wurde erreicht, wenn die Düngung entsprechend einer Ertragsabschätzung ausgehend von Sensorwerten für jeden m² angepasst wurde (Raun et al. 2002).
- > Parzellenversuch mit Winterweizen in den USA: Mittels sensorgestützter Stickstoffdüngung wurde das Ertragspotenzial aufgrund unüblicher Witterungsverläufe in einem Versuchsjahr überschätzt, in einem anderen unterschätzt (Boyer et al. 2011).
- > Feldversuch mit Mais in Kanada: Die sensorgestützte variable Stickstoffdüngung in zwei Gaben schnitt gegenüber einer einheitlichen, in zwei Gaben aufgeteilten Stickstoffdüngung nicht besser bei Ertrag und Stickstoffeffizienz ab, war aber deutlich besser als eine betriebsübliche alleinige Düngung vor Aussaat (Ma et al. 2014).
- > Review von Studien (größtenteils USA) zu Umweltwirkungen der flächenspezifischen Stickstoffdüngung: Danach weisen die meisten Studien verringerte Stickstoffverluste an die Umwelt bzw. eine verbesserte Stickstoffeffizienz aus, aber teilweise wurden auch keine Unterschiede gefunden (Bongiovanni/Lowenberg-Deboer 2004).

Insgesamt beruhen die wissenschaftlichen Untersuchungen durchweg auf Feldversuchen oder Modellrechnungen. Im Fokus stehen dabei vorrangig die Ausgestaltung einer teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung und ihre Wirtschaftlichkeit (Diacono et al. 2013); Auswirkungen auf die Stickstoffbilanz und -effizienz werden nur teilweise mitbehandelt. Erfahrungen und Untersuchungsergebnisse aus der landwirtschaftlichen Praxis bzw. von On-Farm-Versuchen werden oftmals nur als Vorträge oder in landwirtschaftlichen Fachblättern publiziert, nicht aber in wissenschaftlichen Zeitschriften, sodass oftmals wichtige Angaben über Versuchsaufbau bzw. Betriebsdaten fehlen und nur ausgewählte Ergebnisse vorgestellt werden.

Unter den *landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen in Mitteleuropa bzw. Deutschland* können auf der Basis der zuvor ausgewerteten Veröffentlichun-



gen bei einer teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung bei Getreide (insbesondere Winterweizen) *im Durchschnitt* bis zu 5 % höhere Erträge, ein bis etwa 10 % niedrigerer Stickstoffdüngeraufwand, bis zu 25 % niedrigere Stickstoffüberschüsse und eine bis 10 % verbesserte Stickstoffeffizienz erwartet werden. Die Größenordnung dieser Wirkungen ist mit Unsicherheiten behaftet aufgrund des zuvor beschriebenen unzureichenden wissenschaftlichen Kenntnisstandes.

Kontext der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung

Der Nachhaltigkeitsindikator »Stickstoffüberschuss auf landwirtschaftlich genutzten Flächen«¹⁵⁵ der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie hat sich seit 2000 nur relativ geringfügig von 110 auf 97 kg N/ha im Jahr 2014¹⁵⁶ (gleitende 5-Jahres-Mittel) verringert (Destatis 2018a, S. 12). Der Stickstoffeintrag über Mineraldünger schwankt seit 2005 um 100 kg N/ha und hat sich ebenso wie die gesamte Stickstoffzufuhr faktisch nicht verändert (Destatis 2018b, S. 10). Dagegen hat sich die Stickstoffabfuhr über die landwirtschaftlichen Produkte um 9 % erhöht. Der leichte Rückgang des Stickstoffüberschusses ist zurückzuführen auf höhere Erntemengen aufgrund des technischen Fortschritts in der Pflanzenproduktion und -züchtung (effizientere Stickstoffdüngung, Sortenspektrum) bei gleichzeitiger Ausweitung des Anbauumfangs ertragsstarker Kulturarten (Mais, Weizen) sowie einer verbesserten Futtermittelverwertung in der Tierhaltung (Destatis 2018a, S. 13). Ein Einfluss der praktizierten flächenspezifischen Stickstoffdüngung auf den nationalen durchschnittlichen Stickstoffüberschuss ist bislang nicht erkenn- bzw. nachweisbar. Es kann nicht beurteilt werden, ob dies an einer bisher geringen Verbreitung der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung (repräsentative Erhebungen hierzu fehlen; Kap. 4.1.2), an in der Praxis geringen Entlastungseffekten durch die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung oder Kompensationseffekten durch andere Entwicklungen liegt.

Hohe Stickstoffüberschüsse treten vor allem in den Regionen mit konzentrierter Tierhaltung und in Betrieben mit hohem Viehbesatz auf, da dort große Mengen organischer Düngemittel (Wirtschaftsdünger und Gärreste aus Biogasanlagen) anfallen. Dies ist eine Folge des langjährigen Agrarstrukturwandels hin zu einer räumlichen und betrieblichen Spezialisierung in der Tierproduktion (TAB 2019). In den entsprechenden Regionen kommt es zu Überschreitungen

155 Der Stickstoffüberschuss wird als Saldo aus den Stickstoffzufuhren durch Düngemittel, biologischer Stickstofffixierung, atmosphärische Einträge (die nicht von der Landwirtschaft emittiert werden), Saat- und Pflanzgut sowie importierte und inländisch erzeugte Futtermittel und aus der Stickstoffabfuhr durch pflanzliche und tierische Marktprodukte berechnet und auf die landwirtschaftlich genutzte Flächen bezogen (Destatis 2018a, S. 13).

156 Zielwert ist in der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung 70 kg N/ha LF im Jahresmittel 2028 bis 2032 (Destatis 2018a, S. 13).

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

der Stickstoffobergrenze für organische Dünger und zu hohen Stickstoffüberschüssen nach der Düngeverordnung¹⁵⁷ (Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2019; Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen 2018; SRU 2015, S. 187; Taube et al. 2015; UBA 2018, S. 59 ff.). Die Tierhaltung ist in diesen Regionen von der pflanzlichen Erzeugung der Futtermittel weitgehend entkoppelt und es gibt keine ausreichende Verwendung für Wirtschaftsdünger (SRU 2015, S. 187). Zur Bewältigung dieser Herausforderung kann die teilflächenspezifische Ausbringung von mineralischen Stickstoffdüngern nicht beitragen.

Prinzipiell sind für *organische Dünger* (also Gülle und Festmist aus der Tierhaltung und Gärreste aus Biogasanlagen) ebenfalls Techniken für eine variierte Ausbringung verfügbar. Der Nährstoffgehalt von Gülle kann vor der Ausbringung durch eine Laboruntersuchung oder während des Füllvorgangs bzw. während der Ausbringung mittels Nahinfrarotsensoren bestimmt werden. Die Anpassung des Ausbringungsvolumens an den Nährstoffgehalt kann entweder durch eine Veränderung der gesamten Durchflussrate vom Tank zu den Ausbringungsschläuchen oder durch eine Teilbreitensteuerung erfolgen, sodass auf der gesamten Fläche die vorgegebene Nährstoffmenge erreicht wird (Soto/Gómez-Barbero 2019, S. 107). Mittlerweile ist auch eine Verknüpfung mit teilflächenspezifischen Applikationskarten möglich (z. B. John Deere 2019a; Joskin 2019; Zunhammer 2018), was eine Anpassung an den jeweiligen erwarteten Nährstoffbedarf des Pflanzenbestandes erlaubt. Voraussetzung für eine solche Anwendung ist, dass eine bedarfsgerechte Düngung und nicht die »Entsorgung« von Gülle im Vordergrund der betrieblichen Entscheidung steht. Dungstreuer für feste organische Dünger, die eine variable Ausbringung ermöglichen, sind ebenfalls erhältlich. Es liegen keine Informationen vor, in welchem Umfang diese Techniken in der landwirtschaftlichen Praxis angewendet werden. Außerdem sind keine Untersuchungen zu den Umweltentlastungseffekten einer variierten Ausbringung organischer Dünger bekannt.

3.2.1.5 Teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung

Unkräuter konkurrieren mit den Kulturpflanzen insbesondere um Wasser, Nährstoffe und Licht. Dies führt, in Abhängigkeit vom Unkrautdruck, zu Ertragseinbußen und ggf. zu einer erschwerten Ernte und erhöhten Trocknungskosten. Von der gesamten Inlandsabgabe von Pflanzenschutzmitteln (ohne inerte Gase im Vorratsschutz¹⁵⁸) an berufliche Anwender/innen entfielen in Deutschland 2017 rund 48 % bzw. 16.284 t Wirkstoffmenge auf Herbizide (BVL

157 Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV)

158 Inerte Gase sind reaktionsträge Gase wie Stickstoff (N₂) und Kohlenstoffdioxid (CO₂), die der Reifeverzögerung bzw. dem Schutz vor Schadinsekten in der Vorratshaltung dienen.



2018). Die durchschnittliche Behandlungshäufigkeit¹⁵⁹ mit Herbiziden lag 2017 im Ackerbau beispielsweise bei 1,40 in Mais, 1,75 in Winterweizen und 2,50 in Kartoffeln (JKI 2019). Ziel der Herbizidanwendungen ist es, weitgehend unkrautfreie Bestände zu erreichen. Die genannte Behandlungshäufigkeit für Winterweizen bedeutet, dass vielfach zwei Herbizidanwendungen erfolgen, in der Regel im Herbst und im Frühjahr. Die Erhebungen im Panel Pflanzenschutzmittelanwendungen (PAPA) zeigen zusätzlich, dass Teilflächenbehandlungen im Weizenanbau bisher nur eine geringe Rolle spielen (Roßberg 2016). Schließlich werden zunehmend Resistenzen von Gräsern (Ackerfuchsschwanz, Windhalm, Trespen) und dikotylen (zweikeimblättrige) Unkrautarten (Kamille, Klatschmohn) gegen zahlreiche herbizide Wirkstoffe beobachtet (Roßberg 2016).

Unkräuter treten oftmals nicht gleichmäßig auf der Ackerfläche verteilt auf, sondern sind auf bestimmte Teilflächen konzentriert und können Unkrautnester bilden (Rösch et al. 2007, S. 68). Mit der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung (Kasten 3.2) wird die Herbizidanwendung der Unkrautverteilung angepasst, um die Menge der ausgebrachten Herbizide deutlich zu reduzieren und somit ökonomische und ökologische Vorteile zu realisieren. Komponenten einer teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung sind

- › Erfassung der Unkrautdichten,
- › Festlegung wirtschaftlicher Schadensschwellen,
- › Entscheidungsmodell zur Steuerung der Unkrautbekämpfung,
- › teilflächenspezifische Herbizidanwendung.

Kasten 3.2 Systeme zur Unkrauterkenennung und variierten Unkrautbekämpfung

Verschiedene *Sensor- und Kamerasysteme* können Unkräuter erkennen (TAB 2021, Kap. 2.2.3). Die Erfassung der Unkrautverteilung kann im Offlineansatz mit Luftbildern von Satelliten, Flugzeugen oder Drohnen erfolgen (Fernández-Quintanilla et al. 2018). Fernerkundungsverfahren sind für die Erfassung und Kartierung von Unkrautarten allerdings nur bedingt einsetzbar (Häusler/Nordmeyer 2003). Intensiv gearbeitet wird an der automatisierten Unkrauterkenennung auf der Basis von hochauflösenden Aufnahmen, die mit *Drohnen* gewonnen werden (TAB 2021, Kap. 4). Dabei werden mittels Klassifikation anhand eindeutiger Merkmale vieler Unkrautarten ein-

159 Der Behandlungshäufigkeit wird aus der Anzahl der Herbizidanwendungen bezogen auf die jeweilige Anbaufläche gebildet. Bei Teilflächenbehandlungen wird ein Quotient aus behandelter Fläche und Gesamtfläche des Schlages gebildet (JKI 2019). Anwendungsdaten werden im Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendungen (PAPA) jährlich auf repräsentativen Betrieben für die wichtigsten landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturen Deutschlands erfasst.

zelne Unkräuter unterschieden sowie zunehmend Methoden des maschinellen Lernens eingesetzt (Pflanz et al. 2018a und 2018b). Kameraaufnahmen können mithilfe der digitalen Bildanalyse zur Unterscheidung von Boden und Pflanze sowie zur Identifizierung von einzelnen Unkrautarten und Kulturpflanzen anhand von Form-, Textur- und Farbmerkmalen verwendet werden. Auf der Basis der Unkrauterkenung müssen dann in einem *Offlineansatz* Applikationskarten für die Herbizidanwendung erstellt werden (Fernández-Quintanilla et al. 2018). Kommerzielle Angebote für die Unkrauterkenung mittels Drohnen gibt es noch nicht, sie sind aber in absehbarer Zeit zu erwarten.

Beim *Onlineansatz* sind während der Überfahrt auf dem Feld Unkrauterkenung und -bekämpfung unmittelbar gekoppelt. Die Erfassungssysteme unterscheiden sich dahingehend, ob sie nur vorhandene (Unkraut-) Pflanzen aufspüren oder auch Kulturpflanzen und Unkräuter sowie verschiedene Unkrautarten auseinanderhalten können. Verschiedene Hersteller bieten Pflanzenschutzspritzen mit Sensor-Düsen-Systemen an («Ama-spot» von Amazonen-Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG, Deutschland; »WEED-IT« von Rometron, Niederlande; »Weedseeker« von Trimble Inc., USA), die *in Echtzeit Grünpflanzen von unbewachsenem Boden unterscheiden* können und eine gezielte Herbizidspritzung auf die Verunkrautung erlauben. Da keine Differenzierung zwischen Unkraut und Kulturpflanze möglich ist, können diese Systeme nur im Vorauflauf, insbesondere bei konservierender Bodenbearbeitung ohne Pflügen, vor der Aussaat sowie unter Nutzung von Breitband- bzw. Totalherbiziden eingesetzt werden (Fernández-Quintanilla et al. 2018).

Unterdessen kommen die ersten Systeme mit der Fähigkeit zur *Unkraut-Kulturpflanzen-Unterscheidung* auf den Markt (z. B. »Dick« von Small Robot Company, Großbritannien; »Ecorobotix« der ecoRobotix AG¹⁶⁰, Schweiz; »Robocrop Spot Sprayer« von Garford, Großbritannien; »See & Spray« von Blue River Technology¹⁶¹, USA). Sie erlauben eine Unkrautbekämpfung nach Auflauf im Pflanzenbestand. Das »See & Spray«-System nutzt ein an einem Traktor angebautes Feldspritzgerät mit einer Arbeitsbreite von 9 bis 18 m. »See & Spray« wird derzeit in den USA im Baumwollanbau getestet (Chostner 2017). Die anderen Systeme stellen dagegen autonome Kleingeräte (Roboter) mit Elektroantrieb dar. Der Roboter »Dick« ermöglicht eine chemische, mechanische oder thermische Unkrautbekämpfung.¹⁶²

160 Investor ist u. a. die BASF.

161 Blue River Technology wurde 2017 von John Deere übernommen.

162 <https://www.smallrobotcompany.com> (18.8.2021)



Weiterhin gibt es verschiedene Ansätze für eine *präzise mechanische Unkrautbekämpfung*. Von Naïo Technologies¹⁶³, Frankreich, werden für den Gemüse- und Weinbau drei Robotertypen zur mechanischen Unkrautbekämpfung kommerziell angeboten, mit Vertrieb in Frankreich, Belgien, Deutschland und der Schweiz. Eine mechanische Unkrautbekämpfung in der Reihe mit optischer Kulturpflanzenerkennung ist mit den Anbaugeräten »Robocrop InRow Weeder« (Garford 2018), »Steketee IC«¹⁶⁴ und »Robovator« (Visionweeding o. J.) im Gemüsebau möglich (Riemens 2016).

Mit den bisher verfügbaren Systemen für eine gezielte chemische Unkrautbekämpfung kann jeweils nur ein Herbizid versprüht werden. Dies erfordert die Nutzung von Breitband- bzw. Totalherbiziden und schränkt die Anwendbarkeit der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung ein. Denn in der landwirtschaftlichen Praxis werden oftmals Tankmischungen mit mehreren Herbiziden, die gegen unterschiedliche Gruppen von Unkräutern wirksam sind, eingesetzt. Abhilfe schaffen könnte hier der Prototyp eines *Direkteinspeisungssystems*, das sich noch in Entwicklung befindet und verschiedene Herbizide sowie Wasser aus getrennten Behältern in Echtzeit dosiert und erst kurz vor der Anwendung vermischt. Ein weiterer Vorteil der Direkteinspeisung ist, dass keine Restmengen von angesetzter Spritzbrühe übrig bleiben. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass ein praxisgerechtes System zur verzögerungsfreien Direkteinspeisung realisiert werden kann und eine teilflächenspezifische Anwendung verschiedener Pflanzenschutzmittel möglich ist (Pohl et al. 2018).

Wirtschaftliche Schadensschwellen sind ein wesentliches Element des integrierten Pflanzenschutzes, dessen Grundsätze nach der Richtlinie 2009/128/EG¹⁶⁵ und dem Pflanzenschutzgesetz (PflSchG)¹⁶⁶ einzuhalten sind. Die wirtschaftliche Schadensschwelle bezeichnet die Unkrautdichte, ab der der Ertragsverlust gleich groß ist wie die Kosten der direkten Unkrautbekämpfungsmaßnahme und somit eine Unkrautbekämpfung ökonomisch gerechtfertigt ist. Die Bekämpfungsschwelle bezeichnet dagegen die aktuelle Unkrautdichte zu einem bestimmten Zeitpunkt, ab der die zu erwartende zukünftige Unkrautentwicklung die ökonomische Schadensschwelle erreicht und damit eine Bekämpfung ökonomisch sinnvoll wird. Beiden Schwellenwerten liegt eine Befall-Schaden-Relation zugrunde. Die Unkrautflora auf einem Feld setzt sich fast immer aus mehreren Unkrautarten zusammen, die ein sehr unterschiedliches Konkurrenzvermögen aufweisen. Weiterhin wird die Unkrautentwicklung von einer Reihe

163 <https://www.naio-technologies.com/en/home/> (18.8.2021)

164 <https://www.steketee.com/nl/producten/ic-weeder-3/> (18.8.2021)

165 Richtlinie 2009/128/EG über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden

166 Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz – PflSchG)

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

von Faktoren wie Standortbedingungen, Witterungsverlauf und Dichte des Kulturpflanzenbestands beeinflusst. Schließlich sind die beiden Schwellenwerte von ökonomischen Variablen, den Kosten der Unkrautbekämpfung und dem Agrarproduktpreis abhängig. Anstelle allgemein empfohlener Schadensschwellen sollten deshalb regionalisierte bzw. situationsbezogene Befall-Schaden-Relationen für Unkräuter verwendet werden, die aber aufgrund des komplexen und dynamischen Wirkungsgefüges schwierig zu quantifizieren sind (Freier et al. 1994). Der erhebliche Arbeitsaufwand für Unkrautbonituren¹⁶⁷ sowie Unsicherheiten bei der Unkrautentwicklung und ihrer Konkurrenzwirkung führten bisher dazu, dass Schadensschwellen oftmals nicht berücksichtigt werden und eine präventive Unkrautbekämpfung erfolgt.

Bei Anwendung des Offlineansatzes können bei der Erstellung der Applikationskarte Schadensschwellen berücksichtigt werden (Oebel/Gerhards 2006). Eine Unkrautbekämpfung erfolgt dann nur auf den Teilflächen, auf denen der Unkrautbesatz die Schadensschwelle überschreitet. Die Onlinetechniken zielen dagegen auf die Erkennung und gezielte Bekämpfung aller Unkrautpflanzen, sodass Schadensschwellen nicht einsetzbar sind.

Wissenschaftliche Untersuchungen zur teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung auf Versuchsflächen und wenigen Praxisbetrieben beruhten in der Vergangenheit auf einer manuellen Bonitur der Unkrautdichte, die dann in Applikationskarten zur Unkrautbekämpfung umgesetzt wurde (Nordmeyer 2006). Eine Auswertung von 59 Versuchen in Europa kommt zu dem Ergebnis, dass im Mittel aller Versuche der Herbizideinsatz um rund 40 % verringert werden konnte. Die Spannweite der *Herbizideinsparungen* bei verschiedenen Kulturen reicht von 0 bis nahezu 100 %. Die höchste durchschnittliche Herbizideinsparung wurde mit 89 % bei Zuckerrüben und die niedrigste durchschnittliche mit 23 % bei Wintergerste und Triticale bestimmt (Nordmeyer 2006).

Für das »Amaspot«-System mit Onlineunterscheidung von Unkraut und Boden wurden nach einer wissenschaftlichen Untersuchung der Universität Wageningen unter mitteleuropäischen Bedingungen Herbizideinsparungen von 20 bis 60 % und bei Direktsaat bis zu 80 % erreicht (Amazone 2015, S. 35). Anbieter von Onlinesystemen mit Erkennung einzelner Unkräuter und Herbizidanwendung als Mikrodosis versprechen eine Herbizideinsparung von 90 % (z. B. ecoRobotix 2017). Erste Simulationen mit einem Populationsmodell deuten darauf hin, dass teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung die Entwicklung herbizidresistenter Unkräutern verzögern kann (Richter et al. 2018).

Wenn Roboter mit mechanischer Unkrautbekämpfung (TAB 2021, Kap. 5.2.1) eine konventionelle mechanische Unkrautbekämpfung ersetzen, stellt dies eine Arbeitserleichterung und -ersparnis dar. Im Falle eines Ersatzes chemischer Verfahren dagegen bedeutet dies einen vollständigen Verzicht auf

¹⁶⁷ Als Bonitur wird die fachliche Bestimmung von Pflanzenmerkmalen sowie der Pflanzengesundheit bezeichnet.



Herbizidanwendungen. Die Unkrautroboter haben den zusätzlichen Vorteil, aufgrund ihres geringen Gewichtes kaum eine Beeinträchtigung der Bodenstruktur zu bewirken.

Eine reduzierte landwirtschaftliche Nutzung von Herbiziden führt dazu, dass sich ihre Produktion und damit der dafür erforderliche Verbrauch von Ressourcen und Energie sowie die Emission von Treibhausgasen entsprechend verringern.

Die potenzielle *Umwelentlastung* in der Landwirtschaft durch eine teilflächenspezifische bzw. gezielte Unkrautbekämpfung ist ein Ergebnis der verringerten Herbizidmenge. Dabei sind zwei Kausalzusammenhänge zu unterscheiden:

- > ökotoxikologische Wirkungen als direkter Effekt und
- > Veränderung der Unkraut- bzw. Ackerbegleitflora und ihre Folgen als indirekter Effekt.

Pflanzenschutzmittel können direkte negative Auswirkungen auf Bodenorganismen, Insekten, Amphibien (Frösche, Lurche, Kröten) und andere aquatische Lebewesen haben (SRU 2016, S. 381 ff.). Umweltrisiken von Herbiziden sind neben der Aufwandmenge von der Persistenz und dem Abbauverhalten des jeweiligen Wirkstoffs sowie den zum Zeitpunkt der Anwendung herrschenden Umweltbedingungen abhängig (Brauer-Siebrecht et al. 2018).

Negative Umweltwirkungen von Herbiziden werden vor allem durch indirekte Effekte gesehen. Durch die Reduktion der Unkraut- bzw. Ackerbegleitflora werden Nahrungsangebot und Habitate für Insekten und Vögel verringert (SRU 2016, S. 385 f.; SRU/WBBGR 2018, S. 22). Kritisch wird insbesondere bei Breitbandherbiziden die »Gründlichkeit«, mit der die Ackerbegleitflora beseitigt wird, beurteilt. Eine Verringerung der indirekten Effekte ist nicht von der Aufwandmenge an Herbiziden abhängig, sondern wird durch die auf dem Acker verbleibende Restverunkrautung bestimmt. Dabei spielt es außerdem keine Rolle für die Insekten, ob das Nahrungsangebot und die Habitate chemisch oder mechanisch reduziert werden (SRU/WBBGR 2018, S. 22).

Offlinekartierungsansätze mit Anwendung von Schadensschwellen anstelle einer präventiven Unkrautbekämpfung können dazu führen, dass eine tolerierbare Verunkrautung verbleibt und damit der Verlust von Nahrungsangebot und Habitaten verringert wird. Bei Onlineverfahren, die Breitbandherbizide nutzen oder eine gezielte chemische bzw. mechanische Bekämpfung von einzelnen erkannten Unkrautpflanzen vornehmen, ist dagegen keine Veränderung der indirekten Effekte zu erwarten.

Der anhaltende Rückgang von Biodiversität und Insekten in der Agrarlandschaft ist nicht alleine auf Pflanzenschutzmittel zurückzuführen. Wichtige weitere Faktoren sind der Verlust und die Degradierung von naturnahen Lebens-

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

räumen (z. B. Hecken, Gehölzen, Wegrainen, Kleingewässern), die Simplifizierung und Monotonisierung der Landschaft (z. B. größere Schläge, engere Fruchtfolgen, geringere Vielfalt der angebauten Fruchtarten und Sorten) sowie hohe Stoffeinträge (z. B. Stickstoff und Phosphor) (SRU/WBBGR 2018, S. 18 ff.).

3.2.1.6 Variable Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten

Der Einsatz von Fungiziden zur Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten hat zum Ziel, Ertragsverluste zu verhindern. Die Ausbringung von Fungiziden wird bisher meist großflächig mit einer einheitlichen Aufwandmenge durchgeführt. Dabei bleiben zwei Arten von Variationen im Feld unberücksichtigt:

- > Pflanzenbestände entwickeln sich häufig nicht gleichmäßig, sodass die Menge an Biomasse schwankt. Eine einheitliche Ausbringung eines Fungizids bedeutet dann, dass bei einer Orientierung der Aufwandmenge am stärksten entwickelten Bestand in Teilbereichen eine Überdosierung oder bei einer Orientierung am schwächer entwickelten Bestand in Teilbereichen eine Unterdosierung erfolgt. Ersteres verursacht unnötige Kosten und überflüssigen Mitteleinsatz. Letzteres kann zu Ertragsreduktionen und erhöhten Resistenzrisiken führen (Ehnts 2019).
- > Pflanzenkrankheiten treten oftmals nicht einheitlich im Bestand auf, sondern beginnen in einzelnen Befallsnestern oder in Rand- bzw. Teilbereichen eines Feldes. Dies ist abhängig davon, wo auf dem Feld Pathogene überwintern, zufällig durch den Wind eingetragen werden oder das Mikroklima im Bestand eine Befallsentwicklung ermöglicht (Steiner et al. 2008).

Eine *varierte Ausbringung von Fungiziden und Wachstumsregulatoren entsprechend dem Pflanzenbestand* ist praxisreif und kommt in der Landwirtschaft zum Einsatz. Dabei werden Sensoren zur Messung des Pflanzenbestandes verwendet, die auch bei der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung genutzt werden. Versuche mit einer solchen variablen Fungizidspritzung bei Winterweizen zeigten eine Einsparung von 20 (Dammer et al. 2009) und 8 bzw. 12 % Pflanzenschutzmittel in 2 Jahren (Tackenberg et al. 2016 u. 2018), ohne Ertragsverluste zu verursachen. Für die Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule von Kartoffeln werden Einsparungen von 20 bis 25 % aus Versuchen auf landwirtschaftlichen Betrieben in den Niederlanden berichtet (Van Evert et al. 2017). Grundsätzlich gilt: Je einheitlicher der Pflanzenbestand ist, umso geringer wird die Fungizideinsparung ausfallen (Tackenberg et al. 2016).

Im *Obstbau* können mit moderner Sensortechnik die Düsen des Sprühgeräts in Abhängigkeit von der Detektion von Lücken im Bestand gesteuert werden. Da-



mit können nachweislich zwischen 20 und 70 % an Pflanzenschutzmitteln in Abhängigkeit des Vegetationszeitpunkts, des Alters der Anlage, des Anteils an Fehlstellen als auch der Kronenerziehung¹⁶⁸ eingespart werden (Overbeck 2019).

Intensiv geforscht wird an *Sensortechnologien zur Erkennung und Quantifizierung von Befallssituationen* im Pflanzenbestand (Behmann et al. 2015; Mahlein 2016; Thomas et al. 2018). Mit Sensoren können typische Symptome von Krankheiten an den Nutzpflanzen bzw. durch die Art, das Stadium und die Intensität des Befalls verursachte Veränderungen des pflanzlichen Stoffwechsels erfasst werden (Steiner et al. 2008). Aufgrund verschiedener Störeinflüsse bei der Onlineanwendung von Sensoren im Feld ist es schwierig, eine ausreichende Sensitivität und Präzision zu erreichen. Die Anwendung einer variierten Fungizidspritzung erfordert neben den Befallsdaten noch Informationen über die voraussichtliche Wetterentwicklung, ortsspezifische Bedingungen und die Ertragserwartung. Systeme zur variablen Fungizidanwendung in Abhängigkeit von der Befallssituation befinden sich, anders als die reine bestandsorientierte Ausbringung, noch im Stadium der Forschung und Entwicklung. Sie sind derzeit nicht kommerziell verfügbar. Zur erreichbaren Einsparung von Fungiziden liegen noch keine Untersuchungen vor.

Roboter als autonome Kleintechnikgeräte könnten zukünftig eine sehr kleinräumige Applikation bis hin zur Einzelpflanzenbehandlung erlauben. Außerdem würde eine gezielte Ausbringung auf erkrankte Pflanzen die Ausnutzung der systemischen Wirkung von Fungiziden ermöglichen, d. h. eine Verteilung des Wirkstoffes in der gesamten Pflanze durch den Saftstrom in den Leitbahnen (Gaus et al. 2017, S. 70 f.). Bei einer Realisierung dieser technischen Entwicklung können erhebliche Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln erwartet werden.

Neben der visuellen Erhebung von Befallssituationen werden heute Bekämpfungsempfehlungen bzw. -entscheidungen auch anhand von Wetterdaten und Prognosemodellen zur Befallsentwicklung getroffen. Mit der Zunahme von Daten und Datenverknüpfungen sowie der Weiterentwicklung von Farmmanagementsystemen (Kap. 2.2.3) ist davon auszugehen, dass zukünftig mehr und bessere *Prognosen von Befallsentwicklungen* zur Verfügung stehen werden. Inwieweit dies zu einer Verringerung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes führen wird, kann derzeit nicht beurteilt werden.

Ein verringerter Fungizideinsatz durch eine variable Bekämpfung führt zu *Umweltentlastungen*, die in einem geringeren Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in den Boden, einer reduzierten Abdrift durch die Luft und einer potenziell geringeren Wirkung auf Nichtzielorganismen bestehen. Diese Umweltentlastungen sind zusätzlich von dem Umweltbelastungspotenzial der eingesparten

¹⁶⁸ Als Kronenerziehung werden Maßnahmen an Jungbäumen zusammengefasst (z. B. Schneiden, Binden), mit denen versucht wird, ein möglichst stabiles Kronengerüst aufzubauen.

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

spezifischen Fungizidwirkstoffe abhängig. Außerdem bedeutet ein abnehmender Absatz von Pflanzenschutzmitteln eine entsprechende Einsparung von Ressourcen bei der Pflanzenschutzmittelproduktion.

3.2.1.7 Teilflächenspezifische Bewässerung

In Deutschland haben im Jahr 2015 rund 15.700 landwirtschaftliche Betriebe auf 451.800 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (LF) eine Bewässerung auf Freilandflächen durchgeführt (Destatis 2017b). Dies entspricht einem Anteil von 2,7% an der gesamten LF (Schittenhelm/Kottmann 2018). Wichtige Bewässerungsgebiete befinden sich in Nordost-Niedersachsen, der Vorderpfalz, dem Hessischen Ried, dem Niederrheingebiet und dem »Knoblauchland« nahe Fürth/Nürnberg (Dietrich et al. 2015, S. 33 f.). Eine Bewässerung ist mittels verschiedener Techniken möglich (Kasten 3.3) und erfolgt aufgrund der Kosten vor allem bei Kulturen mit hoher Wertschöpfung. Kartoffeln, Mais, Zuckerrüben und Feldgemüse sind die Kulturen mit der größten Bewässerungsfläche (BLE 2018, S. 70). Beregnung wird außerdem im Obstbau zum Frostschutz eingesetzt. Von erheblich größerer Bedeutung ist die Bewässerung in Südeuropa (EEA 2009).

Kasten 3.3 Bewässerungstechniken

In Deutschland werden verschiedene Bewässerungstechniken genutzt. *Mobile Großflächenregner* sind aufgrund der hohen Flexibilität und Mobilität sowie der vergleichsweise geringen Anschaffungskosten vorherrschend. Nachteile sind vor allem der Arbeitszeitbedarf zum Auf- und Abbau, der hohe Energiebedarf im Betrieb und die schlechte Wasserverteilung bei Wind. Verschiedene Hersteller bieten webbasierte Dokumentations- und Überwachungssysteme an, die den Kontrollaufwand erheblich reduzieren (Fricke 2018).

Eine bessere Wasserverteilung und Energieeinsparung durch geringeren Wasserdruck ist mit mobilen *Beregnungsmaschinen mit Düsenwagen* zu erzielen. Sie werden vereinzelt im Gemüsebau genutzt. Diese Bewässerungstechnik hat sich in der breiten Praxis aufgrund des hohen Arbeitszeitbedarfs beim Auf- und Abbau und des hohen Kapitalbedarfs nicht durchgesetzt (Fricke 2018).

Zur Großflächenbewässerung ab 25 ha eignen sich vor allem *halbstationäre*¹⁶⁹ *Kreis- und Linearberegnungsmaschinen*. Das Beregnungswasser wird

¹⁶⁹ Halbstationäre Beregnungsmaschinen sind im Betrieb beweglich, aber an einen Einsatzort gebunden (Lüttger et al. 2005).



hier energieeffizient und mit hoher Genauigkeit durch von den Tragwerken abgehängte Niederdruckdüsen verteilt. Ein weiterer Vorteil der Großflächenberegnungstechnik ist die Arbeitszeiterparnis im Vergleich zu anderen Beregnungstechniken. Nachteile sind die erforderliche Flächengröße und die fehlende Möglichkeit, beregnungswürdigen Kulturen in der Fruchtfolge zu folgen, also die Beregnungsmaschine auf ein anderes Feld umzusetzen (Fricke 2018; Lüttger et al. 2005).

Bei der *Tropfbewässerung* (oder *Tröpfchenbewässerung*) wird ein dauerdicker, schwarzer Plastikschauch auf dem Boden verlegt und durch kleine Löcher im Schlauch bzw. Tropfer das Bewässerungswasser direkt dem Wurzelbereich der Pflanze zugeführt. Diese Technik wird in Deutschland vor allem bei Dauer- oder Sonderkulturen wie Strauchobst, Erdbeeren, Zucchini oder Spargel eingesetzt. Eine Mikrobewässerung kann im Prinzip auch durch unterirdische Tropfrohre als Unterflortropfbewässerung durchgeführt werden. Bei der Tropfbewässerung kann eine Düngerzumischung erfolgen. Die Verdunstung und der Wasserbedarf sind deutlich niedriger als bei den anderen Beregnungstechniken (Fricke 2018; Lüttger et al. 2005).

Die Bewässerungsfläche in Deutschland hat in der Vergangenheit zugenommen.¹⁷⁰ Für die Zukunft wird erwartet, dass die Bewässerung in der Landwirtschaft weiter an Bedeutung gewinnen wird, aufgrund steigender Temperaturen und häufigeren Trockenphasen infolge des Klimawandels (Schimmelpfennig et al. 2018). Es wird davon ausgegangen, dass sich mittel- bis langfristig die Bewässerung auf Kulturen und Flächen ausdehnen wird, für die bisher eine Bewässerung nicht rentabel war (Spohrer 2019). Die Möglichkeit einer landwirtschaftlichen Bewässerung wird vom verfügbaren Bewässerungswasser bzw. von Wasserrechten begrenzt.

Ansätze zur Erhöhung der Bewässerungseffizienz

Eine Verbesserung der Bewässerungseffizienz kann erreicht werden durch

- > Optimierung des bestehenden Bewässerungssystems,
- > Wechsel der Bewässerungstechnik,
- > teilflächenspezifische Bewässerung.

¹⁷⁰ Beispielsweise erhöhten sich in Baden-Württemberg von 2009 bis 2015 die Anzahl der Betriebe mit der Möglichkeit einer Bewässerung (d. h. die über eine Bewässerungsanlage verfügen) um 36 %, die landwirtschaftliche Nutzfläche mit der Möglichkeit einer Bewässerung um 25 % und die tatsächlich bewässerte Fläche um 51 %. Die Zunahme der tatsächlichen Bewässerung ist nicht nur Folge der Ausweitung der bewässerbaren Fläche, sondern auch durch die Jahreswitterung im Erhebungsjahr 2015 bedingt (SL BW 2017).

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

Bestehende Bewässerungsanlagen sind aufgrund von Alter und Zusammenstellung der Komponenten zum Teil nicht wasser- und energieeffizient. Mit Anpassungen bei Pumpen, Rohrleitungen und dem Bewässerungssystem kann Energie eingespart und die Wasserverteilung verbessert werden (Zinkernagel et al. 2017). Ziel ist, die realisierte Bewässerungseffizienz durch Optimierungen der Bewässerungstechnik und -planung möglichst der potenziell erreichbaren Bewässerungseffizienz der genutzten Bewässerungstechnik anzunähern (Spohrer 2019).

Bewässerungszeitpunkt und -menge werden wesentlich durch die Bodenfeuchte und Regenmenge sowie den Wasserbedarf der Kultur bestimmt (Khanal et al. 2017). *Entscheidungen über den Zeitpunkt und die Menge der Bewässerung* basieren heute überwiegend auf den Erfahrungen der Landwirte sowie agrarklimatischen Modellen und Vorhersagen (z. B. »agrowetter Berechnung« des Deutschen Wetterdienstes) (Anter et al. 2018). Außerdem steht mittlerweile eine Bewässerungs-App als webbasiertes Entscheidungssystem und Werkzeug zur Planung, Berechnung und Dokumentation von Bewässerungsmaßnahmen zur Verfügung (Müller et al. 2020). Sensoren zur Messung der Bodenfeuchte wie Tensiometer und die Time-Domain-Reflectometry eignen sich insbesondere zur Steuerung von Tropfbewässerungsanlagen (Zinkernagel et al. 2017).

Die *Wahl der Berechnungstechnik* ist abhängig von der jeweiligen Wirtschaftlichkeit, d. h., die Mehrerlöse durch die jeweilige Berechnungstechnik müssen höher sein als die fixen und variablen Kosten der Berechnung. Die hohen fixen Kosten pro ha bei der wassersparenden Tropfbewässerung führen dazu, dass diese nur bei Intensivkulturen mit häufigem Bewässerungseinsatz oder Dauerkulturen wirtschaftlich ist (Mastel 2002).

Bewässerungssysteme haben bisher das Wasser möglichst gleichmäßig verteilt. Dies kann dazu führen, dass einige Teilflächen über- oder unterbewässert werden. Mit einer *teilflächenspezifischen Bewässerung* werden Unterschiede bei Boden- und Pflanzenzustand berücksichtigt. Die verschiedenen Berechnungszonen können durch die Messung der nutzbaren Feldkapazität mittels einer sensorbasierten Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens, den Einsatz von drahtloser Bodenfeuchtesensoren oder der Bestimmung des Wasserstress der Pflanze mittels Messung der Blattemperatur oder Bildinformationen bestimmt werden (Hezarjaribi et al. 2008; Rojo et al. 2016; Spohrer 2019). Die variierten Wassergaben werden durch Magnetventile gesteuert. Außerdem ist zwischen einer statischen teilflächenspezifischen Bewässerung nach vorab festgelegten Applikationskarten und einer dynamischen Bestimmung der Teilflächen nach aktuellen Sensorwerten zu unterscheiden (Evans et al. 2013). Technik und Software für eine teilflächenspezifische Bewässerung werden derzeit nur für Kreis- und Linearberechnungsmaschinen kommerziell angeboten (Evans et al. 2013; Spohrer 2019). Anstelle von Sprühdüsen können auch Tropfrohren bei ei-



ner teilflächenspezifischen Bewässerung verwendet werden, um das Bewässerungswasser direkt auf den Boden zu bringen und Verdunstung von Wasser auf Blättern zu vermeiden (Sourell 2006; Spohrer 2019). Eine teilflächenspezifische Bewässerung steht vor besonderen Herausforderungen, da kontinuierlich Managemententscheidungen zu treffen sind und das Zusammenwirken von Boden, Pflanze und Witterung hoch komplex ist. Insbesondere bei den Entscheidungs- bzw. Managementsystemen zur teilflächenspezifischen Bewässerung wird weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf gesehen (McCarthy et al. 2013; Zhu et al. 2018).

Die aktuelle Nutzung einer teilflächenspezifischen Bewässerung ist vermutlich sehr gering. Für die USA wurde geschätzt, dass von den rund 175.000 Kreis- und Linearberegnungsanlagen weniger als 200 über die Möglichkeit einer teilflächenspezifisch variierten Bewässerung verfügten (Evans et al. 2013). Als Ursachen gelten die Komplexität der Technik, die unzureichende Wirtschaftlichkeit sowie Wasserverfügbarkeit zu geringen Kosten.

Potenzielle Umweltentlastungen durch teilflächenspezifische Bewässerung

Die *Umweltentlastungen* durch eine teilflächenspezifische Bewässerung bestehen potenziell in der Einsparung von Bewässerungswasser und einem geringeren Energieverbrauch. Mit der Verhinderung von Überbewässerung werden zusätzlich bewässerungsbedingte Sickerwasserbildung und damit verbundene Stoffeinträge ins Grundwasser verhindert (Zinkernagel et al. 2017, S. 5).

Versuchsergebnisse zur Wassereinsparung durch teilflächenspezifische Bewässerung liegen bisher nur wenige vor. Untersuchungen auf drei Versuchsfeldern in Griechenland ergaben bei teilflächenspezifischer Bewässerung eine Einsparung von 18 % gegenüber der konventionellen Praxis.¹⁷¹ Ein Versuch mit einer teilflächenspezifischen Bewässerung von Mandelbäumen in Kalifornien anhand von Blattsensoren zur Bestimmung des Wasserstress führte zu einer Einsparung von 10 bzw. 30 % in den zwei Managementzonen gegenüber der bisherigen Praxis (Rojo et al. 2016). Bei einem vierjährigen Versuch (Zuckerrübe, Kartoffel, Winterweizen, Zuckerrübe; 2010–2013) mit einer Kreisberegnungsanlage in Niedersachsen wurde in der teilflächenspezifischen Variante nur eine geringe Wassereinsparung erzielt, bedingt durch verschiedene Starkregenereignisse und dadurch geringem Beregnungsbedarf (Thörmann et al. 2014, S. 114). Bei einem zweijährigen Versuch mit Kartoffeln in den USA war die aufgewendete Wassermenge bei teilflächenspezifischer und einheitlicher Bewässerung fast identisch (King et al. 2006). Nach einer Modellkalkulation für Deutschland

171 https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=3466 (18.8.2021)

^
› 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

kann durch eine teilflächenspezifische mobile Tropfbewässerung (gegenüber einer Kreisberegnungsmaschine) bei Salat, Zuckerrübe, Kartoffel und Erdbeere der Energiebedarf um 70 % und der Wasserbedarf um 25 % gesenkt werden (Hezarjaribi 2008).

Zusammenfassend bedeutet dies, dass die mit einer teilflächenspezifischen Bewässerung erzielbare Einsparung einerseits von der Heterogenität der Bodeneigenschaften und Pflanzenbestandentwicklung sowie andererseits vom Beregnungsbedarf in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf abhängig ist. In Deutschland sind neben einer teilflächenspezifischen Bewässerung noch erhebliche Reduktionen des Wasser- und Energiebedarfs durch den Einsatz effizienterer Bewässerungstechniken erzielbar. Die Wirtschaftlichkeit effizienterer Bewässerungstechniken bestimmt die zukünftige Nutzung dieser Potenziale.

Reboundeffekte

Eine verbesserte Bewässerungseffizienz, verbunden mit einer Einsparung bei der einzelnen bewässerten Kultur bzw. im einzelnen Feld, muss nicht zwangsläufig zu einem geringeren Wasserverbrauch im landwirtschaftlichen Betrieb oder in einer Region führen. Wiederholt wurde festgestellt, dass der Aufbau effizienterer Bewässerungstechniken mit einem *Reboundeffekt* verbunden ist (Sears et al. 2018a; Weller von Ahlfeld 2019):

- › So hatte die Einführung von hocheffizienten Kreisberegnungsmaschinen mit Tropfschläuchen im westlichen Kansas (USA) im Zeitraum von 1995 bis 2005 eine erhöhte Grundwassernutzung zur Folge (Li/Zhao 2018; Pfeiffer/Lin 2014).
- › In Kalifornien (USA) hat die breite Einführung von Tropfbewässerung in den letzten Jahrzehnten keine Reduktion der landwirtschaftlichen Wassernutzung bewirkt (Taylor/Zilberman 2017).
- › Für China wurde in einer Modellrechnung bestimmt, dass durch die im Zeitraum von 1997 bis 2014 erfolgten Verbesserungen der Bewässerungstechnik 61,5 % der möglichen Wassereinsparung nicht realisiert wurden (Song et al. 2018).
- › Die Modernisierung der Bewässerung in einer Region Andalusiens (Spanien) führte dazu, dass das von der Pflanze aufgenommene Bewässerungswasser (Konsumwasser) und der Energiebedarf sich erhöhten (Rodríguez-Díaz et al. 2011).

Ökonomische Ursachen für einen Reboundeffekt, also eine Ausweitung der Bewässerung, können eine Steigerung von Produktivität und Erträgen durch die effizientere Bewässerung sowie niedrigere variable Kosten sein. Außerdem kann die Notwendigkeit bestehen, die Rentabilität der Investition durch eine verstärkte Nutzung sicherzustellen (Dumont et al. 2013; Gómez/Pérez-Blanco



2014). Dies kann zu einer Ausweitung der Bewässerungsfläche, einer Intensivierung der Bewässerung sowie dem Anbau von Kulturen und Fruchtfolgen mit höherem Wasserbedarf führen (Pfeiffer/Lin 2014; Sears et al. 2018a). In einer Gesamtbetrachtung erscheint es offensichtlich, dass die Zielsetzung einer Schonung der Ressource Wasser oftmals nicht alleine durch die Förderung effizienterer Bewässerungstechniken erreicht werden kann, sondern durch politische Instrumente wie die Ausgestaltung der Wasserrechte oder des -preises ergänzt werden muss (Gutierrez-Martin/Gomez Gomez 2011; Sears et al. 2018b).

Neben Veränderungen der Bewässerungstechnik stellen die Sortenwahl, angepasste Fruchtfolgen, die konservierende Bodenbearbeitung sowie die Erhöhung des Humusgehaltes und der Bodenfruchtbarkeit wichtige Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel dar (Schimmelpfennig et al. 2018).

3.2.1.8 Parallelfahrssysteme und Teilbreitenschaltung

Die Nutzung von festen Fahrspuren mittels Lenksystemen ist eine Reaktion auf Probleme, die sich aus der Entwicklung zu größeren und leistungsfähigeren Landmaschinen ergeben haben. Einerseits wird das genaue Anschlussfahren umso schwieriger, je größer die Arbeitsbreite und je höher die Arbeitsgeschwindigkeit der Landmaschinen ist, sodass sich Überlappungen kaum vermeiden lassen (Niemann et al. 2007). Andererseits haben die zunehmend schwereren Landmaschinen die Gefahr von Bodenverdichtungen erhöht (Chamen 2015).

GNSS-Systeme ermöglichen eine genaue Positionsbestimmung auf dem Feld und damit eine Bewirtschaftung auf genau festgelegten Fahrspuren. Dies wird international als Controlled Traffic Farming und in Deutschland als *Parallelfahrssystem* oder Regelfahrspurverfahren bezeichnet. Parallelfahrssysteme können je nach technischem Ausstattungsgrad die FahrerIn/den Fahrer unterstützen (manuelle Lenksysteme), beim Lenken assistieren (Lenkassistenzsysteme) oder vollautomatisch die Steuerung übernehmen (Lenkautomaten) (TAB 2021, Kap. 3.1.2). Lenkassistenzsysteme und Lenkautomaten werden seit einigen Jahren von allen namhaften Landmaschinenherstellern angeboten.

Controlled Traffic Farming wurde zuerst in Australien zur Bodenschonung im Rahmen pflugloser Anbausysteme, zunächst im extensiven Getreideanbau eingeführt (Chamen 2015; Tullberg et al. 2007). In diesem System werden dauerhaft festgelegte Fahrspuren, die keine Wuchsfläche für Kulturpflanzen sind, eingerichtet und von speziell angepassten Fahrzeugen und Geräten mit großer Spurweite und schmalen Reifen genutzt, sodass der Fahrspuranteil unter 15% bleibt und die übrige Fläche nicht befahren wird (Blumenthal et al. 2018). Das australische System lässt sich nicht direkt auf Deutschland und andere europäische Länder übertragen, da die zulässige Spurweite auf öffentlichen Straßen begrenzt ist. Ein Regelspurverfahren mit üblichen Spurweiten und Reifendimen-

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

sionen, wobei die Fahrwege mitbewirtschaftet werden, und mit einer abgestimmten Arbeitsbreite aller Geräte führt zu einem Spurflächenanteil von 30 bis 40 %. Die Vorteile des Regelspurverfahrens lassen sich vollständig nur bei pflugloser Bewirtschaftung und nicht beim Anbau von Zuckerrüben bzw. Hackfrüchten (Knollen- und Wurzelfrüchte wie Kartoffeln, Zucker- und Futterrüben) realisieren (Blumenthal et al. 2018).

Parallelfahrssysteme mittels Lenkassistent bzw. -automat werden darüber hinaus vielfach zur Vermeidung von Überlappungen und damit zur Betriebsmitteleinsparung sowie zur Arbeitszeiteinsparung und -erleichterung eingesetzt. Die Fahrgassen werden bei der Aussaat angelegt. Für die nachfolgenden Arbeiten in den Fahrgassen ist Voraussetzung, dass die Arbeitsbreiten aller Geräte aufeinander abgestimmt sind (Reckleben 2014b). Lenkautomaten mit Satellitennavigation wurden 2012 von 77 % der befragten Betriebe¹⁷² in Australien und von 22 % der Betriebe¹⁷³ in England sowie 2018 von 23 % der Betriebe¹⁷⁴ in Dänemark genutzt (Lowenberg-DeBoer/Erickson 2019).

Es wird angegeben, dass sich *Überlappungen* bei der Bodenbearbeitung wie folgt verringern lassen:

- > mit Grubber von 8 % ohne Lenkhilfe auf 4,4 % bei manueller Lenkhilfe und 1 % bei einem automatischen Lenksystem;
- > bei Aussaat, Düngung und Pflanzenschutz von 4,2 % ohne Lenkhilfe auf 0,9 % bei manueller Lenkhilfe und 0,2 % bei einem automatischen Lenksystem (Lopotz 2013).

Die Verhinderung von Doppelbearbeitungen in den Überlappungsbereichen bewirkt eine entsprechende Einsparung von Kraftstoff, Saatgut, Dünger- und Pflanzenschutzmitteln. Deren Höhe ist abhängig von der Art des Lenksystems, der Fahrgenauigkeit ohne Lenkhilfe, der Feldstückgröße und -form sowie der Intensität der Produktion (d. h. dem Inputeinsatz).

Satellitennavigation und Lenkautomaten ermöglichen weiterhin eine *Optimierung der Routenplanung* auf dem Feld. Ziel der Optimierung ist, die Fahrwege vorab so festzulegen, dass die Wegstrecken ohne Feldbearbeitung (z. B. Vorgewende¹⁷⁵) bzw. zum Transport von Inputs und Erntegut minimiert werden. Versuche in Dänemark zeigten, dass zwischen 9 und 20 % der Arbeitszeit

172 Telefonbefragung von Betrieben mit mehr als 500 ha Getreideanbau in den Hauptgetreideanbaugebieten Australiens (Lowenberg-DeBoer/Erickson 2019).

173 Schriftliche Befragung von 2.900 Betrieben mit mindestens 50 Kühen, 100 Schafen, 100 Schweinen, 1.000 Hühnern, 20 ha Ackerland, 20 ha Obstanbau, 5 ha Beeren oder 10 ha Baumschulfläche (Lowenberg-DeBoer/Erickson 2019).

174 Repräsentative Stichprobe mit Antworten von 5.708 Betrieben aus der Gesamtheit von 32.833 Betrieben (Lowenberg-DeBoer/Erickson 2019).

175 Unter Vorgewende wird im Ackerbau jener Querstreifen am Ende eines der Länge nach gepflügten Ackers bezeichnet, auf dem die Landmaschine gewendet wird (TAB 2021, Kap. 3.1.2).



und des Kraftstoffverbrauchs durch eine optimierte Fahrwegplanung eingespart werden konnten (Bochtis et al. 2014; Sørensen et al. 2017).

Schließlich kann mit einer *automatischen Teilbreitenschaltung* (Automatic Section Control) das Ein- und Ausschalten von Teilbreiten vorgenommen werden, sobald sich Bearbeitungsbereiche überlappen. Automatische Teilbreitenschaltungen sind für Pflanzenschutzspritzen, Düngerstreuer, Einzelkorn- und Drillsämaschinen, Gülleverteiler und Hackgeräte verfügbar (Handler/Blumauer 2015). In Abhängigkeit von der verringerten doppelten Bewirtschaftung lässt sich entsprechend der Betriebsmitteleinsatz von Saatgut, Dünger oder Pflanzenschutzmitteln reduzieren. Eine Untersuchung von 52 Feldern in Tennessee (USA) zeigte bei herkömmlicher Bewirtschaftung doppelt bestellte Anteile von 0,1 bis 15,5 % (Velandia et al. 2013). Der Umfang der Überlappungen und die damit möglichen Einsparungen werden von der Form und der Größe der Felder beeinflusst (Shockley et al. 2012), wobei das Verhältnis von Umfangslänge zur Fläche des Feldes die erzielbare Reduktion bei Teilabschaltung wesentlich bestimmt (Larson et al. 2016). Außerdem ist das Einsparpotenzial abhängig von der Exaktheit der Arbeitsausführung ohne Teilbreitenschaltung, der Anzahl bzw. Breite der abschaltbaren Teilsektoren, der Anzahl der Arbeitsgänge und der Höhe des Betriebsmitteleinsatzes (Handler/Blumauer 2015). Auch kann die Teilbreitenschaltung bei der Pflanzenschutzmittelausbringung unterstützen, die gesetzlichen Abstandsauflagen zu Gewässern, Saumstrukturen und Siedlungen einzuhalten. Ein Pflanzenschutz-Anwendungsmanager, der automatisiert Applikationskarten mit den schlag- und produktspezifischen Abstandsauflagen erstellt, steht als Entscheidungshilfe für Landwirt/innen zur Verfügung (KTBL 2019).

Umweltentlastungen durch den Einsatz automatischer Lenksysteme basieren auf

- > der Einsparung von Kraftstoff,
- > der Einsparung von Betriebsmitteln wie Saatgut, Dünge- und Pflanzenschutzmitteln und
- > der Verbesserung von Bodeneigenschaften (bzw. Verringerung von Bodenbelastungen).

Parallelfahrssysteme und optimierte Routenplanung führen zu *Kraftstoffeinsparungen* durch verringerte Fahrstrecken sowie durch geringeren Rollwiderstand und Reifenschlupf auf den permanenten Fahrspuren. Einsparungen von bis zu rund 50 % werden berichtet (Tab. 3.2).

Der unbefahrene Boden zeigt eine *verbesserte Bodenstruktur*, mit mehr Makroporen und geringerer Bodendichte (McHugh et al. 2009). Dies ermöglicht eine höhere Wasserinfiltration und -verfügbarkeit (Demmel et al. 2012; Tullberg et al. 2007). Unter den semiariden Bedingungen in Australien ist die

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

Fähigkeit der nicht mehr mit schweren Maschinen überfahrenen Böden, Niederschlagswasser aufzunehmen, zu speichern und den Kulturpflanzen in Trockenperioden zur Verfügung zu stellen, von besonderer Bedeutung. Dies führte zu der hohen Einführungsrate von Controlled Traffic Farming in Australien (Demmel et al. 2012). Das verbesserte Bodengefüge verringert außerdem den oberflächigen Wasserabfluss und das Erosionsrisiko (Antille et al. 2019).

Weitere Effekte sind eine *bessere Bodengesundheit*, mit günstigen Bedingungen für die Makro- und Mikrofauna im Boden und mehr Regenwürmern (Jensen et al. 2012; Tullberg et al. 2007). Die positiven Wirkungen ergeben sich insbesondere bei der Kombination von Controlled Traffic Farming und konservierender pflugloser Bewirtschaftung, wie sie insbesondere in Australien praktiziert wird, und sind schwächer bei Parallelfahrssystemen in Verbindung mit einer Bodenbearbeitung mit dem Pflügen (Antille et al. 2019). Die verbesserten Bodeneigenschaften führen zu höheren Erträgen in der Größenordnung von 5 bis 10 % nach Untersuchungen in Australien und China (Jensen et al. 2012). Die Ertragsunterschiede zwischen unbefahrenem und normal befahrenem Boden liegen zwischen 5 und 75 % in Abhängigkeit von der Anbaukultur und der Bodenart (Antille et al. 2019). Bei Versuchen in Bayern traten bei Winterweizen im Durchschnitt keine Ertragsunterschiede zwischen befahrenen und nichtbefahrenen Teilflächen auf, während Körnermais deutliche Ertragseinbußen auf den befahrenen Teilflächen zeigte (Blumenthal et al. 2018). Eine bessere Bodenstruktur und größere Erträge können eine höhere Düngereffizienz mit sich bringen (Antille et al. 2015; Mouazen/Palmqvist 2015).

Insbesondere die Verhinderung von Bodenverdichtungen bewirkt, dass das Risiko der Denitrifikation verringert wird und die Lachgasemissionen reduziert werden (Tab. 3.2). Bodenverdichtungen führen weiterhin zu anaeroben Bedingungen, was die Emission von Methan aus dem Boden bedingt, wobei diese außer im Reisanbau nur einen geringen Teil der Treibhausgasemissionen ausmachen (Antille et al. 2015; Tullberg et al. 2018).

Die *Einsparung von Betriebsmitteln* wie Saatgut, Dünge- und Pflanzenschutzmitteln durch Parallelfahrssysteme und durch die automatische Teilbreitenschaltung ist abhängig vom Umfang der vermiedenen Überlappungen und der Intensität der Produktion. Im Durchschnitt wird ein Einsparpotenzial in der Größenordnung von 5 bis 10 % erwartet (Jensen et al. 2012; Kingwell/Fuchs-bichler 2011). Dies bedeutet einen entsprechend geringeren Ressourcenverbrauch und reduzierte Umweltwirkungen bei der Herstellung der Betriebsmittel. Die Umweltentlastung aufgrund des geringeren Dünge- bzw. Pflanzenschutzmitteleinsatzes ist standort- und witterungsabhängig. Beispielsweise wird die ökologische Wirkung der Stickstoffdüngung davon beeinflusst, welche Stickstoffdynamik im Boden abläuft, welche Bindungsfähigkeit für Stickstoff der Boden aufweist und welche Auswaschungsgefährdung infolge von Niederschlägen besteht (Rösch et al. 2007, S. 130).



Tab. 3.2 Umweltentlastungspotenziale durch Controlled Traffic Farming, Ergebnisse eines Reviews

Umweltwirkung	Reduktionspotenzial in %*	Anzahl Studien
Energieverbrauch (Kraftstoff)	8-48	6
Saatgut	1-26	2
Dünger	5-30	4
Pflanzenschutzmittel	1-26	2
Methanemission	370-2.100	1
Lachgasemission	21-45	1
Wasserabfluss	27-42	3

* Parallelfahrssystem (Controlled Traffic Farming) gegenüber zufälliger Befahrung (Random Traffic Farming)

Quelle: Gasso et al. 2013

Nach einer Lebenszyklusanalyse für Winterweizenanbau in Dänemark, die Einsparungen an Saatgut, Stickstoffdünger und Pflanzenschutzmitteln von jeweils 5 % sowie an Kraftstoff von 23 % unterstellte, werden durch Controlled Traffic Farming die Eutrophierung von Gewässern durch Stickstoff um 8 %, die terrestrische Eutrophierung um 29 %, die Treibhausgasemissionen um 50 % und die Ökotoxizität um 11 bis 138 % (jeweils bezogen auf die Produkteinheit 1 t Weizen) reduziert (Gasso et al. 2014).

3.2.2 Umweltentlastungen in der Tierproduktion

Im Bereich der Tierproduktion werden Umweltentlastungspotenziale durch digitale Agrartechnologien vor allem durch eine individualisierte Fütterung (Precision Feeding) sowie automatisiertes Melken gesehen und im Folgenden diskutiert. Wirkungen auf das Tierwohl werden in Kapitel 3.3 behandelt.

3.2.2.1 Individualisierte Tierfütterung

Automatisierte Fütterungssysteme sind weitverbreitet und insbesondere in der intensiven Schweine- und Geflügelhaltung in großen Beständen Standard (TAB

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

2021, Kap. 5.1.2).¹⁷⁶ Die Futterkosten machen 60 bis 70 % der gesamten Produktionskosten bei Schweinen, Geflügel und Rindern aus (Pomar/Remus 2019). Eine Erhöhung der Fütterungseffizienz kann somit entscheidend zu einer besseren Wirtschaftlichkeit in der Tierproduktion beitragen. Tiere sind im Hinblick auf Eigenschaften wie Körpergewicht oder Milchleistung nicht homogen und haben daher einen unterschiedlichen Nährstoffbedarf. Eine einheitliche Fütterung – für einen gesamten Bestand oder eine Bestandsgruppe – wird üblicherweise am Futterbedarf der leistungsfähigsten Tiere ausgerichtet, sodass manche Tiere mehr Futter angeboten bekommen, als sie brauchen (Pomar 2017).

Mit Precision Feeding soll die individuell benötigte Futtermenge mit der richtigen Nährstoffzusammensetzung dem einzelnen Tier zum richtigen Zeitpunkt zur Verfügung gestellt werden (Bartzanas et al. 2017). Vorrangiges Ziel ist, die Fütterungseffizienz zu erhöhen und Futterkosten zu senken (Pomar 2017).

Grundvoraussetzung ist ein Transponder für die Einzeltiererkennung. Ein System der individuellen Fütterung besteht aus folgenden Komponenten (Pomar/Remus 2019):

- > der Datenerfassung (Tier, Futter, Umwelt),
- > der Datenauswertung zur Bestimmung der individuellen Futterration und
- > der individuellen Futtermischung und -zuteilung.

Zur Bestimmung der individuellen Futtermenge werden entsprechende Leistungsdaten jedes einzelnen Tieres, wie z. B. die aktuelle Futteraufnahme sowie das jeweilige Körpergewicht in der Schweinemast oder die Milchmenge und -qualität in der Milchviehhaltung, benötigt. Außerdem muss die Nährstoffzusammensetzung der einzelnen Futterkomponenten erfasst werden. Es wird erwartet, dass zukünftig noch mehr Daten wie beispielsweise zum Tierverhalten (z. B. Aktivität des Tieres, Gruppenverhalten) und zur Umwelt (z. B. Stallklima, Außentemperatur) genutzt werden (Pomar/Remus 2019).

In Echtzeit sind dann aus den ermittelten Daten die Futtermenge und -zusammensetzung zu bestimmen, die dem aktuellen Bedarf bzw. der Leistung des jeweiligen Tieres entsprechen. Dafür werden andere Algorithmen benötigt als in der traditionellen Fütterungsplanung (Pomar/Remus 2019).

Schließlich muss eine entsprechende Fütterungstechnik vorhanden sein, um die berechnete Futterration jedem Tier individuell zur Verfügung zu stellen. In der Milchviehhaltung erfolgt eine individuelle Futterzuteilung über eine Kraftfutterstation im AMS. In der Schweinehaltung sind »Abrufstationen« zur individuellen Fütterung in der Regel als Durchlaufstation konzipiert, die jeweils nur ein

¹⁷⁶ Da es in diesem Kapitel um die individualisierte Tierfütterung geht und eine individuelle Tiererkennung nur für Rinder sowie Schweine praktikabel und verfügbar ist, wird im Folgenden die Geflügelhaltung nicht weiter betrachtet.



Tier aufsuchen kann, um dann dort sein Futter zugeteilt zu bekommen. Die heutigen Abrufstationen sind für bis zu 60 Sauen ausgelegt (DLG 2018b, S.10). Es liegen keine Informationen vor, in welchem Umfang individuelle Fütterungssysteme mittlerweile in der landwirtschaftlichen Praxis eingesetzt werden. Ebenso sind keine Untersuchungen bekannt, die die eingetretenen Umweltentlastungen durch individuelle Fütterung in landwirtschaftlichen Betrieben erfassen.

Das Fütterungsmanagement wirkt sich auf andere Bereiche des Nutztiermanagements aus. Bei der Milchviehfütterung beeinflusst die Höhe der Kraftfuttergabe im AMS die Melkfrequenz, die Milchleistung und den Nachtreibeaufwand¹⁷⁷ (Pries et al. 2011). Entgegen dem Bedürfnis des gemeinsamen Fressens von Schweinen können bei Abrufstationen nur einzelne Tiere über den Tag verteilt nacheinander fressen (DLG 2018b, S.10). Da die rangtiefen Tiere erst nach den ranghohen an die Reihe kommen, kann es während der Wartezeit vor der Abrufstation zu Auseinandersetzungen zwischen den Tieren und auch zu Verletzungen kommen (Götz 2018).

Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Futter- bzw. Nährstoffeffizienz und den Umweltwirkungen (Pomar/Remus 2019). Potenzielle Umweltentlastungen durch eine individuelle Fütterung sind (WBAE/WBW 2016, S.180):

- > eine Verringerung der Umweltwirkungen der Futtermittelproduktion durch geringeren Futtermittelbedarf,
- > eine Verringerung der Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung,
- > eine Verringerung der Methanemissionen in der Milchviehhaltung,
- > eine reduzierte Stickstoffmenge im Wirtschaftsdünger und dadurch sinkende direkte und indirekte Ammoniak- und Lachgasemissionen aus Wirtschaftsdüngung und Wirtschaftsdüngermanagement.

Je näher die Stickstoffaufnahme eines Tieres an dessen Stickstoffbedarf liegt, desto mehr Stickstoff lässt sich in der erzeugten Milch finden, d. h., die Nährstoffeffizienz steigt. Je mehr der Bedarf des Tieres überschritten wird, desto mehr Stickstoff wird über Kot und Harn ausgeschieden und desto größer werden Ammoniakverluste aus der Wirtschaftsdüngerlagerung (Machmüller/Sundrum 2015).

In der Schweinemast kann eine individuelle Fütterung ausgerichtet am Lysinbedarf (als essenzielle Aminosäure) die Lysinaufnahme um mehr als 25 % reduzieren (Pomar 2017). Ein Vergleichsversuch in Kanada ergab, dass mit einer individuellen Fütterung von Mastschweinen die Lysinaufnahme um 26 % und die Stickstoffausscheidungen um 30 % verringert werden konnten gegenüber einer traditionellen Drei-Phasen-Gruppenfütterung (Andretta et al. 2016). In einem weiteren Versuch wurden eine geringere Lysinaufnahme von 27 % sowie

¹⁷⁷ Kühe, die in einem vorgegebenen Zeitrahmen nicht freiwillig den Melkroboter aufsuchen, müssen zur Melkbox mit dem Melkautomaten geführt werden.

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

verringerte Stickstoff- und Phosphorausscheidungen von 22 bzw. 27 % ermittelt (Andretta et al. 2014). Ein Vergleich von traditioneller Drei-Phasen-Fütterung mit einer täglich angepassten Fütterung hat gezeigt, dass sich die Proteinaufnahme um 7 % und die Stickstoffausscheidungen um 12 % reduzierten (Pomar et al. 2014 nach Pomar/Remus 2019).

In der Rindermast und der Milchproduktion können Fütterungsmaßnahmen zur Leistungssteigerung bewirken, dass die Methanemissionen aus der Verdauung der Wiederkäuer sich verringern. Wiederkäuer nutzen Mikroorganismen, um Kohlenhydrate aus dem Futter für die Energie- und Nährstoffversorgung aufzuschließen. Bei diesem anaeroben Fermentationsprozess im Pansen entsteht Methan. Mit einer kraftfutterreichen Fütterung kann die Methanproduktion vermindert werden. Allerdings wird dadurch der Stoffwechsel der Wiederkäuer belastet und das Risiko für Stoffwechselerkrankungen erhöht. Außerdem wird ein hoher Kraftfuttereinsatz aufgrund der damit zusammenhängenden Ackerflächennutzung kritisch diskutiert, da damit entsprechende Landnutzungseffekte (z. B. Konkurrenz zur Nahrungsproduktion für den Menschen, Intensivierung, Regenwaldverlust) verbunden sind (WBAE/WBW 2016, S. 182).

Eine generelle Abschätzung der Auswirkungen von steigender Fütterungseffizienz (Energie- und Proteineffizienz, ohne Berücksichtigung einer individuellen Fütterung) in der Milchviehhaltung der USA mit einem Modell zur Optimierung der Fütterung hat ergeben, dass die Treibhausgasemissionen – in Abhängigkeit vom unterstellten Kostenaufwand für die Effizienzsteigerung – um 4,4 bis 25,5 % reduziert werden können (White 2016). Eine vergleichende Lebenszyklusanalyse von konventioneller und individueller Fütterung in der Schweinemast, basierend auf Daten für Brasilien, kommt zu dem Ergebnis, dass sich mit der individuellen Fütterung die Treibhausgasemissionen um bis zu 6 % und das Eutrophierungs- und Versauerungspotenzial um jeweils bis zu 5 % verringern lassen (Andretta et al. 2018).

Diese Analysen schlüsseln nicht auf, inwieweit die berechneten Reduktionen der Treibhausgasemissionen auf den verminderten Futterbedarf oder geringere Emissionen bei Haltung und Düngemanagement zurückgehen. Zahlreiche Lebenszyklusanalysen zur Schweinehaltung zeigen, dass ein relevanter Anteil der Umweltwirkungen vom Futtermittelanbau ausgeht. Dabei bestehen deutliche Unterschiede in Abhängigkeit davon, welche Futtermittel eingesetzt und wo sie angebaut werden (McAuliffe et al. 2016). Werden aufgrund eines geringeren Futtermittelbedarfs bei individueller Fütterung weniger Futtermittel benötigt, ist die Umweltentlastung außerdem davon abhängig, welche alternative Landnutzung auf der nicht mehr benötigten Futterfläche erfolgt.

Eine Verringerung der gasförmigen Ammoniak- und Methanemissionen der Tiere durch individuelle Fütterung stellt eine unmittelbare Umweltentlastung dar, die faktisch nicht durch andere Faktoren beeinflusst wird. Dagegen wird die Wirkung einer reduzierten Stickstoffmenge im Wirtschaftsdünger,



d. h. der Emissionen aus dem gelagerten Wirtschaftsdünger und infolge der Wirtschaftsdüngerabfuhr, maßgeblich durch die Art der Wirtschaftsdüngerlagerung, der Nutzung in einer Biogasanlage sowie eine bedarfsgerechte und emissionsarme Düngerabfuhr bestimmt (Flessa et al. 2012, S. 153 ff.).

3.2.2.2 Automatisiertes Melken

Automatische Melksysteme (AMS) werden vorrangig zur Einsparung von Arbeitszeit bzw. Arbeitskräften sowie zur Erreichung einer höheren Flexibilität der Arbeitserledigung angeschafft (Salfer et al. 2017; TAB 2021, Kap. 5.1.1). Die Einführung eines AMS bedeutet nicht nur eine Umstellung des Melksystems, sondern verändert auch die Fütterung, Tiergesundheit und Arbeitsorganisation (Natrop et al. 2009).

Bei konventionellen Melksystemen sind das Melken und die Futteraufnahme räumlich und zeitlich getrennt, wobei die Kühe in der Regel alle benötigten Futterkomponenten (Kraft- und Grobfutter) in einer Futterration bekommen. Beim automatischen Melken erfolgt dagegen ein Kraftfutterangebot im AMS während des Melkens, vorrangig um die Kühe zum Melkroboter zu locken. Die Bereitschaft der Kuh zum Aufsuchen des Melkroboters wird in erster Linie von dem Kraftfutterangebot während des Melkens bestimmt, während die Milchabgabe und der damit einhergehende verringerte Euterinnendruck nur eine sekundäre Motivation darstellen. Es besteht aber gleichzeitig das Potenzial, die Fütterung der Kühe individuell ihrem jeweiligen Nährstoffbedarf anzupassen (Bach/Cabrera 2017; John et al. 2016; Natrop et al. 2009).

Eine bedarfsgerechte Kraftfuttergabe im AMS ist allerdings mit einigen Schwierigkeiten konfrontiert. Um eine hohe Milchmenge und Melkfrequenz zu erreichen, insbesondere während der ersten Hälfte der Laktationsperiode¹⁷⁸, ist die Zuteilung einer hohen Kraftfuttermenge erforderlich. Die Aufnahme hoher Kraftfuttermengen im AMS wird allerdings durch die während der Melkdauer verfügbare Zeit begrenzt und kann durch eine Pansenübersäuerung eine geringe Laufbereitschaft der Kuh zur Folge haben (Bach/Cabrera 2017; Natrop et al. 2009). Deshalb wird empfohlen, die Kraftfuttergabe im AMS auf 4 kg pro Tag zu beschränken (Bach/Cabrera 2017). Kühe am Ende der Laktation mit geringer Milchleistung haben einen entsprechend geringeren Kraftfutterbedarf. Einerseits reduziert ein niedriges Kraftfutterangebot die Bereitschaft, den Melkroboter aufzusuchen, andererseits kann eine ausreichende Lockfuttergabe zu einer Überversorgung mit Nährstoffen führen (Natrop et al. 2009).

Weiterhin bieten die meisten AMS nur die Möglichkeit, eine bestimmte Kraftfuttermischung bereitzustellen, sodass nur die Kraftfuttermenge variiert werden kann. Die Folge ist, dass die Nährstoffzusammensetzung unausgewogen

¹⁷⁸ Als Laktationsperiode wird der Zeitraum bezeichnet, in der zur Milchgewinnung gehaltene landwirtschaftliche Nutztiere Milch geben.

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

wird, wenn die tatsächliche Milchmenge einer Kuh von der für die Kraftfutterzusammensetzung zugrunde gelegten Milchleistung abweicht (Bach/Cabrera 2017). Schließlich wird darauf hingewiesen, dass eine höhere Milchleistung und Nährstoffeffizienz durch ein AMS davon abhängig sind, dass keine Probleme beim Herdenmanagement (z. B. Euterentzündung, Lahmheit) bestehen (Bach/Cabrera 2017).

Es sind kaum Studien bekannt, die vergleichend die Umweltwirkungen von automatischen und konventionellen Melksystemen in der landwirtschaftlichen Praxis untersuchen. Eine vergleichende Nachhaltigkeitsbewertung von AMS und konventionellen Melksystemen auf Milchviehbetrieben der ökologischen Landwirtschaft in Dänemark hat keine entscheidenden Unterschiede bei den betrachteten Umweltindikatoren¹⁷⁹ festgestellt. Der Stickstoffüberschuss pro ha war in den Betrieben mit AMS deutlich höher, was aber an dem hohen Export an Wirtschaftsdünger bei den Betrieben mit konventionellen Melksystemen lag. In den Betrieben mit AMS ist die Weidehaltung kürzer und der Grasanteil an der gesamten Futteraufnahme geringer. Auf die erfassten Biodiversitätsindikatoren (Feldgröße, Anzahl der Pflanzenarten auf Grünland) hatte dies aber keinen Einfluss (Oudshoorn et al. 2012). Aufgrund der komplexen Zusammenhänge kann vermutet werden, dass die Einführung eines AMS die Umweltwirkungen auf der Ebene des landwirtschaftlichen Betriebs nur geringfügig beeinflusst.

Effekte können aber auch über die Betriebsebene hinaus in der weiteren Lebensmittelkette auftreten. Ein Beispiel ist eine Studie aus Italien zu einer automatischen, getrennten Erfassung von zwei Milchqualitäten in einem AMS (im Vergleich zu einer einheitlichen Milchlieferung), wobei der Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen des Melksystems, des Transports zur Molkerei und der Käseherstellung in der Molkerei bestimmt wurden. Das Ergebnis war, dass durch die Trennung in zwei Milchqualitäten sich der Energiebedarf des Melksystems leicht erhöhte und der des Transportes deutlich anstieg; dafür aber konnte der Energiebedarf bei der Herstellung des Weichkäses stark reduziert werden, da die Standardisierung der Milchqualität in der Molkerei entfiel. Dies hatte bei dieser Abschätzung insgesamt eine Reduktion der Treibhausgasemissionen über die gesamte Kette um rund 70 % zur Folge (Todde et al. 2017).

Schließlich ist die Anschaffung eines AMS oftmals mit einer Vergrößerung des Milchviehbestandes verbunden, um die hohen Investitionskosten besser abzudecken (Schewe/Stuart 2015; Kap. 4.2.1). Ein größerer Milchviehbestand pro Betrieb kann dazu führen, dass sich der Viehbestand pro Fläche und die Wirtschaftsdüngergaben pro Fläche erhöhen, mit dem Risiko steigender Umweltbelastungen. Folgeanpassungen bei AMS sind außerdem in vielen Fällen eine Reduktion der Weidehaltung und ein erhöhter Zukauf von Futtermitteln

179 Die Indikatoren Eutrophierung, Biodiversität, Tierwohl, Milchqualität, Arbeitszeitbedarf und ökonomische Performance wurden betrachtet.



(Schewe/Stuart 2015). Damit wird deutlich, dass AMS agrarstrukturelle Wirkungen nach sich ziehen können, die wiederum Landnutzungsänderungen und einen erhöhten Import von Futtermittel mit den entsprechenden Umweltwirkungen auslösen können.

3.3 Kenntnisstand zu Tiergesundheits- und Tierwohlwirkungen der Präzisionstierwirtschaft

Die gesellschaftlichen Anforderungen an das Tierwohl sind in den letzten Jahrzehnten in vielen Industriestaaten, insbesondere in Nordwesteuropa, deutlich angestiegen. Bisherige Entwicklungen in der Tierhaltung werden von relevanten Teilen der Bevölkerung massiv kritisiert und haben zu einem Vertrauensverlust geführt. Erforderliche Verbesserungen im Hinblick auf das Tierwohl werden vornehmlich in den Punkten Platz und Bewegung für Tiere, Auslauf sowie Reduktion des Medikamenteneinsatzes gesehen. Zudem ist der Tierschutzdiskurs mit Themen wie Entwicklung der Bestands- und Betriebsgrößen (Stichwörter Massentierhaltung und Agrarindustrie) sowie Fleischkonsum und Weltenernährung verknüpft (WBA 2015, S. 69 ff.).

Von *digitalen Sensortechniken* zur tierindividuellen und kontinuierlichen Überwachung des Tierzustandes bzw. der Tiergesundheit wird erwartet, dass sie die Tiergesundheit verbessern sowie Tierwohl und Intensivtierhaltung besser in Einklang bringen können (z. B. Berckmans 2014; Schön et al. 2003). Bei der Tierüberwachung können Parameter insbesondere aus folgenden Bereichen erfasst werden (Fasching 2016; Schön et al. 2003):

- > Futteraufnahme (z. B. Kraftfuttermenge pro Tier, Wasseraufnahme)
- > Tierentwicklung (z. B. Lebendgewicht)
- > Tierzustand (z. B. Körpertemperatur, Husten)
- > Tierverhalten (z. B. Position, Aktivität, Wiederkautätigkeit)
- > Brunsterkennung und Vorhersage des Abkalbezeitpunktes
- > Milchleistung und -qualität (z. B. Milchmenge, -fluss, -inhaltsstoffe)

Dabei kommen u. a. akustische und optische Sensoren sowie Bilderkennungsverfahren zum Einsatz (TAB 2021, Kap. 2.3). Eine Grundvoraussetzung ist in der Regel eine *elektronische Einzeltiererkennung* durch Halsband-, Ohrmarken- bzw. Fußtransponder. Die von einem Sensor erhobenen Daten zu einem Tierparameter werden mit komplexen Algorithmen aufbereitet (Fasching 2016), um Abweichungen von Normwerten bzw. Produktionszielen zu erkennen. Oftmals werden Informationen verschiedener Tierparameter verknüpft. Die Überwachungssysteme ermöglichen es, Verhaltensauffälligkeiten und Gesundheitsprobleme früher zu erkennen, als es durch menschliche Beobachtung oder konventionelle Methoden möglich ist. Zusätzlich können durch die automatisierte Beobachtung erhebliche Arbeitszeiteinsparungen erzielt werden.

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

Bei *kommerziellen Systemen* wird die Landwirtin/der Landwirt via SMS, E-Mail, Pushbenachrichtigung oder Warnleuchten über Auffälligkeiten informiert (Fasching 2016). Die Herausforderung ist, einerseits nicht zu viele Fehlalarme auszulösen und andererseits alle Problemfälle zu erfassen. Die Präzisions-tierwirtschaft (Precision Livestock Farming) und entsprechende digitale Tierüberwachungssysteme werden vor allem in der intensiven Tierhaltung und bei großen Tierbeständen eingesetzt (Berckmans 2017; Stevenson 2017). Die Entwicklung und Einführung von Sensorsystemen verläuft parallel zur zunehmenden Automatisierung in der Nutztierhaltung. Überwachungssysteme sind am weitesten verbreitet in der Milchviehhaltung, zunehmend auch in der Schweinehaltung, während nur wenige Systeme für die Geflügelhaltung angeboten werden (Rowe et al. 2019).

Wissenschaftliche Untersuchungen zu den Überwachungssystemen konzentrieren sich bisher auf die Entwicklung und Validierung von Tierverhaltensparametern und entsprechenden Sensorsystemen. Studien zu den Auswirkungen von Tierüberwachungssystemen auf die Tiergesundheit und das Tierwohl in der landwirtschaftlichen Praxis sind nicht bekannt. Deshalb sind keine Aussagen darüber möglich, in welcher Größenordnung digitale Tierüberwachungssysteme den Gesundheitszustand in Nutztierbeständen verbessern.

Positive Wirkungen auf das Tierwohl werden vorrangig aus der frühzeitigen und sicheren Erkennung von Gesundheitsproblemen und Stresssituationen abgeleitet. Bei gesundheitsbezogenen Tierwohlaspekten werden potenzielle ökonomische Vorteile für landwirtschaftliche Betriebe gesehen, da sie dazu beitragen können, die Mortalität zu verringern, den Gesundheitszustand sowie die Krankheitsresistenz der Tiere zu verbessern, den Tierarzneimiteleinsatz zu reduzieren, die Produktqualität zu steigern und höhere Produktpreise zu erzielen (Dawkins 2017). Wie eine deutsche Untersuchung zur Schweinehaltung zeigt, haben Landwirt/innen beim Tierwohl in erster Linie gesundheits- und leistungsbezogene Parameter im Blick, und der Einsatz neuer Techniken wird vorrangig als Anpassungsstrategie an wirtschaftliche Rahmenbedingungen (durch Reduktion von Arbeitsaufwand, Kosten und Tierverlusten) gesehen (Wildraut/Mergenthaler 2017).

Zur Beurteilung von Tierwohlwirkungen von zentraler Bedeutung ist das zugrundeliegende *Verständnis von Tierwohl*. Auf deutscher und internationaler Ebene, politisch wie wissenschaftlich, besteht ein zunehmender Konsens, dass unter dem Begriff Tierwohl neben der Gesundheit des Tieres ebenso der Aspekt des Wohlbefindens zu berücksichtigen ist (Mondon et al. 2017). International breite Anerkennung haben beispielsweise die sogenannten fünf Freiheiten des unabhängigen Farm Animal Welfare Committee (FAWC) aus Großbritannien gefunden (Mellor 2016):

1. Freiheit von Hunger, Durst und Fehlernährung
2. Freiheit von Unbehagen und Gefahr



3. Freiheit von Schmerz, Verletzung und Krankheit
4. Freiheit von Angst und Leiden
5. Freiheit zum Ausleben normalen Verhaltens

Zunehmend wird nicht nur die Abwesenheit negativer Zustände und Empfindungen unter Tierwohl verstanden, sondern es werden auch positive Empfindungen bzw. Erfahrungen des Tieres einbezogen (Mondon et al. 2017), auch formuliert als »ein Leben, wert zu leben« (Mellor 2016). Das *Wohlbefinden der Tiere* wird allerdings recht unterschiedlich interpretiert, u. a. als Ausleben von Emotionen, Anpassungsfähigkeit der Tiere oder Ausübung arttypischen Verhaltens. Letzteres setzt grundsätzlich voraus, dass erstens die räumlichen Möglichkeiten gegeben sind, zweitens geeignete Reize (auch im Sinne von Materialien zur Beschäftigung) vorliegen, drittens in ausreichendem Maße geeignete Lernmöglichkeiten während der Aufzucht bestehen sowie viertens die Tiere die körperlichen Fähigkeiten zur artgemäßen Nutzung ihrer Haltungsumgebung besitzen (Mondon et al. 2017).

Digitale Technologien, die helfen sollen, mittels Erfassung gesundheitsbezogener Indikatoren sowie von Parametern der Fütterung, des Stall- und Herdenmanagements die Tiere eines Betriebs gesund zu halten, bilden letztlich nur einen Teilaspekt von Tierwohl ab. Die Entwicklung umfassenderer Indizes zum tierlichen Wohlbefinden, die auf das Erkennen, Achten und Erfüllen von Bedürfnissen abzielen und damit den eigentlichen Kern des Tierwohlkonzepts darstellen, steht auch aufgrund der schwierigen Messbarkeit noch am Anfang (Mondon et al. 2017).

Weiterhin wird grundsätzlich diskutiert, inwieweit digitale Technologien in der Nutztierhaltung die *Mensch-Tier-Beziehung* beeinflussen. Über lange Zeit bestand in der Landwirtschaft eine enge Beziehung zwischen Mensch und Tier, insbesondere zwischen Bäuer/innen und ihren Kühen. Mit dem Agrarstrukturwandel, den größeren Tierbeständen und den verschiedenen Automatisierungsschritten hat sich das Verhältnis der Landwirt/innen zu den Tieren verändert, indem der Kontakt zum Tier durch maschinelle Arbeitserledigungen sowie individuelles Erfahrungswissen durch Datensets und wissenschaftlich basierte Regeln ersetzt wurden (Kathan 2009). Eine zunehmende Wahrnehmung und Behandlung von Nutztieren als *Objekte* werden durch folgende Charakterisierungen beschrieben (Bos et al. 2018):

- > In der intensiven Tierhaltung erfolgt eine Reduzierung der Nutztiere auf *Produktionseinheiten* bzw. Artefakte (Deanimalisation), wobei hohe Wachstumsraten und Leistungen im Vordergrund stehen.
- > Nutztiere werden vorrangig als *Wirtschaftsgut* gesehen (Commodification), sodass wirtschaftliche Erwägungen wesentlich die Haltungsbedingungen bestimmen.
- > Die *Entfremdung* (Alienation) zwischen Tier und Mensch verstärkt sich.

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

- > Schließlich wird die zunehmende *Quantifizierung* (Quantification) von Tierparametern genannt, die die Grundlage für wiederholbare Kontrollsysteme sowie die Standardisierung der Prozesse in der Nutztierhaltung darstellt.

In Abhängigkeit von der Ausgestaltung von Anwendungen der Präzisionstierwirtschaft könnte dieser Prozess der Objektivierung weiter voranschreiten (Bos et al. 2018). Digitale Überwachungssysteme basieren auf Annahmen sowohl darüber, welche Informationen für das Wohlbefinden der Tiere relevant sind, als auch darüber, welche Informationen die Tiere bereitstellen können. Es kann vermutet werden, dass einige Kommunikationssignale der Tiere, auf die sich die Landwirt/innen bzw. Betreuungspersonen bei der Tierbeobachtung stützen, in die Überwachungssysteme nicht integriert werden können, sodass es zumindest in Teilaspekten zu einer Verschlechterung des Tierwohls kommen könnte. Mit den Überwachungssystemen ist wahrscheinlich verbunden, dass die Tiere als nummerierte Einheiten zwar differenziert, aber nicht als Individuen wahrgenommen werden (Werkheiser 2018). Der direkte und physische Kontakt mit ihren Tieren hat allerdings für viele Landwirt/innen eine hohe Bedeutung. Dementsprechend ist weniger Kontakt mit den Kühen ein wesentlicher Grund, warum sich Betriebe gegen automatische Melksysteme entscheiden (Tse et al. 2018), und ein wichtiger Vorbehalt gegenüber Systemen der Präzisionstierwirtschaft im Allgemeinen (Hartung et al. 2017).

Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass die Präzisionstierwirtschaft zwar das Potenzial hat, die Tiergesundheit in der intensiven Tierhaltung zu verbessern, aber wenig geeignet ist, den an Bedeutung gewinnenden Konzepten zum Wohlbefinden der Tiere gerecht zu werden. Im Kontext einer grundlegenden Kritik der industriellen Tierhaltung wird erwartet, dass mit der Ausrichtung der Präzisionstierwirtschaft auf große Tierbestände diese Form der Tierhaltung eher gestärkt, die Tiere weiterhin kaum Möglichkeiten zum Ausleben ihrer natürlichen Verhaltensweisen erhalten und der hohe Einsatz von Futtermitteln auf der Basis von Getreide und Soja, deren Anbau große Flächen beansprucht und mit negativen Umweltwirkungen verbunden ist, nicht reduziert werden wird (Stevenson 2017).

3.4 Fazit

Digitale Agrartechnologien versprechen eine Win-win-Situation, indem sie durch Effizienzsteigerungen gleichzeitig eine höhere Wirtschaftlichkeit und Umweltentlastungen ermöglichen. Während Ausgestaltung und Funktionsfähigkeit sowie die Wirtschaftlichkeit intensiv untersucht sind, gibt es nur eine *begrenzte Anzahl wissenschaftlicher Studien* zu den Umweltwirkungen von



Technologien der Präzisionslandwirtschaft, in der Regel basierend auf Feldversuchen oder Modellberechnungen. Die Veränderung von *Umweltwirkungen durch in der landwirtschaftlichen Praxis eingeführte Technologien sind kaum wissenschaftlich dokumentiert* (Abit et al. 2018; Finger et al. 2019). Soweit umweltrelevante Erfahrungen aus der Praxis berichtet werden, handelt es sich oftmals um Vorträge oder Veröffentlichungen von Einzelergebnissen von landwirtschaftlichen Betriebsleitern bzw. Technologieanbietern, die wissenschaftlichen Standards nicht genügen.

Die Umweltwirkungen sind von *komplexen Zusammenhängen* abhängig. Die potenziell realisierbaren Umweltentlastungen durch digitale Agrartechnologien in der landwirtschaftlichen Produktion werden insbesondere beeinflusst durch

- > den aktuellen Stand und die Perspektiven der Verfügbarkeit und Nutzung digitaler Technologien,
- > die spezifischen Eigenschaften jeder einzelnen digitalen Technologie und die konkreten Ausgestaltungen ihrer Nutzung im landwirtschaftlichen Betrieb (z. B. zur Verbesserung der Input- oder Arbeitseffizienz),
- > die Ausgestaltung der Bewirtschaftung vor der Einführung neuer digitaler Technologien (z. B. Präzision der Arbeitserledigung im Pflanzenbau; Stand der Tierbeobachtung und -gesundheit),
- > die betriebliche Produktionsintensität (z. B. Inputeinsatz, Ertragsniveau),
- > die naturräumlichen bzw. produktionstechnischen Bedingungen des Einsatzes digitaler Technologien (z. B. Umfang der Heterogenitäten von Boden und Pflanzenbestand, Größe und Form der Schläge),
- > die betriebswirtschaftlichen Ziele der Landwirte und der Rolle von Landwirten, Dienstleistern bzw. Technikanbietern bei der Bestimmung der Anwendungsregeln,
- > die Relation der durch digitale Technologien erzielbaren Umweltentlastungen zu bestehenden Umwelt- und Tierschutzproblemen in der Landwirtschaft.

Somit sind die Umweltwirkungen jeweils abhängig von Technologie, Betrieb und Standort. Durchschnittliche Entlastungseffekte, deren praktisch erzielbare Größenordnung meistens unklar ist, bedeuten auch, dass nicht in jedem Einzelfall eine teilflächenspezifische bzw. variable Bewirtschaftungsmaßnahme eine Ressourcenschonung bzw. Umweltentlastung nach sich zieht.

Der Kenntnisstand zu den Umwelteffekten einzelner Maßnahmen der Präzisionslandwirtschaft lautet zusammengefasst:

- > Eine *teilflächenspezifische Bodenbearbeitung* ermöglicht Kraftstoffeinsparungen und dadurch verringerte Treibhausgasemissionen, wobei begrenzte Ergebnisse aus Einzelversuchen eine Verallgemeinerung erschweren. Das

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

Potenzial im Hinblick auf den Bodenschutz durch verbesserten Erosionsschutz ist dagegen als eher gering einzuschätzen.

- > Die *teilflächenspezifische Grunddüngung* kann zu einer höheren Düngereffizienz und zur Ressourcenschonung führen, die im Falle von Phosphor als begrenzter Ressource von besonderer Bedeutung ist. Es fehlen aber Informationen zur Größenordnung der Effekte.
- > Mit einer *teilflächenspezifischen Aussaat* können potenziell Einsparungen bei der Saatgutmenge oder aber Mehrerträge erzielt werden. Repräsentative Daten zur Veränderung der Aussaatmengen stehen nicht zur Verfügung.
- > Bei der *teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung* mit Onlinestickstoffsensoren können bei Getreide im Durchschnitt ein etwa 10 % verringerter Stickstoffdüngeraufwand und bis zu 5 % höhere Erträge erwartet werden, woraus eine verbesserte Stickstoffeffizienz und niedrigere Stickstoffüberschüsse resultieren.
- > Für eine *teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung* standen bisher vor allem Onlinesensoren zur Verfügung, die in Echtzeit Grünpflanzen von unbewachsenem Boden unterscheiden und deshalb nur im Vorlauf, insbesondere bei konservierender Bodenbearbeitung ohne Pflügen, eingesetzt werden können. Wissenschaftliche Untersuchungen haben im Mittel Herbizideinsparungen von rund 40 %, bei hoher Spannweite der Ergebnisse, ermittelt. Aktuell kommen die ersten Systeme mit der Fähigkeit zur Unkraut-Kulturpflanzen-Unterscheidung in Echtzeit auf den Markt, als Großgeräte oder Roboter sowie für eine chemische oder mechanische Unkrautbekämpfung. Anbieter für solche Systeme mit chemischer Unkrautbekämpfung versprechen eine Herbizideinsparung von bis zu 90 %. Damit werden entsprechend negative ökotoxikologische Wirkungen auf Bodenorganismen, Insekten und andere Lebewesen verringert.
- > Eine *variable Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten* ist derzeit in der Praxis nur als variierte Ausbringung von Fungiziden (bzw. auch bei Wachstumsregulatoren) entsprechend der Pflanzenbestandsdichte verfügbar. Je nach Uneinheitlichkeit des Pflanzenbestandes sind damit Fungizideinsparungen von bis zu etwa 20 % möglich. Wenn zukünftig Sensoren zur Erkennung und Quantifizierung von Befallssituationen im Pflanzenbestand oder Roboter als autonome Kleintechnikgeräte für eine sehr kleinräumige Applikation praxisreif werden, dann sind deutlich höhere Einsparpotenziale zu erwarten.
- > Technik und Software für eine *teilflächenspezifische Bewässerung* werden derzeit nur für Kreis- und Linearberegnungsmaschinen angeboten und die Nutzung wird als sehr gering eingeschätzt. Die erzielbare Wassereinsparung durch eine teilflächenspezifische Bewässerung ist stark abhängig einerseits von der Heterogenität der Bodeneigenschaften und Pflanzenbestandentwicklung sowie andererseits vom Beregnungsbedarf in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf.



- › Die *automatisierte Spurführung* mittels entsprechender Lenksysteme ist eine der verbreitetsten Anwendungen der Präzisionslandwirtschaft, vermeidet Überlappungen und bewirkt Betriebsmitteleinsparungen (Kraftstoff, Saatgut, Dünger- und Pflanzenschutzmittel). Feste Fahrspuren verringern Bodenverdichtungen und tragen zu einer besseren Bodenstruktur und -gesundheit bei. Die Höhe der erzielbaren Einsparungen ist abhängig von der Art des Lenksystems (TAB 2021, Kap. 3.1.2), der zuvor erreichten Fahrgenauigkeit ohne Lenkhilfe, der Feldgröße und -form sowie der Produktionsintensität.
- › *Automatische Teilbreitenschaltungen* sind für Pflanzenschutzspritzen, Düngerstreuer, Einzelkorn- und Drillsämaschinen, Gülleverteiler und Hackgeräte verfügbar. Die Einsparpotenziale bei den entsprechenden Inputs sind insbesondere abhängig von der Form und Größe der Felder, der Anzahl bzw. Breite der abschaltbaren Teilsektoren, der Anzahl der Arbeitsgänge und der Höhe des Betriebsmitteleinsatzes.
- › Potenzielle Umweltentlastungen infolge einer verbesserten Fütterungseffizienz durch eine *individuelle Fütterung* setzen sich zusammen aus einer Verringerung der Umweltwirkungen der Futtermittelproduktion durch niedrigeren Futtermittelbedarf, einer Verringerung der Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung, einer Verringerung der Methanemissionen in der Milchviehhaltung sowie einer reduzierten Stickstoffmenge im Wirtschaftsdünger und dadurch sinkende direkte und indirekte Ammoniak- und Lachgasemissionen aus Wirtschaftsdüngermanagement und -düngung. Letztere werden allerdings zusätzlich maßgeblich durch die Art der Wirtschaftsdüngerlagerung, eine Nutzung in einer Biogasanlage sowie durch eine bedarfsgerechte und emissionsarme Düngerausbringung beeinflusst.

Mittlerweile steht eine Reihe von Systemen zur *tierindividuellen und kontinuierlichen Überwachung* von Tierverhalten, -zustand und -gesundheit sowie zum Stallmanagement zur Verfügung, die insbesondere in der intensiven Tierhaltung und bei großen Tierbeständen eingesetzt werden. Positive Wirkungen auf das *Tierwohl* werden vorrangig aus der frühzeitigen und sicheren Erkennung von Gesundheitsproblemen und Stresssituationen erwartet. Damit wird allerdings nur ein Teilaspekt von Tierwohl abgedeckt, da wichtige Faktoren für das Wohlbefinden der Tiere, wie z. B. die Möglichkeit zur Ausübung arttypischen Verhaltens, nicht erfasst werden. Grundsätzlich wird diskutiert, dass sich die Mensch-Tier-Beziehung in der Nutztierhaltung durch die Präzisionstierwirtschaft weiter in Richtung einer voranschreitenden Quantifizierung und »Objektivierung« der Tiere verändert.

Bei einzelnen Einsatzfeldern digitaler Agrartechnologien können *Zielkonflikte* auftreten. Bei der Unkrautbekämpfung beispielsweise verringern Onlineverfahren, die eine gezielte chemische oder mechanische Bekämpfung von einzelnen Unkrautpflanzen vornehmen, zwar deutlich die ökotoxikologischen

^
> 3 Umwelt- und Tierwohlwirkungen von digitalen Agrartechnologien
v

Auswirkungen im Vergleich zur bisherigen, meist präventiven Herbizidanwendung, lassen aber nur eine sehr geringe oder keine Restverunkrautung zu, die als Nahrungsangebot und Habitate für Insekten und Vögel von großer Bedeutung ist.

Potenzielle Umweltentlastungen durch digitale Agrartechnologien müssen unter Berücksichtigung *systemarer Zusammenhänge* beurteilt werden. Beispiele für wichtige Zusammenhänge sind:

- > *Effekte alternativer Flächennutzung*: Bei Einsparungen von biologischen Ressourcen aus der Landwirtschaft, wie Saatgut oder Futtermittel, hängt der Umwelteffekt davon ab, welche alternative Nutzung auf der freigesetzten Produktionsfläche erfolgt, d. h. mit welchen Ressourcenverbräuchen und Umweltwirkungen die neue Nutzung verbunden ist.
- > *Betriebliche und agrarstrukturelle Folgeeffekte*: Die Einführung neuer digitaler Agrartechnologien kann neben dem entsprechend variierten konkreten Produktionsprozess umweltrelevante Veränderungen auf der Ebene des Betriebs und darüber hinaus bewirken. Beispielsweise kann die Einführung automatischer Melksysteme mit einer Vergrößerung des betrieblichen Milchviehbestandes verbunden sein, was den Viehbestand und die Wirtschaftsdüngergaben pro Fläche erhöhen kann, mit der Folge steigender Stickstoffüberschüsse und Nitratbelastung des Grundwassers.
- > *Reboundeffekte*: Diese wurden insbesondere bei Modernisierungen von Bewässerungssystemen untersucht. Eine verbesserte Bewässerungseffizienz hat zwar bei der einzelnen bewässerten Kultur bzw. Feld zu Wassereinsparungen geführt, aber nicht zwangsläufig zu einem geringeren Wasserverbrauch im landwirtschaftlichen Betrieb oder in der Bewässerungsregion.
- > *Relevanz für zentrale Umweltproblemen der Landbewirtschaftung*: Bei strukturbedingten hohen Stickstoffüberschüssen in Regionen mit konzentrierter Nutztierhaltung sowie bei den besonders problematischen Flächen mit starker Phosphoranreicherung aus der Vergangenheit kann eine teilflächenspezifische Düngung keinen relevanten Beitrag leisten.

Insgesamt können digitale Agrartechnologien mittels einer höheren Produktionseffizienz in unterschiedlichem Umfang den Einsatz von Betriebsmitteln verringern und in der Folge Umweltentlastungen bewirken. Die Größenordnung der in der landwirtschaftlichen Praxis erzielbaren Entlastungseffekte ist in vielen Fällen unklar. Mit der technischen Weiterentwicklung und durch Vernetzung sind zukünftig verbesserte positive Umweltwirkungen zu erwarten. Gleichzeitig erscheinen die digitalen Agrartechnologien nicht ausreichend bzw. teilweise nicht geeignet, um wichtige Umwelt- und Tierwohlprobleme der landwirtschaftlichen Produktion zu beheben.



4 Betriebliche und agrarstrukturelle Wirkungen

Die deutsche Landwirtschaft ist von einer großen strukturellen Vielfalt geprägt. Bezüglich der Flächenausstattung der Betriebe ist ein Nord-Süd-, deutlicher aber noch ein Nordost-Südwest-Gefälle festzustellen. Während im Süden Deutschlands die durchschnittliche Betriebsgröße relativ gering ist, dominieren im Norden und insbesondere im Nordosten landwirtschaftliche Großbetriebe. Auch bei den Anteilen unterschiedlicher Erwerbsformen (Haupt-/Nebenerwerb) sowie bezüglich der Größe ökologisch und konventionell wirtschaftender Betriebe sind deutliche regionale Unterschiede zu verzeichnen. Die landwirtschaftlichen Strukturen und Erwerbsformen sind jedoch bereits seit einigen Jahrzehnten einem kontinuierlichen Wandel unterworfen, der sich vor allem auf die kleinen und mittleren Betriebe auswirkt (TAB 2019). Zu beobachten ist eine fortlaufende Produktionsintensivierung, die von der zunehmenden Vergrößerung der bestehenden Betriebe begleitet wird.

Insofern stellt sich die Frage, inwiefern Automatisierung und Digitalisierung diese Entwicklung weiter befördern oder ihr entgegenzuwirken vermögen. So ist auf der einen Seite zu erwarten, dass sich die Arbeitsprozesse in der Landwirtschaft grundlegend verändern werden, was gerade auch für kleinere Betriebe Chancen bietet (einfachere Überwachung der Betriebsprozesse, Arbeitsentlastungen etc.). Auf der anderen Seite ist der Einsatz digitaler Produktionsmittel oftmals mit erheblichen Skaleneffekten verbunden, was dazu führt, dass größere Betriebe durch eine höhere Auslastung Kostenvorteile realisieren können. Auch die datenbasierte Vernetzung von Einzelanwendungen hält neue strukturelle Herausforderungen bereit, die von kleineren landwirtschaftlichen Betrieben schwer zu bewältigen sein dürften, da die Bereitschaft zur Umstellung der Arbeitsprozesse, umfangreiches Know-how zur Bedienung der neuen Technologien sowie Fähigkeiten im Umgang mit großen Datenmengen benötigt werden.

Vor allem bedingt durch den technischen Fortschritt, der künftig zunehmend auf digitalen Technologien aufbauen wird, ist von weiteren deutlichen Produktivitätssteigerungen in der Landwirtschaft auszugehen (Doluschitz/Gindele 2019, S. 1). Voraussetzung für die Partizipation an diesem Produktivitätsfortschritt ist die digitale Teilhabe der Betriebe. Besteht hier eine Kluft, so kann sich diese auch im wirtschaftlichen Betriebserfolg, längerfristig in einer nicht mehr wettbewerbsfähigen Marktteilnahme widerspiegeln. Somit ist zu fragen, inwieweit Technikentwicklungen und überbetriebliche Anwendungskonstellationen (z. B. durch Maschinenringe und andere Dienstleister) denkbar sind, die auch kleinere landwirtschaftliche Betriebe nutzen können.



Vor diesem Hintergrund wird in diesem Kapitel möglichen betrieblichen und agrarstrukturellen Auswirkungen der Digitalisierung nachgegangen. Vorauszuschicken ist, dass die Entwicklung hin zu einer Landwirtschaft 4.0, insbesondere hin zu teil- und vollautonomen digitalen Technologien, ein sehr hohes disruptives Potenzial aufweisen könnte (Herlitzius 2018), wodurch es derzeit kaum möglich ist, die Folgen der Digitalisierung in Bezug auf betriebsstrukturelle Wirkungen eindeutig zu benennen oder gar exakt zu isolieren und zu quantifizieren. Diesem Manko wird im Folgenden Rechnung getragen, indem in einem ersten Schritt der Wissensstand bezüglich Einflussfaktoren einer Nutzung sowie der tatsächlichen Verbreitung digitaler Agrartechnologien aufgearbeitet wird (Kap. 4.1). In einem zweiten Schritt werden mögliche ökonomische Effekte einer Implementierung skizziert (Kap. 4.2), wobei die Wirtschaftlichkeit ausgewählter Digitaltechnologien vor allem mit Blick auf kleinere Betriebe anhand veröffentlichter Kosten-Nutzen-Analysen grob abgeschätzt wird. Auf dieser Basis folgen drittens Einschätzungen zu den potenziellen agrarstrukturellen Wirkungen der Digitalisierung und es werden die besonderen Herausforderungen für kleinere und ökologisch wirtschaftende Betriebe aufgezeigt (Kap. 4.3). Abschließend wird die Frage behandelt, wie sich im Zuge der Digitalisierung die Arbeit in der Landwirtschaft 4.0 ändern könnte und welche Auswirkungen u. a. auf das Berufsbild der Landwirtin/des Landwirts und die Qualifizierungsanforderungen zu erwarten sind (Kap. 4.4).

4.1 Akzeptanz und Verbreitung von digitalen Agrartechnologien

Ob und in welchem Maße eine auf dem Markt verfügbare Technologie von dem angestrebten Nutzerkreis auch tatsächlich akzeptiert und eingesetzt wird, hängt von zahlreichen Faktoren ab. In der Literatur wurden verschiedene Schlüsselaspekte diskutiert, die hierfür maßgeblich sind. Im Vordergrund stehen technologiebezogene Gesichtspunkte wie Reifegrad und Leistungsfähigkeit, Anschaffungs- und Betriebskosten, Benutzerfreundlichkeit, Kompatibilität mit anderen Anwendungen und Gebrauchstauglichkeit (Suebsin/Gerdsri 2009).

Eines der verbreitetsten theoretischen Modelle zur Erklärung der Technologie- und Nutzerakzeptanz ist das Technology Acceptance Model (TAM), welches die Nutzungsintention auf zwei Determinanten zurückführt, nämlich die *wahrgenommene Nützlichkeit* (»perceived usefulness«) sowie die *wahrgenommene Einfachheit der Nutzung* (»perceived ease of use«; Fazel 2014, S. 110 ff.). Die wahrgenommene Nützlichkeit wiederum ist definiert als »der Grad, zu dem eine Person davon überzeugt ist, dass die Nutzung eines bestimmten Systems ihre Arbeitsleistung steigert und ihr somit Nutzen stiftet« (Fazel 2014, S. 111).



Für die Akzeptanz einer Technologie ist demzufolge letztlich vor allem entscheidend, inwiefern die potenziellen Nutzer/innen davon überzeugt sind, diese gewinnbringend einsetzen zu können.

Gerade diesbezüglich bestehen hinsichtlich digitaler Agrartechnologien aber noch große Unklarheiten. Zwar wurden im Laufe der letzten 20 Jahre etliche Studien publiziert, in denen auf positive wirtschaftliche Effekte durch Betriebsmitteleinsparungen und/oder Mehrerträge hingewiesen wurde (dazu ausführlicher Kap. 4.2.1). Inwiefern die Ergebnisse dieser Wirtschaftlichkeitsanalysen verallgemeinerbar sind, also auf Betriebe übertragbar sind, die über andere Produktionsbedingungen verfügen, ist jedoch oft unsicher (Barnes et al. 2019, S. 170; Rösch et al. 2007, S. 119f.). Es ist deshalb nur folgerichtig, dass die hohen Investitionskosten sowie die unklare Wirtschaftlichkeit digitaler Agrartechnologien von den Landwirt/innen immer wieder als wesentliche Akzeptanzhemmnisse angeführt werden (Bitkom/DBV 2016, S. 12; Bitkom et al. 2020; Schleicher/Gandorfer 2018). Als weitere technologiebezogene Hinderungsgründe für die Implementierung wurden in Umfragen zudem genannt: mangelnde Praxisreife, fehlende Kompatibilität mit anderen Technologien, unzureichende Benutzerfreundlichkeit sowie der hohe Zeitbedarf, um sich mit der Technologie vertraut zu machen (Landwirtschaftliche Rentenbank 2019, S. 19f.; PwC 2016, S. 18f.; Reichardt et al. 2009).

4.1.1 Einflussfaktoren einer Nutzung digitaler Agrartechnologien

Üblicherweise sind Investitionsentscheidungen in einer Größenordnung, wie sie für digitale Agrartechnologien erforderlich ist, in längerfristige Betriebsentwicklungsstrategien eingebettet, die wiederum von zahlreichen persönlichen und betrieblichen Faktoren (Investitionsmöglichkeiten, Managementkapazitäten, Betriebsgröße etc.) beeinflusst sind. Die Bereitschaft von Landwirt/innen zur Nutzung digitaler Anwendungen wird letztlich stark von der subjektiven Einschätzung betriebswirtschaftlicher Chancen und Risiken sowie individuellen Einstellungen hinsichtlich technologischer Potenziale geprägt. Dabei spielen nicht nur wirtschaftliche Aspekte eine Rolle, sondern auch Faktoren wie z. B. Erwartungen in Bezug auf mögliche Arbeitserleichterungen oder die vorhandene technische Infrastruktur der Betriebe (Petersen et al. 2018; Thompson et al. 2019).

In etlichen Studien wurde in den letzten Jahren der Frage nachgegangen, welche individuellen Merkmale die Bereitschaft zur Einführung von digitalen Agrartechnologien befördern bzw. behindern (u. a. Aubert et al. 2012; Barnes et al. 2019; Daberkow/McBride 2003; Paustian/Theuvsen 2017; Reichardt et al. 2009; Schimmelpfennig 2016). Dabei wurde üblicherweise untersucht, welche Faktoren (z. B. Art und Ausrichtung des Betriebs, Betriebsgröße, persönliche



Aspekte) einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Verwendung digitaler Technologien haben. Vorausschickend ist zu bemerken, dass dabei Anwendungen der Präzisionslandwirtschaft im Ackerbau klar im Fokus standen und deshalb vor allem Ackerbaubetriebe betrachtet wurden. Die Ergebnisse sind somit nicht ohne Weiteres auf digitale Agrartechnologien in anderen Produktionsbereichen, insbesondere die landwirtschaftliche Nutztierhaltung, übertragbar.

Insgesamt wurden verschiedene Einflussfaktoren identifiziert, die auf eine höhere Bereitschaft zur Implementierung der Präzisionslandwirtschaft hindeuten. Sie lassen sich grob in zwei Gruppen clustern, nämlich betriebliche und personenbezogene Charakteristiken (zum Folgenden Barnes et al. 2019; Paus-tian/Theuvsen 2017; Pierpaoli et al. 2013):

- › Zu den *betrieblichen Faktoren*, die positiv mit der Implementierungsbereitschaft korrelieren, gehören u. a. die Betriebsgröße bzw. Flächenausstattung, die Anzahl abhängig Beschäftigter (»external employees«, Reichardt et al. 2009, S.704), der Technisierungsgrad, die Vollzeittätigkeit des Betriebsinhabers sowie eine gesicherte Hofnachfolge. Grundsätzlich ist es so, dass insbesondere einzelbetriebliche Merkmale, die eine höhere Bewirtschaftungsintensität und/oder ein höheres Betriebseinkommen anzeigen (wie z. B. eine große Zahl abhängig Beschäftigter, ein hoher Technisierungsgrad, eine überdurchschnittliche Betriebsgröße und eine Vollzeittätigkeit), mit einer höheren Implementierungsbereitschaft einherzugehen scheinen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass mit steigendem Betriebseinkommen auch die Möglichkeiten wachsen, größere Investitionen zu tätigen, bzw. die Rentabilität der Investitionen eher gewährleistet ist. Die Investitionsbereitschaft hängt zudem mit einer langfristigen Planungsperspektive zusammen, wofür die gesicherte Hofnachfolge eine Voraussetzung ist.
- › Wichtige *personenbezogene Faktoren*, die mit einem positiven Einfluss auf die Einführung digitaler Technologien in Verbindung gebracht werden, sind ein jüngeres Alter der Landwirtin/des Landwirts, die Erfahrung/Vertrautheit im Umgang mit digitalen Technologien und Computern im Allgemeinen sowie ein höherer Ausbildungs- und Qualifikationsgrad. Alle diese Faktoren scheinen tendenziell mit einer wachsenden Innovationsfreudigkeit/Aufgeschlossenheit gegenüber neuen Technologien zusammenzuhängen. Mit steigendem Alter verkürzt sich zudem der Planungshorizont der Landwirt/innen, was sich tendenziell negativ auf die Investitionsbereitschaft auswirkt.

Typische Nutzer/innen von PL-Technologien lassen sich somit wie folgt charakterisieren: Sie sind eher jüngeren Alters, gut ausgebildet, haben Erfahrung im Umgang mit Computern sowie digitalen Technologien und sind Eigentümer eines Betriebs, der über eine überdurchschnittliche Flächenausstattung verfügt und den sie möglichst produktiv bewirtschaften möchten (Pierpaoli et al. 2013, S. 62; Rösch et al. 2007, S. 122).



Einschränkend ist zu sagen, dass den Befragungen, die sich mit den Einflussfaktoren auf die Nutzung von digitalen Agrartechnologien beschäftigt haben, teils sehr unterschiedliche Stichproben zugrunde liegen und die Ergebnisse nicht immer konsistent sind. So wurde etwa der positive Einfluss eines jüngeren Alters nicht in allen Studien bestätigt (Pierpaoli et al. 2013, S. 64). Die genannten Kriterien sind deshalb nicht als strikte Determinanten, sondern als eher schwache, begünstigende Faktoren zu verstehen. Hinzu kommt, dass die meisten Untersuchungen auf die USA oder Australien fokussieren, während die Situation hierzulande eher weniger gut beleuchtet ist (Barnes et al. 2019, S. 165). Dass die zuvor genannten Ergebnisse dennoch in den Grundzügen auf Deutschland übertragbar sind, wird durch drei Erhebungen unter deutschen Landwirt/innen bestätigt:

- › Reichardt et al. (2009) befragten 2058 Landwirt/innen, die an der Landwirtschaftsmesse »Agritechnica« 2007 teilgenommen hatten, mittels Fragebogen und Experteninterview, um der Akzeptanz, Nutzung und Verbreitung von PL-Technologien in Deutschland auf den Grund zu gehen. 9 % der Befragten gaben an, bereits PL-Technologien zu nutzen, 6 % wurden als beginnende und 7 % als potenzielle Nutzer/innen eingestuft. Bestätigt wurden die Ausbildung sowie die Betriebsgröße als relevante Einflussfaktoren. Landwirt/innen, die PL-Technologien anwenden, hoben sich durch die signifikant größeren Betriebe (Median 320 ha) und den höheren Ausbildungsstand (33 % mit Universitätsabschluss) vom Rest ab. Dabei wurden auch regionale Differenzen festgestellt: Die Präzisionslandwirtschaft war vor allem in Ostdeutschland verbreitet, was damit erklärt wurde, dass dort viele besonders große Betriebe beheimatet sind.
- › Die Untersuchung von Paustian und Theuvsen (2017) stützte sich auf eine Onlinebefragung von 227 Ackerbaubetrieben, von denen sich etwa die Hälfte in Niedersachsen befand. Von den Befragten gaben knapp 30 % an, PL-Technologien zu nutzen.¹⁸⁰ Es wurden darüber hinaus zahlreiche Merkmale der Betriebe sowie der Betriebsleiter/innen abgefragt, um maßgeblichen Faktoren für die Einführung und Nutzung von PL-Anwendungen auf die Spur zu kommen. Auch hier ergab sich die große Relevanz der Betriebsgröße: Von den kleineren Betrieben (1 bis 99 ha) machten nur 9 % Gebrauch von PL-Technologien, bei den größeren (> 500 ha) waren es 69 %. Ein signifikanter Effekt des Alters auf die Nutzung wurde nicht festgestellt; dafür zeigte sich, dass Betriebsleiter/innen mit besonders viel landwirtschaftlicher Erfahrung (> 16 Jahre) oder solche mit eher wenig Erfahrung (> 5 Jahre) ausnehmend häufig PL-Anwendungen einsetzten. Dies wurde damit erklärt, dass für erfahrene, gut ausgebildete Landwirt/innen auf der einen und junge, IKT-erfahrene auf der anderen Seite die wirtschaftlichen

180 Um welche Technologien es sich dabei handelte, wurde nicht erfasst.



Vorteile der Technologie deutlich sichtbar sein könnten. Eine weitere Auffälligkeit war, dass Betriebe ohne Familienangestellte sowie mit vielen abhängig Beschäftigten signifikant häufiger der Gruppe der Nutzer/innen zuzuordnen waren als solche, die ein bis zwei Familienangehörige beschäftigten.

- › In der aktuellen Studie von Barnes et al. (2019) wurde die Verbreitung und Adaption von PL-Technologien – aufgeschlüsselt nach der Nutzung von GNSS-Technologien (Machine Guidance – MG) sowie teilflächenspezifischer Düngung (Variable Rate Nitrogen Application – VRNT) – unter Landwirt/innen in verschiedenen europäischen Ländern untersucht (Griechenland, Belgien, Niederlande, Deutschland, Großbritannien). Die Zahl der Befragten lag bei jeweils etwa 200 (in Deutschland bei 195). Von den befragten deutschen Landwirt/innen nutzten knapp 60 % eine oder beide Technologien (66 Landwirte nur MG; 50 Landwirte MG und VNRT). Deutschland lag damit auf dem dritten Platz hinter Großbritannien und den Niederlanden (mit jeweils 77 % bzw. 72 % Nutzeranteil). Insgesamt zeigt sich auch hier ein deutlich positiver Einfluss der Betriebsgröße und des Haushaltseinkommens. Außerdem wurde festgestellt, dass in Betrieben, die Mitglied einer überbetrieblichen Vereinigung (Maschinenring etc.) sind oder sich professionell beraten lassen, ebenfalls eher von der Technologie Gebrauch gemacht wird. Im Unterschied zu Paustian und Theuvsen (2017) wurde zudem ein jüngeres Alter als relevanter Faktor identifiziert.

Landwirt/innen, die PL-Technologien bereits einsetzen, äußerten sich in Umfragen größtenteils zufrieden mit ihrer Entscheidung (Reichardt et al. 2009; Rösch et al. 2007, S. 124; Thompson et al. 2019). Ausschlaggebend waren hierbei vor allem die positiven wirtschaftlichen Effekte. In der Erhebung von Thompson et al. (2019) wurden von einer Mehrzahl der befragten US-amerikanischen Ackerbaubetriebe zudem auch verbesserte Managementkapazitäten und Arbeitserleichterungen angegeben. Allerdings berichteten laut Reichardt et al. (2009) viele auch von Problemen in der Einführungsphase der Technologien (Kompatibilitätsfragen, Einarbeitung etc.), deren Überwindung ihnen zufolge viel Zeit gekostet hatte.

4.1.2 Verbreitung in der landwirtschaftlichen Praxis

Obwohl zu den Einflussfaktoren auf die Nutzung der Präzisionslandwirtschaft eine Fülle an Literatur existiert, ergibt sich daraus hinsichtlich der tatsächlichen Verbreitung(stendenzen) entsprechender Agrartechnologien in der landwirtschaftlichen Praxis kein ausreichend klares Bild. Dies hat wesentlich mit dem Untersuchungsfokus der entsprechenden Studien zu tun, der eben nicht auf dem Einsatzumfang, sondern der ihn bestimmenden Faktoren liegt. So werden zwar in der Regel relativ differenziert die Merkmale der nutzenden Landwirt/innen und ihrer Betriebe erfasst, technologieseitig wird jedoch oft nur eine sehr



grobe Kategorisierung zugrunde gelegt. Abgefragt wird primär, ob jemand PL-Technologien nutzt – welche das konkret sind, ist hingegen nur von sekundärem Interesse. Außerdem beruhen etliche dieser Erhebungen auf nicht repräsentativen Stichproben. So ist etwa bei der Befragung von Besuchern einer Landwirtschaftsmesse, wie von Reichardt et al. (2009) durchgeführt, keine Repräsentativität zu erwarten. Dasselbe gilt für die Untersuchung von Paustian und Theuvsen (2017), bei der sich die Hälfte der befragten Ackerbaubetriebe in Niedersachsen befindet.

Aus den zuvor genauer vorgestellten wissenschaftlichen Studien, in denen sich spezifisch mit der Adoption der Präzisionslandwirtschaft in Deutschland bzw. Europa befasst wurde, lassen sich deshalb nur grobe Hinweise bezüglich der Verbreitungstendenzen bei hiesigen Ackerbaubetrieben ableiten. So zeigt sich im Zeitverlauf eine Zunahme der Nutzung von 9 % im Jahr 2007¹⁸¹ (15,6 %, wenn auch die Einsteiger/innen einberechnet werden; Reichardt et al. 2009) auf 30 % im Jahr 2014 (Paustian/Theuvsen 2017) und 60 % im Jahr 2017 (davon bezieht sich mehr als die Hälfte auf einfachere GNSS-Technologien [MG]; Barnes et al. 2019). Eine Verdopplung innerhalb von nur 3 Jahren ist selbstverständlich nicht realistisch und dürfte auf die fehlende Repräsentativität der Befragten und die unzureichende Spezifizierung von PL-Technologien zurückzuführen sein (unterschiedliche und nicht repräsentative Stichproben, fehlende Präzisierung der Technologien und Anwendungen etc.).

Bezüglich der Jahre vor 2007 erlaubt die Studie von Reichardt et al. (2009) etwas detailliertere Einblicke in die Verbreitung von PL-Anwendungen im Zeitverlauf, da derselbe Fragebogen bereits 2001, 2003 und 2005 auf der »Agritechnica« verteilt wurde. Demzufolge nahm der Einsatzumfang im Zeitverlauf wie zu erwarten zu – von 6,7 % der Befragten im Jahr 2001 (knapp 10 % inklusive beginnender Nutzer/innen) auf etwas mehr als 9 % im Jahr 2007 (15,6 % inklusive beginnender Nutzer/innen). Die Zahl der uninformierten Landwirt/innen, die nichts mit dem Ausdruck Precision Farming anzufangen wussten, nahm gleichzeitig von 46 % im Jahr 2001 auf 38 % im Jahr 2007 ab. Abgefragt unter PL-Anwender/innen wurde jeweils auch, welche Technologien genutzt werden und wann sie eingeführt wurden. Hier zeigt sich eine im Betrachtungszeitraum zwar abnehmende, aber dennoch deutlich ausgeprägte Dominanz der georeferenzierten Datenerfassung (z. B. Ertrags-, Flächenkartierung, Bodenbeprobung) gegenüber teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen (Variable Rate Application; z. B. variable Stickstoffdüngung, teilflächenspezifischer Pflanzenschutz). Letztere stellen deutlich höhere Anforderungen an die Datenanalyse und sind deshalb in der Regel schwieriger zu handhaben (Rösch et al. 2007, S. 121 f.).

181 Angegeben ist jeweils das Erhebungsjahr.

4.1.2.1 Verbreitung der Präzisionslandwirtschaft auf internationaler Ebene

Am besten sind die Diffusion und Verbreitung von PL-Anwendungen für die USA untersucht, weil dort mit dem Agricultural Resource Management Survey¹⁸² (ARMS) des U.S. Department of Agriculture eine statistische Erhebung zur Technologienutzung in der Landwirtschaft vorliegt, die in unregelmäßigen Abständen erneuert wird (Lowenberg-DeBoer 2018; Schimmelpfennig 2016). Eine Auswertung der ARMS-Daten von 2010 kam zu dem Ergebnis, dass der Einsatz von digitalen Technologien bei Getreidefarmen mit der Größe des landwirtschaftlichen Betriebs korreliert: Je größer die Flächenausstattung ist, desto häufiger werden digitale Technologien eingesetzt (Schimmelpfennig 2016, S. 12).¹⁸³ Festgestellt wurde außerdem, dass die Verbreitung der Teilflächenbewirtschaftung deutlich geringer ausfällt als die anderer PL-Technologien (Boden- und Ertragskartierung, GNSS-basierte Navigationshilfen).

Auch in Australien, Großbritannien und Dänemark gibt es staatliche Erhebungen, welche die Verbreitungsquoten neuer Technologien anhand repräsentativer Stichproben und zum Teil in zeitlichem Abstand wiederholt ermitteln. Allerdings unterscheiden sich die Befragungen in methodischer Hinsicht (Erhebungszeiträume, Auswahl der Stichproben, Erfassungskategorien) teils markant, sodass die länderübergreifenden Daten nur bedingt miteinander vergleichbar sind (Lowenberg-DeBoer/Ericksen 2019). Die vorliegenden Informationen aus diesen Ländern (USA, Australien, Großbritannien, Dänemark) wurden von Lowenberg-DeBoer und Erickson (2019) ausgewertet und mit anderweitig verfügbaren Studien zur Verbreitung der Präzisionslandwirtschaft aggregiert. Die Analyse zeigt, dass die Verbreitungsrate zwischen den verschiedenen PL-Technologien stark differiert und zwischen den einzelnen Ländern teils deutliche Unterschiede bestehen:

- › So sind *satellitengestützte Navigationssysteme* für Landmaschinen in Industrieländern inzwischen fast schon Standard. Länder wie die USA und Australien, wo die Betriebe relativ groß sind, nehmen hier eine Vorreiterrolle ein – bis zu 70 % der Getreidebauern setzen dort diese Technologie ein. In Europa (Dänemark, Großbritannien) hingegen fällt die Nutzung mit 20 bis 25 % jedoch deutlich niedriger aus.
- › Ebenfalls bereits relativ verbreitet zum Einsatz kommt die *Ertragskartierung* – in den USA machten 2016 fast 50 % der Maisbauern davon Gebrauch. Aber auch hier gibt es zwischen den Ländern große Unterschiede:

182 https://www.nass.usda.gov/Surveys/Guide_to_NASS_Surveys/Ag_Resource_Management/ (18.8.2021)

183 Die geringsten Verbreitungsraten fanden sich bei Betrieben kleiner als 600 ha, die größten bei Betrieben größer als 3.800 ha.

4.1 Akzeptanz und Verbreitung von digitalen Agrartechnologien



In Großbritannien etwa wird diese Technologie nur von 11 % der Betriebe mit mehr als 20 ha Ackerfläche verwendet (Jahr 2012).

- › *Teilflächenspezifische Bewirtschaftungsmaßnahmen* erreichen in kaum einem Land eine Anwendungsquote von mehr als 20 %.¹⁸⁴

Die Ergebnisse von Lowenberg-DeBoer und Erickson (2019) bestätigen somit den bereits von Reichardt et al. (2009) sowie von Schimmelpfennig (2016) festgestellten Umstand, dass sich die Teilflächenbewirtschaftung wesentlich langsamer verbreitet als deutlich einfacher handhabbare Technologien wie die Ertrags- und Flächenkartierung, Navigationstechniken etc. Festzuhalten bleibt, dass sich fast alle wissenschaftlichen Untersuchungen zur Verbreitung digitaler Agrartechnologien auf die Präzisionslandwirtschaft im engeren Sinne sowie größere Ackerbaubetriebe (vor allem aus dem Getreideanbau) beschränken und somit nur einen kleinen Bereich des vielfältigen Spektrums der landwirtschaftlichen Betriebsvielfalt sowie von Landwirtschaft 4.0 abdecken.

4.1.2.2 Verbreitung digitaler Agrartechnologien in Deutschland

Zum Einsatzumfang der Präzisionslandwirtschaft liegen für Deutschland ebenfalls nur sehr spärliche und wenig ausdifferenzierte Informationen vor. Allerdings wurde in den letzten Jahren eine Reihe von Umfragen unter deutschen Landwirt/innen durchgeführt, die den hiesigen Einsatzumfang digitaler Agrartechnologien im Allgemeinen – also auch über die Präzisionslandwirtschaft hinaus – zum Gegenstand hatten:

- › 2016 veröffentlichte die Unternehmensberatung PricewaterhouseCoopers (PwC 2016, S. 7) die Ergebnisse einer Befragung von 100 Ackerbaubetrieben, um »einen Einblick in den wahren Stand der Digitalisierung der deutschen Landwirtschaft« zu geben. 54 % der befragten Landwirt/innen gaben an, bereits in digitale Technologien investiert zu haben; 40 % planten, dies in absehbarer Zeit zu tun. Genutzt wurden vor allem GNSS-Systeme zur Flächenvermessung etc. (58 % bereits erfolgt, 14 % in Planung) und intelligente landwirtschaftliche Maschinen (45 % bereits erfolgt, 8 % in Planung), Drohnen und Roboter trafen hingegen auf große Zurückhaltung (nur 11 bzw. 5 % erwägen eine Nutzung). Die Befragung beschränkte sich allerdings auf Ackerbaubetriebe und erfasste damit nur einen Ausschnitt der Landwirtschaft. PwC (2016, S. 22 f.) wiesen aus, dass nur größere Ackerbaubetriebe (mit mindestens einem Mitarbeiter) befragt wurden, außerdem waren ostdeutsche Betriebe überrepräsentiert. Allerdings wurde darauf hin-

¹⁸⁴ Zu bemerken ist, dass die Länderangaben schwierig zu vergleichen sind, da in verschiedene Erhebungskategorien (Kulturarten, Betriebstypen, Regionen) aufgegliedert wird und für USA und Australien Angaben für alle landwirtschaftlichen Betriebe fehlen.



4 Betriebliche und agrarstrukturelle Wirkungen

gewiesen, dass die Auswahl der Umfrageteilnehmenden sich an einem »repräsentativen Schnitt nach Betriebsgröße, Region und Altersstruktur« orientiert hatte.

- › 2017 wurden 92 bayerische Betriebe in einer Studie der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. (Roosen 2017) differenziert dazu befragt, welche digitalen Anwendungen und Technologien sie benutzen bzw. innerhalb der nächsten 12 Monate anzuschaffen planen. Die Ergebnisse zeigten, »dass vor allem kostengünstige sowie einfach zu handhabende digitale Lösungen von Landwirten genutzt werden« (Roosen 2017, S.27). So waren digitale Ackerschlagkarteien (75 % genutzt; 5 % Anschaffung sicher geplant) und allgemeine Agrar-Apps wie Wetter-Anwendungen (38 % genutzt; 14 % Anschaffung sicher geplant) am weitesten verbreitet. Intelligente Landmaschinen wurden von 20 % (11 % Anschaffung sicher geplant) eingesetzt, Teilflächenbewirtschaftung jedoch nur von rund 10 % der Betriebe und automatische Melksysteme sogar nur von 4 % (2 % Anschaffung sicher geplant). Aussagen zur Repräsentativität der Befragung sind nicht zu finden.
- › An der Universität Hohenheim wurde im Rahmen einer Masterarbeit im Zeitraum von Januar bis Mitte Februar 2018 eine schriftliche quantitative Befragung von 329 Betrieben durchgeführt (Munz 2018; Munz et al. 2019; Munz et al. 2020; Ergebnisse zitiert nach Doluschitz/Gindele 2019). Es wurden ausschließlich Ausbildungsbetriebe und Agrargenossenschaften angeschrieben, jedoch keine Nebenerwerbsbetriebe. Die Stichprobe ist somit nicht repräsentativ. Die ermittelten Nutzungszahlen liegen hier zum Teil höher als bei den anderen Befragungen: Ackerschlagkarteien wurden von 72 % der Befragten genutzt, intelligente Landmaschinen von 51 %. Insbesondere in der Tierhaltung zeigte sich ein relativ hoher Grad der Automatisierung: In der Schweinehaltung war der Einsatz von automatischen Lüftungssystemen (96 %) sowie automatischen Fütterungsanlagen (94 %) nahezu Standard, in der Rinderhaltung waren automatische Reinigungsanlagen (39 %) relativ weit verbreitet und Melkroboter wurden von 21 % der Befragten eingesetzt.
- › In einer als repräsentativ bezeichneten Umfrage der Landwirtschaftlichen Rentenbank (2019) wurden 401 Landwirt/innen (davon 262 von milchviehhaltenden Betrieben) aus Deutschland im dritten Quartal 2018 zur Digitalisierung in der Landwirtschaft befragt. Abgefragt wurde dabei, in welchen Bereichen (Pflanzenproduktion, Viehhaltung und Betriebsmanagement) bereits in digitale Technologien investiert wurde bzw. wo derartige Investitionen geplant sind. In der Pflanzenproduktion stand der Traktor mit GNSS an der Spitze – 19 % der Befragten hatten in diese Technologie investiert, 9 % planten dies zu tun. Es folgte die Ackerschlagkartei (17 % getätigte Investitionen, 5 % geplant), während die Verwendung von Sensorik (5 % ge-

4.1 Akzeptanz und Verbreitung von digitalen Agrartechnologien



tätigte Investitionen, 4 % geplant) und Drohnen (3 % getätigte Investitionen, 2 % geplant) nur marginal ausfiel. Ein ausgeglicheneres Bild ergab sich für die Viehhaltung: Hier lagen Herdenmanagement, Sensorik und Melkroboter etwa gleichauf – mit jeweils rund 15 % der befragten Betriebe, die diese Technologien nutzten, und jeweils ca. 5 %, die Investitionen planten. Farmmanagementsysteme schienen nur eine untergeordnete Rolle zu spielen (6 % getätigte Investitionen bei den Befragten, 3 % geplant).

- > 2020 wurde eine Befragung von 500 landwirtschaftlichen Betrieben und Lohnunternehmen durch Bitkom Research publiziert (zitiert nach Bitkom et al. 2020). 82 % der Befragten bejahten die Frage, ob sie Smart-Farming-Technologien nutzen (6 % in Planung, 4 % diskutiert und 8 % kein Thema), darunter vor allem die Betriebe ab 100 ha (91 %). Verbreitet waren hauptsächlich GPS-gesteuerte Landmaschinen (45 % im Einsatz; 25 % geplant) und Fütterungsautomaten (46 % im Einsatz, 29 % geplant), während Roboter (12 % im Einsatz, 26 % geplant) und Drohnen (11 % im Einsatz, 31 % geplant) nur wenig eingesetzt wurden. Interessant ist der Vergleich mit einer 2016 durchgeführten Erhebung von Bitkom Research (Bitkom/DBV 2016), der bei der Nutzung digitaler Agrartechnologien insgesamt eine deutliche Zunahme zeigt (2016: 52 % der Betriebe; 2020: 82 %). Besonders Farm-/Herdenmanagementsysteme (2016: 12 %; 2020: 40 %), aber auch Drohnen (2016: 4 %; 2020: 11 %) haben 2020 deutlich an Verbreitung zugenommen. Laut Bitkom sind die Umfragen repräsentativ (Bitkom/DBV 2016; Bitkom et al. 2020). Es werden allerdings keine Informationen zu den Befragungsteilnehmenden gegeben. Ebenso bleibt unklar, ob sich die beanspruchte Repräsentativität auf die Anzahl der Betriebe oder Flächenanteile nach Betriebsgrößenklassen oder andere sozioökonomische Kennzahlen bezieht.

Die Ergebnisse der Befragungen sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst. Hinsichtlich ihrer Aussagekraft ist Folgendes zu bemerken:

- > In keiner Studie wurde ein Vergleich der Struktur der befragten Betriebe mit der Agrarstruktur in Deutschland vorgenommen. Somit lässt sich die Repräsentativität der Befragungsergebnisse nicht überprüfen bzw. ist nicht gewährleistet – und zwar auch nicht bei den als repräsentativ bezeichneten Studien (Bitkom et al. 2020; Landwirtschaftliche Rentenbank 2019).
- > Vier Umfragen (Bitkom et al. 2020; Landwirtschaftliche Rentenbank 2019; PwC 2016; Roosen 2017) wurden von Interessenverbänden bzw. Wirtschaftsakteuren initiiert, also nicht von neutralen Beobachtern. Die Befragungen von PwC (2016) und der Landwirtschaftlichen Rentenbank (2019) erfassten getätigte und geplante Investitionen und zielten somit auch auf zukünftige Marktpotenziale.
- > Differenzierungen der Technologienutzung werden in der Regel nur in allgemeinen Kategorien wie Sensorik oder Roboter vorgenommen und das



Spektrum möglicher digitaler Agrartechnologien wird meist nicht vollständig abgedeckt. Einzig die Umfrage unter bayerischen Betrieben (Roosen 2017) erfasste die Nutzung digitaler Anwendungen detailliert. Hinzu kommt, dass unterschiedliche und teilweise auch unbestimmte Begriffe wie z. B. Apps verwendet wurden, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse stark einschränkt.

Aus diesen Gründen lassen sich aus den zitierten Umfragen keine differenzierten, wissenschaftlich belastbaren Befunde zur Verbreitung oder Verbreitungsmustern digitaler Agrartechnologien in der deutschen Landwirtschaft ableiten. Zwar ist auffällig, dass die Nutzungszahlen für die kleinstrukturierte bayerische Landwirtschaft besonders niedrig ausfallen. Die Ergebnisse unterliegen jedoch insgesamt großen Schwankungen, die sich aufgrund der allgemeinen und teils heterogenen Erfassungskategorien und der fehlenden bzw. nicht überprüfaren Repräsentativität der Stichproben nicht mit Sicherheit auf betriebliche oder anderweitige Faktoren zurückführen lassen. Insbesondere sind Aussagen zur unterschiedlichen Nutzung nach Betriebsgröße, Produktionsausrichtung, Rechts- sowie Erwerbsform (Haupt-/Nebenerwerbsbetriebe) nicht möglich. Außerdem geht aus den vorliegenden quantitativen Umfragen nicht hervor, wie und in welchem Umfang die abgefragten Technologien verwendet werden. So können z. B. Apps ganz verschieden genutzt werden: Die Spanne reicht hier von der gelegentlichen Abfrage von Wetterinformationen bis zum umfassenden Einsatz im Rahmen eines teilflächenspezifischen Managements oder der digitalen Automatisierung der Tierproduktion.

Dennoch lassen sich aus den Resultaten einige vorsichtige Schlüsse ziehen: Die vorliegenden Daten deuten darauf hin, dass der Einsatz von Agrarrobotern (mit Ausnahme von Melkrobotern und anderen autonomen Technologien in der Tierhaltung) und Drohnen in der deutschen Landwirtschaft noch relativ am Anfang steht. Bei digitalen Technologien zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung und dem betrieblichen Datenmanagement mittels Farmmanagementsysteme gibt es Hinweise auf eine zunehmende Verbreitung, ihr Einsatzumfang liegt jedoch noch hinter dem einfacherer Automatisierungstechnologien – (z. B. der satellitenbasierten Navigation bei Landmaschinen oder Fütterungs- und Reinigungsautomaten in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung) – zurück. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Lowenberg und Erickson (2019), die im weltweiten Vergleich und mit Blick auf die Präzisionslandwirtschaft deutlich höhere Verbreitungsraten der einfacheren PL-Technologien (Boden- und Ertragskartierung, GNSS-basierte Navigationshilfen) gegenüber der komplexeren Teilflächenbewirtschaftung feststellten. Dies könnte damit zusammenhängen, dass teilflächenspezifische Anwendungen (ebenso wie Farmmanagementsysteme) ganz neue Anforderungen an den Umgang mit Daten stellen.

4.1 Akzeptanz und Verbreitung von digitalen Agrartechnologien



Tab. 4.1 Verbreitung digitaler Agrartechnologien in der Landwirtschaft

	PwC 2016	Roosen 2017	Munz 2018	Landwirt- schaftliche Renten- bank 2019	Bitkom et al. 2020
Anzahl der befragten Betriebe	100 (Ackerbau- betriebe)	92	329	401	500
Erhebungsjahr	2016	2017	2018	2018	k.A.
Art der Befragung	persön- liches Interview	?	Online- umfrage	?	?
Raum	D	Bayern	D	D	D
<i>Nutzung insgesamt in % der befragten Betriebe</i>					
Nutzung digitaler An- wendungen und Tech- nologien	54*	k.A.	k.A.	k.A.	82
<i>Nutzungen in der Pflanzenproduktion in % der befragten Betriebe</i>					
intelligente Landma- schinen	45	20	51	19**	45***
Regelspurverfahren	58****	17			
Sensorik	15	10	38Ernte 15N-Düngung	5*	28#
teilflächenspezifische Bodenbearbeitung		10			
teilflächenspezifische Düngung		10			32
teilflächenspezifischer Pflanzenschutz		13			
Ertragskartierung		13			
Drohnen	1	4	11	3*	11
Robotik	5				12#
<i>Nutzungen in der Tierproduktion in % der befragten Betriebe</i>					
Melkroboter		4	21	18*	
Fütterungsautomaten		21	22 ^R , 94 ^S		46
Reinigungsautomaten			39 ^R		
Lüftungsautomaten			22 ^R , 96 ^S		



4 Betriebliche und agrarstrukturelle Wirkungen

	PwC 2016	Roosen 2017	Munz 2018	Landwirt- schaftliche Renten- bank 2019	Bitkom et al. 2020
Sensorik		11	44 ^R , 62 ^S	15*	28 [#]
Verhaltensüberwachung		8	43 ^R , 12 ^S		
<i>Nutzungen im Betriebsmanagement in % der befragten Betriebe</i>					
Ackerschlagkartei		38	72	17*	59 ^{##}
Herdenmanagement		13	46 ^R , 10 ^S	17*	40
Farmmanagement- software	29		12	6*	
Agrar-Apps	39	75			40

R Rinderhaltung

S Schweinehaltung

* getätigte Investitionen

** getätigte Investitionen in Traktor mit GNSS

*** GPS-gesteuerte Landmaschinen

**** GNSS-Technologien

Tierhaltung und Pflanzenbau

inklusive Sauen- oder Kuhplaner

Eigene Zusammenstellung

4.2 Ökonomische Effekte

Die Aussicht auf Effizienzsteigerungen und Einspareffekte gehört zu den großen Versprechen digitaler Agrartechnologien. Gleichzeitig ist deren Anschaffung aber mit teilweise hohen Kosten verbunden. Ob ein entsprechendes Investment betriebswirtschaftlich rentabel ist, hängt im Wesentlichen davon ab, ob die realisierbaren Effizienz- und Produktivitätsgewinne die anfallenden Mehrkosten über die Nutzungsdauer hinweg (üblicherweise 10 Jahre) aufwiegen. Eine Kosten-Nutzen-Rechnung sollte möglichst alle wirtschaftlichen Effekte berücksichtigen: Dazu gehören auf der Nutzenseite Betriebsmitteleinsparungen, Mehrerträge und Erhöhungen der Arbeitsproduktivität, auf der Kostenseite die erforderlichen Investitions- und die spezifischen Betriebskosten für die Technologie (Ausgaben für Wartung, Reparatur, Versicherungen etc.) (Rösch et al. 2007, S. 89 ff.).

Eine wichtige Kennzahl, um die Wirtschaftlichkeit einer Investition zu bestimmen, ist die Gewinn- oder Wirtschaftlichkeitsschwelle (Break-even-Point).



Sie bezeichnet den Einsatzumfang bzw. die landwirtschaftliche Fläche oder Anzahl der Nutztiere, ab der eine Technologie wirtschaftlich wird. Dabei wird dem Umstand Rechnung getragen, dass die Investitionskosten zwar in der Regel einmalig anfallen – und zwar in dem Moment, wo das Gerät bzw. die Technologie gekauft wird –, aber über die gesamte Nutzungsdauer zu einem bestimmten jährlichen Zinsansatz abgeschrieben werden. Berechnen lässt sich die Gewinnschwelle, indem die jährlich anfallenden Fixkosten (abhängig u. a. von Kapitalbedarf, Nutzungsdauer, Zinsansatz) durch die im jeweiligen Betrieb verfügbaren Einzeleinheiten (also z. B. die Getreidefläche) dividiert wird (z. B. Gandorfer 2006, S. 96 ff.). Dem wird der pro Einzeleinheit erzielbare Nutzen (z. B. aus Ertragssteigerung, Betriebsmitteleinsparung, geringerer Arbeitszeitbedarf) gegenübergestellt. Daraus ergibt sich dann die Anzahl der Leistungseinheiten (Flächen-, Großvieheinheiten etc.), die notwendig ist, damit die Fixkosten für die Technologie gedeckt sind und ein Einsatz somit wirtschaftlich ist.

Voraussetzung für aussagekräftige Wirtschaftlichkeitsrechnungen ist demzufolge, dass alle Kosten- und Nutzenpositionen – auch solche, die erst zukünftig anfallen – möglichst exakt bestimmbar sind. Dies ist jedoch meistens nicht der Fall. Während die Preise für die Anschaffung neuer Applikations- und Navigationstechnik, für die Datenerfassung sowie die Datenverwaltung sich relativ genau eingrenzen lassen, sind die durch die neuen Bewirtschaftungsmaßnahmen erzielbaren Einnahmensteigerungen und Kosteneinsparungen ungleich schwerer zu quantifizieren, wie das folgende Kapitel 4.2.1 zeigt.

4.2.1 Wirtschaftlichkeitsaspekte von Einzeltechnologien

Die Wirtschaftlichkeit von digitalen Agrartechnologien wurde seit den 1990er Jahren in zahlreichen Studien untersucht. Im Vordergrund standen dabei Einzelverfahren und Anwendungen der Präzisionslandwirtschaft (wie automatische Spurführung oder verschiedene Varianten der Teilflächenbewirtschaftung), wobei die meisten Untersuchungen sich auf einzelne Kulturarten beschränkten und außerdem nur die wirtschaftlichen Effekte auf Feldebene betrachteten (Griffin et al. 2018; Rösch et al. 2007, S. 89).¹⁸⁵ Die Wirkungen, die sich aus dem Zusammenspiel unterschiedlicher digitaler Anwendungen und Verfahren ergeben, wurden hingegen kaum beleuchtet; hier ist mit Synergieeffekten zu rechnen, die sich aus der »Mehrfachnutzung von Daten und Geräten« (Rösch et al. 2007, S. 89) ergeben können. Auch wurde bislang kaum – und wenn, dann primär in eher rudimentären Modellrechnungen (z. B. Rösch et al. 2007, S. 110 ff.; Shockley et al. 2011) – analysiert, wie sich die Implementierung

¹⁸⁵ Eine wichtige Ausnahme sind automatische Melksysteme (AMS) als Technologie des Precision Livestock Farming, deren ökonomischen Aspekte Gegenstand zahlreicher Studien sind (z. B. Trilk et al. 2005 u. 2006).



bestimmter digitaler Anwendungen auf die Wirtschaftlichkeit des Gesamtbetriebs auswirkt. Entsprechende Berechnungen sind schwierig durchzuführen, da dafür sämtliche Kosten, die mit dem Einsatz einer Technologie zusammenhängen (z. B. auch solche für die Datenerfassung und -verwaltung sowie für erforderliche Weiterbildungen), einbezogen werden müssen und die Effekte schwierig zu quantifizierende Aspekte umfassen (Auswirkungen auf die Qualität des betrieblichen Managements, der Arbeits- und Produktqualität, die erforderliche Einarbeitungszeit, den Zeitverlust durch Wartung und Konfiguration der Systeme etc.; Griffin et al. 2018, S. 225).

Es ist also vorerst festzuhalten, dass vorliegende Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen digitaler Agrartechnologien zumeist einen engen Blickwinkel haben, insofern sie vor allem auf Einzelanwendungen der Präzisionslandwirtschaft im Feldeinsatz fokussieren. Rösch et al. (2007, S. 90) stellen zudem fest, dass die Verallgemeinerbarkeit bzw. Übertragbarkeit dieser Studien stark eingeschränkt ist. Der Grund liegt darin, dass »für die Ergebnisse der betreffenden Untersuchungen die spezifischen Bedingungen vor Ort – etwa die Beschaffenheit der Flächen oder das regionale Klima und die im Untersuchungszeitraum herrschende Witterung – von entscheidender Bedeutung sind«. Hinzu kommt, dass die zugrunde gelegten Annahmen und relevanten Faktoren (Zinsansatz, Merkmale der eingesetzten Technologien, Standortbedingungen) häufig nicht ausreichend dokumentiert sind.

Aus all dem folgt, dass es auf Basis der Studienlage kaum möglich ist, die konkreten wirtschaftlichen Effekte eines Einsatzes exakt zu bestimmen – was u. a. einer der Gründe für die Zurückhaltung vieler Landwirt/innen sein dürfte, da diese von digitalen Agrartechnologien bei den entsprechenden Produktionsmaßnahmen bzw. -prozessen eine höhere Wirtschaftlichkeit voraussetzen bzw. erwarten (EIP-AGRI Focus Group 2015, S. 10f.). Zwar sind Kalkulatoren verfügbar, die den Return on Investment spezifischer PL-Technologien anhand typischer betrieblicher Merkmale (Feldgröße, eingesetzte Gerätschaften etc.) berechnen (z. B. der ROI-Rechner¹⁸⁶ von AGCO oder der deutlich elaboriertere »Guidance & Section Control Profit Calculator«¹⁸⁷ der Kansas State University). Diese Tools sind jedoch nicht in der Lage, die spezifischen Bedingungen vor Ort und die jeweiligen Nutzungspraktiken adäquat abzubilden, weshalb die Berechnungen mit Vorsicht zu verwenden sind (Dhuyvetter et al. 2016). Deshalb werden im Folgenden die verschiedenen Komponenten der einzelbetrieblichen Wirtschaftlichkeit nicht umfassend evaluiert, sondern für wichtige digitale Agrartechnologien – (automatische Melksysteme und Fütterungsanlagen, Parallelfahr- und automatische Lenksysteme, teilflächenspezifische Stickstoff-

186 <https://www.fusesmartfarming.com/de/roi-calculator/> (18.8.2021)

187 www.agmanager.info/guidance-section-control-profit-calculator (18.8.2021)



düngung [N-Sensor], Agrarroboter sowie Drohnen) – der Wissensstand zu Investitionsvolumen, Einsparpotenzialen und Wirtschaftlichkeitsschwellen grob zusammengefasst.

4.2.1.1 Automatische Melksysteme

Der wesentliche Bestandteil des automatischen Melksystems ist die sogenannte Melkbox mit Melkroboter, die jedoch »als integrierter Bestandteil eines ganzen Systems ›Automatisches Melken« zu betrachten ist und für optimale Arbeitsergebnisse eine »Integration in die jeweilige Stallsituation sowie in das Fütterungs- und Herdenmanagement« erfordert (KTBL 2013, S.22). Ursprünglich manuelle Arbeitsschritte (wie das Reinigen der Zitzen, das Ansetzen des Melkzeugs, die Kontrolle der Milch auf abnorme Merkmale, die Melkzeugabnahme und die hygienische Zitzenbehandlung nach dem Melken) sind bei AMS vollständig automatisiert (KTBL 2013). Dadurch kann die zum Melken einer Herde erforderliche Arbeitszeit erheblich reduziert werden. Die entsprechenden betriebswirtschaftlichen Effekte sind gut untersucht (zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 63):

- › Im Vergleich zum Einsatz eines konventionellen Melkstands ergibt sich mithilfe eines AMS eine durchschnittliche jährliche Arbeitszeiterparnis von 7,6 Arbeitskraftstunden (Akh) pro Tier und Jahr (KTBL 2013). Dies entspricht einer Arbeitszeiteinsparung gegenüber konventionellem Melken von rund 25 % (KTBL 2018, S.333). Werden neben dem automatischen Melksystem weitere Arbeitsvorgänge wie z.B. das automatische Heranschieben von Futter kombiniert, kann die Arbeitszeit weiter reduziert werden. Beispielsweise kann in einem Milchviehstall mit 60 Kühen durch die Automatisierung des Futternachschiebens die tägliche Arbeitszeit pro Stall um 35 Minuten reduziert werden. Dies entspricht 3,5 Akh pro Tier und Jahr (KTBL 2013). Hinzu kommen qualitative Arbeitserleichterungen wie die Entlastung von körperlich anspruchsvollen Arbeiten, die nicht zu unterschätzen sind, sich jedoch nicht beziffern lassen.
- › Zusätzlich zu den zeitlichen Einsparpotenzialen kann durch den Einsatz eines automatischen Melksystems auch die Milchleistung gesteigert werden. Eine höhere Milchleistung kann sich dadurch ergeben, dass die Tiere selbstständig über den ganzen Tag hinweg (24 h) das automatische Melksystem aufsuchen können und nicht wie in herkömmlichen Melksystemen auf zwei Melkzeiten beschränkt werden. Hierdurch sind im Schnitt bis zu 2,7 Gemelke pro Tag möglich und die Milchleistung kann um mehr als 5 % zunehmen (Trilk et al. 2005) – allerdings sind bei einer Erhöhung der Milchleistung steigende Fütterungskosten einzukalkulieren (Omelko/Schneeberger 2005).



Laut KTBL (2018, S. 333) sind in Deutschland 50 bis 70 % aller neu installierten Melkanlagen AMS. Aktuellere Erhebungen deuten aber darauf hin (Kap. 4.1.2), dass die regionale Verbreitung noch eher gering ist und 20 % der Milchviehbetriebe nicht übersteigen dürfte. Die noch eher bescheidene Nutzung dürfte damit zusammenhängen, dass mit der Anschaffung von AMS hohe Kosten verbunden sind.¹⁸⁸ Die Anschaffungskosten für ein automatisches Melksystem umfassen laut KTBL (2018, S. 336) für eine Einzelbox 140.000 Euro; der Auslastungsgrad einer einzelnen Melkbox liegt bei rund 70 Kühen.¹⁸⁹ Werden weitere Kühe im Betrieb gehalten, wird die Anschaffung einer zusätzlichen Melkbox notwendig. Die Anschaffungskosten für zwei Einzelboxen, um Herden mit bis zu 140 Kühen zu melken, betragen 203.000 Euro.

Durch die höheren Investitions- und Unterhaltskosten weisen AMS gegenüber konventionellen Melkanlagen einen Kostennachteil auf, der auf ca. 0,01 bis 0,02 Euro/kg Milch geschätzt wird (Harms/Wendl 2012; Trilk et al. 2005). Eine wirtschaftliche Nutzung von AMS hängt damit vor allem von der Frage ab, ob die Zusatzkosten durch Erlöse aufgrund steigender Milchleistung sowie eingesparte Arbeitskosten (bzw. neue Erträge durch einen alternativen Einsatz der Arbeitskraft – Ak) ausgeglichen bzw. übertroffen werden. Da die Steigerung der Milchleistung kaum ins Gewicht fällt (Trilk et al. 2005, S. 267), scheint vor allem eine optimale Auslastung zentral – die Wirtschaftlichkeitsschwelle für AMS ist deshalb bei ca. 60 bis 70 Kühen anzusetzen (Harms/Wendl 2012).

Pommer et al. (2013, S. 20 ff.) haben, bezogen auf die Gegebenheiten in Sachsen, eine umfangreiche betriebswirtschaftliche Betrachtung von AMS veröffentlicht. Unterschieden wird bei der Kostenbetrachtung zwischen kleinen (70 Tiere), mittleren (140 Tiere) und großen (700 Tiere) Melkanlagen. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Wirtschaftlichkeit großer Anlagen unter den aktuellen Bedingungen in Sachsen fraglich ist, da hier neben höheren investitionsabhängigen Kosten auch mit höherem Unterhaltungsaufwand und höherem Stromverbrauch je Produkteinheit zu rechnen ist. Diese zusätzlichen Kosten werden laut Pommer et al. (2013) erst ab einem Lohnniveau von 20 Euro pro Stunde durch die erzielten Arbeitszeiteinsparungen aufgewogen. Kleine

188 Weitere wichtige Gründe sind: 1. Investitionen in einen Melkstand sind langfristige Investitionen, die erst nach der Abschreibung des vorhandenen Melkstandes getätigt werden. Deshalb steht die Investitionsentscheidung zu einem AMS in jedem Jahr nur für eine begrenzte Zahl von Milchviehbetrieben an. 2. Für AMS wird ein Laufstall benötigt, in dem sich die Tiere (im Unterschied zur Anbindehaltung) frei bewegen können. Wenn dieser nicht vorhanden ist, muss zusätzlich über die Investition einen Stallneubau entschieden werden, was die Kosten entsprechend massiv erhöht.

189 Milchviehbetriebe umfassen in Deutschland derzeit durchschnittlich 65 Kühe. Dabei ist jedoch zwischen den Bundesländern eine große Spannweite festzustellen: In Süddeutschland liegt die Zahl deutlich darunter, in den östlichen Bundesländern deutlich darüber (<https://www.milchtrends.de/daten/milchproduktion/herdengroessenstrukturen/>; 26.2.2020).



Anlagen hingegen können wirtschaftlicher sein als konventionelle Melkanlagen, sofern sie ausgelastet sind. Darauf hingewiesen wird, dass »bei Investitionsplanungen [...] immer eine einzelbetriebliche Betrachtung durchgeführt werden« muss und die tatsächlichen Kosten »in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung« erheblich von den kalkulierten Werten abweichen könnten (Pommer et al. 2013, S.24).

4.2.1.2 Automatische Fütterungssysteme für Milchviehbetriebe

Wie das automatische Melken erfreut sich auch das automatische Füttern in der Milchviehhaltung wachsender Beliebtheit. Zu unterscheiden ist dabei zwischen automatischen Fütterungssystemen für die Grundfütterung und Kraftfutterstationen für die tierindividuelle Versorgung mit Spezialfutter (eigenständig oder in AMS integriert).

Automatische Fütterungssysteme für die Grundfütterung lassen sich verschiedenen Automatisierungsstufen¹⁹⁰ zuordnen, wobei vom Grad der Automatisierung die realisierbaren Arbeitszeiteinsparungen abhängen. Laut Haidn und Lechner (2017) betragen die Einspareffekte einer automatischen Fütterungsanlage der Stufe II (gegenüber einer herkömmlichen Fütterung mittels Futtermischwagen) bei einer Herde von 50 Kühen 2 bis 4 AKh/Kuh und Jahr; je größer der Kuhbestand ist, desto größer fällt auch die relative Zeitersparnis je Kuh aus. Der Kapitalbedarf und die Investitionskosten wiederum variieren stark je nach Ausführung, Stallgrundriss und Bestandsgröße und entsprechen von der Größenordnung her etwa denen für ein AMS. Haidn und Lechner (2017, S.48f.) zufolge beträgt der durchschnittliche Kapitalbedarf für 80 Kühe 172.000 Euro; für 160 Kühe steigt er auf ca. 220.000 Euro und für 240 Kühe auf ungefähr 250.000 Euro. Unter Umständen kommen Kosten für die Erweiterung der Futterhalle hinzu, die näherungsweise auf etwa 30.000 bis 50.000 Euro beziffert werden (Haidn/Leicher 2017). Rechnet man die spezifischen Jahreskosten für Arbeit, Energie, Wartung und Reparaturen, Zinsansatz für Technik sowie die Abschreibung zusammen, ergibt sich eine jährliche Kostenbelastung je Kuh von 263 Euro bei 80 Kühen und 144 Euro bei 240 Kühen (Haidn/Leicher 2017, S.49).¹⁹¹

Trotz dieser beträchtlichen Kosten kommen Recke und Strüve (2015) zu dem Schluss, dass der Einsatz eines »Lely Vector« (vollautomatisches Fütterungssystem der Stufe III) für einen Familienbetrieb mit 210 Tieren deutlich

190 Stufe I: automatisch Futter vorlegen; Stufe II: automatisch Futter mischen und vorlegen; Stufe III: vollautomatisch Füttern inklusive Futtertransport vom Silo bis zum Trog (Haidn/Leicher 2017, S. 47)

191 Bei einer jährlichen Milchleistung von 8.000 kg/Kuh entspricht dies 3,3 bis 1,8 Euro-cent/kg Milch bei 80 bzw. 240 Kühen (Haidn/Leicher 2017).



wirtschaftlicher sein kann als das herkömmliche Fütterungsverfahren mit Futtermischwagen: Jährlichen Durchschnittskosten von ca. 35.000 Euro für den Betrieb des automatischen Fütterungssystems stehen ihren Berechnungen zufolge ca. 49.500 Euro für den Futtermischwagen gegenüber.¹⁹² Bestimmende Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit sind, neben Kapitalbedarf und Investitionskosten, vor allem die Anzahl der Tiere und der Zeitbedarf für die Fütterung sowie die Arbeitskosten pro Stunde. Im Endeffekt hängt die Wirtschaftlichkeit stark von betriebsindividuellen Aspekten ab (etwa dem bestehenden Grad der Mechanisierung und der Arbeitsorganisation). Aufgrund der erheblichen Investitionskosten ist jedoch davon auszugehen, dass automatische Fütterungssysteme ebenso wie AMS nur für Betriebe ab einer bestimmten Größe lohnenswert sind. Konkrete Angaben zu Wirtschaftlichkeitsschwellen waren in der Literatur nicht auffindbar.

Deutlich kostengünstiger als komplexe Fütterungsanlagen, die den gesamten Fütterungsprozess automatisieren, fallen Kraftfutterstationen für die tierindividuelle Fütterung aus. Die Kühe können die Station(en) im Laufstall freiwillig aufsuchen, werden über ein Transpondersystem eindeutig identifiziert und können – wenn in dem Moment zulässig – die für sie vorgesehene Ration abrufen (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 54 f.). Eine Verzehrskontrolle, die eventuell übrig gebliebenes Futter registriert, kann ebenfalls integriert werden; die entsprechend erfassten Daten werden dann digital zurückübertragen. Einfachstationen wie der »CowMaster«¹⁹³ (für ca. 40 Tiere) sind nach Herstellerangaben¹⁹⁴ mit einer Futterart ab 3.700 Euro erhältlich, Doppelstationen (für die doppelte Kuhanzahl) für ca. 5.600 Euro.¹⁹⁵ Zur Steuerung der Anlage wird zusätzlich ein Industrierechner »Touch« zu einem Preis von rund 2.700 Euro benötigt, sodass die Anschaffungskosten für die Grundversion in etwa 6.400 Euro betragen.¹⁹⁶ Dieser Rechner kann für die Steuerung von bis zu 40 Stationen genutzt werden. Die Kosten für eine ähnliche Kraftfutterstation, die Abruffütterung »Compident-Cow«¹⁹⁷ der Firma Schauer, belaufen sich auf rund 7.700 Euro. Enthalten sind hier alle notwendigen Bauteile von der Station, über die Ohrmarken bis hin zur Computersteuerung der Station (Angaben des Herstellers).

192 Zugrunde gelegt wurden dabei ein Kapitalbedarf in Höhe von 150.000 Euro, ein Lohnansatz von 15 Euro/Stunde und eine Nutzungsdauer von 15 Jahren (Recke/Strüve 2015).

193 <https://wasserbauer.at/default-title/cowmaster> (18.8.2021)

194 Persönliche Nachricht vom 2.8.2021

195 Dabei ist jedoch immer betriebsindividuell zu beachten, welche Fütterungsstrategie und welches Melksystem angewendet wird. In Abhängigkeit davon kann die Anzahl der Kühe, die pro Automaten versorgt werden kann, stark variieren.

196 Die Kosten für die Steuereinheiten, um weitere Futterarten über den Automaten zu verfüttern, belaufen sich für jede weitere Futterart auf 500 Euro.

197 <https://www.schauer-agrotronic.com/rinderstall/rinderfuetterung/compident-cow-abruffuetterung> (18.8.2021)



Neben diesen eigenständigen Kraftfutterstationen sind auch Stationen verfügbar, die in die Melkanlage, insbesondere in AMS und Melkroboter, integriert sind (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 55). Während die in AMS integrierten Systeme ihre Wirtschaftlichkeitsschwelle zusammen mit den AMS bei ca. 60 bis 70 Kühen erreichen, sind die hier beschriebenen Kraftfutterstationen bei einfacher Auslegung auch bei kleineren Bestandsgrößen (30 bis 40 Kühe) wirtschaftlich einsetzbar.

4.2.1.3 Automatische Lenk- und Parallelfahrssysteme

Bei der Nutzung von intelligenten Landmaschinen haben sich in den vergangenen Jahren automatische Lenksysteme und Parallelfahrssysteme¹⁹⁸ (TAB 2021, Kap. 3.1.2) fest etabliert. Ihre ökonomischen Effekte sind entsprechend gut untersucht (Lowenberg-DeBoer 2018), und in fast allen Studien wird herausgestrichen, dass positive wirtschaftliche Effekte erzielbar sind. Einsparpotenziale ergeben sich durch die genauere Steuerung der Maschine über den Ackerschlag (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 53). Dadurch lassen sich Überlappungen reduzieren und so insbesondere Arbeitszeit und Betriebsmittel einsparen. Hinzu kommen qualitative Vorteile wie »Arbeitsentlastung, höhere Arbeitsqualität und Ausdehnung der Arbeitszeit in die Nacht« (Gandorfer et al. 2017a, S. 15). Beim Einsatz von Parallelfahrssystemen werden zudem immer die gleichen Fahrgassen genutzt, wodurch Bodenverdichtungen verringert werden und Mehrerträge entstehen können (Bommes 2009; Kap. 3.2.1)

Der Literatur ist zu entnehmen, dass sich durch Lenkautomaten im Schnitt 2 bis 5 % der Überlappungen reduzieren lassen, die ohne Lenkhilfe entstanden wären (Doluschitz/Gindele 2019, S. 52; Kral et al. 2017; Lopotz 2013; Reckleben 2015).¹⁹⁹ Daraus resultieren Einsparungen bei Betriebsmitteln und Arbeitszeit. Durch eine optimierte Routenplanung können zusätzlich Arbeitszeitkosten und Kraftstoffverbrauch gegenüber Random Traffic Farming um 10 bis 20 % reduziert werden (Sørensen et al. 2017).²⁰⁰ Außerdem zeigen Untersuchungen sowie Modellrechnungen, dass mittels Parallelfahrssystemen Mehrerträge von 5 % bis rund 10 % möglich sind (Alvemar et al. 2017; Jensen et al. 2012).

Wie hoch die tatsächlich realisierbaren Einsparpotenziale ausfallen, hängt zum einen ab vom Automatisierungsgrad sowie der Arbeitsbreite des eingesetzten Geräts, zum anderen aber auch von der Produktionsintensität, der Anbaukultur/Fruchtfolge, der Schlaggröße und -form sowie der Fahrgenauigkeit ohne

198 Bei Controlled Traffic Farming (CTF) in Australien, wo es eine breite Anwendung findet, nutzen Landmaschinen über Jahre hinweg dieselben Fahrgassen für alle Arbeitsgänge, werden spezielle Landmaschinen mit großer Spurweite eingesetzt und die Fahrspuren bleiben unbestellt.

199 Zu den Reduktionspotenzialen von CTF und automatischen Lenksystemen ausführlich Kapitel 3.2.1.

200 Zu weiteren Reduktionspotenzialen Gasso et al. (2013) sowie Kapitel 3.2.1.



Lenkunterstützung. Eine allgemeine Bezifferung ist somit nicht möglich. Faustzahlen zur Bandbreite der potenziellen Kosteneinsparungen²⁰¹ und erforderlichen Investitionssummen finden sich in KTBL (2018 S. 253 ff.); Beschreibungen der verschiedenen Lenksysteme in TAB (2021, Kap. 3.1.2):

- *Lenkhilfe* (jeweils für Traktor; Nutzung auf mehreren Fahrzeugen möglich): Anschaffungspreis 2.000 Euro; potenzielle Gesamteinsparungen (von Betriebsmitteln und variablen Arbeitserledigungskosten) in Höhe von 13,40 bis 19,60 Euro/ha (je nach Arbeitsbreite²⁰²).
- *Lenkassistent* (Nutzung auf mehreren Fahrzeugen möglich): Anschaffungspreis 7.500 Euro; potenzielle Gesamteinsparungen in Höhe von 17,50 bis 19,50 Euro/ha (je nach Arbeitsbreite).
- *Lenkautomat* mit RTK-Korrektursignal (direkter Eingriff in die Lenkhydraulik; Nutzung auf nur einem Fahrzeug): Anschaffungspreis 17.500 Euro, ggf. Zusatzkosten für das Korrektursignal in Höhe von 600 bis 900 Euro/Jahr (je nach Bundesland); potenzielle Gesamteinsparungen in Höhe von 33,70 bis 37,00 Euro/ha (je nach Arbeitsbreite).

Aufgrund der relativ großen Bandbreite möglicher Einspareffekte sind Break-even-Analysen mit Unsicherheiten behaftet. Gandorfer et al. (2017b) legen bei Lenkautomaten einen Einspareffekt von 30 Euro/ha zugrunde (durch reduzierte Kosten für Betriebsmittel und Arbeitszeit, angelehnt an Frank et al. 2008²⁰³) und ermitteln, bezogen auf die Einsatzfläche, eine Wirtschaftlichkeitswelle von 115 ha bei kostenpflichtigem Korrektursignal und von 95 ha, falls keine Kosten für das Korrektursignal anfallen (Abb. 4.1).²⁰⁴

Rund 30 % der Ackerbaubetriebe in Deutschland weisen derzeit eine Flächenausstattung von weniger als 100 ha auf (TAB 2019, S. 38 u. 47). Damit zeigt sich zum einen, dass ein maßgeblicher Anteil der Betriebe nicht die erforderliche Größe erreicht, um selbst längst etablierte PL-Technologien wie Parallelfahrssysteme wirtschaftlich einsetzen zu können. Zum anderen wird aber auch deutlich, dass schon kleinere politische Maßnahmen wie die Freischaltung des

201 Zugrunde gelegt wurde der Berechnung der Einsparpotenziale eine Fruchtfolge von 36 % Winterweizen mit Pflug, 36 % Winterweizen mit nicht wendender Bodenbearbeitung, 18 % Zuckerrüben und 10 % Speisekartoffeln (KTBL 2018, S. 254).

202 Die Reduktionspotenziale fallen umso niedriger aus, je größer die Arbeitsbreite ist, da eine große Arbeitsbreite die Anzahl der Arbeitsgänge reduziert.

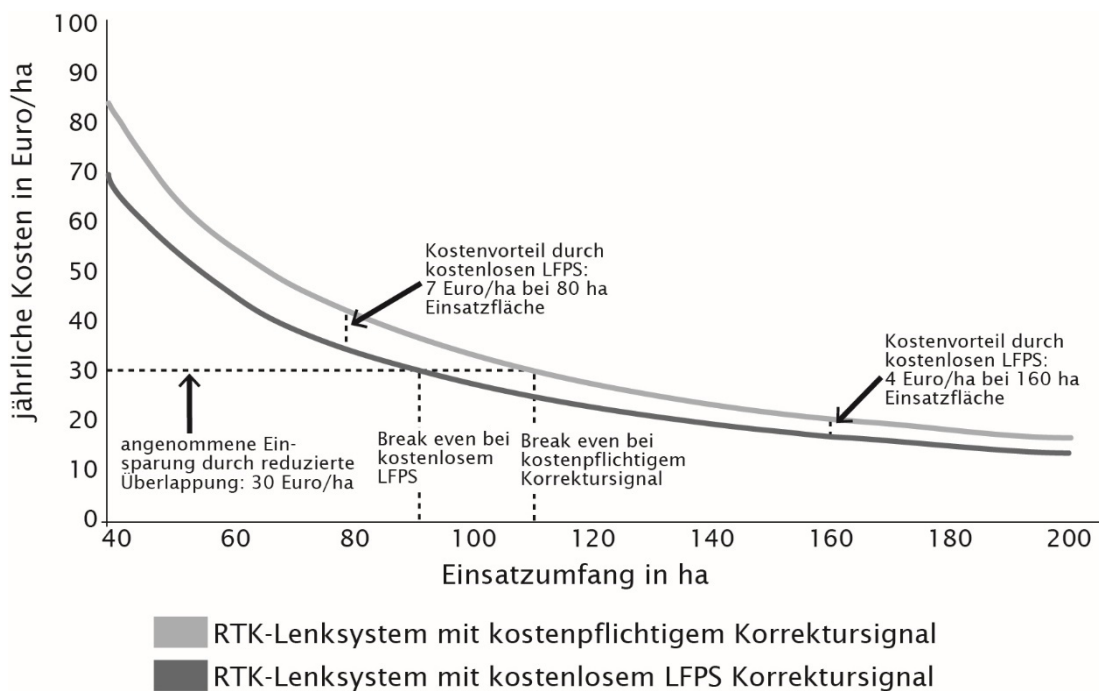
203 Zugrunde gelegt wurde dabei die Annahme, dass ohne Parallelfahrssystem bei jedem Arbeitsgang eine Überlappung von 5 % gegeben ist, die entsprechend der Genauigkeit des Lenksystems reduziert wird (Frank et al. 2008).

204 Der Berechnung liegen folgende Annahmen zugrunde: ein Kapitalbedarf von 17.000 Euro, jährliche Ausgaben für Wartung/Updates etc. von 340 Euro sowie eine Nutzungsdauer von 8 Jahren und ein Zinsansatz von 3 %. Die Kosten für das Korrektursignal werden mit 600 Euro angesetzt. Daraus ergeben sich jährliche Maschinenkosten von 3.362 Euro für ein RTK-Lenksystem mit kostenpflichtigem Korrektursignal und von 2.779 Euro für eines mit kostenlosem Korrektursignal.



RTK-Korrektursignals deutliche Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit haben können, die vor allem kleineren Betrieben zugutekommen. Wie Abbildung 4.1 zeigt, belaufen sich die Kostenvorteile durch Freigabe des Korrektursignals auf 7 Euro/ha bei 80 ha Einsatzfläche – gegenüber 4 Euro/ha bei 160 ha Einsatzfläche.

Abb. 4.1 Break-even-Analyse RTK-Lenksystem



Quelle: nach Gandorfer et al. 2017b

4.2.1.4 Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung mittels N-Sensoren

Im Vergleich zu Parallelfahrssystemen und automatischen Lenksystemen sind die ökonomischen Effekte von teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsverfahren weniger eindeutig, teils sogar widersprüchlich (Lowenberg-DeBoer 2018, S. 11 ff.). Wie die Literatur zeigt, ist der potenziell realisierbare Nutzen nicht nur abhängig vom Bewirtschaftungsschritt – Düngung, Pflanzenschutz, Bodenbearbeitung oder Aussaat –, sondern scheint darüber hinaus großen Schwankungen zu unterliegen (Rösch et al. 2007, S. 101 ff.). Die Variabilität in den Untersuchungsergebnissen ist darauf zurückzuführen, dass externe Faktoren wie Witterungs- oder Standortbedingungen die erzielbaren Erträge und Betriebsmitteleinsparungen stark beeinflussen können – im Ergebnis sind die spezifischen Effekte der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung somit kaum generalisierbar (Doluschitz/Gindele 2019, S. 51). Eine wichtige Rolle spielt dabei auch



die vergleichsweise große Komplexität der Technik, die nicht nur den Lernbedarf, sondern auch das Fehlerrisiko erhöht. Anders als z. B. satellitengestützte Lenksysteme beruht die Teilflächenbewirtschaftung auf einem anspruchsvollen zweistufigen Verfahren, das die Ermittlung der Standortheterogenität und die Umsetzung darauf basierender Maßnahmen umfasst (Gandorfer et al. 2011, S. 36). Mit dem Mappingansatz – auch als Offlineverfahren bezeichnet – und dem Sensoransatz (Onlineverfahren) stehen dafür verschiedene Herangehensweisen zur Verfügung, die sich hinsichtlich ihrer Anwendungskomplexität unterscheiden (TAB 2021, Kap. 2.1.4).

Zu den etabliertesten und auch relativ gut untersuchten teilflächenspezifischen Anwendungen gehört die Stickstoffdüngung mittels N-Sensorsystem (TAB 2021, Kap. 2.2.2), die eine weitgehend automatisierte Maßnahmenumsetzung in Echtzeit ermöglicht – deren wirtschaftliche Aspekte sollen im Folgenden genauer betrachtet werden. Verschiedene Sensoren können dafür verwendet werden, wobei der Yara-N-Sensor das wohl am häufigsten genutzte System ist. Das KTBL (2018, S. 250) schätzt, dass sich 2016 in Deutschland ca. 420 Yara-N-Sensoren im Einsatz befanden.²⁰⁵ Das Investitionsvolumen für die am Markt verfügbaren Systeme weist eine große Spannweite auf: Wagner (2012) nennt Anschaffungskosten von ca. 26.000 Euro für den »GreenSeeker« (inklusive 4 Sensoren, Gestänge, Elektronik, Bedienterminal und GNSS-Antenne) sowie den Yara-N-Sensor, von knapp 22.000 Euro für den »CropSensor« von CLAAS (einschließlich Frontanbauadapter und ISOBUS-fähigem Terminal) und von 19.500 Euro für den Sensor »ISARIA« von Fritzmeier.²⁰⁶ Deutlich teurer ist der Yara-N-Sensor »ALS«, der mit einer eigenen Lichtquelle ausgestattet ist; dessen Kosten beliefen sich 2012 auf knapp 39.000 Euro (Wagner 2012). Allerdings sollen die Herstellungskosten der neuen Generation des Yara-N-Sensors »ALS«, die Ende 2018 auf den Markt kam, um ca. 6.000 Euro gesunken sein (Deter 2018c), sodass auch mit einem niedrigeren Anschaffungspreis zu rechnen ist.

Ausgehend von teils überholten Anschaffungskosten in Höhe von 26.000 Euro für den Yara-N-Sensor bzw. 39.700 Euro für den Yara-N-Sensor »ALS« belaufen sich die jährlichen Maschinenkosten²⁰⁷ laut Wagner (2012) auf 5.707,76 Euro für den Yara-N-Sensor und 8.533,66 Euro für den Yara-N-Sensor »ALS«. Bei einem Einsatzumfang von 250 ha entspricht dies Kosten von 23 Euro/ha für den Yara-N-Sensor, die sich bei einer Verdopplung der Einsatzfläche auf 11,50 Euro reduzieren. Damit der Einsatz wirtschaftlich ist, müssen

205 Laut Schätzungen von Reckleben (2014) wurden in Deutschland 2014 insgesamt ca. 700 Sensorsysteme für die Düngung eingesetzt.

206 Vgl. dazu die etwas abweichenden Kostenangaben von Reckleben (2014), der allerdings nur die Grundausstattungen berücksichtigt.

207 Zugrunde gelegt ist dieser Berechnung eine Abschreibungsdauer von 6 Jahren, ein Zinsansatz von 6 % sowie jährliche Kosten für Reparatur und Wartung in Höhe von 400 Euro für den Yara-N-Sensor bzw. 450 Euro für den Yara-N-Sensor »ALS«.



diese Kosten durch die per ha erzielbaren Düngereinsparungen und Mehrerträge mindestens kompensiert werden. Ins Kalkül zu ziehen sind, so Wagner (2012), außerdem weitere potenzielle Zusatznutzen des Sensoreinsatzes wie gleichmäßigere Bestände oder eine erhöhte Qualität des Ernteguts.

Jedoch ist es aus den zuvor genannten Gründen kaum möglich, diese Potenziale exakt zu beziffern. Feldversuche und Modellrechnungen, die im Lauf der Jahre durchgeführt wurden, zeichnen insgesamt zwar ein positives Bild. So sind im Schnitt bis zu 5 % höhere Erträge und ein um bis zu 10 % verringerter Stickstoffdüngeraufwand erwartbar (zu konkreten Versuchsergebnissen Kap. 3.2.1). Allerdings werden diese Zahlen nicht in allen Feld- und On-Farm-Versuchen bestätigt. So schnitt beispielsweise in Feldversuchen, die zwischen 2005 und 2008 auf insgesamt elf Schlägen (Winterweizen) in Sachsen-Anhalt durchgeführt wurden, die N-Sensor-Düngung nicht eindeutig besser ab als die einheitliche, betriebsübliche Düngung (Wagner 2010; Wagner 2012).

Aufgrund zum Teil widersprüchlicher Resultate sowie Unsicherheiten hinsichtlich der Verallgemeinerbarkeit von Versuchsergebnissen ist es schwierig, konkrete Wirtschaftlichkeitsschwellen für den N-Sensor anzugeben. Laut Hersteller ist der Einsatz ab einer Getreidefläche von 100 ha wirtschaftlich – eine nähere Begründung für diese Zahl fehlt jedoch (agricon o. J.). Reckleben (2014) wiederum empfiehlt eine Mindesteinsatzfläche von 300 bis 400 ha, während Wagner (2012) darauf hinweist, dass die ökonomische Vorteilhaftigkeit letztlich nur von jedem Landwirt selbst durch Versuche auf dem eigenen Acker sicher zu ermitteln ist. Von Bedeutung ist dabei eine mehr oder weniger ausgeprägte Standortheterogenität, ohne die eine variable Stickstoffgabe ökonomisch in den meisten Fällen keine Vorteile gegenüber der Stickstoffdüngung nach Durchschnittswerten bringt (Dillon/Kusunose 2013; Rösch et al. 2007, S. 90 f.). Aber auch die Managementkapazitäten der Landwirtin/des Landwirts spielen eine wichtige Rolle, da es einige Erfahrung braucht, um die Sensoren richtig zu kalibrieren (Reckleben 2014a, S. 44).

4.2.1.5 Agrarroboter in der Pflanzenproduktion

Roboter für die Pflanzenproduktion befinden sich für unterschiedliche Anwendungszwecke in Entwicklung und vereinzelt schon auf dem Markt (TAB 2021, Kap. 5.2). Beispiele sind Systeme zur mechanischen Unkrautbekämpfung, zur Obsternte, zum autonomen Weidemanagement oder zur autonomen Bodenbearbeitung. Denkbar ist – je nach Anwendungsgebiet – sowohl der Einsatz als Einzelfahrzeug als auch als Schwarmverband. In beiden Fällen besteht die angestrebte, derzeit aber im Hinblick auf eine breite landwirtschaftliche Nutzung noch weitgehend visionäre Kernfunktionalität in der vollautonomen Durchführung landwirtschaftlicher Prozesse (ggf. rund um die Uhr), wodurch Arbeitskosten eingespart werden können.



Aufgrund des breiten Anwendungsspektrums und des frühen Entwicklungsstadiums der Agrarrobotik – fast alle Konzepte liegen derzeit maximal als Prototyp vor, Marktreife ist in der Regel also noch nicht gegeben (TAB 2021, Kap. 5.2) – sind zum jetzigen Zeitpunkt Aussagen zu zukünftigen Investitionskosten sowie zur Wirtschaftlichkeit mit großen Unsicherheiten versehen. Grundsätzlich wird unterstellt, dass die Robotik eine Chance bietet, den lang anhaltenden Trend zu immer größeren und schwereren Landmaschinen zu stoppen, indem die Arbeitserledigung auf viele kleinere Maschinen verteilt wird (Herlitzius 2018; Lowenberg-DeBoer 2018; Pedersen et al. 2006). Dies bietet sich vor allem für Arbeitsschritte wie die Aussaat oder die Unkrautbeseitigung an, bei denen keine größeren Lasten zu bewegen sind. Da die Arbeiten auf kleinere Einheiten (zu geringeren Kosten) verteilt werden, sinkt die Wirtschaftlichkeitsschwelle des Maschineneinsatzes (vorausgesetzt, die Agrarroboter vermögen die herkömmliche Landmaschine vollumfänglich zu ersetzen). Vorteile für große Betriebe bleiben trotzdem teilweise bestehen, weil bei dem Kauf einer größeren Anzahl von Agrarrobotern ein günstigerer Stückpreis erwartet werden kann als beim Kauf eines Einzelgeräts. Derzeit kostet etwa der Hackroboter »OZ«²⁰⁸ des französischen Herstellers Naïo Technologies, der zu den ersten autonomen Unkrautrobotern auf dem Markt gehört und in Deutschland durch BayWa vertrieben wird, ca. 25.000 Euro (Barbière 2020). Es ist damit zu rechnen, dass sich die Stückkosten für landwirtschaftliche Robotiklösungen im Zuge der weiteren technischen Entwicklung noch signifikant reduzieren werden (de Witte 2019). Die Umstellung auf autonome Kleintechnik bietet außerdem die Chance, Agrarprozesse insgesamt umweltschonender zu organisieren (z.B. Gaus et al. 2017; Wegener et al. 2017). Hierzu gibt es aber noch erheblichen Forschungsbedarf.

Aus den genannten Gründen sind Wirtschaftlichkeitsanalysen zur Agrarrobotik (insbesondere im Vergleich zu herkömmlichen Landmaschinen) grundsätzlich mit großen Unsicherheiten behaftet. Die wenigen vorliegenden Untersuchungen basieren auf ersten konzeptionellen Überlegungen und beschränken sich meist auf Teilaspekte der Wirtschaftlichkeitsberechnung oder Teilanwendungen. So haben Gaus et al. (2017, S. 83 ff.) die Betriebskosten für das mechanische Unkrautjäten im Roboterschwarm für einen Modellbetrieb kalkuliert. Auch wenn noch nicht alle Parameter des Einsatzszenarios bekannt sind, könnte der Roboterschwarm nach ihrer Berechnung unter Umständen eine sinnvolle Alternative zu herkömmlichen Lösungen darstellen. Eine Schlussfolgerung der Autoren lautet, dass die Wirtschaftlichkeit der Kleintechnik stark von der Auslastung der Maschinen abhängt (Gaus et al. 2017, S. 92). Vorteilhaft sind deshalb (z. B. modulare) Maschinenkonzepte, die in mehreren Verfahren eingesetzt werden können, da sich dadurch die Einsatzkosten senken lassen. Zu

208 <https://www.aebisuisse.ch/de/agrar/produkte/hackroboter> (18.8.2021)



ähnlichen Schlussfolgerungen kommen Hägele et al. (2011, S. 140 ff.), die ein Roboterkonzept für die Gemüseernte entwickelt und in wirtschaftlicher Hinsicht analysiert haben. Die betrachteten Robotervarianten stellen demzufolge »eine ernstzunehmende Alternative zum konventionellen Gemüseanbau« dar (Hägele et al. 2011, S. 162), wobei vor allem die deutliche Reduktion der Arbeitskosten gegenüber der manuellen Ernte ins Gewicht fällt.

Die wirtschaftlichen Perspektiven autonomer Kleinmaschinen wurden von de Witte (2019) untersucht. Einander gegenübergestellt wurden dabei die überschlägigen Kosten (für Kapital, Diesel, Lohn und Reparaturen), wie sie für die Arbeitsverfahren Mähdrusch und Stoppelgrubbern jeweils beim Einsatz von Groß- und Kleinmaschinen anfallen. Abzüglich der kalkulierten Lohnkosten lässt sich daraus näherungsweise die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit autonomer Kleintechnik ableiten (im Vergleich zur Arbeitserledigung mittels größerer Landmaschinen). Im Ergebnis zeigt sich, dass die Wirtschaftlichkeit autonomer Kleinmaschinen gegenüber Großmaschinen stark vom Arbeitsverfahren abhängen könnte. Für Verfahren mit hohen Lohnkostenanteilen wie dem Grubbern könnte sich der Einsatz mehrerer Kleinmaschinen als wettbewerbsfähig erweisen, während bei kapitalintensiveren Arbeitsschritten mit geringem Lohnkostenanteil wie Mähdrusch größere Einzelmaschinen voraussichtlich weiter konkurrenzlos bleiben dürften. Dieses Resultat gilt jedoch nur für Maschinenkonzepte, wie sie in bestehenden Pflanzenbausystemen verwendet werden.

Nicht berücksichtigt wurden von de Witte (2019) die möglichen pflanzenbaulichen Vorteile und positiven wirtschaftlichen Effekte (z. B. Ertragspotenziale durch verbesserte Ausnutzung natürlicher Ressourcen) einer Neuorganisation der Anbauverfahren – mit stärkerer Orientierung an den Bedürfnissen der Einzelpflanzen (Wegener et al. 2017) –, wie sie insbesondere durch die Entwicklung autonomer Kleinmaschinen befördert werden könnte. Die dafür benötigten robotischen Systeme sowie dazu passende Managementverfahren sind derzeit noch Gegenstand der Grundlagenforschung (TAB 2021, Kap. 5.3).

4.2.1.6 Drohnen

Drohnen lassen sich mit unterschiedlicher Sensorik bestücken und können damit verschiedene Aufgaben in der Landwirtschaft durchführen oder unterstützen (Bernhardt et al. 2017, S. 11 ff.; Doluschitz/Gindele 2019, S. 64 f.). Einsatzgebiete sind das Monitoring von Agrarflächen, das Erstellen von Applikationskarten und die Wildtierdetektion, aber auch das Ausbringen von Dünger oder Pflanzenschutzmitteln wird angestrebt (TAB 2021, Kap. 4). Die vielfältigen Anwendungsfelder bedeuten, dass die wirtschaftlichen Aspekte entsprechend differenziert zu bewerten sind. Da die landwirtschaftliche Drohnennutzung noch am Anfang steht (Kap. 4.1.2), wurden deren ökonomische Wirkungen – hier gibt es klare Parallelen zur Agrarrobotik – bislang kaum systematisch untersucht.



Ein wichtiger Unterschied zur Agrarrobotik ist allerdings darin zu sehen, dass es sich bei Drohnen in der Regel um reine Trägersysteme handelt, deren Anwendungsgebiet nicht auf die Landwirtschaft beschränkt ist. Die zivile Drohnentechnologie wird von der Privatwirtschaft bereits seit vielen Jahren umfassend vorangetrieben, vielfältige Drohnensysteme sind bereits am Markt verfügbar (Bernhardt et al. 2017, S. VI ff.). Hardwaretechnisch sind die Systeme also – anders als Agrarroboter – weitgehend ausgereift, sodass kommerzielle Drohnensysteme schon für relativ wenig Geld zu haben sind. Der konkrete Investitionsaufwand hängt jedoch davon ab, für welche Bauform und Größe man sich entscheidet und welches Zusatzequipment (insbesondere Sensorausstattung) erforderlich ist. Die günstigsten professionellen Drohnensysteme sind bereits für wenige Tausend Euro erhältlich (Spalević et al. 2018). Eine Drohne für die Wildtierrettung, ausgestattet mit je einer professionellen Echtfarb- und Wärmebildkamera, kostet inklusive erforderlicher Zusatzausrüstung (Rekorder, Stativ, Funkempfänger etc.) bereits um die 15.000 Euro (Böhrnsen 2017). Die in Amerika u. a. für Düngemittel- und Pestizidanwendungen entwickelte Agrardrohne »Agronator«, die über eine Tragekapazität von ca. 30 kg verfügt und als eine der größten Oktokopterdrohnen der Welt gilt (Cornelius 2018), liegt preislich hingegen weit darüber und kostet ca. 80.000 bis 95.000 Euro (Bernhardt et al. 2017, S. 64).²⁰⁹

Aufgrund der – je nach Anwendungsszenario – relativ hohen Investitionssummen bietet es sich für Landwirt/innen unter Umständen an, die Drohne im Rahmen einer Kooperation (Verein, Maschinenring etc.) anzuschaffen oder direkt auf einen externen Dienstleister zurückzugreifen. Es gibt inzwischen zahlreiche Anbieter, die landwirtschaftliche Drohnenleistungen wie die Kartierung von Schäden, das Monitoring von Grünflächen oder die Wildtierrettung übernehmen (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 66). Der ehrenamtliche Verein Rettung Hegau-Bodensee bietet z. B. einen kostenlosen Drohneneinsatz zur Kitzrettung an (Manzini 2017). Bei kostenpflichtigen Anbietern werden die Preise meist nach Größe der zu überfliegenden Fläche gestaffelt. Beim Anbieter El-Kopter²¹⁰ beispielsweise fallen bei der Kitzrettung für die ersten 10 ha 150 Euro an, für weitere 10 ha müssen 100 Euro bezahlt werden (Natürlich Jagd 2017).

Welche Einsparpotenziale sich mithilfe eines Drohneneinsatzes erzielen lassen, hängt ganz vom Anwendungszweck ab. Bei der Wildtiererkennung wird hauptsächlich Arbeitszeit eingespart, außerdem wird die Futterqualität gesichert; in anderen Bereichen wie der Bekämpfung von Schädlingen oder der Erstellung von Applikationskarten sind auch Einspareffekte bei Betriebsmitteln denkbar. Allerdings gibt es bislang kaum Studien dazu. Eine grobe, verglei-

²⁰⁹ <https://agronator.de/> (18.8.2021)

²¹⁰ <http://el-kopter.de/> (18.8.2021)



chende Wirtschaftlichkeitsrechnung am Beispiel der Erstellung von Düngemittelsapplikationskarten mittels Drohnen wurde von Waltmann et al. (2019) durchgeführt. Ausgehend von einem Kapitalbedarf von 11.750 Euro wurde die Wirtschaftlichkeitsschwelle für unterschiedliche hypothetisch angenommene Einspareffekte beim Düngerbedarf durchgerechnet (nämlich 5%, 10%, 15% und 20% Betriebsmittelreduktion).²¹¹ Ergebnis: Der Drohneneinsatz würde sich bei einem Einspareffekt von 5% ab 186 ha, bei einer – wohlgerneht eher unrealistischen – Düngemittelsparung von 20% bereits ab 53 ha lohnen. Da die tatsächlich in der Praxis erzielbaren Einsparpotenziale nicht untersucht wurden und die notwendige Mindestbetriebsgröße, wie Waltmann et al. (2019) bemerken, zudem von verschiedenen weiteren Faktoren abhängig ist (z. B. von der Art des Düngemittels und der Fruchtart), ist die Aussagekraft dieser Kalkulationen eher gering.

Dennoch kommen Waltmann et al. (2019) zu dem Schluss, dass sich Drohnen zukünftig aufgrund der geringeren Anschaffungskosten gegenüber N-Sensoren durchaus als konkurrenzfähig erweisen könnten, deren Wirtschaftlichkeit erst ab einer Betriebsgröße von mindestens 100 ha gegeben ist (laut optimistischer Herstellerangabe; Kap. 4.2.1). Dies gilt insbesondere, wenn – wie zu erwarten – die Preise bei Drohnentechnologien weiter deutlich sinken. Dabei wurden jedoch Arbeitszeiteffekte sowie Softwarekosten nicht einberechnet, die gegenüber dem N-Sensor (als Onlineverfahren) zusätzlich anfallen können. Da bei Drohnen noch kein Echtzeitbetrieb möglich ist, sind die Nachbearbeitung der Daten und die Erstellung der Applikationskarte unter Umständen mit erheblichem Aufwand verbunden (TAB 2021, Kap. 4.4). Die Folgerung von Waltmann et al. (2019) ist deshalb eher kritisch zu hinterfragen.

4.2.2 Einflussfaktoren auf Wirtschaftlichkeit: die Bedeutung der Betriebsgröße

Die vorhergehenden Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit digitaler Agrartechnologien haben deutlich gemacht, dass deren Anschaffung mit mehr oder weniger hohen Kosten verbunden ist. Mit der Weiterentwicklung der Präzisionslandwirtschaft zur Landwirtschaft 4.0 verschiebt sich der Fokus von Einzeltechnologien auf die komplette Vernetzung der Systeme und Prozesse in einem Betrieb und darüber hinaus, was eine umfassende digitale Umstellung erfordert. Demzufolge dürften auf die Betriebe perspektivisch weitreichendere Investi-

²¹¹ Vorausgesetzt wurden außerdem Reparaturkosten in Höhe von 1% des Anschaffungswertes, Zinskosten von 3% sowie eine Abschreibungsdauer von 10 Jahren. Daraus ergeben sich Maschinenkosten im Umfang von 1.269 Euro pro Jahr, die durch entsprechende Betriebsmitteleinsparungen zu kompensieren sind, um einen wirtschaftlichen Einsatz zu ermöglichen.



tionsentscheidungen zukommen, bei denen neben den reinen Anschaffungskosten auch die Kosten für Einarbeitung und Management zu berücksichtigen sind. Dem gegenüber stehen zum Teil größere Unsicherheiten hinsichtlich der realisierbaren Einsparpotenziale, die zum Teil kaum untersucht (wie bei der Aggarrobotik, Drohnen) oder von so vielen Einflussfaktoren bestimmt sind (wie bei Maßnahmen der Teilflächenbewirtschaftung), dass eine Übertragung der Ergebnisse aus Einzeluntersuchungen schwierig ist.

Die Betriebsgröße hat aufgrund von Skaleneffekten einen direkten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer Anschaffung. Denn die Investitionskosten, aus denen sich über die Abschreibungsdauer hinweg die laufenden Maschinenkosten ergeben (sogenannte Annuität), sind für alle Betriebe ungefähr gleich, unabhängig von ihrer Größe (sofern dieselben Maschinen benötigt werden). Wie gezeigt bemisst sich die Rentabilität der Anschaffung daran, ob die Einsparereffekte und Mehrerträge die Annuität aufwiegen. Die Kosten der Anschaffung können nun aber von großen Betrieben auf mehr Hektar bzw. Tiere verteilt werden (Rösch et al. 2007, S. 118), wodurch sich eine bessere Maschinenauslastung ergibt. Umgekehrt heißt dies: Je höher die Investitionskosten sind, desto höher fällt – abhängig vom erzielbaren Zusatznutzen – die Wirtschaftlichkeitsschwelle aus, d. h. die Betriebsgröße, ab der eine wirtschaftliche Nutzung möglich ist. Größere Betriebe haben dadurch einen eindeutigen Wettbewerbsvorteil gegenüber kleineren Betrieben, wenn es um die Anpassung an die Digitalisierung geht. Dieser Umstand erklärt, wieso sich viele und besonders kleinere Betriebe bei der Implementierung digitaler Agrartechnologien noch sehr zurückhaltend zeigen (Kap. 4.1).

Zwar gehören die Höhe der Investitionskosten sowie die Größe eines Betriebs zu den zentralen Faktoren für die Rentabilität digitaler Agrartechnologien, sie sind aber nicht alleine ausschlaggebend. Weitere wichtige Einflussgrößen sind:

- › die Intensität der Bewirtschaftung, von der die grundsätzliche Höhe der Einsparpotenziale bei den Produktionsmitteln (Treibstoff, Dünger, Pflanzenschutzmitteln) abhängt – je mehr davon eingesetzt wird, desto größer ist die effektive Menge, die durch Effizienzgewinne eingespart werden kann (Rösch et al. 2007, S. 91).
- › die Standortheterogenität, die eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg einer Teilflächenbewirtschaftung darstellt. Dies liegt auf der Hand, da der Aufwand für eine variable Steuerung von Bewirtschaftungsmaßnahmen nur bei uneinheitlichen Bedingungen wirtschaftlich sinnvoll ist (Rösch et al. 2007, S. 90 f.).
- › die Marktpreise für Betriebsmittel und landwirtschaftliche Produkte sowie die Lohnkosten, welche die tatsächliche Höhe der realisierbaren Kosteneinsparungen und zusätzlichen Einnahmen bestimmen – alles Faktoren, die



starken Schwankungen unterliegen können. Von Bedeutung ist auch das Zinsumfeld, das großen Einfluss auf die Höhe der Annuität hat.

Insgesamt wird deutlich, dass die Wirtschaftlichkeit eines Einsatzes von zahlreichen, teils volatilen Faktoren bestimmt ist. Wirtschaftlichkeitsschwellen sind deshalb nicht als fixe Größen zu verstehen. Vielmehr ist immer von Fall zu Fall und unter Berücksichtigung betriebsindividueller Gegebenheiten zu prüfen, ob sich die Investition in eine digitale Agrartechnologie für einen Betrieb im jeweiligen Marktumfeld langfristig lohnt. Für Landwirt/innen bringt dies unter Umständen erhebliche Unsicherheiten bei den Investitionsentscheidungen mit sich. Dies umso mehr, als dabei nicht nur die harten wirtschaftlichen Fakten relevant sind, sondern auch mögliche qualitative Faktoren, die nur schwierig bis gar nicht monetär zu fassen sind.

Zu den nicht wirtschaftlichen Vorteilen gehören Arbeitserleichterungen sowie eine höhere Arbeitsqualität und Flexibilität, die durch die Automatisierung von Routinetätigkeiten, die Entlastung von anstrengenden Arbeiten oder die Vereinfachung der wachsenden Dokumentations- und Nachweisaufgaben entstehen (Kap. 4.4). Auch mögliche Synergieeffekte, die sich durch die Vernetzung und Mehrfachnutzung digitaler Technologien auf betrieblicher Ebene ergeben (Rösch et al. 2007, S. 87 f.), sind zu beachten. Im Gegenzug ist aber auch zu berücksichtigen, dass die Implementierung neuer Technologien mit einem unter Umständen nicht unerheblichen Anpassungs-, Einarbeitungs- und Lernaufwand verbunden ist. Dennoch zeigen Befragungen, dass viele Landwirt/innen den qualitativen Zusatznutzen digitaler Agrartechnologien so hoch einschätzen, dass sie trotz unsicherer oder nicht gegebener Wirtschaftlichkeit in diese investieren (Meskens et al. 2001; Schöfbeck/Gandorfer 2012; Schulten-Baumer et al. 2009). An den beschriebenen Wettbewerbsnachteilen für Kleinbetriebe ändert sich dadurch allerdings nichts, da größere Betriebe gewöhnlich durch höhere Managementkapazitäten und bessere Qualifikation der Betriebsleiter/innen den Anpassungs- und Einführungsaufwand besser bewältigen und von den bereits genannten qualitativen Vorteilen stärker profitieren können.

4.3 Potenzielle Agrarstrukturwirkungen

Wie in Kapitel 4.2 aufgezeigt, sind Digitalisierungstechnologien in der Regel nicht skalenneutral, da sie erhebliche Investitionen und eine bestimmte Betriebsgröße für einen wirtschaftlichen Einsatz erfordern. Vor diesem Hintergrund kann angenommen werden, dass Automatisierung und Digitalisierung den kontinuierlichen Strukturwandel verstärken könnten, dem die Landwirtschaft seit Jahrzehnten unterworfen ist. Ein zentrales Merkmal des Agrarstrukturwandels ist die Abnahme der Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe bei gleichzeitiger Zunahme der durchschnittlichen Betriebsgrößen. Ein weiteres



Voranschreiten oder gar eine Verschärfung dieser Entwicklung hätte voraussichtlich zur Folge, dass die Familienbetriebe weiter unter Druck geraten. Im Folgenden wird deshalb – basierend auf Doluschitz und Gindele (2018) – den möglichen Implikationen der Digitalisierung für Strukturen und Erwerbsformen in der Landwirtschaft nachgegangen und dabei insbesondere die Frage beleuchtet, inwieweit Technikentwicklungen und Anwendungskonstellationen (z. B. durch Maschinenringe und andere Dienstleister) denkbar sind, die kleinere landwirtschaftliche Betriebe bei der digitalen Transformation unterstützen (Kap. 4.3.3).

4.3.1 Strukturen und Erwerbsformen in der Landwirtschaft

Die sozioökonomischen Strukturmerkmale der Landwirtschaft lassen sich durch zahlreiche Parameter erfassen. Zu den wichtigsten gehören die Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe, deren Größen sowie Betriebs- und Rechtsformen, außerdem die wirtschaftlichen Verhältnisse der Landwirt/innen. Alle diese Merkmale werden EU-weit regelmäßig im Rahmen der Agrarstrukturerhebung (ASE) abgefragt, zum letzten Mal 2016.²¹² Im Folgenden werden Ergebnisse der ASE 2016 wiedergegeben, um wesentliche Aspekte der aktuellen Agrarstruktur in Deutschland grob zu beleuchten (für eine differenziertere Darstellung TAB 2019).

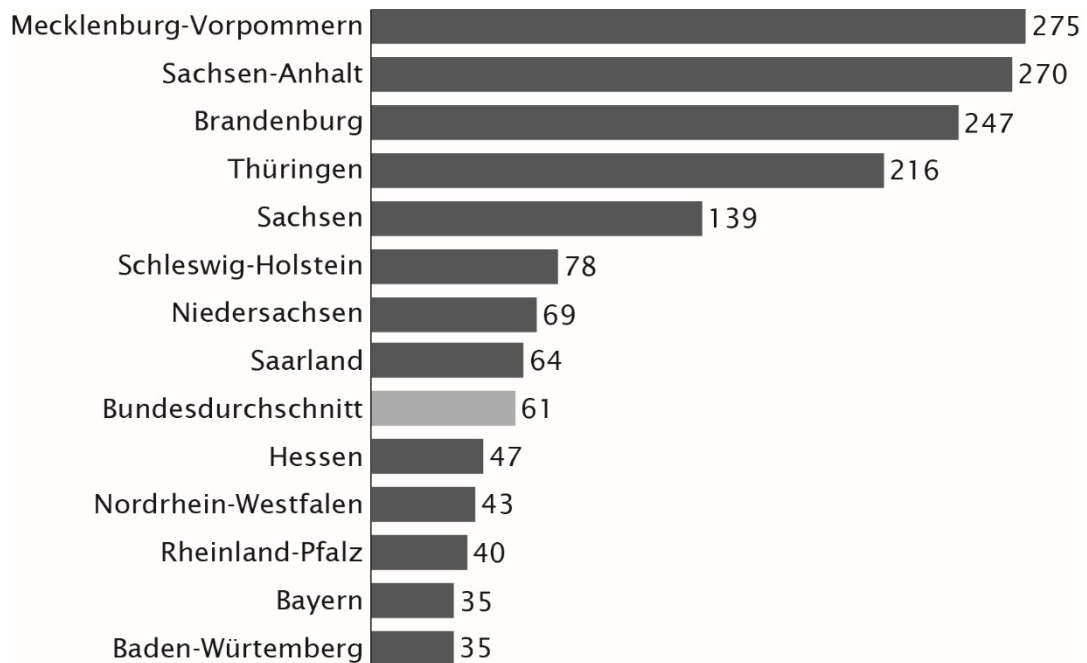
Für Deutschland zeigen die agrarstatistischen Erhebungen, dass die landwirtschaftlichen Strukturen regional stark differieren. Insbesondere hinsichtlich der Betriebsgröße sind ausgeprägte Strukturunterschiede zu beobachten (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 9; TAB 2019, S. 31 ff.). Bundesweit lag die durchschnittliche Flächenausstattung eines landwirtschaftlichen Betriebs 2017 bei ca. 61 ha, jedoch nimmt sie von Südwest nach Nordost im Schnitt deutlich zu (DBV 2018, S. 79).²¹³ Beispielsweise beträgt die durchschnittliche Betriebsgröße in Mecklenburg-Vorpommern 275 ha, in Baden-Württemberg und Bayern jedoch nur 35 ha (Abb. 4.2).²¹⁴

212 Die ASE wird in Deutschland durch das Statistische Bundesamt und die Statistischen Ämter der Länder durchgeführt (<https://www.forschungsdatenzentrum.de/de/agrar/ase>; 26.2.2020). Seit 2010 sind in der Regel nur Betriebe über 5 ha berichtspflichtig und werden statistisch erfasst (zuvor ab 2 ha), was die Vergleichbarkeit der Erhebungen im Zeitverlauf erschwert (BLE 2019, S. 22).

213 Im Statistischen Jahrbuch des BLE (2019, S. 24) ist als durchschnittliche Betriebsgröße rund 66 ha angegeben. Die Differenz kommt dadurch zustande, dass die in der Agrarstrukturerhebung erfassten Betriebe mit weniger als 5 ha in der Statistik nicht berücksichtigt sind (im Unterschied zum Situationsbericht des DBV).

214 <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Tabellen/betriebsgroessenstruktur-landwirtschaftliche-betriebe.html> (18.8.2021)

Abb. 4.2 Durchschnittliche Flächenausstattung landwirtschaftlicher Betriebe nach Bundesländern 2016



Angaben in ha

Quelle: Doluschitz/Gindele 2019, S. 10, basierend auf <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Tabellen/betriebsgroessenstruktur-landwirtschaftliche-betriebe.html> (19.3.2020)

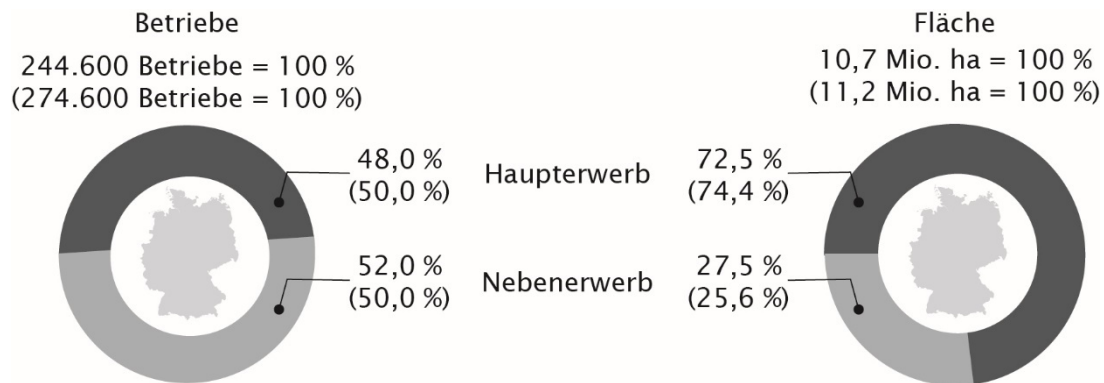
Der überwiegende Teil der landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland, nämlich 89 %, wird in der Rechtsform des Einzelunternehmens bzw. als klassischer Familienbetrieb geführt (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 10f. u 14; BLE 2019, S. 34). In der Arbeitskräftestruktur spiegelt sich dieser Umstand jedoch nur bedingt wider: Von den 940.100 Arbeitskräften, die 2016 in der deutschen Landwirtschaft beschäftigt waren, gehörte mehr als die Hälfte nicht zu den Familienarbeitskräften (491.000 familienfremde Beschäftigte).

Der Anteil der Einzelunternehmen, deren Einkommen überwiegend aus der Landwirtschaft stammt (Haupterwerbsbetriebe), liegt bei 48 %; 52 % der Betriebe werden im Nebenerwerb geführt (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 10f.; Abb. 4.3 und vertiefend Kasten 4.1). Auch hier sind innerhalb Deutschlands große Unterschiede zu verzeichnen. So werden in Baden-Württemberg, Hessen, im Saarland und in Sachsen über 60 % der Betriebe im Nebenerwerb bewirtschaftet, in Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt sind es hingegen unter 50 % (DBV 2018,



S.91). Wie aus Abbildung 4.4 hervorgeht, bewirtschaften die Nebenerwerbsbetriebe 28 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland – je nach Bundesland weicht der prozentuale Anteil aber deutlich ab.

Abb. 4.3 Verteilung der landwirtschaftlichen Einzelunternehmen nach Erwerbscharakter 2016; in Klammern 2010



Quelle: nach DBV 2018, S.90

Kasten 4.1 Nebenerwerb – eine Erwerbsform mit Besonderheiten

In mehr als der Hälfte (52 %, Stand 2016) der Familienbetriebe wird »der überwiegende Teil des Familieneinkommens [...] außerhalb der Landwirtschaft verdient«. ²¹⁵ Die Nebenerwerbslandwirtschaft ist ein wichtiger Teil der deutschen Agrarstruktur. Es handelt sich um eine Erwerbsform, die ihre eigenen strategischen Entwicklungswege hat und dadurch auch bezüglich Fragen des Strukturwandels sowie der Digitalisierung gesondert einzuordnen ist.

Mit dem landwirtschaftlichen Nebenerwerb werden sowohl ökonomische (Einkommenssicherung, Vermögenserhalt, Nutzung freier Arbeitskapazität, Selbstversorgung) als auch private Ziele (Selbstständigkeit, Traditionsbewusstsein, beruflicher Ausgleich, Freizeitbeschäftigung, Liebhaberei) verfolgt (Doluschitz 2019; Doluschitz/Schwenninger 2003; Schmid et al. 2013). Zur Erreichung dieser Ziele empfiehlt sich für Nebenerwerbsbetriebe die Orientierung an folgenden produktionsbezogenen Grundsätzen:

- > Wahl einer einfachen Betriebsorganisation, d. h. Konzentration auf eine überschaubare Anzahl von eher extensiven Betriebszweigen;

²¹⁵ <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/was-ist-ein-nebenerwerbslandwirt/> (18.8.2021)



- › Wahl einfacher Fruchtfolgen im Ackerbau, auch mit Blick auf die Mechanisierung;
- › eher extensive Formen der Viehhaltung, insbesondere keine zeitkritischen Betriebszweige wie etwa die Milcherzeugung;
- › Kleintierhaltung (z. B. Geflügel) als Nische;
- › Sonder- und Dauerkulturen in dafür geeigneten Regionen (gerade in Baden-Württemberg findet sich eine starke Verbreitung der Nebenerwerbslandwirtschaft in Weinbauregionen).

Wie die Ergebnisse einer empirischen Untersuchung in Baden-Württemberg zeigen, sind die Betriebsleiter/innen – ebenso wie ihre hauptberuflich wirtschaftenden Kolleg/innen – an der Optimierung und zukunftsfähigen Ausrichtung ihrer landwirtschaftlichen Betriebe interessiert (Schmid et al. 2013). Ihr Ziel ist, ihre Betriebe erfolgreich, rentabel und langfristig bewirtschaften zu können. Die meisten sehen eine Chance in den Veränderungen der Betriebsstruktur, und zwar auf sehr vielfältige Weisen, hauptsächlich jedoch über Flächenausdehnung. Die Nebenerwerbslandwirtschaft kann somit als zukunftsfähige Erwerbsform betrachtet werden, worauf insbesondere die hohe subjektive Bewertung der immateriellen Motive und die günstige Hofnachfolgesituation hindeuten. Obwohl die durchschnittliche Betriebsgröße der Nebenerwerbsbetriebe derzeit nur etwa 23 ha beträgt (DBV 2018, S. 92), sind einzeln Nebenerwerbsbetriebe entstanden, die über 100 ha bewirtschaften und damit die durchschnittliche Betriebsgröße von Haupterwerbsbetrieben übersteigen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Nebenerwerbslandwirtschaft auch zukünftig eine hohe Bedeutung zukommen wird. Die in Nebenerwerbsbetrieben eher verbreiteten extensiven Betriebszweige bieten allerdings grundsätzlich weniger Einsatzmöglichkeiten für digitale Technologien. Andererseits spielt aufgrund der Einkommenserwirtschaftung aus mindestens zwei Quellen die Wirtschaftlichkeit einer Technologie keine so dominante Rolle wie in Haupterwerbsbetrieben. Vor diesem Hintergrund sind Doluschitz und Gindele (2018, S. 84) zufolge auch in Nebenerwerbsbetrieben Investitionen in digitale Technologien zu beobachten, selbst dann, wenn Wirtschaftlichkeitsschwellen nicht erreicht werden (aber dafür z. B. Arbeitserleichterungen zu erwarten sind).

Quelle: Doluschitz/Gindele 2019, S. 82 ff.

Abb. 4.4 Bedeutung der Nebenerwerbslandwirtschaft 2016



Anteil in % an den Einzelunternehmen insgesamt

Quelle: nach DBV 2018, S. 91

Gegenüber den Einzelunternehmen sind Personengesellschaften und juristische Personen in der Landwirtschaft mit einem Anteil von 9 bzw. 2 % deutlich in der Minderheit (allerdings bewirtschaften sie mehr als ein Drittel der gesamten Landwirtschaftsfläche in Deutschland; TAB 2019, S. 63). Auch hier sind jedoch regional deutliche Unterschiede festzustellen (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 11 f.; DBV 2018, S. 89 f.):

- > Bei den juristischen Personen sind in den vergangenen Jahren viele neue Gesellschaften mit beschränkter Haftung (GmbH) entstanden. Der größte Anteil davon ist in Ostdeutschland anzutreffen, die dort etwa 50 % der Fläche bewirtschaften. Eine wichtige, wenn auch abnehmende Rolle spielen in den neuen Bundesländern die Agrargenossenschaften (eG). Sie entstanden im Zuge der Umwandlung der ehemaligen Landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften (LPG).²¹⁶
- > Personengesellschaften sind auch in den alten Bundesländern vertreten und haben dort in den letzten Jahren in der Zahl stark zugenommen (TAB 2019, S. 63). Dies ist vor allem auf eine steigende Anzahl an Gesellschaften des

²¹⁶ <https://www.raiffeisen.de/agrargenossenschaften> (18.8.2021)

4.3 Potenzielle Agrarstrukturwirkungen



bürgerlichen Rechts (GbR) zurückzuführen. Die Rechtsform der GbR wird in der Landwirtschaft häufig im Rahmen der Hofübergabe während der Übergabezeit oder auch zur Gründung kleinerer Kooperationen wie beispielsweise Maschinenkooperationen genutzt. In den neuen Bundesländern hingegen haben landwirtschaftliche Personengesellschaften in der Rechtsform der GmbH & Co. KG zugenommen.

Landwirtschaftliche Betriebe werden je nach Produktionsrichtung unterschiedlichen Betriebsformen zugeordnet (Doluschitz/Gindele 2019, S. 12). Im Rahmen der Agrarstrukturhebung 2003 wurde ein neues Verfahren zur Klassifizierung der landwirtschaftlichen Betriebe eingeführt (Blumöhr et al. 2006).²¹⁷ In Bezug auf die Betriebsform dominieren die Futterbaubetriebe in Deutschland, die insgesamt 41 % der landwirtschaftlichen Betriebe ausmachen (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 12 f., BLE 2019, S. 30 ff.). 30 % der Betriebe sind reine Ackerbaubetriebe und 9 % der Betriebe zählen zur Gruppe der Pflanzenbau-Viehhaltungsbetriebe. Weitere 7 % der Betriebe sind Dauerkulturbetriebe. Der Anteil der reinen Veredelungsbetriebe (z. B. Schweinemast oder Geflügelhaltung) liegt bei rund 6 %. Die restlichen 7 % verteilen sich auf die Gruppe der Gartenbaubetriebe, Viehhaltungsverbundbetriebe (Futterbau oder Veredlung kombiniert mit Ackerbau, Gartenbau und Dauerkulturen) und Pflanzenbauverbundbetriebe (Ackerbau oder Gartenbau oder Dauerkulturen kombiniert mit Futterbau und Veredlung).

Das durchschnittliche Betriebseinkommen der Haupterwerbsbetriebe, das anhand von Buchführungsergebnissen von BMEL-Testbetrieben ermittelt wird, lag im Wirtschaftsjahr 2016/2017 bei 33.839 Euro/Ak (BLE 2019, S. 127 f.).²¹⁸ Zwischen den verschiedenen Betriebsgrößenklassen und Produktionsrichtungen sind deutliche Unterschiede zu vermerken: Das durchschnittliche Einkommen der größeren Haupterwerbsbetriebe lag bei 40.504 Euro/Ak, das der mittleren bei 29.855 Euro/Ak und das der kleineren bei 19.184 Euro/Ak.²¹⁹ Veredelungsbetriebe erzielen mit 51.101 Euro/Ak das höchste Durchschnittseinkommen, gefolgt von den Ackerbaubetrieben mit 37.480 Euro/Ak; am Ende der Skala befindet sich der sonstige Futterbau mit 22.857 Euro/Ak.

217 Demnach wird ein landwirtschaftlicher Betrieb beispielsweise der betriebswirtschaftlichen Ausrichtung »Ackerbaubetrieb« zugeordnet, wenn zwei Drittel des Standarddeckungsbeitrags des Gesamtbetriebs über den Betriebszweig Ackerbau erwirtschaftet werden.

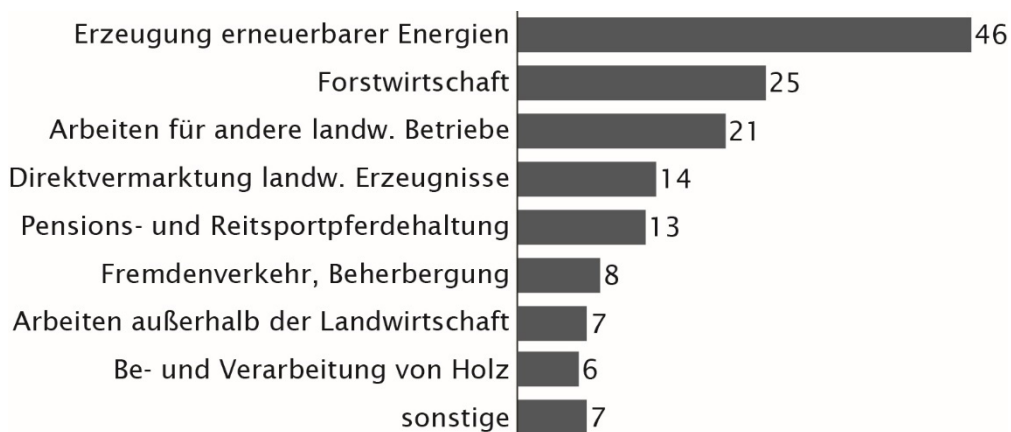
218 In der Landwirtschaft wird das Einkommen üblicherweise als Gewinn plus Personalaufwand – also Gewinn abzüglich der Kosten für Arbeitskräfte – je Ak angegeben. Mit dieser Formel soll dem Umstand Rechnung getragen werden, dass in landwirtschaftlichen Betrieben je nach Rechts- und Erwerbsform häufig nicht entlohnte Familienarbeitskräfte beschäftigt sind, was die Vergleichbarkeit der Einkommenssituation beeinträchtigt.

219 Dabei werden folgende Größenklassen zugrunde gelegt: kleinere = 50.000 bis 100.000 Euro Standardoutput; mittlere = 100.000 bis 250.000 Euro Standardoutput; größere > 250.000 Euro Standardoutput. Beim Standardoutput handelt es sich um eine »standardisierte Rechengröße, die den durchschnittlichen Geldwert (in Euro) der Bruttoagrarerzeugung eines landwirtschaftlichen Betriebs beschreibt« (BLE 2019, S. XXIII).



Insgesamt ist die Einkommenssituation der Landwirt/innen trotz des hohen Arbeitsaufkommens meist unterdurchschnittlich (wobei zwischen den Betriebsformen und Regionen starke Unterschiede bestehen)²²⁰ und von Jahr zu Jahr insbesondere aufgrund von Wittereinflüssen sowie der volatilen Lage auf den Agrarmärkten von größeren Schwankungen geprägt. Zur Einkommensstabilisierung greifen viele Betriebe deshalb auf zusätzliche Erwerbsmöglichkeiten zurück (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 13). 2016 übte fast jeder dritte Betrieb (insgesamt 75.700) neben der landwirtschaftlichen Erwerbstätigkeit weitere betriebsnahe Erwerbs- und Einkommenskombinationen aus. Das wichtigste zusätzliche Standbein ist hierbei, wie aus Abbildung 4.5 ersichtlich, die Erzeugung von Erneuerbaren Energien. Insbesondere diese wachsende Zahl der »Energiewirte« unter den Landwirt/innen ist Zeichen einer fortschreitenden Diversifizierung der Landwirtschaft mit entsprechenden zusätzlichen unternehmerischen Herausforderungen und Risiken.

Abb. 4.5 Anteil landwirtschaftlicher Betriebe mit Erwerbs- und Einkommenskombinationen 2016



Angaben in %; insgesamt 75.700 Betriebe

Quelle: nach DBV 2018, S. 91

Die Bedeutung des ökologischen Landbaus hat in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 13 f.). Entgegen dem landwirtschaftlichen Gesamttrend steigt die Zahl der Ökobetriebe kontinuierlich an: 2010 wirtschafteten 5,5% (16.532) der landwirtschaftlichen Betriebe ökologisch, bis 2016 erhöhte sich der Anteil auf 7,2%

²²⁰ <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/was-verdienen-landwirtinnen-und-landwirte> (18.8.2021)



(19.901).²²¹ Diese Steigerung ist maßgeblich auf die günstigen agrarpolitischen Rahmenbedingungen, die eine Förderung des Ökolandbaus zum Ziel haben, sowie die steigende Nachfrage nach Bioprodukten zurückzuführen. Politische Maßnahmen sowie Rahmenbedingungen zur Förderung des Ökolandbaus wurden in der »Zukunftsstrategie ökologischer Landbau« festgelegt (BMEL 2019d). Die Bundesregierung verfolgt das Ziel, dass bis 2030 20 % der landwirtschaftlichen Fläche ökologisch bewirtschaftet werden – derzeit sind es ca. 9 %, jedoch mit stark steigender Tendenz (UBA 2019b).

4.3.2 Der Agrarstrukturwandel und seine Ursachen

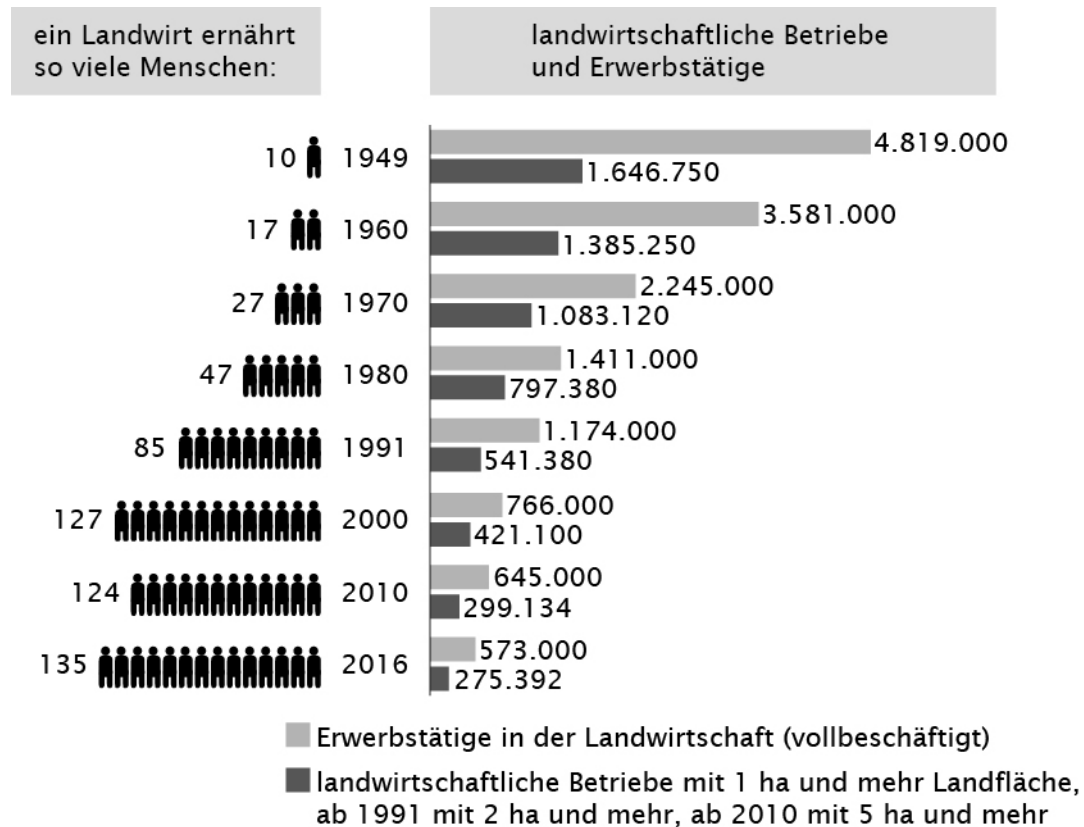
Die zuvor beschriebenen Strukturmerkmale der Landwirtschaft in Deutschland sind bereits seit Beginn der industriellen Revolution einem kontinuierlichen Wandel unterworfen. Historische Prozesse wie die Entwicklung Deutschlands vom Agrarland zum Industrie- und Exportstaat hatten dabei maßgeblichen Einfluss (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 15 f.). So lag der Anteil der in der Landwirtschaft beschäftigten Erwerbstätigen zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch bei 38 % und war Anfang der 1950er Jahre bereits auf 24 % gesunken – heute liegt er bei unter 2 % (DBV 2018, S. 16). Die Flächenproduktivität stieg währenddessen deutlich und kontinuierlich an, sodass heute deutlich mehr Menschen von 1 ha ernährt werden können, als dies früher der Fall war.

Der Abbildung 4.6 ist zu entnehmen, dass 1949 ein Landwirt Nahrungsmittel in einem Umfang erzeugte, der für die Ernährung von 10 Personen ausreichend war; heute liegt die Zahl der von einem Landwirt ernährten Personen bei 135. Parallel zu der wachsenden Produktivität ist im historischen Verlauf eine fortschreitende Reduktion der Zahl der Betriebe zu beobachten. Anfang des 20. Jahrhunderts gab es im damaligen Reichsgebiet noch über 5,6 Mio. landwirtschaftliche Betriebe, die auf rund 26 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche wirtschafteten und etwa 19 Mio. Rinder, 17 Mio. Schweine und 64 Mio. Stück Geflügel hielten (DBV 2015). Heute gibt es im Bundesgebiet noch rund 275.400 Betriebe, die 16,6 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche bewirtschaften (mit insgesamt 12,4 Mio. Rindern, 28,0 Mio. Schweinen und 173,6 Mio. Stück Geflügel) (DBV 2018).

Die letzten Jahre zeigen, dass der Strukturwandel in der Landwirtschaft weiter voranschreitet, wenn offenbar auch in etwas verlangsamer Form (DBV 2018, S. 79; zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 9):

²²¹ Das BLE (https://www.ble.de/DE/Themen/Landwirtschaft/Oekologischer-Landbau/_functions/StrukturdatenOekolandbau_table.html; 18.8.2021) gibt auf Basis seiner Strukturdatenerhebung zum ökologischen Landbau in Deutschland deutlich höhere Zahlen an: Für 2010 sind es 21.942 Ökobetriebe (entspricht einem Anteil von 7,3 %) und für 2016 bereits 27.132 (Anteil von 10,0 %). Der Unterschied zur ASE kommt dadurch zustande, dass das BLE auch Betriebe kleiner als 5 ha erfasst.

Abb. 4.6 Strukturwandel in der deutschen Landwirtschaft



Quelle: nach DBV 2018, S. 16; BMEL 2018g

- > Von 2007 bis 2016 reduzierte sich die Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe von 374.514 um rund 100.000 Betriebe auf 275.392.²²² Die landwirtschaftliche Fläche verringerte sich dagegen nur minimal von 16,9 Mio. ha im Jahr 2007 auf 16,6 Mio. ha im Jahr 2016 (BLE 2019, S. 24). Die durchschnittliche Flächenausstattung eines landwirtschaftlichen Betriebs ist also von 2007 bis 2016 von 45 ha auf etwa 61 ha angestiegen.
- > Im Zeitverlauf sind zudem deutliche Abnahmen bei der Anzahl der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte zu verzeichnen. Besonders starke Rückgänge sind bei den Familienarbeitskräften zu erkennen. Von 2010 bis 2016 dezimierte sich deren Zahl deutlich von 556.300 auf 449.100 (inklusive Teilbeschäftigte). Die Zahl der familienfremden ständigen Arbeitskräfte erhöhte sich demgegenüber im Zeitraum von 2010 bis 2016 von 193.400 auf 204.600 leicht (BLE 2019, S. 43). Insgesamt ging die Zahl der Arbeitskräfte in der

²²² Dieser Rückgang ist erheblich mitbedingt durch die Änderung der Erfassungsgrenzen der Agrarstatistik (TAB 2019, S. 42).

4.3 Potenzielle Agrarstrukturwirkungen



Landwirtschaft zwischen 2010 und 2016 um 140.000 Personen zurück (von 1,08 Mio. Personen auf 940.000) (DBV 2018, S. 95).²²³

Zu konstatieren ist somit, dass eine stark abnehmende Zahl von Betrieben mit immer weniger Arbeitskräfteeinsatz praktisch die gleichbleibende landwirtschaftliche Fläche bearbeitet. Im Endeffekt bedeutet dies einen zunehmenden Anteil der Betriebe mit mehr als 100 ha, eine Entwicklung, die vor allem die traditionellen Familienbetriebe bzw. die bäuerliche Landwirtschaft erheblich unter Druck setzt. Derzeit nimmt die Zahl der Betriebe unter 100 ha kontinuierlich ab und die Zahl der Betriebe mit einer Flächenausstattung von über 100 ha zu – 86,3 % der Betriebe lagen 2017 unter dieser Wachstumsschwelle (DBV 2018, S. 80 ff.).²²⁴ Der Agrarstrukturwandel ist deshalb auch eher negativ konnotiert und wird häufig mit Begriffen wie dem Höfesterben assoziiert (TAB 2019, S. 31).

Für den anhaltenden Agrarstrukturwandel werden verschiedene, teils komplex miteinander verflochtene Ursachen verantwortlich gemacht (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 17; siehe auch Balmann/Schaft 2008). Ein zentraler Treiber sind die hohen Produktivitätszuwächse, die durch den technischen Fortschritt bedingt sind. Moderne Maschinen und Stalltechnik, der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Mineraldünger sowie der Zuchtfortschritt sowohl im Pflanzenbau als auch in der Tierhaltung haben dazu geführt, dass die Erträge und Leistungen über die Jahre hinweg immer weiter erhöht werden konnten. Gemessen an der Bruttowertschöpfung je Erwerbstätigen konnte die Landwirtschaft in den vergangenen 20 Jahren eine Steigerung von etwa 60 % verzeichnen und lag damit deutlich über dem Durchschnitt der deutschen Wirtschaft insgesamt (wenn auch gemessen in Absolutzahlen immer noch deutlich unter den Werten anderer Wirtschaftssektoren) (DBV 2017, S. 11).

Mit dem zunehmenden Technikeinsatz ist ein erhöhter Kapitaleinsatz²²⁵ verbunden, der aktuell rund 550.000 Euro je Erwerbstätigen beträgt – damit gehört die Landwirtschaft zu den kapitalintensivsten Branchen überhaupt (DBV 2018, S. 71). Gleichzeitig führt die steigende landwirtschaftliche Produktivität zu einem stetig wachsenden Nahrungsmittelangebot und entsprechend zu tendenziell sinkenden Preisen auf den Agrarmärkten, was wiederum den Einkommensdruck auf die landwirtschaftlichen Betriebe erhöht. Letztlich lässt sich dies für die Betriebe nur durch weitere Produktivitätssteigerungen sowie vermehrten Kapitaleinsatz wettmachen – dieser sich selbst verstärkende Effekt wird auch als »landwirtschaftliche Tretmühle« bezeichnet (Balmann/Schaft 2008, S. 17; TAB

223 In Arbeitskräfteeinheiten entspricht dies einem Rückgang von 10 % von 546.000 auf 490.100 Arbeitskräfteeinheiten (DBV 2018, S. 95).

224 Die Wachstumsschwelle ist ein statistisch ermittelter Wert, bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche, unterhalb derer die Zahl der Betriebe ab- und oberhalb derer die Zahl der Betriebe zunimmt. Derzeit liegt dieser Wert deutschlandweit bei 100 ha, er verschiebt sich jedoch immer weiter nach oben. Das Niveau der Wachstumsschwelle kann regional unterschiedlich ausfallen.

225 Definiert als Bruttoanlagevermögen (ohne Boden) (DBV 2018, S. 71).



2019, S.32). Im Endeffekt können nur Betriebe dieser Entwicklung langfristig wirtschaftlich standhalten, die mittels Größenwachstum ökonomische Skaleneffekte nutzen und ihre Produktion stetig ausweiten. Die sich laufend nach oben verschiebende Wachstumsschwelle (DBV 2018, S.80) ist ein starkes Indiz für die hier skizzierten Zusammenhänge.

Insgesamt besteht in der Literatur weitgehende Einigkeit darüber, dass die Digitalisierung *tendenziell* den strukturellen Wandel befördert und dabei prinzipiell die wirtschaftliche Kluft zwischen Groß- und Kleinbetrieben größer werden lassen könnte (BMEL 2017b, S. 19; Doluschitz/Gindele 2019; DZ Bank AG 2017; Landwirtschaftliche Rentenbank 2019, S.24; Schrijver 2016, S.28; Waltmann et al. 2019). Für diese These sprechen vor allem drei Aspekte der Digitalisierung:

- Zum Ersten lässt der erforderliche Investitionsbedarf den Kapitaleinsatz in der Landwirtschaft weiter ansteigen. Damit wird der »Druck zur Bildung größerer Betriebseinheiten« (DZ Bank AG 2017, S. 28) verstärkt bzw. – wie in Kapitel 4.2 gezeigt – die Konkurrenzfähigkeit derjenigen Betriebe gemindert, die dazu nicht in der Lage sind.
- Zum Zweiten setzt die Anwendung digitaler Technologien in größerem Umfang Spezial- und Expertenwissen voraus, welches in kleineren Betrieben weniger verfügbar bzw. aufgrund eingeschränkter Spezialisierungsmöglichkeiten der wenigen Arbeitskräfte schwerer zu beschaffen ist (Doluschitz/Gindele 2019, S.103; siehe dazu Kap. 4.4). Gerade kleinere Betriebe könnten dadurch verstärkt gezwungen sein, »Funktionen an spezialisierte Unternehmen« auszulagern (Waltmann et al. 2019, S.278), wodurch sie in wirtschaftliche Abhängigkeit geraten und die Hoheit über ihre Betriebsprozesse zum Teil aus der Hand geben müssen.
- Zum Dritten hat die Digitalisierung Auswirkungen auf landwirtschaftliche Wertschöpfungsketten und könnte insbesondere durch den ungleichen Zugang zu Daten weitere Konzentrationsprozesse befördern. Vor allem für kleinere Betriebe drohen sich dadurch die Markt- und Wettbewerbsbedingungen massiv zu verschlechtern (dazu Kap. 2.2; Kritikos 2017, S.41).

Alles in allem gibt es also plausible Gründe dafür anzunehmen, dass die Digitalisierung die anhaltende Entwicklung hin zu immer größeren, kapitalintensiven Agrarunternehmen weiter vorantreiben könnte (DZ Bank AG 2017, S.1). Zu prüfen bleibt jedoch, ob der digitale Wandel – als aktuelle Entwicklungsstufe der Technisierung – sich in seiner qualitativen und quantitativen Wirkung von vorherigen Stufen der Mechanisierung und Automatisierung der Landwirtschaft abhebt, die ebenso wesentlich zum Agrarstrukturwandel beigetragen haben.

Die Digitalisierung wird voraussichtlich ein wesentlicher Treiber des zukünftigen Agrarstrukturwandels sein, wie die genannten Erhebungen zur Nutzungsbereitschaft sowie der Verbreitung von PL-Technologien andeuten. Die



in Kapitel 4.1 zusammengefassten Studienergebnisse weisen darauf hin, dass Betriebsgröße und Implementierungsbereitschaft digitaler Agrartechnologien tendenziell positiv korrelieren. Laut Doluschitz und Gindele (2018, S. 77) zeigen Untersuchungen für Deutschland, dass digitale Technologien in der Pflanzenproduktion (automatisierte Landmaschinen, Stickstoffsensoren etc.) in Regionen mit größeren landwirtschaftlichen Betriebsstrukturen wie Nord- und vor allem Nordostdeutschland in größerem Umfang verbreitet sind als im Südwesten, wo betriebliche Kleinstrukturen vorherrschen. Bei US-amerikanischen Ackerbaubetrieben stellte Schimmelpfennig (2016, S. 12) wiederum basierend auf Daten des Agricultural Resource Management Survey (Erhebungszeitraum von 1996 bis 2013) fest, dass der Einsatz von PL-Technologien²²⁶ mit der Größe des landwirtschaftlichen Betriebs zusammenhängt. Je größer die Flächenausstattung ist, desto häufiger wurden digitale Technologien eingesetzt. Die vorliegenden Daten lassen also darauf schließen, dass es bereits zu einer gewissen digitalen Spaltung zwischen Groß- und Kleinbetrieben gekommen ist, die mit dem Fortschreiten der Digitalisierung weiter anwachsen könnte (Schrijver 2016, S. 28). Insofern sich die ökonomischen Potenziale von Landwirtschaft 4.0 auch tatsächlich im erwarteten Umfang erfüllen, dürfte sich die wirtschaftliche Unwucht zwischen kleineren und größeren Betrieben weiter verschärfen. Inwiefern diese Entwicklung sich qualitativ von bisherigen Technisierungsschritten unterscheidet, kann derzeit nicht beurteilt werden.

Für eine differenzierte Bewertung der potenziellen agrarstrukturellen Effekte der Digitalisierung sind die vorliegenden Daten aus zwei Gründen nicht ausreichend. Das hat zum einen mit den methodischen Schwächen der Studien zur Verbreitung und Adoptionsbereitschaft der Präzisionslandwirtschaft zu tun, die – wie in Kapitel 4.1.2 erläutert wurde – entweder die technologischen Kategorien oder die agrarstrukturelle Vielfalt nicht differenziert genug abbilden. Speziell für Deutschland liegen keine klaren Daten zu den Verbreitungstendenzen der Präzisionslandwirtschaft vor, aus denen sich substantielle Zusammenhänge zwischen dem Agrarstrukturwandel und der Digitalisierung ableiten ließen. Zum anderen ist es grundsätzlich so, dass sich aus statistischen Erhebungen keine Wirkmuster ableiten lassen. Dass Betriebsgrößen und Einsatzumfang digitaler Agrartechnologien positiv korrelieren, muss also nicht bedeuten, dass die Digitalisierung einen direkten Einfluss auf Betriebsstrukturen hat (Waltmann et al. 2019, S. 278). Denn der Agrarstrukturwandel ist nicht nur durch technologisch verursachte Produktivitätsfortschritte, sondern durch eine Vielzahl weiterer Ursachen bedingt (TAB 2019, S. 32 ff.). Zu nennen sind insbesondere (Balmann/Schaft 2008; DZ Bank AG 2017; Kirschke et al. 2007):

²²⁶ Erhoben wurde die Nutzung der GNSS-basierten Boden-/Ertragskartierung, von automatischen Lenksystemen sowie der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung.



4 Betriebliche und agrarstrukturelle Wirkungen

- › der wachsende Preisdruck vonseiten des internationalen Lebensmittelhandels mit den entsprechenden negativen Auswirkungen auf die Einkommenssituation der Betriebe;
- › Abwanderungsprozesse von Arbeitskräften aus der Landwirtschaft in die Industrie sowie der fortschreitende demografische Wandel, der die Nachfolgeproblematik bei den Familienbetrieben erhöht (DZ Bank AG 2017, S. 7 ff.);
- › volatile Agrarmärkte sowie enorm steigende Bodenpreise, welche die Spekulation mit Ackerland antreiben und auch die Pachtpreise in die Höhe schnellen lassen (Verdopplung seit 1992; DBV 2018, S. 76), was vor allem für Familienbetriebe finanziell schwer zu verkraften ist;
- › sich verändernde gesellschaftliche Anforderungen an die Landwirtschaft, etwa neue Ernährungsgewohnheiten oder verschärfte Umweltschutzaufgaben, die mit höheren Ansprüchen an die Produktqualität und wachsenden administrativen Anforderungen einhergehen (Balmann/Schaft 2008; Kirschke et al. 2007, S. 25).

Insgesamt handelt es sich beim Agrarstrukturwandel also um ein hochkomplexes Geschehen, das in vielfältige, teils globale Wirkungszusammenhänge eingebettet ist und sich nicht auf einen einfachen Nenner bringen lässt.

Abschließend ist festzuhalten, dass der spezifische kausale Beitrag der Digitalisierung zum Agrarstrukturwandel derzeit noch weitgehend im Dunkeln liegt, auch wenn es plausible Hinweise auf relevante Einflüsse gibt. Diese Hinweise sind zum jetzigen Zeitpunkt jedoch eher theoretischer Art und beruhen auf der impliziten Prämisse, dass sich mit der Nutzung von Digitaltechnologien ökonomische Vorteile erzielen lassen. Wie Kapitel 4.2 gezeigt hat, sind die wirtschaftlichen Effekte digitaler Agrartechnologien aber noch unsicher. Für eine fundiertere empirische Beurteilung der agrarstrukturellen Wirkungen braucht es speziell für Deutschland genauere Erhebungen zu Art und Umfang der landwirtschaftlichen Verbreitung von Digitaltechnologien, die möglichst in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden. Dies ist nicht zuletzt als Grundlage für die weitere Gestaltung der agrar- sowie gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen wichtig, wobei hier die Perspektiven der kleineren und ökologischen Betriebe besonders im Mittelpunkt stehen sollten.

4.3.3 Perspektiven für kleinere und ökologische Betriebe

Etwa 89% der landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland zählten im Jahr 2016 zu den Einzelunternehmen (BLE 2019, S. 34). In vielen Regionen Deutschlands – speziell in den Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen – bilden diese traditionell das Rückgrat der Landwirtschaft und leisten dort einen wichtigen Beitrag zur Ernährungssicherung, zur Bewahrung der Kulturlandschaft und zur wirtschaftlichen



Entwicklung des ländlichen Raums.²²⁷ Der besonderen Situation kleinerer und mittlerer Betriebe wird im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) durch einen generellen Zuschlag bei den Direktzahlungen der 1. Säule für die ersten Hektare Rechnung getragen (BMEL 2018a, S. 9).²²⁸ Auch der Ökolandbau, der sich durch eine besonders nachhaltige und ressourcenschonende Wirtschaftsweise auszeichnet, wird im Rahmen der 2. Säule der GAP von der EU, kofinanziert mit nationalen Mitteln von Bund und Ländern, speziell gefördert und soll in Deutschland bis 2030 einen Flächenanteil von 20 % aufweisen. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welche besonderen Herausforderungen sich durch die Digitalisierung für kleinere und ökologisch wirtschaftende Betriebe ergeben und wie auf diese Herausforderungen reagiert werden kann.

4.3.3.1 Zugang für kleinere Betriebe

Wie bereits gezeigt, stehen Familienbetriebe im Zuge des Agrarstrukturwandels schon seit längerer Zeit unter einem massiven wirtschaftlichen Druck, was wesentlich auf ihre unterdurchschnittliche Betriebsgröße zurückzuführen ist (DBV 2018, S. 89). Zwar ist zu beachten, dass die Flächenausstattung alleine noch keine definitive Aussage über die Wettbewerbsfähigkeit eines landwirtschaftlichen Betriebs zulässt – auch landwirtschaftliche Betriebe mit einer geringeren Flächenausstattung können konkurrenzfähig sein, wenn sie sich beispielsweise auf Sonderkulturen spezialisieren, besondere Vermarktungsformen verfolgen oder intensive Tierhaltung betreiben (DBV 2018, S. 81). Zudem gibt es durchaus auch digitale Anwendungen, die in kleineren, relativ kostengünstigen Einheiten eingesetzt werden können und bei denen die für einen wirtschaftlichen Einsatz erforderliche Auslastung deshalb auch bei kleinerer Tierzahl bzw. Flächenausstattung zu erwarten ist (Roosen 2017, S. 31; Umstätter 2017a; van der Wal/Klein 2014). Zu denken ist hier etwa an nachrüstbare GNSS-Technik, einfachere Herdenmanagement- oder Sensorikanwendungen oder marktübliche Farmmanagementsysteme.²²⁹ Dennoch rentiert sich die Anschaffung bei den meisten digitalen Agrartechnologien erst ab einer bestimmten Betriebsgröße,

227 Eine vielfältige und kleinräumig strukturierte Agrarlandschaft, zu der kleinere Betriebe maßgeblich beitragen, leistet darüber hinaus wichtige Beiträge zum Biodiversitätsschutz. Wie Untersuchungen zeigen, fördern kleine Schlaggrößen und eine breite Skala an angebauten Kulturarten die Artenvielfalt (Šálek et al. 2018; Sirami et al. 2019).

228 Der Zuschlag wird bislang für die ersten 46 ha gezahlt und beträgt rund 50 Euro/ha für die ersten 30 ha und 30 Euro/ha für die nächsten 16 ha. Zusätzlich können Landwirt/innen bis zu einem Alter von 40 Jahren die sogenannte Junglandwirteprämie beantragen, die für 5 Jahre und maximal 90 ha gewährt wird. Die Höhe dieser Prämie beträgt aktuell rund 44 Euro/ha.

229 Zukünftig könnte auch die autonome Kleintechnik vielversprechende Anwendungsperspektiven gerade für kleinere und mittlere Betriebe bieten (Kap. 4.2.1), da hier die Maschinenzahl – im Unterschied zu größeren Landmaschinen – besser an die Betriebsgröße angepasst werden kann (Gaus et al. 2017).



wodurch sich die wirtschaftliche Kluft zwischen Groß- und Kleinbetrieben weiter vertiefen könnte (Kap. 4.3.2). Deshalb gilt es als wichtig, »Hürden speziell für kleine und mittlere Betriebe abzubauen« (BMEL 2017b, S. 17), damit diese an der Digitalisierung im Landwirtschaftsbereich ausreichend partizipieren können. Im Fokus stehen dabei insbesondere die Regionen, die eine Dominanz kleinbetrieblicher Strukturen aufweisen (Süd- und Südwestdeutschland).

Ein Lösungsansatz ist der gemeinschaftliche Einsatz von Technologien, also »die teilweise oder vollständige koordinierte Nutzung von Maschinen und Maschinenkapazitäten in mehreren Betrieben« (Doluschitz et al. 2011), mit dem primären Ziel, die anfallenden Fixkosten auf mehrere Schultern zu verteilen und einen besseren Auslastungsgrad zu erreichen. Aufgrund der intensiveren Auslastung überbetrieblich genutzter Maschinen sind darüber hinaus in kürzeren Abständen Ersatzinvestitionen zu tätigen; dadurch ist eher sichergestellt, dass die Maschinen auf dem aktuellsten technischen Stand sind, was bei kleineren Betrieben üblicherweise nicht der Fall ist (Doluschitz/Gindele 2019, S. 81). Für die überbetriebliche Maschinennutzung existieren verschiedene Organisationsmodelle (Doluschitz et al. 2011; zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 79 ff.):

- Die einfachste Form stellt die *Maschinengemeinschaft* dar, bei der Maschinen von mehreren Betrieben gemeinsam angeschafft und verwendet werden (agrarheute 2013). Vorteilhaft ist das insbesondere bei teuren Spezialmaschinen (Mähdrescher, Rübenroder etc.), die nur kurzzeitig zum Einsatz kommen. Die Bildung einer Maschinengemeinschaft erfordert eine gute Zusammenarbeit zwischen den Beteiligten, um die Termine koordinieren zu können, sowie klare Regelungen bezüglich der Unterbringung sowie Kostenverteilung (Anschaffung, Wartung, Reparatur).
- Bei *Maschinenringen* handelt es sich um regionale Zusammenschlüsse von Betrieben, die als eingetragener Verein organisiert sind und primär die Vermittlung und Koordination des überbetrieblichen Maschineneinsatzes zum Zweck haben. Erklärtes Ziel ist, »den Einsatz modernster Techniken und die Teilnahme am technischen Fortschritt [zu ermöglichen], ohne das Risiko unrentabler Investitionen eingehen zu müssen«. ²³⁰ Neben den Maschinen, die sich im Individualeigentum der Mitglieder des Maschinenrings befinden, verfügen die Maschinenringe auch über gemeinschaftlich angeschaffte Maschinen. Im Unterschied zu Maschinengemeinschaften werden die Maschinen in der Regel zusammen mit qualifiziertem Bedienpersonal

230 <https://www.maschinenring.de/rotthalmuenster/was-ist-ein-mr/> (18.8.2021). Die Mitgliedschaft in einem Maschinenring ist üblicherweise Voraussetzung für die Nutzung der angebotenen Leistungen (<https://www.maschinenring.de/mitglied-werden>; 18.8.2021). Allerdings sind deutliche regionale Unterschiede und eine teilweise liberalere Handhabung in der Praxis möglich (Doluschitz/Gindele 2019, S. 80).

4.3 Potenzielle Agrarstrukturwirkungen



angeboten, was eine optimale Maschinennutzung sowie Arbeitsqualität sicherstellt. Außerdem bieten Maschinenringe viele Zusatzleistungen wie Beratung, die Organisation von Zuerwerbsmöglichkeiten oder die Vermittlung von Betriebshelfern und Haushaltshilfen.²³¹ Die Dachorganisation der Maschinenringe in Deutschland stellt auf Bundesebene der Bundesverband der Maschinenringe (BMR e. V.) dar. Auf Landesebene bestehen 12 Landesverbände, in denen ca. 260 Maschinenringe organisiert sind. Insgesamt sind in Deutschland rund 200.000 landwirtschaftliche Betriebe Mitglied in einem Maschinenring und bewirtschaften bundesweit ca. 7.760.000 ha und damit 49 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche.²³² Historisch und strukturell bedingt sind Maschinenringe in den östlichen Bundesländern kaum vertreten.

- › *Lohnunternehmen* stellen Betrieben Maschinen in Form von Dienstleistungsangeboten gegen Entgelt zur Verfügung. Da es sich hierbei um eigenständig wirtschaftende Unternehmen handelt, kann bei ihnen nicht mehr im engeren Sinne von einer überbetrieblichen Maschinennutzung die Rede sein. 2017 waren in Deutschland etwa 3.400 landwirtschaftliche Lohnunternehmen mit 18.500 fest angestellten Mitarbeiter/innen sowie 15.000 saisonalen Aushilfen tätig, die einen Gesamtumsatz von etwa 3,6 Mrd. Euro, erzielten (davon 2,4 Mrd. Euro im Einsatz für Land- und Forstwirte) (DBV 2018, S. 11 f.). Abgedeckt werden beispielsweise Arbeiten wie Betreuung von Biogasanlagen, die Gülleausbringung, die Komplettbewirtschaftung von landwirtschaftlichen Betrieben, die Bodenbearbeitung oder die Düngung und der Pflanzenschutz mit Spezialtechnik. Es ist davon auszugehen, dass die Aufgaben, die Lohnunternehmen anbieten, im Zuge der zunehmenden Verbreitung digitaler Agrartechnologien immer umfangreicher und anspruchsvoller werden. Ein vielversprechendes, bereits etabliertes Geschäftsfeld sind beispielsweise Drohnenleistungen wie die Wildortung, die Bekämpfung des Maiszünslers oder die Erstellung von Applikationskarten (Bockelmann 2019).

Aufgrund ihres hohen Organisationsgrades, ihrer streng gemeinschaftlich ausgerichteten Struktur sowie ihrer starken Präsenz in den landwirtschaftlich kleinstrukturierten Regionen haben insbesondere Maschinenringe großes Potenzial, Landwirt/innen bei der digitalen Transformation ihrer Betriebe unterstützend zu begleiten. Die Maschinenringe haben dies erkannt und sehen es als ihre explizite Aufgabe an, auch Familienbetrieben Know-how sowie Zugang zu digitalen Technologien zur Verfügung zu stellen. Zu diesem Zweck wurde u. a. auf der »Agrartechnika« 2017 die Informationskampagne »#Fairnetz« ins Leben

231 <https://www.maschinenring.de/maschinenring-deutschland/5-vorteile-als-mitglied> (18.8.2021)

232 https://www.maschinenring.de/maschinenring_deutschland/profil (18.8.2021)



gerufen, die »in einer innovativen spielerischen Art Themen rund um die Digitalisierung der Landwirtschaft erklärt« (Bundesverband der Maschinenringe e. V. 2017).²³³ 2018 startete außerdem in Baden-Württemberg das Forschungsprojekt »MR digital«, das bis 2022 am Beispiel der Ausbringung von Wirtschafts- und Mineraldünger die Grundlagen eines überbetrieblichen Einsatzes von informationsgestützter Landtechnik untersucht (Griepentrog et al. 2019). Ziel ist, »jeder Betriebsform und -größe in Baden-Württemberg den Zugang zu digitalen Technologien und innovativer Technik im Bereich des Pflanzenbaus« zu eröffnen – gearbeitet wird u. a. an einer digitalen Infrastruktur, die eine bessere Verfügbarkeit von Geodaten, eine plattformbasierte Organisation des überbetrieblichen Einsatzes und eine dezentrale Datenhaltung unter Wahrung der Datenhoheit garantieren soll. 2018 wurde zudem bekannt, dass der Bundesverband der Maschinenringe in Kooperation mit SAP den Aufbau einer Agrarplattform in Angriff genommen hat, welche die cloudbasierte Vermittlung und Abrechnung von Maschinen ermöglichen und die dabei anfallenden Daten den Mitgliedsbetrieben nutzbar machen soll (Deter 2018a).

Zu beachten ist jedoch, dass der überbetriebliche Einsatz nicht für alle digitalen Technologien gleichermaßen geeignet ist. Infrage kommt er vor allem für bewegliche Spezialgeräte, die zeitlich relativ flexibel eingesetzt werden können und nur kurzzeitig gebraucht werden (z. B. Dünger- oder Kompoststreuer, Säugeräte sowie Tiefenlockerer; agrarheute 2013). Er sollte darüber hinaus nicht zu übermäßigem Verschleiß führen. Die genannten Bedingungen treffen beispielsweise auf Sensorsysteme zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung zu. Wie in einer Fallstudie gezeigt wurde, sind diese für einen überbetrieblichen Einsatz grundsätzlich gut geeignet, wenn die nutzenden Betriebe über dieselben Spurweiten verfügen und mit der Anwendung vertraut sind (Vinzent et al. 2019). Weniger tauglich ist die überbetriebliche Nutzung jedoch für digitale Anwendungen, die sich entweder im Dauereinsatz befinden oder fest installiert sind. Dazu gehören etwa automatische Lenksysteme, Herden- oder Farmmanagementsysteme oder fest installierte Stalltechnik wie AMS oder Fütterungsautomaten. Insgesamt lässt sich der Schluss ziehen, dass überbetriebliche Einsatzmöglichkeiten vor allem in der Pflanzenproduktion, hingegen kaum in der Tierproduktion bestehen.

Eine Problematik, welche die überbetrieblichen Einsatzmöglichkeiten von PL-Technologien in der Pflanzenproduktion (automatische Lenksysteme, Parallelfahrssysteme, teilflächenspezifische und georeferenzierte Ertragserfassung etc.) begrenzen kann, sind für einen effizienten Einsatz ungeeignete Schlaggrößen (Wagner 2014). Gerade in den kleinstrukturierten Agrarregionen sind die Ackerschläge häufig so klein oder ungünstig strukturiert, dass sich Geräte mit größerer Arbeitsbreite nicht mehr effizient nutzen lassen – eine Schwierigkeit,

²³³ Im Zuge dessen wurde u. a. ein Onlinemagazin eingerichtet, das stetig um neue Inhalte ergänzt wird (<https://www.maschinenring.de/kontext/index.html>; 18.8.2021).



die sich auch durch einen überbetrieblichen Einsatz nicht ausräumen lässt. Abhilfe kann hier die sogenannte Gewannebewirtschaftung schaffen, bei der eine »virtuelle Flurbereinigung« von Flächen unterschiedlicher Eigentümer oder Besitzer vorgenommen wird (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 105; DLG 2003; Wagner 2014). Mehrere Einzelschläge werden dabei virtuell (das heißt ohne die Besitzverhältnisse zu ändern) zusammengefügt, wodurch eine deutlich größere Fläche entsteht, die einheitlich bestellt und geführt wird. Dadurch lassen sich der Arbeitszeitbedarf und die Maschineneinsatzzeiten (Arbeitserledigungskosten) je Flächeneinheit durch eine verbesserte Maschinenauslastung deutlich reduzieren. Die tatsächlichen Einspareffekte hängen laut Wagner (2014, S. 5 ff.) im Wesentlichen von der Arbeitsbreite sowie der Schlaggröße ab, können jedoch durchaus in der Größenordnung von 100 bis fast 200 Euro/ha liegen. Verwendete Produktionsmittel und erzielte Ernteerträge lassen sich durch Georeferenzierung nachträglich den ursprünglichen Schlagbereichen rechnerisch zuordnen.

Umsetzen lässt sich eine Gewannebewirtschaftung sowohl durch Maschinengemeinschaften, Maschinenringe als auch Lohnunternehmer. Voraussetzungen sind in jedem Fall eine genaue Abstimmung der Bewirtschaftungsmaßnahmen zwischen den beteiligten Landwirt/innen und die Bereitschaft, Einschränkungen »der persönlichen Entscheidungsautonomie bezüglich des Produktionsprozesses« auf sich zu nehmen (Gandorfer 2006, S. 131). So vorteilhaft eine virtuelle Flurbereinigung aus wirtschaftlicher Sicht auch sein kann, sollten außerdem auch deren tendenziell negativen Effekte für die Biodiversität nicht außer Acht gelassen werden. Denn eine überbetriebliche Bewirtschaftung von benachbarten Flächen lässt größere Schläge entstehen, auf denen dieselbe Kulturpflanze angebaut wird. Diese großen einheitlichen Flächen können zu Barrieren für Bestäuber wie beispielsweise Wildbienen werden und sind vermutlich eine der Ursachen für die abnehmende Artenvielfalt in der Agrarlandschaft (Georg-August-Universität Göttingen 2019).²³⁴

4.3.3.2 Chancen für den Ökolandbau

Während die Gesamtzahl der Betriebe in der Landwirtschaft seit Jahren kontinuierlich abnimmt, ist im Bereich des ökologischen Landbaus demgegenüber ein Zuwachs zu beobachten. Von 2010 bis 2016 stieg die Zahl der ökologisch wirtschaftenden Betriebe gemäß Agrarstrukturerhebung von 16.532 auf 19.901 (BLE 2019, S. 33). Deren Verteilung auf die einzelnen Betriebsgrößenklassen entsprach im Jahr 2016 dabei in etwa derjenigen in der Landwirtschaft insgesamt (TAB 2019, S. 49 f.), wobei auch im Ökolandbau im Zeitverlauf ein leichter

²³⁴ <https://www.praxis-agrar.de/umwelt/biologische-vielfalt/artenvielfalt-erhalten/> (18.8.2021)



Anstieg der durchschnittlichen Betriebsgröße festzustellen ist. Lag die durchschnittliche Flächenausstattung eines ökologisch wirtschaftenden Betriebs im Jahr 1999 in Deutschland noch bei rund 51 ha, betrug sie 2016 bereits 57 ha (BLE 2019, S. 33; Würriehausen/Lakner 2015).

Die Bereitschaft in der deutschen Landwirtschaft, auf Ökolandbau umzustellen, ist laut Agrarmonitor des DBV ungebrochen und so hoch wie noch nie (Awater-Esper 2019) – 17% der Betriebe erwägen einen Wechsel (zu aktuellen Zahlen BÖLW 2020, S. 10 ff.). Dabei sind offenbar längst nicht mehr nur ideelle, sondern zunehmend ökonomische Motive ausschlaggebend, wie Untersuchungen zeigen (TAB 2012b, S. 57 ff.). Dies ist sicherlich darauf zurückzuführen, dass sich das Marktumfeld für ökologische Betriebe seit Längerem durchaus positiv entwickelt: Der Umsatz mit Bioprodukten erreichte 2017 erstmals 10 Mrd. Euro (BÖLW 2018). Die Nachfrage wächst in Deutschland so dynamisch, dass der Bedarf das Angebot an heimischen Produkten mittlerweile übersteigt (BMEL 2018d). Obwohl die Ökolandwirtschaft mit niedrigeren Erträgen, einem höheren Arbeitsaufwand und strengeren regulativen Anforderungen einhergeht, scheinen die geringeren Ausgaben für Betriebsmittel, vor allem aber die höheren Produktpreise sowie die Ökoflächenförderung diese Defizite mehr als auszugleichen. Dies zeigt der Blick auf die gute wirtschaftliche Lage von Biobetrieben: Deren Einkommen liegt seit Jahren (mit einem kurzzeitigen Einbruch im Wirtschaftsjahr 2013/2014) stabil über demjenigen konventioneller Vergleichsbetriebe (Sanders 2019). Zwischen den Regionen sind jedoch wie in der konventionellen Landwirtschaft auch teils deutliche Unterschiede in der Einkommenssituation zu konstatieren (Würriehausen/Lakner 2015).

Die Umstellung auf den ökologischen Landbau ist für Betriebe generell eine große Herausforderung (KTBL 2018, S. 1247). Neben einer Anpassung der Produktionsverfahren an die in der Verordnung (EG) Nr. 834/2007²³⁵ festgelegten Standards – ein Vorgang, der durch staatlich anerkannte Kontrollstellen überwacht und zertifiziert wird – sind auch neue Vertriebswege zu erschließen (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen 2019). Insgesamt handelt es sich dabei um einen Prozess, der mehrere Jahre dauert und für die Betriebe mit hohen Kosten verbunden ist. Es ist nicht davon auszugehen, dass kleinere Betriebe über die notwendigen Ressourcen und Managementkapazitäten verfügen, um neben der langwierigen und kostspieligen Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung auch noch in größerem Umfang in digitale Produktionstechniken zu investieren. Für viele Familienbetriebe dürfte deshalb eine Entscheidung für den Ökolandbau eine bewusst gewählte Alternative zu einer weiteren

²³⁵ Verordnung (EG) Nr. 834/2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. Diese Verordnung wurde mittlerweile durch die Verordnung (EU) 2018/848 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 ersetzt.



Mechanisierung, Automatisierung und insbesondere Digitalisierung der Produktion darstellen – umso mehr, als Präzisionslandwirtschaft und Digitalisierung (ungeachtet der Chancen, die sie für den Ökolandbau bieten), nach wie vor für ein »technologisches Ethos« stehen, das viele ökologische Betriebe ablehnen (Barnes et al. 2019, S. 172).

Geprägt ist der Ökolandbau traditionell von einem Wertesystem, das einer technologischen Intensivierung der Produktion eine Absage erteilt und sich um eine ganzheitliche, nachhaltige Steuerung des landwirtschaftlichen Produktionssystems bemüht (TAB 2004, S. 9 ff.). Dazu gehören die starke Orientierung am Leitbild der artgerechten Tierhaltung und der Verzicht auf chemische Pflanzenschutzmittel, mineralische Stickstoffdünger sowie Gentechnik. Abgesehen davon ist moderne Landtechnik aber im Ökolandbau ebenso unabdingbar wie in der konventionellen Landwirtschaft. Präzisionslandwirtschaft und Digitalisierung, eingesetzt im Sinne einer nachhaltigen Intensivierung, bieten demzufolge auch für den Ökolandbau prinzipiell große Potenziale (TAB 2004). Da externe Eingriffe in die natürlichen Kreisläufe möglichst vermieden werden sollen, sind eine differenzierte Erfassung unterschiedlicher Standortbedingungen und darauf abgestimmte Bewirtschaftungsmaßnahmen sogar von spezieller Bedeutung. Chancen bestehen angesichts der höheren regulativen Anforderungen darüber hinaus im Bereich der Dokumentation von Maßnahmen sowie der transparenten Kontrolle und Rückverfolgbarkeit von Bio-Produkten, außerdem in der Erschließung neuer Vermarktungsmöglichkeiten im Onlinehandel.

Aufgrund der Besonderheiten der Produktionsverfahren im Ökolandbau sind digitale Lösungen aus der konventionellen Landwirtschaft allerdings nicht ohne Weiteres übertragbar:

- › Vor allem im ökologischen *Pflanzenbau* weichen die Produktionsverfahren teils deutlich von denen im konventionellen Bereich ab. Durch den fehlenden Herbizideinsatz und unterschiedliche Düngeverfahren kommen der schonenden Bodenbearbeitung, der mechanischen Unkrautregulierung sowie der Gestaltung der Fruchtfolge eine wichtige Rolle zu (TAB 2004), was zum Teil Unterschiede in der maschinellen Ausstattung bedingt (Chaoui/Sørensen 2008).²³⁶ Grundsätzlich ist es so, dass automatische Lenksysteme und Parallelfahrssysteme auch für den ökologischen Landbau Mehrwerte bieten, nämlich eine Reduzierung der Arbeitszeit sowie eine verringerte Bodenbelastung (Hefner et al. 2017; Klöble et al. 2007). Größere Unterschiede ergeben sich vor allem bei der Standortkartierung sowie der Teilflächenbe-

²³⁶ Geräte, die vor allem im Ökolandbau zur Anwendung kommen, sind Striegel und Hacken, die der mechanischen Unkrautbekämpfung dienen. Statt der im konventionellen Bereich verbreiteten Gülletankwagen werden zur Düngung häufiger Miststreuer eingesetzt. Pflanzenschutzspritzen sind kaum zu finden (<https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/grundlagen-pflanzenbau/landtechnik/unterschiede-oeko-konventionell/>; 18.8.2021).



wirtschaftung, die zwar im Ökolandbau ebenfalls von großem Interesse sind, jedoch den Besonderheiten der ökologischen Wirtschaftsweise Rechnung zu tragen haben (TAB 2004, S. 68 ff.). Ein Beispiel ist die Stickstoffversorgung, die primär durch den Anbau von stickstofffixierenden Leguminosen und erst in zweiter Linie durch das Ausbringen von Wirtschaftsdünger erfolgt. Daraus ergeben sich spezifische Anforderungen an die Ermittlung des Düngebedarfs, der u. a. vom variablen Leguminosenanteil innerhalb des Schlages abhängt (Trautz/Kühling 2018). Weitere typische Beispiele sind die Unkrautregulierung, die in der ökologischen Landwirtschaft ausschließlich mittels mechanischer oder thermischer Methoden erfolgt,²³⁷ sowie der Pflanzenschutz, bei dem präventive Maßnahmen im Fokus stehen. Für die entsprechenden Verfahren braucht es maßgeschneiderte digitale Lösungen, die auf die teilweise spezielle Applikationstechnik und die spezifischen Anforderungen des Ökolandbaus zugeschnitten sind. Vielversprechende Anwendungsperspektiven eröffnen insbesondere das Aufspüren von Unkrautpflanzen mittels automatischer Bilderkennung, außerdem die bodenschonende und kleinräumige Bewirtschaftung auf Einzelpflanzenebene durch autonome Kleinroboter (sogenanntes Spot Farming; DAFA 2017, S. 13f.; Wegener et al. 2019).

- › In der *Tierproduktion* sind für die meisten digitalen Agrartechnologien keine wesentlichen Anwendungsbeschränkungen erkennbar. AMS und Fütterungsautomaten (TAB 2021, Kap. 5.1) sind im Ökolandbau genauso einsetzbar wie in der konventionellen Landwirtschaft und unterliegen weitgehend denselben Anforderungen. Sensorsysteme zur Einzeltierbeobachtung sowie Gesundheitsüberwachung (für das Herdenmanagement TAB 2021, Kap. 2.3) bieten ebenfalls Potenziale, sofern sie für eine Nutzung bei Weidehaltung ausgelegt sind.

Alles in allem gibt es also auch im Ökolandbau vielversprechende Anwendungsmöglichkeiten für digitale Agrartechnik. Um diese zu realisieren, braucht es aber eine noch bessere Verzahnung der in Deutschland breit aufgestellten Ökolandbauforschung (Niggli 2018) mit der Landtechnikindustrie. Bisherige Entwicklungstrends im Bereich der Präzisions- sowie der digitalen Landwirtschaft (z. B. sensorbasierte Stickstoffdüngung, Teilbreitenschaltung, Sensorsysteme für das Herdenmanagement) sind stark von den Bedürfnissen der konventionellen Landwirtschaft geprägt. Stärker an den Prinzipien des Ökolandbaus orientierte Forschungs- und Entwicklungsbemühungen könnten neue Wege in der Pflanzenproduktion aufzeigen und auch der konventionellen Landwirtschaft wichtige Impulse in Richtung nachhaltiger Intensivierung geben (Gaus et al. 2017; Wegener et al. 2017). Interessant erscheint perspektivisch insbesondere eine

²³⁷ Entsprechende sensorgesteuerte Lösungen für die Anwendung in Reihenkulturen befinden sich bereits seit längerem in Entwicklung und sind teilweise bereits auf dem Markt erhältlich (Kielhorn et al. 2000; Muscalu et al. 2019; Sellmann et al. 2014).



Umstellung der Produktionsprozesse auf kleinere, autonom agierende Feldroboter, die neben einer bodenschonenderen, ökologischeren Bewirtschaftung auch eine besser auf die Betriebsgröße abgestimmte Maschinenauslastung verspricht (TAB 2021, Kap. 5.3). Offen ist derzeit, ob sich im Ökolandbau ähnliche Strukturveränderungen abzuzeichnen beginnen wie im konventionellen Bereich und sich im Zuge dessen ebenfalls eine zunehmende wirtschaftliche Kluft zwischen den kleineren und den sehr großen Ökobetrieben auf tun könnte (Würriehausen/Lakner 2015). Die Frage, wie kleinere Betriebe an den Vorteilen der Digitalisierung teilhaben können, könnte sich zukünftig auch für den Ökolandbau als relevant erweisen. Der überbetriebliche Technikeinsatz ist ebenfalls eine Möglichkeit, die für ökologisch wirtschaftende Betriebe aber teilweise eingeschränkt ist, da Maschinenringe üblicherweise nicht auf die speziellen Anforderungen des Ökolandbaus eingestellt sind. Ökologisch wirtschaftende Betriebe in Deutschland sind dafür mehrheitlich in Ökolandbauverbänden organisiert, die zumindest Beratungsdienste anbieten und über die Möglichkeiten der Vernetzung bestehen.

4.4 Landarbeit 4.0

Die Digitalisierung ist dabei, die Arbeitswelt grundlegend zu verändern. Entsprechende gesamtgesellschaftliche Entwicklungen werden unter dem Schlagwort Arbeit 4.0 seit einigen Jahren intensiv diskutiert (TAB 2017) und selbstverständlich ist auch die Landwirtschaft davon nicht ausgenommen. Digitale Agrartechnologien haben konkrete Auswirkungen auf betriebliche Abläufe und damit darauf, wie, wo und wann Landarbeit betrieben wird. Die Effekte der digitalen Arbeit, insbesondere deren spezifischen Anforderungen und Belastungen, wurden jedoch für die Landwirtschaft bislang eher wenig untersucht, und wenn, dann vor allem mit Fokus auf die Milchviehwirtschaft (für einen Überblick z. B. Hostiou et al. 2017; Klerkx et al. 2019). Aus der Diskussion lassen sich die folgenden relevanten Aspekte ableiten, die so oder ähnlich (bis auf den letzten Punkt) auch in der allgemeinen Arbeit-4.0-Debatte auftauchen (TAB 2017, S. 51 ff.; zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 86 ff.):

- › *Arbeitszeitbedarf*: Bestimmte digitale Agrartechnologien (insbesondere AMS, automatische Fütterungs- oder Lenksysteme) versprechen durch die Automatisierung bestimmter Abläufe teils erhebliche Reduktionen der für bestimmte Routinetätigkeiten erforderlichen Arbeitszeiten (z. B. Dokumentationspflichten, Melken der Herde, Ernte eines Schlages; Kap. 4.2.1). Die konkrete Quantifizierung der zeitlichen Einspareffekte ist allerdings schwierig, u. a. weil einerseits reduzierte Arbeitszeit stark von den betrieblichen Bedingungen abhängig ist und andererseits der sehr individuelle Zeit-



bedarf für die Einarbeitung sowie die Bedienung und Wartung der Technologien gegengerechnet werden muss (Hostiou et al. 2017, S. 270). Bei teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen (etwa der sensorgestützten Stickstoffdüngung) ist hingegen auch denkbar, dass durch den technikbedingten Zusatzaufwand (etwa für Kalibrierung der Sensorsysteme) ein erhöhter Arbeitszeitbedarf im Vergleich zur herkömmlichen Bewirtschaftungsweise resultiert. Dies hängt jedoch von den konkreten Umständen ab, insbesondere dem gewählten Verfahren (Offline vs. Online) und den Kompetenzen des Anwendenden.

- › *Neue digitale Arbeitsformen:* Die Änderungen im Arbeitszeitbedarf sind auch deswegen so schwierig einzuschätzen, weil durch die Einführung digitaler Technologien ganz neue Arbeitsinhalte entstehen. Grundsätzlich ist damit zu rechnen, dass zunehmend weniger repetitive und physisch anstrengende Arbeiten verrichtet werden müssen, da diese teilweise von teilautonomen Maschinen übernommen werden können (wie es beim Melken mit AMS und bei der Steuerung von Landmaschinen mit automatischen Lenksystemen bereits der Fall ist). Stattdessen gewinnen Management- und Computertätigkeiten an Bedeutung, vor allem in den Bereichen Datenauswertung sowie Steuerung, Kontrolle/Überwachung und Wartung der Digitaltechnologien (Roskopf/Wagner 2004). Den physischen Arbeitserleichterungen sind also steigende kognitive Arbeitsanforderungen gegenüberzustellen, die entsprechende Technikkompetenzen erfordern und mit einer vermehrten psychischen Beanspruchung verbunden sein können (Hoffmann 2018). Die große Komplexität und der hohe Vernetzungsgrad digitaler Technologien erhöhen zudem die Abhängigkeit von der Technik (bzw. von externem Fachpersonal), was bei Störungen »Gefühle der Hilflosigkeit und des Kontrollverlusts« auslösen und aus Sorge vor einem Technikausfall zu einem generellen Stressfaktor werden kann (Umstätter 2017b).
- › *Flexibilisierung und Entgrenzung von Arbeit:* Durch die digitalen Technologien wird es möglich, dass Arbeiten in der Landwirtschaft, die vorher an feste Zeiten und Orte gebunden waren, wie z. B. der Melkvorgang, die Futtevorlage oder die Reinigung von Spaltenböden, zeitlich sowie räumlich flexibler ausgeführt werden können (Kuschel 2018). Bestimmte Tätigkeiten, wie z. B. die Überwachung und Kontrolle einer Fütterungsanlage oder eines AMS, erfordern nicht die Anwesenheit vor Ort, sondern können von zu Hause aus erledigt werden. Andere Arbeiten, etwa das Bestellen eines Schlages, können mithilfe von automatischen Lenksysteme in die Nacht ausgedehnt werden (Gandorfer et al. 2017a, S. 15). Arbeiten können so insgesamt selbstbestimmter durchgeführt und flexibler geplant werden. Zu rechnen ist aber im Gegenzug damit, dass die Grenzen zwischen Arbeit und Freizeit umso mehr verschwimmen, je zeit- und ortsunabhängiger Tätigkeiten aus-



geführt werden können. So dürfte durch die Einführung digitaler Technologien für viele Landwirt/innen der Arbeitsstress zunehmen, da sie mittels mobiler Geräte permanent den Betrieb zu überwachen haben (Hostiou et al. 2017, S. 271). Dieses Phänomen wird in der Debatte zu Arbeit 4.0 als Entgrenzung von Arbeit umschrieben und mit einer erhöhten Arbeitsintensität und steigenden psychischen Belastungen in Verbindung gebracht (TAB 2017, S. 51 ff.).

- > *Mensch-Tier-Beziehung*: Im Bereich der Tierproduktion sind beim Einsatz digitaler Anwendungen auch Effekte auf die Mensch-Tier-Beziehung zu erwarten. Hostiou et al. (2017) stellen hierzu in einem Review-Artikel fest, dass die räumliche Distanz zwischen Tier und Mensch tendenziell zu- und damit der direkte physische Kontakt abnimmt, da das Management der Herde mittels geeigneter Sensor- und Automatisierungstechnologien zunehmend aus der Ferne erledigt werden kann (Melken, Füttern, Brunstkontrolle etc.). Gleichzeitig schaffen die Technologien für die Landwirt/innen ggf. aber auch neue zeitliche Freiräume, die diese für positive Interaktionen mit ihren Tieren nutzen können. Es wird darauf hingewiesen, dass die Technologien neue Routinen und Abläufe sowohl für Tier als auch Mensch mit sich bringen und das Potenzial haben, die Mensch-Tier-Beziehung stark zu verändern (Carolan 2019; Hostiou et al. 2017, S. 272).

Obwohl sich die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Arbeit in der Landwirtschaft zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht scharf abzeichnen, scheinen die Folgen ebenso ambivalent zu sein, wie es für Arbeit 4.0 im Allgemeinen festgestellt wurde (TAB 2017, S. 208). Chancen bieten sich hinsichtlich einer autonomen Arbeitsgestaltung, der physischen Entlastung und ggf. der Schaffung zeitlicher Freiräume, die Risiken liegen vor allem in einer steigenden Arbeitsintensität und in psychischen Mehrbelastungen. Letzteres ist von Bedeutung, da psychische Erkrankungen wie Burnout und Depressionen unter Landwirt/innen stetig zunehmen und inzwischen laut Statistiken der Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (SVLFG) die zweithäufigste Ursache für Erwerbsminderung darstellen (Baierl 2017). Auch eine Umfrage der Zeitschrift »agrarheute« unter 1.323 Landwirt/innen bestätigt deren hohe psychische Beanspruchung, welche von den Befragten als belastender eingeschätzt wird als die körperliche (Eder 2018a).²³⁸

Wie sich digitale Technologien konkret auf Arbeitsanforderungen und -qualität auswirken, hängt wesentlich von ihrer Nutzerfreundlichkeit ab. Je einfacher Technologien zu handhaben sind, desto geringer ist der kognitive und zeitliche Aufwand, der für ihren Betrieb aufgewendet werden muss. Mit Blick

238 66% der Teilnehmer bezeichnen ihre Arbeit als geistig anstrengend, 55% als körperlich anstrengend (Eder 2018a).



auf die Präzisionslandwirtschaft wird diesbezüglich in der Literatur immer wieder zwischen zwei Typen von Technologien unterschieden: Embodied Knowledge Technologies (EKT) auf der einen Seite und Information Intensive Technologies (IIT) auf der anderen (Barnes et al. 2019; Griffin/Lowenberg-Deboer 2005; Miller et al. 2019). Während EKT kaum zusätzliches Equipment, spezielle Fähigkeiten oder Kompetenzen erfordern – EKT bilden diesbezüglich quasi ein in sich abgeschlossenes Paket (»die Technologiepakete sind ›in sich geschlossen«²³⁹, Griffin/Lowenberg-Deboer 2005, S. 31) –, ist die Anwendung von IIT deutlich komplexer und ohne Spezialwissen und -fertigkeiten nicht zu bewerkstelligen. Typische Beispiele für EKT sind automatische Lenksysteme oder die automatische Teilbreitenschaltung. IIT umfassen typischerweise teilflächenspezifische Bewirtschaftungsmaßnahmen, bei denen zahlreiche Daten mittels Sensortechnik gesammelt, anschließend interpretiert und in Applikationskarten übersetzt werden müssen, bevor die Maßnahmen geplant und durchgeführt werden können.²⁴⁰ Dieser Prozess ist informationsintensiv und ihn erfolgreich abzuschließen, verlangt einige Kenntnisse: Verschiedene Hard- und Softwaresysteme (Sensortechnik, Landmaschinen, Farmmanagementsysteme) müssen zum Einsatz und in ein optimales Zusammenspiel gebracht werden (Rösch et al. 2007, S. 44). IIT sind entsprechend deutlich anspruchsvoller und zeitaufwendiger in der Bedienung als EKT. Allerdings ist die Abgrenzung zwischen diesen Technologietypen nicht trennscharf.

Generell ist im Bereich der digitalen Landwirtschaft ein Trend zur immer stärkeren datenbasierten Automatisierung von Abläufen festzustellen, was sich bei der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung in der zunehmenden Verbreitung von Onlineverfahren bemerkbar macht. Bei der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung beispielsweise sind bereits seit längerem diverse Sensorsysteme verfügbar, die eine relativ unkomplizierte Durchführung der Bewirtschaftungsmaßnahme ermöglichen (TAB 2021, Kap. 2.2.2). Bis auf die Kalibrierung funktioniert das System weitgehend automatisiert, was durch die Implementierung spezifischer Applikationsalgorithmen erreicht wird, welche die erfassten Daten in Echtzeit verarbeiten und in einen Maschinenauftrag umwandeln. Der N-Sensor ist somit auf dem Spektrum zwischen EKT und IIT sehr nah bei Ersteren anzusiedeln. Die Landwirtin/der Landwirt wird dadurch zwar sowohl in zeitlicher als auch kognitiver Hinsicht entlastet. Gleichzeitig droht aber zum ei-

239 Im Original: »the technological packages are ›self-contained«.

240 Siehe dazu die Ergebnisse einer Studie von Beinert (2017, S. 12 ff.), in der u. a. die Komplexitätswahrnehmung von PL-Technologien untersucht wurde. Teilbreitenschaltung, automatische Lenk- und Fütterungssysteme, die sensorgestützte Brunsterkennung etc. gehören zu den Technologien, die als wenig komplex wahrgenommen wurden. Als relativ komplex wurden u. a. bezeichnet: »Zusammenführen von Daten mehrerer Jahre aus Ertragskartierung, Schlagdaten und Bodenproben«, Datenmanagement beim ISOBUS-Terminal, die zentrale Anlagensteuerung und deren -überwachung, AMS sowie die sensorgestützte Überwachung der Krankheitserkennung.



nen eine wachsende Abhängigkeit von algorithmisch gesteuerten Entscheidungsprozessen, die von den Nutzer/innen nicht mehr zu durchschauen sind – erstens, weil Landwirt/innen dafür in der Regel nicht über die erforderliche Expertise verfügen, und zweitens, weil die Algorithmen von den Herstellern meist gar nicht offengelegt werden. Zum anderen besteht die Gefahr, dass mit der zunehmenden Verbreitung automatisierter Entscheidungssysteme bäuerliches Erfahrungswissen sukzessive verlorengelht, da es im Arbeitsalltag nicht mehr direkt gebraucht wird (z. B. in Bezug auf die Brunsterkennung, die Beurteilung der Tier- und Pflanzengesundheit sowie der Bodenqualität).

Erfahrungswissen ist aber nach wie vor wichtig, damit Landwirt/innen den Output digitaler Systeme beurteilen, Fehler erkennen und ggf. korrigieren können. Denn landwirtschaftliche Produktionsprozesse sind mit so heterogenen und veränderlichen Standortbedingungen konfrontiert, dass ihre algorithmische Steuerung – alleine schon aufgrund der unsicheren Datenqualität – schneller an Grenzen stößt als in anderen Bereichen. Digitale Agrartechnik kann und sollte die Landwirt/innen also nicht überflüssig machen, sondern eine unterstützende Aufgabe haben, indem diese deren Situationsverständnis erweitert und vertieft (Evans et al. 2017). Voraussetzung dafür ist, dass die Landwirt/innen den Output sowie die komplexen Funktionszusammenhänge vernetzter Systeme zu beurteilen vermögen, was entsprechende Technikkompetenzen erfordert. Außerdem ist von Bedeutung, dass landwirtschaftliches Erfahrungswissen möglichst in die Entwicklung der Applikationsalgorithmen einfließt (Lindblom et al. 2017; Rose et al. 2018) oder gar in die Steuerung der automatisierten Technik integriert wird. Wie Letzteres gelingen kann, wird derzeit an einem Forschungsprojekt der Universität Hohenheim sowie der Technischen Universität Chemnitz erforscht (»FuzzyFarmer«, Laufzeit: 2018–2021).²⁴¹ Ziel ist die Entwicklung eines neuartigen Gesamtkonzepts zur präzisen Stickstoffdüngung, das qualitative Vorgaben der Landwirtin/des Landwirts in die Echtzeitsteuerung des sensorgestützten Düngerstreuers einbindet.²⁴²

Klar ist: Die Digitalisierung hat grundlegende Auswirkungen auf das Berufsbild der Landwirtin/des Landwirts, die Qualifizierungsanforderungen und damit die Arbeitskräftestruktur in der Landwirtschaft (Bretschneider 2019; Schrijver 2016, S. 25). Es ist damit zu rechnen, dass manuelle physische Arbeit auf dem Feld und im Stall weniger und dafür Büro- und Managementarbeiten zunehmen werden – Landwirt/innen werden sich verstärkt zu »Technologie-manager[n] und Strategen« entwickeln, so Waltmann et al. (2019, S. 278). Durch die wachsende Komplexität der digitalen Technologien, die in den Betrieben eingesetzt werden, steigen die Anforderungen an die Qualifikationen von Mitarbeiter/innen und Betriebsleitungen entsprechend an (Kitchen et al. 2002), während der Bedarf an niedrigqualifizierten Beschäftigten zurückgehen

241 <https://www.uni-hohenheim.de/organisation/projekt/fuzzyfarmer> (18.8.2021)

242 <https://www.unter-2-grad.de/projekte/fuzzyfarmer/> (18.8.2021)



dürfte. Schrijver (2016, S. 24 ff.) kommt in einer STOA-Studie des Europäischen Parlaments anhand einer Szenarienanalyse zu dem Schluss, dass zukünftig Kompetenzen und Fähigkeiten vor allem in drei Bereichen gefordert sein werden:

- › *Technologische Expertise*: Die neuen Technologien sind nicht nur zu bedienen und zu warten, was entsprechendes Know-how erfordert, sondern darüber hinaus sind erweiterte Technikkompetenzen erforderlich: Zu entscheiden ist, wann welche Anwendung zum Einsatz zu bringen ist und wie die anfallenden Daten zu managen, zu interpretieren und optimal zu nutzen sind (inklusive Einschätzungen zur Datenqualität; sogenannte Data Skills). Ganz allgemein wird die Anforderung zunehmen, »in komplexen Systemzusammenhängen oder ganzheitlichen Prozessketten zu denken« (Beinert 2017, S. 37).
- › *Legislative Expertise*: Hier braucht es nicht nur ein Verständnis der relevanten Regularien und der bürokratischen Hürden, die bei einem Einsatz digitaler Agrartechnologien zu berücksichtigen sind (z. B. Vorschriften für die Nutzung von Drohnen), sondern auch genaue Kenntnisse der eigenen rechtlichen Möglichkeiten und Pflichten etwa in Bezug auf Datenschutz, Datenhoheit und Datensicherheit.
- › *Führungs- und Managementexpertise*: Mit der Digitalisierung werden die betriebswirtschaftlichen Anforderungen an Landwirt/innen vermutlich deutlich ansteigen: Es geht nicht nur darum, die richtigen Investitionsentscheidungen zu treffen, sondern auch, den Betrieb strategisch auf die digitale Transformation einzustellen, ggf. neue digitale Geschäftsmodelle und Vertriebswege zu erschließen und die Mitarbeiter/innen auf diesem Wege mitzunehmen (Doluschitz 2010).

Mit Blick auf die Entwicklung der Arbeitskräftestruktur in der Landwirtschaft bietet die Digitalisierung Chancen wie auch Risiken (Rotz et al. 2019b; dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 13, 88 u. 93). Auf der einen Seite ist zu erwarten, dass der vermehrte Einsatz digitaler Technologien die landwirtschaftliche Arbeit attraktiver machen und den Beruf der Landwirtin/des Landwirts aufwerten wird (Schrijver 2016, S. 25), was vor dem Hintergrund der Altersstruktur des Berufsstandes²⁴³ sowie der anhaltenden Nachfolgeproblematik bei vielen Familienbetrieben von großer Bedeutung ist. Sollte es gelingen, hochqualifizierte Fachkräfte langfristig an die Landwirtschaft zu binden, sind zudem positive demografische Auswirkungen für den ländlichen Raum zu erwarten. Vorstellbar ist außerdem, dass sich durch die Digitalisierung in Zukunft wieder

²⁴³ Gut ein Drittel der Landwirt/innen ist älter als 55 Jahre. Bei den restlichen Erwerbstätigen beträgt dieser Anteil 22 % (DBV 2018, S. 98).



mehr junge Menschen für eine Ausbildung in der Landwirtschaft bzw. allgemein in den »Grünen Berufen« interessieren – bei der Zahl der Auszubildenden ist hier seit Jahren eine Stagnation zu beobachten (DBV 2018, S. 98).

Auf der anderen Seite ist die Landwirtschaft jedoch bereits seit jeher ein Sektor, welcher gerade auch wenig qualifizierten Arbeitskräften (ohne landwirtschaftliche Ausbildung, Gesellen- oder Technikerprüfung) berufliche Perspektiven eröffnet hat. Immerhin 35 % der Betriebsleiter/innen weisen nur praktische landwirtschaftliche Kenntnisse und Erfahrungen auf, verfügen also über keine abgeschlossene landwirtschaftliche Berufsausbildung. Dieser Anteil ist mit 56 % bei den Betrieben kleiner als 10 ha sowie mit 37 % bei den Einzelunternehmen besonders ausgeprägt (DBV 2018, S. 98 f.) – bei Letzteren verfügen z. B. nur 7,5 % der Betriebsleiter/innen über ein landwirtschaftliches Studium. Steigende Qualifizierungsanforderungen in der Landwirtschaft bergen somit die Gefahr, dass diese Betriebe mit der technischen Entwicklung nicht mithalten können und weiter wirtschaftlich abgehängt werden. Zudem sind steigende Abhängigkeiten dieser Betriebe von Dritten zu erwarten, da sie zunehmend gezwungen sein dürften, Aufgaben an externe Dienstleister, Lohnunternehmer oder Maschinenringe abzugeben – mit entsprechenden Einschränkungen der »innerbetrieblichen Entscheidungsautonomie« (Gandorfer 2006, S. 130 f.). Zu beachten sind schließlich auch die sozialen Folgen für die relativ große Zahl niedrigstqualifizierter Arbeitskräfte in der Landwirtschaft (insbesondere Saisonarbeiter), da hier die Beschäftigungsmöglichkeiten verstärkt wegzufallen drohen.

Schrijver (2016, S. 25) fordert in der STOA-Studie des Europäischen Parlaments vor diesem Hintergrund eine Bildungsoffensive in der Landwirtschaft (Education Push), vor allem im Bereich der Hightechkompetenzen. Eine Herausforderung dabei ist das breitgefächerte Kompetenzprofil, das es zu vermitteln gilt und eine Anpassung der beruflichen sowie universitären Aus- und Weiterbildung erforderlich macht (Kitchen et al. 2002): Der Umgang mit Robotern bzw. Automatisierungstechnologien sowie die kompetente Handhabung von Daten gehören neben einem Verständnis von Rechtsvorschriften sowie Kenntnissen der relevanten Gesetze zu den künftig notwendigen Lehr- und Bildungsinhalten (Doluschitz/Gindele 2019, S. 102 f.). Momentan allerdings weisen einschlägige Aus- und Weiterbildungsangebote sowie die Lehrpläne agrarischer Berufe teilweise noch deutliche Defizite hinsichtlich der Vermittlung entsprechender Technik-, Digital- und Medienkompetenzen auf (Kuhn 2016). Darauf deutet auch eine Onlineumfrage zum Stand des Wissens der Digitalisierung unter Studierenden einer agrar- und ernährungswissenschaftlichen Fakultät hin,



die bei den digitalen, landwirtschaftlichen Begriffen teils deutliche Wissenslücken offenbarte.²⁴⁴ Studiengänge, welche spezifisch auf die Erfordernisse der digitalen Landwirtschaft vorbereiten (und ggf. neue digitale Lehr- und Lernkonzepte integrieren; Beinert 2017, S. 38), sind in Deutschland derzeit noch äußerst rar gesät. Wegweisend ist hier die Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, die 2018 den bundesweit einzigen Studiengang zu Precision Farming eingerichtet hat (Deter 2019).

Neben solchen neuen Ausbildungsmöglichkeiten braucht es aber auch Schulungen sowie Beratungsangebote, die zielgerichtet auf die Bedürfnisse älterer Betriebsleiter/innen sowie Einzelunternehmer zugeschnitten sind. Diese sind beim Umstieg auf die Digitalisierung mit besonderen Herausforderungen konfrontiert und benötigen eine entsprechend praxisnahe Begleitung. Beratungsmöglichkeiten bieten sich hier beispielsweise im Rahmen der branchenübergreifenden Mittelstand-4.0-Kompetenzzentren an (Neddermann et al. 2019). Aber auch den lokalen Maschinenringen, dem regionalen Landtechnikhandel sowie den Landesanstalten für Landwirtschaft kommt dabei eine wichtige Rolle zu (Beinert 2017, S. 38).

4.5 Fazit

Bei der Frage, wie sich die Digitalisierung auf landwirtschaftliche Betriebe auswirkt, stehen Aspekte der Wirtschaftlichkeit klar im Vordergrund. Dies hat damit zu tun, dass von innovativen digitalen Agrartechnologien – wie im Übrigen von anderen technischen Fortschritten in der Landwirtschaft auch – Steigerungen der Arbeitsproduktivität sowie Effizienzgewinne (Betriebsmitteleinsparungen) erwartet werden. Allerdings besteht die Befürchtung, dass nicht alle Betriebe gleichermaßen von diesen ökonomischen Effekten profitieren können. Denn für eine wirtschaftliche Nutzung digitaler Anwendungen ist erforderlich, dass die Anschaffungskosten durch den spezifischen Zusatznutzen (Mehrerträge, Arbeitszeit- und Betriebsmitteleinsparungen) aufgewogen werden. Größere Betriebe haben diesbezüglich Vorteile, da die höhere Maschinenauslastung zu Skaleneffekten führt und sie die anfallenden Kosten somit eher amortisieren können. Dies könnte eine Fortsetzung des seit Jahrzehnten stattfindenden Agrarstrukturwandels hin zu größeren, stärker spezialisierten und hocheffizient wirtschaftenden Betrieben bedeuten, wenn kleinere Betriebe nicht im gleichen Maße an der Digitalisierung partizipieren und damit wirtschaftlich benachteiligt werden.

244 Borchard (2018) kam zu dem Schluss: »Begriffe wie GIS, ISOBUS und Precision (Livestock) Farming sind mehr als 60 % der Studierenden unbekannt. Wenn es in den Bereich von ganz speziellen Begriffen, wie AgroXML und FarmNet365 geht, sieht das Ergebnis noch schlechter aus (> 80 bzw. 70 %).«



Für eine genaue Abschätzung derartiger Effekte ist erforderlich, alle mit der Verwendung der Technologien verbundenen Kosten- und Nutzenpositionen möglichst exakt zu beziffern. Wie die vorhergehende Analyse zur Wirtschaftlichkeit von digitalen Agrartechnologien gezeigt hat, ist dies nur bedingt möglich:

- Die *Höhe der Anschaffungskosten* variiert beträchtlich und reicht von wenigen Tausend (Drohnen, nachrüstbare Lenksysteme) über Zehntausende (bestimmte N-Sensorsysteme) bis hin zu Hunderttausenden Euro (AMS, automatische Fütterungssysteme). Dennoch ist davon auszugehen, dass im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung auf die Betriebe größere Investitionen zukommen, da das Potenzial zur Optimierung landwirtschaftlicher Prozesse in der umfassenden Vernetzung verschiedener digitaler Einzelanwendungen auf Betriebsebene gesehen wird.
- Der *wirtschaftliche Nutzen* der verschiedenen Digitaltechnologien ist schwer abzuschätzen und kaum allgemein zu quantifizieren, da die jeweiligen betrieblichen Rahmenbedingungen (Standortheterogenität, Bewirtschaftungsintensität, Managementkapazitäten des Landwirts, Anbaukultur, Schlaggröße und -form etc.) einen großen Einfluss auf das Ergebnis haben. Klar sagen lässt sich, dass die zu erwartenden Effekte je nach Technologie differieren und auch unterschiedlich gut untersucht sind: Kaum valide Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen gibt es zu innovativen Anwendungen wie Drohnen und Agrarrobotern, während bereits seit Längerem etablierte Technologien aus dem Bereich der Präzisionslandwirtschaft – insbesondere Parallelfahr- und automatische Lenksysteme, N-Sensorsysteme und AMS – relativ eingehend beleuchtet wurden. Die entsprechenden Studien zeigen, dass der prinzipielle Nutzen dieser Technologien zwar meist unstrittig, in der konkreten Höhe aber nur sehr unscharf bestimmbar ist: Beim Einsatz von AMS ergeben sich erhebliche Reduktionspotenziale bei der für das Melken benötigten Arbeitszeit (von bis zu 25 % gegenüber dem konventionellen Melken); bei Parallelfahr- und Lenksystemen können durch die Reduzierung von Überlappungen und eine optimierte Routenplanung Kraftstoff und ebenfalls Arbeitszeit eingespart werden (im Umfang von 10 bis 20 %), hinzu kommen mögliche Mehrerträge von 5 bis rund 10 % durch die bodenschonendere Bewirtschaftung; etwas unklarer sind die Effekte der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung mittels N-Sensorsystemen, deren Anwendung komplex und von besonders vielen Einflussfaktoren bestimmt ist. Aber auch hier gibt es Hinweise auf realisierbare Mehrerträge (in der Größenordnung von 5 %) und einen verringerten Düngeraufwand (von bis zu 10 %).

Ob die entsprechenden Mehrerlöse die Kosten für Anschaffung und Unterhalt zu kompensieren vermögen, hängt maßgeblich von der Betriebsgröße ab. Die



Schwelle, ab der eine wirtschaftliche Nutzung möglich ist, ergibt sich aus den Kosten für Anschaffung und Unterhalt einerseits und der Höhe des realisierbaren Zusatznutzens andererseits. Da sich aber insbesondere Letzterer (der nicht zuletzt u. a. von den volatilen Preisen für Betriebsmittel abhängig ist) nur grob abschätzen lässt, bestehen auch hinsichtlich Wirtschaftlichkeitsschwellen größere Unsicherheiten. Dennoch wird deutlich, dass vor allem Familienbetriebe die für einen wirtschaftlichen Einsatz erforderliche Mindestbetriebsgröße oft nicht erreichen. Unter den derzeitigen Rahmenbedingungen ist bei Parallelfahr- und automatischen Lenksystemen von einer Wirtschaftlichkeitsschwelle ab etwa 100 ha auszugehen. Deutlich mehr Mindesteinsatzfläche scheinen N-Sensorsysteme zu erfordern, nämlich etwa 300 ha (laut Reckleben 2014a), wobei in der Literatur auch stark abweichende Angaben zu finden sind (die Hersteller sehen die Wirtschaftlichkeit teils bereits ab 100 ha gegeben). Bei AMS wiederum ist ein wirtschaftlicher Einsatz erst ab etwa 60 bis 70 Kühen gegeben.

Insofern gibt es durchaus plausible Hinweise, dass die Digitalisierung ein wichtiger Treiber des zukünftigen Agrarstrukturwandels sein wird. Dafür spricht auch, dass die digitale Vernetzung von Einzelanwendungen große Herausforderungen an die Betriebsleiter/innen stellt. Der Umgang mit diesen Technologien erfordert entsprechendes technisches Know-how und ganz neue Kompetenzen etwa im Bereich des Datenmanagements. Größere Betriebe haben eher die Kapazitäten und Möglichkeiten, sich diese Qualifizierungsanforderungen anzueignen (durch Weiterbildungen oder das Anwerben geeigneter Mitarbeiter) als kleinere, da hier ein nicht unerheblicher Teil der Einzelunternehmer über keine abgeschlossene landwirtschaftliche Berufsausbildung verfügt.

Dennoch sind die spezifischen agrarstrukturellen Auswirkungen des digitalen Wandels bislang weitgehend unklar, da dazu keine fundierten Abschätzungen vorliegen. Vor allem ist nicht klar, ob und inwiefern die Digitalisierung strukturelle Effekte zeitigt, die sich qualitativ und quantitativ von denjenigen bisheriger Technisierungsschritte in der Landwirtschaft abheben. Die Probleme beginnen schon damit, dass die Angaben über die bisherige Verbreitung digitaler Agrartechnologien in der deutschen Landwirtschaft sehr spärlich und wenig aussagekräftig sind. Im Unterschied zu anderen Ländern gibt es hierzulande keine offiziellen statistischen Erhebungen dazu. Die wenigen vorliegenden, häufig nicht repräsentativen und teils inkonsistenten Befragungen deuten darauf hin, dass Agrarroboter und Drohnen kaum verbreitet sind und digitale Technologien für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung und das betriebliche Datenmanagement erst von einer (wenngleich wachsenden) Minderheit genutzt werden. Bereits auf größeren Zuspruch zu stoßen scheinen vor allem relativ einfach handhabbare Automatisierungstechnologien, wie z. B. satellitenbasierte Navigation bei Landmaschinen oder Fütterungs- und Reinigungsautomaten in der Viehwirtschaft. Aus Erhebungen lässt sich zudem folgern (Kap. 4.1.1), dass die typischen Anwender/innen von PL-Technologien eher jüngeren Alters, gut



ausgebildet sowie erfahren im Umgang mit Computern und digitalen Technologien sind. Außerdem gibt es klare Hinweise, dass die Betriebsgröße bzw. Flächenausstattung sowie die Anzahl abhängig Beschäftigter positiv mit der Implementierungsbereitschaft korrelieren. Differenzierte, wissenschaftlich belastbare Befunde zur Verbreitung oder Verbreitungsmustern digitaler Agrartechnologien in der deutschen Landwirtschaft lassen sich daraus aber nicht ableiten.

Außer Frage steht, dass in Regionen, die eine Dominanz kleinbetrieblicher Strukturen aufweisen (Süd- und Südwestdeutschland), es Unterstützungsmaßnahmen für kleinere und mittlere Betriebe bedarf, damit diese nicht von der digitalen Entwicklung abgehängt werden. Auch für kleinere Betriebe bieten sich Chancen – vor allem in Form von qualitativen Arbeitserleichterungen wie der Entlastung von physisch fordernden Tätigkeiten sowie Dokumentationspflichten, einer höheren Arbeitsflexibilität etc. –, sofern die richtigen Rahmenbedingungen geschaffen werden. Entsprechende Möglichkeiten bieten beispielsweise die Senkung von Investitionshürden (z. B. durch die Freigabe von RTK-Korrektursignalen oder Geodaten), die Bereitstellung maßgeschneiderter Beratungs- und Weiterbildungsangebote oder der überbetriebliche Einsatz digitaler Technologien. Zu beachten ist jedoch, dass sich eine gemeinschaftliche Arbeitserledigung nicht für alle Technologien gleichermaßen eignet und zudem für Landwirt/innen mit Einschränkungen der innerbetrieblichen Entscheidungsautonomie verbunden ist. Von besonderer Bedeutung ist deshalb die Entwicklung von einfach handhabbaren Technologien, die eine möglichst skalenneutrale Anwendung erlauben. Im Fokus steht hier u. a. eine Neuorganisation der Anbauverfahren im Ackerbau mittels autonomer Kleinmaschinen, die von kleineren Betrieben besser ausgelastet werden könnten und darüber hinaus die Chance bieten, die konventionelle Landwirtschaft stärker ökologisch auszurichten. Hinsichtlich der Ausgestaltung der dafür benötigten Maschinen- und Verfahrenskonzepte gibt es aber noch grundlegenden Forschungsbedarf.





5 Resümee und Handlungsfelder

Die Landwirtschaft befindet sich seit geraumer Zeit in einem Veränderungsprozess. Steigende gesellschaftliche Erwartungen an die Qualität der Lebensmittel und Forderungen nach einer nachhaltigeren Nahrungsmittelproduktion müssen mit sich verschärfenden Wettbewerbsbedingungen auf den globalen Agrarmärkten und langfristig fallenden Agrarpreisen in Balance gebracht werden, ohne dass dabei die Aufgabe der Ernährungssicherung aus dem Blick geraten darf. Die Leistungsfähigkeit der Landwirtschaft zu steigern und gleichzeitig ihre Umweltbelastungen zu reduzieren, ist eine enorme Herausforderung.

Digitale Innovationen, die seit etwa 20 Jahren in der landwirtschaftlichen Praxis Einzug halten, gelten als vielversprechendes Mittel zur Entschärfung dieser Probleme. Die Hoffnung ist, mithilfe der Digitalisierung (bzw. der im Zuge dessen erzeugten Datenmengen) die komplexen, von vielen unwägbaren Faktoren (Wetter- und Umwelteinflüsse etc.) beeinflussten landwirtschaftlichen Prozesse besser steuern und Betriebsabläufe so effizienter und ressourcenschonender gestalten zu können (Kap. 2.1.1). Dies betrifft sowohl aus ökologischer als auch wirtschaftlicher Sicht insbesondere wünschenswerte Betriebsmitteleinsparungen, aber auch die Erleichterung von Nachweispflichten und Dokumentationsaufgaben. Darüber hinaus werden Möglichkeiten diskutiert, mittels digitaler Technologien die verschiedenen vor- und nachgelagerten Stufen entlang der agrarischen Wertschöpfungskette (inklusive Landmaschinen- und sonstige Produktionsmittelhersteller, Lebensmittelverarbeiter, Groß- und Einzelhandel) stärker untereinander zu verzahnen, mit dem Ziel, den gesamten Prozess der Lebensmittelproduktion transparenter auszugestalten und somit letztlich flexibler an gesellschaftlichen Erwartungen auszurichten.

Generell zeichnet sich die Landwirtschaft in Deutschland durch ein hohes Technisierungs- und Automatisierungsniveau aus – im Vergleich zu anderen Branchen gilt sie gar als Vorreiterin der Digitalisierung (PwC 2016). Allerdings ist festzuhalten, dass hinsichtlich der tatsächlichen Verbreitung und Nutzung digitaler Agrartechnologien noch große Wissenslücken bestehen, da dazu in Deutschland kaum repräsentative Erhebungen vorliegen. Dennoch gibt es Hinweise, dass einzelne digitale Agrartechnologien bereits in größerem Umfang zum Einsatz kommen. Dazu gehören im Pflanzenbau Anwendungen der Präzisionslandwirtschaft (Precision Farming) wie satellitengestützte Navigations- und Assistenzsysteme, in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung Sensorsysteme zur Gesundheits- und Verhaltensüberwachung sowie Automatisierungstechnologien wie Melk-, Fütterungs- und Reinigungsautomaten. Alle diese Anwendungen zeichnen sich durch eine verhältnismäßig einfache Handhabung sowie durch einen relativ geringen Vernetzungsgrad aus (d. h., sie kommen vor allem als Einzelsysteme zum Einsatz). Auch digitale Ackerschlagkarteien wer-



den bereits von recht vielen Landwirten genutzt. Besonders innovative Technologien hingegen oder solche, die eine hohe Bedien- und Datenkompetenz erfordern – z. B. Sensor- und Mappingverfahren für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung, Agrarrobotik, Drohnenanwendungen, Farmmanagementsysteme –, sind laut den vorliegenden Daten in der landwirtschaftlichen Praxis bislang weniger verbreitet, wenngleich es teilweise Hinweise auf eine wachsende Nutzung gibt, z. B. bei den Farmmanagementsystemen.

Auf dem Weg zu einer umfassenden digitalen Vernetzung sind daher noch etliche Herausforderungen zu bewältigen. Dazu gehört einerseits die Minderung bestehender Defizite bei den infrastrukturellen Rahmenbedingungen der Digitalisierung. Hervorzuheben sind hier vor allem die unzureichende Breitbandverfügbarkeit im ländlichen Raum sowie die noch längst nicht abgeschlossene kostenfreie Bereitstellung relevanter Geodaten durch die öffentlichen Verwaltungen der Länder und des Bundes. Andererseits ist davon auszugehen, dass sich im Zuge der digitalen Transformation nicht nur die Prozesse in den landwirtschaftlichen Betrieben verändern werden, sondern auch die Geschäftsmodelle und -beziehungen in der gesamten vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette der Landwirtschaft.

Neben Start-ups, den öffentlichen Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen und innovativen Landwirt/innen sind es vor allem die großen Agrarkonzerne (Landtechnikhersteller und Betriebsmittelproduzenten), welche die Innovationsdynamik im Bereich der Digitalisierung maßgeblich antreiben. Zusätzlich drängen neue, teils auch branchenfremde Dienstleister mit datenbasierten Geschäftsmodellen auf den Markt (Kap. 2.2). All das könnte fundamentale Umstrukturierungen der Markt- und Wettbewerbsbedingungen und letztlich der Branchenstruktur nach sich ziehen, die sich derzeit noch nicht absehen lassen. Denn Entwicklung und Nutzung digitaler Technologien, ihre Vernetzung (insbesondere über Wertschöpfungsstufen hinweg) sowie in diesem Kontext die Erweiterung von Geschäftsfeldern und das Auftreten neuer wirtschaftlicher Akteure stehen nach wie vor relativ am Anfang. Zukünftig wird die Frage der Datenhoheit eine wichtige Rolle spielen. Bislang herrscht häufig rechtliche Unklarheit darüber, wer über die auf landwirtschaftlichen Betrieben gesammelten Daten verfügen und diese wirtschaftlich nutzen darf (Kap. 2.2.2). Somit besteht die Gefahr, wie (Konzern-)Übernahmen der letzten Jahre zeigen, dass die bereits seit Längerem zu beobachtenden Konzentrationstendenzen in den der landwirtschaftlichen Primärproduktion vor- und nachgelagerten Bereichen durch die digitale Vernetzung weiter voranschreiten könnten – was entsprechend negative Folgen für die wirtschaftliche Souveränität der Landwirt/innen haben dürfte.

Vor allem die kleineren landwirtschaftlichen Betriebe sehen sich durch diese Entwicklungen vor große Herausforderungen gestellt. Aufgrund von Skaleneffekten und Wirtschaftlichkeitsschwellen lohnt sich die Anschaffung digitaler Ausstattung oft erst ab einer bestimmten Betriebsgröße, sodass kleinere



und mittlere Betriebe tendenziell Mühe haben, an den potenziellen wirtschaftlichen Vorteilen der Digitalisierung zu partizipieren (Kap. 4.2). Eine weitere Hürde gerade für kleinere Betriebe ist zudem darin zu sehen, dass mit der Digitalisierung ganz neue Qualifizierungsanforderungen einhergehen (Kap. 4.4). Erforderlich ist nicht nur der sichere Umgang mit den neuen Technologien, sondern vor allem auch die Fähigkeit, die anfallenden Daten kompetent zu managen. Die Betriebsleiter/innen müssen sich entsprechendes digitales Know-how aneignen, was für viele jedoch neben dem laufenden Betrieb nur schwierig zu bewerkstelligen sein dürfte. Infolgedessen ist damit zu rechnen, dass es zukünftig »unterschiedliche Grade der Digitalisierung in verschiedenen Betrieben der Landwirtschaft geben« wird (BMEL 2017b, S. 16). Deshalb braucht es Beratungs- und Unterstützungsangebote sowie digitale Anwendungen, die passgenau auf die unterschiedlichen betrieblichen Bedürfnisse und Anforderungen zugeschnitten sind.

Der Digitalisierung wird immer wieder ein disruptives Veränderungspotenzial zugeschrieben (Herlitzius 2018). Unter dieser Prämisse ist es zum jetzigen Zeitpunkt sehr schwierig, ihre betrieblichen, agrarstrukturellen oder ökologischen Folgen klar zu benennen oder gar zu quantifizieren. Dies wird durch die Ergebnisse des vorliegenden Berichts bestätigt. Voraussichtlich werden digitale Agrartechnologien ein wesentlicher Treiber des zukünftigen Agrarstrukturwandels sein, wie die Erhebungen zur Nutzungsbereitschaft sowie der Verbreitung von Technologien der Präzisionslandwirtschaft andeuten (Kap. 4.1). Gleichwohl fehlt es für eine Beurteilung der konkreten agrarstrukturellen Wirkungen diesbezüglich bislang an einer ausreichenden Datenbasis.

In ähnlicher Weise sind die Umweltwirkungen digitaler Technologien in der Präzisionslandwirtschaft von komplexen Zusammenhängen bestimmt. Sie werden u. a. von den spezifischen Eigenschaften jeder einzelnen digitalen Technologie und die konkreten Ausgestaltungen ihrer Nutzung sowie den naturräumlichen bzw. produktionstechnischen Bedingungen ihres Einsatzes beeinflusst. Eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung muss nicht in jedem Fall zu einem geringeren Inputeinsatz und einer Umweltentlastung führen. Der Einfluss auf Umweltwirkungen durch in der landwirtschaftlichen Praxis eingeführte digitale Technologien ist bislang fast nicht wissenschaftlich dokumentiert. Ebenso sind systemische Effekte (z. B. alternative Landnutzungen infolge geringeren Saatgutbedarfs durch teilflächenspezifische Aussaat) sowie Reboundeffekte (z. B. Ausweitung der Bewässerung infolge effizienterer Bewässerungstechnik) kaum analysiert.

Außer Frage steht, dass die digitale Transformation der Landwirtschaft einer vorausschauenden Gestaltung bedarf. Dabei geht es keineswegs nur um Technikinnovation im engeren Sinne. Vielmehr hat die Digitalisierung Auswirkungen auf Abläufe und Prozesse in Betrieben und die gesamte landwirtschaft-

liche Wertschöpfungskette, was infrastrukturelle, rechtliche und auch bildungspolitische Fragen aufwirft. Damit liegen wesentliche Handlungsfelder in den folgenden Bereichen:

- › infrastrukturelle Rahmenbedingungen
- › Datenhoheit der Landwirt/innen
- › Sicherstellung des Zugangs zu digitalen Technologien
- › Innovation und Technikentwicklung
- › Schließen von Wissens- und Forschungslücken

5.1 Infrastrukturelle Rahmenbedingungen

Die Digitalisierung bedarf zukunftsfähiger Infrastrukturen. Innovative Digitalanwendungen in der Landwirtschaft basieren zunehmend auf Echtzeitverfahren, bei denen Daten während des Arbeitsprozesses ausgetauscht werden müssen, um beispielsweise die logistischen Prozesse von Erntevorgängen simultan planen und anpassen zu können (Hertzberg et al. 2017, S. 19). Dafür wird eine Funkverbindung zwischen den beteiligten Maschinen untereinander und zu der planenden Instanz benötigt (Rechner, Onlineservice etc.). Das Potenzial vieler digitaler Agrartechnologien kann zudem erst ausgeschöpft werden, wenn neben einem reibungslosen Datenfluss auch ein einfacher Zugriff auf externe Geodaten und andere Datenbestände gegeben ist (Wetter-, Kataster-, Satellitendaten etc.). Die möglichst kostenfreie und praktikable Bereitstellung dieser Datenbestände, die sich zumeist in Händen der öffentlichen Behörden und Verwaltungen befinden, ist deshalb eine wichtige Voraussetzung für die weitere Verbreitung der Digitalisierung in der Landwirtschaft.

In beiden Bereichen gibt es noch deutliche Defizite. Weder ist eine robuste und flächendeckende Verfügbarkeit von mobilem Internet im ländlichen Raum gegeben, noch ist die Freigabe von Geodaten einheitlich geregelt. Ein Beispiel dafür ist der Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landvermessung (SAPOS), der für Anwendungen der Präzisionslandwirtschaft essenziell ist. In einigen Bundesländern ist dieser Dienst für landwirtschaftliche Betriebe kostenfrei verfügbar, in anderen nicht (Bundesregierung 2018b).

Die bestehende heterogene Situation bei der Breitbandversorgung und der Geodatenverfügbarkeit hat zur Folge, dass die Wettbewerbsbedingungen der landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland mit Blick auf die Digitalisierung nicht gleichwertig ausgestaltet sind. Dies führt zu Unsicherheiten bei den Landwirt/innen und bremst eventuell vorhandene Investitionsbereitschaften aus. Insbesondere kleinere Betriebe, für die der Einstieg in den digitalen Wandel mit größeren wirtschaftlichen Risiken verbunden ist, sind auf verlässliche und möglichst kostenfreie infrastrukturelle Rahmenbedingungen angewiesen, um an der Digitalisierung partizipieren zu können.



Bei der Breitbandversorgung sowie der Geodatenverfügbarkeit gibt es – anders als etwa bei den Standardisierungsbemühungen im Bereich der Maschinenschnittstellen (ISOBUS) – entweder kein ausreichendes privatwirtschaftliches Engagement (Mobilfunkausbau) oder die Aufgabe liegt grundsätzlich weitgehend in staatlicher Hand (amtliche Geodaten). Insofern ist hier maßgeblich die Politik gefordert, eine ausreichende Versorgung mit den entsprechenden Gütern sicherzustellen bzw. diese zu unterstützen. In letzter Zeit wurden diesbezüglich etliche staatliche Aktivitäten initiiert:

- › Bei der *Breitbandversorgung* ist insbesondere die Mobilfunkstrategie des Bundes zu nennen, mit der eine »flächendeckende Versorgung mit mobilen Sprach- und Datendiensten (LTE/4G)« gewährleistet werden soll. Die Strategie enthält ein Bündel von Maßnahmen und wird durch zahlreiche Förderprogramme auf Bundes- und Länderebene ergänzt. Hier scheinen vor allem eine gute Koordinierung und Abstimmung der Einzelmaßnahmen zwischen den verschiedenen Akteuren sowie eine möglichst unbürokratische Vergabe der Fördergelder erforderlich. Prioritär erscheint aus Sicht der Landwirtschaft, die vorhandenen Ressourcen vorerst auf die Schließung der bestehenden Mobilfunklöcher im LTE-Netz zu konzentrieren, bevor mit dem flächendeckenden Ausbau des 5G-Netzes begonnen wird. Entscheidend ist zudem, dass die formulierten Zielvorgaben beim Mobilfunkausbau verlässlich eingehalten werden, um eine klare Planungsgrundlage für die Betriebe zu schaffen.
- › Mit der Änderung des Geodatenzugangsgesetzes von 2012 hat der Bund seine *Geodaten* für die kommerzielle und nicht kommerzielle Nutzung grundsätzlich freigegeben. Die Geodatenbestände, die für die Landwirtschaft von hoher Bedeutung sind, liegen jedoch mehrheitlich in der Hoheit der Länder und sind häufig nicht frei verfügbar. Eine Harmonisierung der föderal sehr unterschiedlich gehandhabten Zugangsregelungen wäre sehr wünschenswert, um in Deutschland einheitliche Rahmenbedingungen zu schaffen. Als Gremium zur Abstimmung bietet sich dafür der am Bundesministerium des Inneren angesiedelte Interministerielle Ausschuss für Geoinformationswesen (IMAGI) an, der sich ressortübergreifend für die Bereitstellung von Geoinformationen auch der Länder und Kommunen einsetzt.²⁴⁵ Dabei wäre nicht nur auf eine kostenlose Freigabe (auch für die kommerzielle Nutzung) zu achten, sondern auch auf eine Veröffentlichung in ausreichender Qualität sowie einem standardisierten Format im Rahmen einer nutzerfreundlichen Dateninfrastruktur. Besonders fortschrittlich ist diesbezüglich Rheinland-Pfalz, das ein mobiles Agrarportal aufgebaut hat

²⁴⁵ <https://www.imagi.de/Webs/IMAGI/DE/themen-und-projekte/zugang-zu-geodaten/zugang-zu-geodaten-node.html> (18.8.2021)

und nun Modellregion für den Aufbau der mit Bundesmitteln unterstützen GeoBox-Infrastruktur ist.

5.2 Datenhoheit

Die Antwort auf die Frage, wem die Hoheit über die auf landwirtschaftlichen Betrieben gesammelten Daten zusteht, wird entscheidend die Akzeptanz neuer digitaler Technologien und ihrer Vernetzung in der Landwirtschaft beeinflussen. Die Integration von Prozessen und damit auch von den sie begleitenden Daten über die Agrarwertschöpfungskette hinweg bringt es notwendigerweise mit sich, dass die Betriebsdaten der Landwirt/innen auf Datenplattformen gesammelt, dort weiterverarbeitet und für diverse Anwendungszwecke zur Verfügung gestellt werden (Hertzberg et al. 2017, S. 37). So entstehen neue Geschäftsmodelle, die auf der wirtschaftlichen Verwertung landwirtschaftlicher Daten beruhen. Zwar wird auf breiter Basis gefordert, dass »die auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen bzw. in land- und forstwirtschaftlichen Betrieben gewonnenen Daten grundsätzlich den Bewirtschaftern dieser Betriebe gehören und von diesen umfassend genutzt werden dürfen« – so beispielsweise der Wortlaut einer gemeinsamen Branchenempfehlung aller maßgeblichen Verbände (DBV et al. 2018).²⁴⁶ Gleichwohl treibt viele Landwirt/innen die Sorge um, dass sie mit der aufkommenden Digitalisierung 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.

Diese Sorge ist nicht unbegründet (siehe dazu Kap. 2.2). Denn der Agrarsektor ist von einem zunehmenden ökonomischen Ungleichgewicht zwischen den landwirtschaftlichen Betrieben auf der einen Seite und den Unternehmen der vor- und nachgelagerten Bereiche auf der anderen Seite (Landmaschinen- und Saatguthersteller, Agrochemieunternehmen und Lebensmittelhändler) geprägt. Viele digitale Dienste befinden sich bereits in der Hand großer Agrarkonzerne oder Landmaschinenhersteller. Gleichzeitig gibt es aber bislang keine zivilrechtlichen Bestimmungen, die allgemeingültig definieren, wem die auf diesen Plattformen aggregierten Daten gehören (unabhängig davon, ob sie einen Personenbezug haben oder nicht) und wer welchen Nutzen daraus ziehen darf. Eine Regelung dieser Frage ist bislang nur über vertragliche Vereinbarungen

²⁴⁶ Unterzeichner sind der Deutsche Bauernverband (DBV), der Bundesverband der Maschinenringe (BMR), der Bundesverband Lohnunternehmen (BLU), die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG), der Deutscher Raiffeisenverband (DRV), der LandBauTechnik-Bundesverband sowie der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA). Auch auf europäischer Ebene hat eine Reihe von landwirtschaftlichen Organisationen einen »Code of Conduct« zum Umgang mit landwirtschaftlichen Daten entwickelt (Copa-Cogeca et al. 2018).



zwischen den beteiligten Parteien möglich. Diese Situation ist jedoch für die landwirtschaftlichen Betriebe als eher nachteilig einzuschätzen: Viele vertragliche Formulierungen sind hinsichtlich der Verwendungszwecke der gesammelten nicht personenbezogenen Daten so vage gehalten (wie die Analyse der Farmmanagementsysteme in Kapitel 2.2.3 zeigt), dass schwer zu beurteilen ist, was mit den Daten geschieht. Eine diesbezügliche Transparenzpflicht existiert nicht. Außerdem ist eine Änderung der vertraglichen Bestimmungen durch den Anbieter jederzeit möglich – die Anwender/innen können dann zwar den Nutzungsvertrag kündigen, ein Recht auf Rückübertragung der Daten gibt es jedoch nur, wenn dies vorab vertraglich so vereinbart wurde (was selten der Fall ist).

Betriebe, die einen bestimmten Dienst nutzen möchten, haben aufgrund des regelmäßig bestehenden Machtgefälles kaum andere Möglichkeiten, als die vertraglichen Spielregeln des Anbieters zu akzeptieren. Vor dem Hintergrund vorliegender Oligopolisierungstendenzen fördert diese Situation tendenziell das Misstrauen gegenüber digitalen Angeboten und könnte sich für die Weiterentwicklung der digitalen Landwirtschaft als hinderlich erweisen (Vogel/Mesenberg 2018, S.65). Branchenempfehlungen wie die zuvor erwähnte (DBV et al. 2018) sowie Selbstverpflichtungen von Unternehmen sind zudem nur begrenzt wirksam, um das Vertrauen in die Digitalisierung zu stärken, da derartige Erklärungen per definitionem keinen bindenden Charakter haben. Folglich scheinen weitere politische Maßnahmen angebracht. Infrage kommen

- > legislative Klarstellung zur Datenhoheit,
- > Stärkung des Wettbewerbsrechts und
- > Förderung offener, gemeinwohlorientierter Datenplattformen.

Legislative Klarstellung zur Datenhoheit

Während die Verarbeitung und Nutzung personenbezogener Daten umfassend geregelt ist, ist die Rechtslage bezüglich des Umgangs mit nicht personenbezogenen landwirtschaftlichen Daten (Betriebs- und Maschinendaten) bislang unklar. Da inzwischen fast alle Wirtschaftsbereiche von der Digitalisierung erfasst sind, stellen sich ähnliche rechtliche Problemlagen nicht nur in der Landwirtschaft. Wünschenswert wäre deshalb, wie im Übrigen im Koalitionsvertrag zur 19. Legislaturperiode in Aussicht gestellt (CDU/CSU/SPD 2018, S.129), zügig zu klären, »ob und wie ein Eigentum an Daten ausgestaltet sein kann«. Dabei kommen folgende Alternativen in Betracht (zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S.64f.):

- > Schaffung einer gesetzlichen Regelung zur Datenhoheit: Wie eine solche Regelung aussehen könnte, wird juristisch kontrovers diskutiert. Aufgrund der Eigenschaften von Daten als immaterielle, unbegrenzt replizierbare Güter bereitet die Formulierung von allgemeingültigen Kriterien, nach denen

Daten bestimmten Rechtssubjekten unter allen denkbaren Anwendungsszenarien eindeutig zuzuordnen sind, erhebliche Schwierigkeiten (Datenethikkommission der Bundesregierung 2019, S. 122). Sinn und Zweck einer rechtlichen Lösung sind deshalb unter Expert/innen umstritten (Kap. 2.2.2). Wie bei dem Schutz personenbezogener Daten (Datenschutz-Grundverordnung) sollte die Schaffung eines entsprechenden Rechtsrahmens auf europäischer Ebene erfolgen, wo auch bereits ein Dialogprozess dazu gestartet wurde.

- › Stärkung der Verbraucherrechte: Soll die Zuweisung von Rechten an Daten alleine den Parteien durch vertragliche Vereinbarung vorbehalten bleiben, wären – wie vom BMVI (2017b, S. 111) vorgeschlagen – Anpassungen des Rechts der Allgemeinen Geschäftsbedingungen in Erwägung zu ziehen, um den bestehenden Machtasymmetrien zu begegnen (siehe auch Kritikos 2017, S. 48). Die in den §§ 305 ff. BGB existierenden Regelungen zu Allgemeinen Geschäftsbedingungen müssten dafür so angepasst bzw. erweitert werden, dass sie datenspezifische Problemlagen besser erfassen. Dazu wären Fälle zu definieren, in denen eine unangemessene Benachteiligung der Nutzer/innen gegeben ist – beispielsweise dann, wenn sich Plattform- oder Dienstanbieter (wie teilweise in Kap. 2.2.3 aufgezeigt) vertraglich unbegrenzte Rechte an den Daten einräumen lassen und die Verwendungszwecke nicht transparent offenlegen. Auch hier wäre möglichst auf eine europäische Lösung hinzuarbeiten.

Wie die 2021 erschienene Datenstrategie deutlich macht, scheint die Bundesregierung den zweiten Weg zu präferieren und von einer gesetzlichen Regelung Abstand zu nehmen. Explizit spricht sich die Bundesregierung (2021, S. 23 f. u. 69) dort gegen »die Schaffung eines ›Dateneigentums« aus, stattdessen sollen »gemeinsame Nutzungsbedingungen (AGB) unter Einbindung der Stakeholder für die Nutzung von nicht personenbezogenen Daten u. a. in der Landwirtschaft erarbeitet« werden.

Stärkung des Wettbewerbsrechts

Darüber hinaus sollte die Bundesregierung weitere flankierende Maßnahmen ergreifen, um zu verhindern, dass einzelne Konzerne eine allzu große Datenmacht erlangen (dazu und zum Folgenden Vogel/Mesenberg 2018, S. 65 f.). Zwar konnten für die in diesem Bericht analysierten Geschäftsmodelle keine Entwicklungen ermittelt werden, die diese Tendenz aktuell belegen. Gleichwohl erscheint ein solcher Trend in Zukunft nicht nur nicht ausgeschlossen, sondern sogar durchaus wahrscheinlich. Datengetriebene Plattformen haben ab einer gewissen Größe aufgrund von Netzwerkeffekten eine inhärente Tendenz zur Monopolbildung (Kap. 2.2.1). Eine solche Entwicklung hätte jedoch zur Folge,



dass kleinere Dienstleister auf dem Smart-Farming-Markt keine reelle Konkurrenzchance hätten und landwirtschaftliche Betriebe sich die Bedingungen für die Nutzung von Anwendungen der Landwirtschaft 4.0 letztlich einseitig diktieren lassen müssten. Das würde nicht nur den Wettbewerb im Bereich der digitalen Landwirtschaft massiv beeinträchtigen, auch die starke Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Produktion von einigen wenigen Dienstleistern wäre negativ zu bewerten.

Schwierig ist allerdings die Frage zu beantworten, wie gegen solche Fehlentwicklungen vorgegangen werden kann. Der Umgang mit Monopolen ist dem Gesetzgeber zwar durchaus vertraut (etwa aus dem Bereich des Kartellrechts), und das geltende Recht enthält mit dem GWB bereits ein Instrumentarium zur Bekämpfung von Verhaltensweisen, die eine Verhinderung, Einschränkung oder Verfälschung des Wettbewerbs bezwecken oder bewirken (Vogel/Mesenberg 2018, S. 66). Ein wichtiges Mittel des Wettbewerbsrechts ist die Fusionskontrolle, wie sie bei der Übernahme von Monsanto durch Bayer zur Anwendung kam – Bayer musste seine Digitalsparte in der Folge an BASF abgeben (BASF 2018b). Allerdings sind die aktuellen Vorschriften nicht ausreichend für die Datenökonomie gerüstet; beispielsweise greift die Fusionskontrolle erst ab einer bestimmten Umsatzschwelle, die digitale Geschäftsmodelle oftmals nicht erreichen (Podszun 2019). Mit der anstehenden Reform des GWB bietet sich die Chance, Vorschriften zu erlassen, die eine effektivere wettbewerbsrechtliche Kontrolle datengetriebener Plattformen ermöglichen. Das Kartellrecht diesbezüglich zu modernisieren, ist auch mit Blick auf die Landwirtschaft von großer Bedeutung. Die Bundesregierung (2019b u. 2021, S. 23 f.) hat ihren Willen bekräftigt, dies zu tun.

Förderung offener Datenplattformen

Schließlich ist auch die Förderung offener Datenplattformen ein wichtiges Element zur Sicherstellung einer vertrauensvollen und fairen Interaktion. Solche Plattformen können im Rahmen regionaler Produktionscluster die jeweiligen Akteure vernetzen (z. B. Nutztierhalter/innen, Tierärzt/innen, Futtermittelanbieter, Landeskontrollverbände) oder/und in modernen Agro-Food-Wertschöpfungsketten treuhänderische Koordinationsfunktionen übernehmen (Doluschitz/Gindele 2019, S. 111). Bei der Etablierung offener Datenplattformen gilt es, dreierlei sicherzustellen:

- > erstens, dass die Landwirt/innen die volle Kontrolle darüber behalten, an wen und zu welchen Konditionen sie ihre Betriebsdaten weitergeben;
- > zweitens, dass die mit dem Betrieb der Datenplattform betrauten Organisationen bzw. Personen das volle Vertrauen aller Beteiligten genießen;
- > drittens braucht es gemeinsame Daten- und Schnittstellenstandards für eine herstellerübergreifende Einbindung, da ein digitaler Mehrwert erst durch



Vernetzungseffekte und die Zusammenführung möglichst vieler Daten entsteht.

Wie sich eine offene Plattformarchitektur für landwirtschaftliche Dienstleistungen technisch realisieren lässt, wurde und wird in zahlreichen Forschungsprojekten untersucht (Kap. 2.1.2). Das BMEL hat mehrere dieser Projekte gefördert und bekanntgegeben, den Aufbau einer staatlichen Agrarmasterplattform zu planen. Eine Machbarkeitsstudie, in der die »unterschiedlichen Lösungsvarianten und Realisierungsoptionen« beschrieben werden, ist Ende 2020 erschienen (Fraunhofer IESE 2020, S. 421). Deutschland (unter Führung des BMWi) und Frankreich treiben zudem seit 2019 den Aufbau der dezentralen offenen und transparenten europäischen Dateninfrastruktur »Gaia-X« voran, über die verschiedene Dienste auch für die Landwirtschaft verfügbar gemacht werden sollen (Bundesregierung 2021, S. 12).²⁴⁷ Auch in einer Studie für das Europäische Parlament wurde die Forderung erhoben, einen »unabhängigen, landwirtschaftlich orientierten Datenspeicher« zu entwickeln, der von den EU-Behörden verwaltet werden soll (Kritikos 2017, S. 52). Solche vertrauenswürdigen Lösungen hätten nicht nur den Vorteil, dass sich die Datenhoheit für die nutzenden Betriebe einfach sichern ließe; auch hinsichtlich der unkomplizierten Bereitstellung von amtlichen Geodaten oder der Vereinfachung administrativer Prozesse böten sie großes Potenzial. Zu klären sind allerdings noch etliche Fragen, etwa wie solche staatlich initiierten Plattformen organisiert sein sollen (treuhänderisch, genossenschaftlich oder staatlich; Schneider 2019), wie die IT-Sicherheit garantiert wird und ob und zu welchen Bedingungen kommerzielle Dienste auf die gesammelten Daten zugreifen und diese nutzen können. Letzteres wäre wichtig, um bei den datengetriebenen Geschäftsmodellen ein ausreichendes Innovationsgeschehen sicherzustellen.

Sollte die Entscheidung für die Entwicklung einer solchen Plattform fallen, scheint jedenfalls schnelles Handeln geboten, da sich der Markt derzeit sehr dynamisch entwickelt und die Etablierung einer Agrarmasterplattform nur aussichtsreich erscheint, wenn sie vor der Bildung kommerzieller Datenmonopole erfolgt.

5.3 Sicherstellung des Zugangs zu digitalen Technologien

Der Einstieg in die Digitalisierung ist vor allem für kleinere und mittlere Betriebe ein ökonomisches Risiko. Relativ hohe Investitionskosten, ein erhöhter Managementbedarf sowie der häufig unsichere Nutzen digitaler Agrartechno-

²⁴⁷ <https://www.agri-gaia.de/> (18.8.2021)



logien haben zur Folge, dass sie derzeit hauptsächlich in großen Betrieben eingesetzt werden. Damit nicht nur diese von der Digitalisierung profitieren können, sollten die Einstiegshürden für kleinere und mittlere Betriebe abgebaut werden. Verschiedene Maßnahmen kommen dafür in Betracht:

- > Förderung überbetrieblicher Gemeinschaften
- > Stärkung von Ausbildung und Beratung
- > Etablierung finanzieller Förderinstrumente

Förderung überbetrieblicher Gemeinschaften

Überbetriebliche Bewirtschaftungsformen (z. B. Maschinengemeinschaften, Maschinenringe, Lohnunternehmer) bieten auch kleineren und mittleren Betrieben die Chance, bestimmte kostenintensive Agrartechnik (vor allem bewegliche Spezialgeräte, die zeitlich relativ flexibel eingesetzt werden können und nur kurzzeitig gebraucht werden; Kap. 4.3.3) wirtschaftlich nutzen zu können. Darüber hinaus dienen überbetriebliche Einrichtungen, insbesondere wenn sie gemeinschaftlich organisiert sind, der regionalen Vernetzung der Mitgliedsbetriebe, die damit eher in die Lage versetzt werden, ihre Interessen gegenüber Industrie und Handel durchzusetzen (Doluschitz/Gindele 2019, S. 113). Die Förderung überbetrieblicher Ansätze ist deshalb ein ebenso naheliegendes wie wichtiges Mittel, um alle Betriebe an der Digitalisierung teilhaben zu lassen.

In den Agrarregionen Süddeutschlands mit geringer durchschnittlicher Betriebsgröße werden überbetriebliche Dienstleistungen vor allem von Maschinen- und Betriebshilfsringen angeboten, die dort fast flächendeckend vorhanden sind. Maschinenringe bieten darüber hinaus auch eine umfassende Betriebsberatung an, die besonders auf die Bedürfnisse von Familienbetrieben zugeschnitten ist. Da sie aufgrund ihrer regionalen Verankerung und gemeinschaftlichen Organisationsstruktur das Vertrauen der Landwirt/innen genießen, sind sie ein wichtiger Ansprechpartner für kleine und mittlere Betriebe, die Unterstützung bei der Bewältigung der anstehenden digitalen Herausforderungen benötigen. Allerdings befinden sich die Maschinenringe derzeit selbst in einem digitalen Transformationsprozess und müssen sich die notwendigen Kompetenzen zu digitalen Techniken erst aneignen. Erforderlich ist nicht nur die stärkere Ausrichtung auf digitale Dienste (Maschinenring 4.0), sondern auch die Weiterentwicklung der Beratungsangebote.

Die Maschinenringe sind sich dieser Herausforderung durchaus bewusst, wie die Digitalisierungsstrategie des Bundesverbandes der Maschinenringe zeigt, die u. a. den Aufbau einer Agrarplattform (zusammen mit SAP) beinhaltet (Deter 2018a). Zu überlegen wäre, wie die Maschinenringe staatlicherseits bei der Erbringung und Weiterentwicklung ihrer Dienstleistungen unterstützt werden können. Angesprochen sind hier insbesondere die Bundesländer mit vielen



kleinen und mittleren Betrieben (Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz). In Betracht käme sowohl eine finanzielle Förderung der überbetrieblichen Maschinenvermittlung, wie es beispielsweise von Bayern praktiziert wird (FDP/DVP/MLR 2016), als auch eine enge Kooperation – ggf. ebenfalls unterstützt durch öffentliche Fördermittel – zwischen den Maschinenringen und den verantwortlichen staatlichen Beratungseinrichtungen beim Aufbau digitaler Beratungskapazitäten und -angebote.

Stärkung von Ausbildung und Beratung

Angesichts der Herausforderungen der Digitalisierung haben viele Familienbetriebe sowohl vor und während als auch nach der digitalen Umstellung erhöhten Beratungsbedarf. Sie benötigen nicht nur Technikberatung im engeren Sinne (Bedienung und Wartung), sondern 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 (Doluschitz/Gindele 2019, S. 117). Aufgrund der sehr unterschiedlichen betrieblichen Voraussetzungen (Betriebszweig, Betriebsgröße, Erwerbsform, Qualifizierungsvoraussetzungen, Personalverfügbarkeit etc.) und regionalen Rahmenbedingungen gibt es auf diese Fragen keine pauschalen Antworten. Die Agrarberatung ist in Zeiten der Digitalisierung mehr denn je mit der Aufgabe konfrontiert, individuelle Lösungen zu entwickeln, die auf die konkreten Bedarfe der Betriebe zugeschnitten sind.

Da Bildungs- und Beratungsaufgaben im Hoheitsbereich der Bundesländer liegen, ist die landwirtschaftliche Beratungslandschaft in Deutschland äußerst vielschichtig strukturiert und von einer großen Organisationsvielfalt geprägt – während in den nordwestlichen Bundesländern (einschließlich Saarland) die öffentlich-rechtlichen Landwirtschaftskammern für die Agrarberatung verantwortlich zeichnen, ist sie in den südlichen Bundesländern (einschließlich Sachsen) vor allem staatlich, in den nordostdeutschen Bundesländern hingegen primär privatwirtschaftlich organisiert (Knierim et al. 2017a, 2017b). Hinzu kommt eine große Zahl weiterer Beratungsangebote von Verbänden, den Agrargenossenschaften, lokalen Maschinenringen oder privaten Einrichtungen etc. Festzustellen sei dabei, so Knierim et al. (2017a), eine »zunehmende Kommerzialisierung und Privatisierung von Beratung«, das heißt »die Erbringung von Beratungsleistungen gegen finanzielles Entgelt [...] und durch privatwirtschaftliche Unternehmen«.

Diese »pluralistische Beratungslandschaft« (Knierim et al. 2017a, S. 28) trägt angesichts der vielfältigen Strukturen, Voraussetzungen und Rahmenbedingungen der Landwirtschaft in Deutschland einerseits zur Sicherung einer differenzierten Beratung bei. Andererseits erscheint ihre Fragmentierung in Anbetracht



der gemeinsamen Herausforderungen durch die Digitalisierung nicht unbedingt zielführend und hat »regional differenziert[e] Wettbewerbsbedingungen« zur Folge (Bokelmann et al. 2012, S.255). Eine bessere Abstimmung zwischen den verschiedenen Beratungseinrichtungen wäre jedenfalls angezeigt – diesbezüglich gibt es offenbar noch große Defizite, wie Knierim et al. (2017a, S.29) bemerken. Nicht nur die Kommunikation »zwischen den unterschiedlichen Akteuren in den Bundesländern« lässt zu wünschen übrig, sondern auch diejenige »zwischen den auf die konventionelle Landwirtschaft ausgerichteten Organisationen und denen des Ökolandbaus«. Letzteres ist besonders problematisch, da man sich allgemein von der Digitalisierung einen stärkeren Wissenstransfer zwischen diesen beiden Bereichen erhofft (im Sinne einer »nachhaltigen Intensivierung«; Kap. 4.3.3). Insofern wäre es wünschenswert, dass sich die maßgeblichen Akteure (Verband der Landwirtschaftskammern, Bundesverband der Maschinenringe, Genossenschaftsverband, Ökoverbände etc.) hinsichtlich der strategischen Weiterentwicklung der Agrarberatung zukünftig stärker vernetzen. Abstimmungsbedarf gibt es u. a. hinsichtlich folgender Fragen:

- › wo angesichts der Herausforderungen der Digitalisierung bei kleineren und mittleren Betrieben besonderer Beratungsbedarf besteht und wie sich ein ausreichendes und möglichst kostengünstiges Informations- und Beratungsangebot gewährleisten lässt: In Betracht kommt beispielsweise die öffentliche Förderung von Beratungsleistungen aus Mitteln des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER), wie sie in einzelnen Bundesländern bereits praktiziert wird (Knierim et al. 2017a, 2017b);
- › wie sich hinsichtlich des dynamischen digitalen Wandels, der wachsenden Vielfalt der digitalen Angebote und einer sich zunehmend ausdifferenzierenden Beratungslandschaft eine ausreichende Kompetenz der Berater/innen in Digitalisierungsfragen sicherstellen lässt: Bislang gibt es dazu keine feststehenden Qualifizierungsanforderungen (Knierim et al. 2017a). Nachzudenken wäre etwa über die Formulierung gemeinsamer Standards bei Aus- und Fortbildung, um eine qualitativ hochwertige neutrale Beratung der Landwirt/innen zu garantieren (Schollen 2018);
- › und schließlich, wie sich die Digitalisierung selbst nutzen lässt, um die Beratung und den Wissenstransfer zu verbessern: Vereinzelt werden bereits interaktive Informationsportale²⁴⁸, Webinare (Königstein/Haack 2015) oder Social-Media-Kanäle angeboten. Hilfreich wäre die Entwicklung von webbasierten Entscheidungsunterstützungssystemen sowie anderweitiger digitaler Analysetools, die Landwirt/innen bei der differenzierten Abschätzung von Kosten-Nutzen-Effekten digitaler Agrartechnologien helfen

248 Beispielsweise das »Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion« (<https://www.isip.de/isip/servlet/isip-de>; 18.8.2021) der Landwirtschaftskammern und Landesämter.



(Bahrs 2018, S. 165 f.; Doluschitz/Gindele 2019, S. 117 f.; EIP-AGRI Focus Group 2015). Für die Entwicklung derartiger Beratungsinstrumente fehlt es derzeit allerdings noch an einer hinreichenden Wissensgrundlage in puncto betrieblicher und ökonomischer Auswirkungen der Digitalisierung (Kap. 5.5).

Ausreichende Praxiserfahrungen, wie sich die Vorteile der Digitalisierung auch für kleinere und mittlere Betriebe nutzbar machen lassen, sind bislang unzureichend vorhanden. Sinnvoll wäre diesbezüglich die Etablierung und Unterhaltung von Demonstrationsbetrieben, wie sie beispielsweise an Hochschulen und Universitäten bereits erfolgreich betrieben und genutzt werden (dazu und zum Folgenden Doluschitz/Gindele 2019, S. 114 u. 118). An dieser Stelle könnte man sich eine intensive Zusammenarbeit der Landes(forschungs)anstalten der Agrarressorts auf Bundes- wie auch insbesondere auf Landesebene vorstellen. Durch das Aufzeigen von Best-Practice-Beispielen könnten derartige Demonstrationsangebote als Plattformen für die Aus- und Weiterbildung sowie die gezielte Beratung der landwirtschaftlichen Betriebe dienen.

Ein wichtiger Schritt in diese Richtung wurde seitens des BMEL mit der Einrichtung der sogenannten »Experimentierfelder zur Digitalisierung in der Landwirtschaft« gegangen. Deren Zweck ist »die Schaffung von infrastrukturellen Voraussetzungen zur Untersuchung digitaler Technologien und Verfahren für verschiedene landwirtschaftliche Betriebsstrukturen und die wissenschaftliche Begleitung der zugehörigen Tests« (BMEL 2018b). Mit den Experimentierfeldern, die bis zum Jahr 2022 mit 60 Mio. Euro gefördert werden (BMEL 2018c), sowie dem parallel dazu eingerichteten Kompetenznetzwerk bietet sich u. a. die Chance, die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung der Digitalisierung in Familienbetrieben gezielt zu adressieren. Im Experimentierfeld »DIABEK« (»Digitalisierung – anwenden, bewerten und kommunizieren«) wird dazu etwa der Frage nachgegangen, wie sich bei den Landwirt/innen mittels gezielter Schulung und Beratung »eigen[e] Entscheidungs- und Handlungskompetenz« aufbauen lässt.²⁴⁹

In diesem Zusammenhang stellt sich insbesondere die Frage, wie zukünftig ein angemessener Ausbildungsstand der Landwirt/innen gewährleistet werden kann, der den digitalen Herausforderungen und dem rasanten technischen Wandel gerecht wird. Klar ist, dass »die berufliche Erstausbildung [...] auf zusätzliche Kompetenzanforderungen im Zuge der Digitalisierung und Vernetzung von Geschäfts- und Arbeitsprozessen reagieren muss« (Bretschneider 2019, S. 11). Dies gilt für allgemeinbildende und Berufsschulen gleichermaßen wie für weiterführende Techniker- und Meisterschulen, ebenso für Hochschulen und Universitäten (Doluschitz/Gindele 2019, S. 117). Aufgrund der technikoffenen Ausgestaltung der Berufsbildung ist eine grundsätzliche Reform des

249 <https://forschung.hswt.de/forschungsprojekt/1353-diabek> (18.8.2021)



Ausbildungsberufs Landwirt/-in laut einer Analyse von Bretschneider (2019, S. 129) nicht erforderlich. Bedarf gibt es u. a. bei der Entwicklung neuer Studiengänge, die den interdisziplinären Anforderungen der Präzisionslandwirtschaft Rechnung tragen und ausreichende IT-Kompetenzen vermitteln (Kap. 4.4).

In Anbetracht der hohen Entwicklungsdynamik im Bereich der Digitalisierung sollte die Grundausbildung auch zukünftig durch Weiterbildungsangebote ergänzt werden. Diese sollten speziell auf die Bedürfnisse von kleineren und mittleren Landwirtschaftsbetrieben ausgerichtet sein, um deren erhöhten Weiterbildungsbedarf zu decken (Doluschitz/Gindele 2019, S. 112). Helfen könnte dabei die verstärkte Einbindung neuer digitaler Lernmethoden, wie das integrierte Lernen (Kombination von Präsenz- und E-Learning-Angeboten; Fischer 2019; Kuhn 2016) oder andere virtuelle Lernformen, die Landwirt/innen eine flexible zeitliche Teilnahme an Weiterbildungskursen ermöglichen (Schrijver 2016, S. 25).

Etablierung finanzieller Förderinstrumente

Ein bewährtes Instrument, die Modernisierung der landwirtschaftlichen Produktion zu unterstützen und die Verbreitung neuer Technologien zu fördern, stellen staatliche Investitionszuschüsse dar (Gandorfer 2006, S. 137; Karpinski 2014, S. 181 f.). Durch die Gewährung von Beihilfen für den Erwerb bestimmter Technologien sinken deren Investitionskosten. Damit besteht die Chance, dass die Technologien für eine größere Zahl kleinerer Betriebe rentabel einsetzbar werden, da mit geringeren Fixkosten auch die Wirtschaftlichkeitsschwelle niedriger liegt. Mit dem »Sonderprogramm Landwirtschaft Digital« gewährt seit 2018 beispielsweise der Freistaat Bayern auf Antrag Zuschüsse für bestimmte Anwendungen in den Bereichen Agrarsoftware, Düngesensortechnologien, digitale Hack- und Pflanzenschutztechnik oder Sensorik in der Tierhaltung.²⁵⁰ Auch auf europäischer Ebene böte sich im Rahmen der GAP die Möglichkeit, entsprechende Investitionsbeihilfen zu verankern; solche Maßnahmen müssen dann durch nationale Programme (bzw. in Deutschland im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe Agrar- und Küstenschutz, GAK) ausgestaltet werden.²⁵¹

Grundsätzlich ist die Gewährung von Investitionszuschüssen nur für solche Agrartechnologien zu empfehlen, die einen erwiesenen betrieblichen Nutzen haben und deren Umwelt- bzw. Tierwohlwirkungen positiv ausfallen. Aufgrund komplexer Wirkzusammenhänge und möglicher Reboundeffekte gibt es daher teilweise noch erhebliche Wissenslücken, sodass sehr sorgfältig abzuwägen ist, welche Investitionen bezuschusst werden sollen. Auch die Höhe der gewährten

250 <https://www.stmelf.bayern.de/baysldigital> (18.8.2021)

251 Schon heute können z. B. automatische Melksysteme (AMS) im Rahmen der Modernisierung und des Ausbaus von Milchviehbetrieben über die Agrarinvestitionsförderung der 2. Säule gefördert werden (ELER-Förderung).

Investitionszuschüsse sowie die Kriterien für förderfähige Betriebe sind wichtige Faktoren, die über den Erfolg derartiger Maßnahmen entscheiden.

Generell erscheinen staatliche Investitionsanreize für digitale Agrartechnologien ökonomisch nur bedingt sinnvoll, solange deren Nutzung gleichzeitig durch unzureichende sonstige staatliche Rahmenbedingungen erschwert wird. Die Beseitigung von bestehenden Nutzungshemmnissen – etwa bei der Bereitstellung von Geodaten oder RTK-Korrekturdaten – sollte deshalb Priorität haben.

5.4 Innovation und Technikentwicklung

Mit der Digitalisierung der Landwirtschaft eröffnet sich ein weites Innovationsfeld, das sehr unterschiedliche Technologiebereiche wie Sensorik, Robotik, Automation und künstliche Intelligenz inklusive Lern- und Datenanalyseverfahren umfasst (Hertzberg et al. 2017, S. 5). Auch wenn die öffentlich finanzierte Grundlagenforschung sowie neuerdings Start-ups eine wichtige Rolle im Innovationsgeschehen spielen, sind es nach wie vor die großen Landtechnikhersteller (wie AGCO/Fendt, CLAAS, John Deere etc.), die aufgrund ihrer massiven Investitionen tonangebend sind. Der Trend zur Entwicklung immer größerer Maschinen und von Hightechlösungen, der die Landwirtschaft schon seit vielen Jahrzehnten geprägt hat, scheint ungebrochen (Herlitzius 2018, S. 31). Im Zentrum der Präzisionslandwirtschaft steht Großtechnik, wie Landmaschinen, Melk- oder Fütterungsautomaten, die digital aufgerüstet und – unterstützt durch Sensorsysteme – mit zusätzlichen intelligenten Funktionen ausgestattet wird. Es gibt mindestens drei Gründe für die Fokussierung auf kapitalintensive Hightechlösungen:

1. das Bestreben, die Arbeitsproduktivität in der Landwirtschaft weiter zu steigern – ein Ziel, das sich mit größeren Technikeinheiten besser erreichen lässt als mit kleinen Einheiten;
2. die technischen Trajektorien sowie die aufgebauten Kompetenzen und Produktionskapazitäten, die eine Fortsetzung der Technikentwicklungsrichtung der Vergangenheit bewirken;
3. der Umstand, dass wichtige Absatzmärkte der international agierenden Landtechnikindustrie in Nord- und Südamerika sowie Australien liegen – Regionen, die sich durch riesige Agrarflächen auszeichnen (Busse et al. 2014, S. 415).

Diese Entwicklung hat zu der bereits angesprochenen Problematik geführt, dass viele digitale Hightechlösungen in kleineren Betrieben nicht wirtschaftlich einsetzbar sind, da die beträchtlichen Anschaffungskosten sich nur bei höherer Auslastung amortisieren lassen. Maschinen mit immer höherer Schlagkraft und Arbeitsproduktivität sind zudem nur bedingt geeignet, die Potenziale der Digitalisierung hinsichtlich einer »nachhaltigen Intensivierung« der Landwirtschaft



auszuschöpfen. Gaus et al. (2017 S. 29 f.) kommen diesbezüglich mit Blick auf den Pflanzenbau zu dem Schluss, dass das »Veränderungspotenzial der autonomen Großtechnik« insgesamt eher gering ist, und bezweifeln, dass sich durch entsprechende »Weiterentwicklung der Technologien im Bereich Precision Farming [...] die gesellschaftlichen Problemfelder (mangelnde Biodiversität, Insektensterben, hoher Bodendruck)« lösen lassen. Der Politik kommt vor diesem Hintergrund die Aufgabe zu, durch die Initiierung von Forschungsprogrammen eigene Innovationsakzente zu setzen.

Sinnvolle Innovationen anstoßen: nachhaltige und vielfältige Landwirtschaft im Fokus

Die Digitalisierung bietet die große Chance, so Walter (2018, S. 10), die »Landwirtschaft nicht nur kostengünstiger, sondern vor allem ›besser‹ – also nachhaltiger – zu gestalten«. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine rein technikgetriebene, an der Effizienzsteigerung orientierte Innovation der Agrarproduktion vermutlich nicht ausreichend. Vielmehr werden vermehrt Forschungs- und Entwicklungsprogramme benötigt, welche sich stärker an agrarökologischen Prinzipien orientieren. Dabei sollten die Innovationsanstrengungen bei digitalen Technologien enger verknüpft werden mit anderen angestrebten Veränderungen im Ackerbau (z. B. Erweiterung des Kulturpflanzenpektrums und der Fruchtfolgen; BMEL 2019c). Erst bei abgestimmten und sich gegenseitig unterstützenden Innovationen ist ein spürbarer Beitrag zu einer nachhaltigeren Landbewirtschaftung zu erwarten.

Bei einer Reihe von digitalen Agrartechnologien bestehen deutliche Skaleneffekte (Kap. 4.2.1), d. h., nicht alle landwirtschaftlichen Betriebe können gleichermaßen diese digitalen Technologien nutzen. Wünschenswert wäre daher eine stärkere Differenzierung der digitalen Technologien, sodass abgestufte Technikvarianten für unterschiedliche betriebliche Strukturen zur Verfügung stehen, um der Vielfalt der deutschen Landwirtschaft gerecht zu werden. Da skalenneutrale Technikentwicklungen voraussichtlich nicht von der Industrie allein vorangetrieben werden, müssten sie durch staatliche Innovationsprogramme angestoßen und gefördert werden. Auch überbetriebliche Anwendungskonzepte (in der pflanzlichen Erzeugung über Maschinenringe) sollten gestärkt und bezüglich ihrer Anwendungspotenziale optimiert werden.

Zusätzlich sollten die Bedürfnisse der kleinbäuerlichen Landwirtschaft des Globalen Südens, die für die weltweite Ernährungssicherung eine eminent wichtige Rolle spielt (HLPE 2013), stärker in den Fokus genommen werden. Zielführend sind hier vor allem preiswerte, kleinteiligere Anwendungen, die auch bei begrenzter Tierzahl bzw. Einsatzfläche sinnvoll nutzbar sind. Tragbare Sensorsysteme oder Software-Apps, z. B. zur Erkennung von Pflanzen- oder Tierkrankheiten, haben diesbezüglich großes Potenzial (Lowenberg-DeBoer 2018,



S.15f.). Zu achten wäre dabei neben einem günstigen Preis auf eine möglichst einfache Bedienbarkeit, um einen breiten Kreis an Nutzer/innen zu erschließen.

Im Hinblick auf eine umweltverträglichere Landbewirtschaftung eröffnen speziell autonome Roboter Perspektiven, einzelne große Landmaschinen durch viele kleinere (zum Teil schwarmbasiert) auszutauschen, die weitgehend eigenständig agieren und rund um die Uhr einsetzbar sind. Ökologisch vorteilhaft an solchen autonomen Kleingeräten ist die geringere Bodenverdichtung, vor allem aber neue Möglichkeiten einer sehr kleinräumigen, in Zukunft vielleicht sogar auf die Einzelpflanze ausgerichteten Produktionsgestaltung (Spot Farming; Urso et al. 2017). Ein vielversprechendes Einsatzfeld ist beispielsweise die mechanische Unkrautbekämpfung.²⁵²

Von autonomen Kleingeräten würde der ökologische Landbau in besonderem Maße profitieren, da er weder chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel noch Düngemittel verwenden kann. Hinzu kommt, dass mithilfe autonomer Kleintechnik viele Ansätze des ökologischen Landbaus (mechanische Unkrautbekämpfung, Fruchtfolgegestaltung) in den konventionellen Landbau übertragen werden könnten (Gaus et al. 2017, S.97).

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 irgendwann auch für Betriebe mit geringerer Flächenausstattung wirtschaftlich einsetzbar werden.

Allerdings stehen diese Technologien in ihrer Entwicklung meist noch relativ am Anfang, und es sind noch viele Forschungsfragen zu klären, wie sie zu einer nachhaltigeren Agrarproduktion beitragen können und sich in diese integrieren lassen. 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 (Hertzberg et al. 2017, S.6).

Forschung und Entwicklung zum Stall der Zukunft, zu den »Agrarsystemen der Zukunft«²⁵³ sowie zu Digitalgeräten für die kleinbäuerliche Landwirtschaft werden noch primär von der anwendungsorientierten Grundlagenforschung getragen und sind deshalb von öffentlichen Fördermitteln abhängig. Deutschland verfügt mit seiner hervorragenden Agrar- und Ökolandbauforschung, den kürzlich eingerichteten Experimentierfeldern, dem Innovationsförderprogramm der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung²⁵⁴ sowie dem »Bundespro-

252 Thermische Verfahren stehen weniger im Vordergrund, da sie sehr kosten- und energieintensiv sind.

253 So der Titel eines aktuellen BMBF-Förderschwerpunkts (<https://www.agrarsysteme-der-zukunft.de>; 18.8.2021).

254 <https://www.ble.de/DE/Projektfoerderung/Foerderungen-Auftraege/Innovationen/Innovationen.html> (18.8.2021)



gramm Ökologischer Landbau und anderer Formen nachhaltiger Landwirtschaft« (BÖLN)²⁵⁵ prinzipiell über hervorragende Voraussetzungen, um in diesen Innovationsbereichen eine führende Rolle einzunehmen. Um Fortschritte zu erzielen und die vorhandenen Mittel möglichst zielgerichtet einsetzen sowie Synergien nutzen zu können, erscheint die Erarbeitung einer übergreifenden Forschungsstrategie sinnvoll. Eine solche Forschungsstrategie und die Ausrichtung der Programme sollten sich an folgenden Prinzipien orientieren:

- *Bedarfsorientierung*: Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit sollte mit einer umfassenden Bedarfsanalyse beginnen, welche die Problemlagen der landwirtschaftlichen bzw. betrieblichen Praxis zum Ausgangspunkt nimmt und erst daraus dann technische Lösungsansätze ableitet. Wichtig ist dies für die Realisierung praxisrelevanter und -tauglicher Anwendungen. Zur Eruierung der tatsächlichen Bedarfe und Bedürfnisse auf Betriebsebene sollten die Landwirt/innen frühzeitig und partizipativ in den Innovationsprozess einbezogen werden (EIP-AGRI Focus Group 2015, S.20). Zentral ist in diesem Zusammenhang auch die Durchführung von On-Farm-Tests, um die Praxistauglichkeit und einen zügigen Adoptionsprozess zu gewährleisten bzw. rechtzeitig Hemmfaktoren identifizieren und ausräumen zu können.
- *Inter- und Transdisziplinarität*: Allgemein sollte der Fokus auf der Förderung inter- und transdisziplinärer Vorhaben liegen, weil sich Digitaltechnologien nur kooperativ unter Beteiligung verschiedener Fachdisziplinen (Informatik, Maschinenbau und Agrarwissenschaft inklusive Ökolandbau-forschung) entwickeln lassen (Doluschitz/Gindele 2019, S.112). Zudem ist die frühe Einbindung der Landmaschinenindustrie wichtig, um Grundlagen- und Anwendungsforschung besser miteinander zu vernetzen (Bokelmann et al. 2012, S.281; DAFA 2017, S.14).
- *Integrierte Begleitforschung*: Die Beschäftigung mit den gesellschaftlichen, rechtlichen und ethischen Aspekten der Innovationen sollte ein integraler Teil der Entwicklungsaktivitäten sein (Bokelmann et al. 2012, S.279). Vorbild dafür könnte der Ansatz der integrierten Forschung sein, der vom BMBF (2015a, S.20) bei allen Förderaktivitäten im Forschungsprogramm zur Mensch-Technik-Integration zugrunde gelegt wird und auf eine verantwortungsvolle Technikgestaltung abzielt.
- *Langfristigkeit*: Forschungs- und Entwicklungsprojekte werden üblicherweise für 3 Jahre gefördert, was nicht ausreichend ist, um bedarfsorientierte Anwendungen im Bereich der digitalen Landwirtschaft von der Entwicklungsidee bis zum Prototyp zu bringen. Um verlässliche Rahmenbedingungen für die beteiligten Akteure zu schaffen und nachhaltige Produktinno-

255 <https://www.bundesprogramm.de/> (18.8.2021)

- vationen anzustoßen, wären deshalb längerfristig angelegte Projekte wichtig, die insbesondere die späteren Phasen bis hin zur Prototypentwicklung abdecken (Busse et al. 2014, S. 416) und darüber hinaus den Adoptionsprozess begleiten und Folgenabschätzung ermöglichen.
- › *Berücksichtigung globaler Anforderungen:* Digitale Technologien für die Landwirtschaft der Industrieländer sind in der Regel nicht für die landwirtschaftlichen Bedingungen des globalen Südens geeignet und in diese übertragbar. Damit die Kluft zwischen den landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen weltweit nicht weiter zunimmt, sollten wenn immer möglich die speziellen Bedingungen und Bedürfnisse kleinbäuerlicher Betriebe des globalen Südens (wie Minimierung der Investitionskosten, einfache Bedienbarkeit etc.) berücksichtigt oder spezifische Varianten für diese Anwendungskontexte mit entwickelt werden.

Vertrauenswürdige Ausgestaltung algorithmischer Entscheidungssysteme

Im Zuge der Digitalisierung werden Entscheidungen immer weniger von Menschen getroffen und stattdessen an »intelligente« Maschinen delegiert, die auf Grundlage ermittelter Daten sowie algorithmisch definierter Handlungsvorschriften zunehmend autonom agieren. Dieser Trend zeichnet sich auch in der Landwirtschaft bereits deutlich ab, wie die immer stärkere Verbreitung von Onlinerverfahren in der Präzisionslandwirtschaft zeigt (z. B. Stickstoffgabe mittels N-Sensorsystemen). Die Datenerfassung, -auswertung und die darauf basierende Bewirtschaftungsmaßnahme erfolgen dabei weitgehend automatisiert und in Echtzeit auf Basis sogenannter Applikationsalgorithmen, ohne dass dafür ein Eingreifen eines menschlichen Akteurs erforderlich wäre. Sollen Steuerung und Regelung landwirtschaftlicher Prozesse zukünftig zunehmend datenbasiert ablaufen, wie es in der Landwirtschaft 4.0 vorgesehen ist, werden AES noch weiter an Einfluss gewinnen und voraussichtlich an allen relevanten Schaltstellen der Agrarproduktion zum Einsatz kommen.

Die Chancen dieser Entwicklung sind unbestritten und im vorliegenden Bericht ausführlich dargelegt (effizientere und nachhaltigere Prozesssteuerung sowie ggf. transparentere Dokumentation der Prozesse; Kap. 2.1.1). Allerdings droht mit der Verbreitung von AES auch eine zunehmende Abhängigkeit der Landwirt/innen sowie der Agrarproduktion insgesamt von Rechenvorschriften, die aufgrund ihrer technischen Komplexität auch von Expert/innen kaum noch zu durchschauen sind und von den Herstellern der Systeme in der Regel auch nicht offengelegt werden. Aufgrund der Bedeutung der Landwirtschaft für die Ernährungssicherung sowie deren enger Interaktion mit Tier und Umwelt scheint deshalb eine vertrauenswürdige Ausgestaltung von AES geboten. Dazu gehören (Datenethikkommission der Bundesregierung 2019, S. 166 ff.):



- › die Gewährleistung von Robustheit und Sicherheit, um verlässliches Verhalten sicherzustellen und Schäden an Mensch und Umwelt durch Systemausfälle zu vermeiden. Dies umfasst auch die ausreichende Absicherung vor unbefugten Systemzugriffen und externen Attacken (Hacking);
- › eine möglichst transparente Ausgestaltung algorithmenbasierter Systeme, um deren »Entscheidungen« nachvollziehbar zu machen (Kritikos 2017, S.53). Dies ist nicht nur für die regulative Kontrolle der Systeme wichtig (z.B. Beurteilung der Gefährlichkeit), auch die Zurechnung von Verantwortlichkeit im Schadensfall sowie die Möglichkeiten einer kompetenten Verwendung von AES (Einschätzung geeigneter Einsatzzwecke) hängen von deren Durchschaubarkeit ab. Letztlich geht es bei der Transparenzforderung darum, die »digitale Souveränität« des Menschen zu wahren und menschliches Erfahrungswissen zu erhalten.

Die hier angesprochenen Problematiken stellen sich nicht nur in der Landwirtschaft, sondern sind von einer übergreifenden gesellschaftlichen Relevanz. Die Frage, wie Algorithmen sinnvoll zu regulieren sind, wird derzeit in Forschung und Politik intensiv diskutiert. Ein Vorschlag, der von verschiedenen Akteuren vorgebracht wurde, zielt auf die Zertifizierung von AES im Rahmen eines »Algorithmen-TÜV« (BMEL 2019a, S. 39; TAB 2020). Die Datenethikkommission der Bundesregierung (2019, S. 177) schlägt wiederum ein »risikoadaptiertes Regulierungssystem für den Einsatz algorithmischer Systeme« vor. Dabei würden AES gemäß ihrem Schädigungspotenzial bewertet und fünf Stufen zugeordnet (von Anwendungen mit geringem Schädigungspotenzial bis hin zu solchen mit unvertretbarem Schädigungspotenzial), die mit unterschiedlichen Regulierungsmaßnahmen einhergehen (von keinen Maßnahmen über Transparenz-, Kennzeichnungs- oder Informationspflichten bis hin zu Zulassungsverfahren oder einem Verbot). Dafür wären die rechtlichen Grundlagen auf EU-Ebene zu schaffen. Die Kontrolle und die Aufsicht über den Einsatz von AES könnten gemäß der Datenethikkommission (2019, S. 198 ff.) von geeigneten sektorspezifischen Behörden übernommen werden. In der Landwirtschaft käme dafür die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung infrage, unterstützt durch ein bundesweites Kompetenzzentrum. Letzteres hat als Observatorium Künstliche Intelligenz in Arbeit und Gesellschaft« (KI-Observatorium), angesiedelt im Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), 2020 die Arbeit aufgenommen.²⁵⁶

Wie der Bericht der Datenethikkommission deutlich macht, ist die Etablierung eines Algorithmenregulierungsregimes eine herausfordernde Aufgabe, die neben dem Aufbau verantwortlicher Kontrollbehörden gesetzgeberische Maßnahmen erfordert. Aufgrund der übergreifenden gesellschaftlichen Bedeutung der Thematik erscheint ein Sonderweg für die Landwirtschaft nicht zielführend.

²⁵⁶ <https://www.ki-observatorium.de/> (18.8.2021)

Festzuhalten ist jedoch, dass zum jetzigen Zeitpunkt noch keine wirkliche Klarheit besteht, wie dringend überhaupt der Handlungsbedarf in der Landwirtschaft im Vergleich zu anderen gesellschaftlichen Bereichen einzuschätzen ist. Da sich die Kritikalität eines AES nur anhand seiner spezifischen Anwendungskontexte beurteilen lässt, wäre in einem ersten Schritt ein systematischer Überblick zu schaffen, wo in der Agrar- und Ernährungswirtschaft AES bereits eingesetzt werden (bzw. Einsatzgebiete absehbar sind) und wie deren Risiken einzustufen sind. Dafür wären passende Kriterien einer Risikoabschätzung zu erarbeiten und angesichts der dynamischen Entwicklung regelmäßig zu überprüfen. Erst auf dieser Basis ließe sich dann entscheiden, welche landwirtschaftlichen AES einer Kontrolle und Überwachung bedürfen. Sollte dies der Fall sein, wäre zum einen auf die Etablierung eines geeigneten übergreifenden Regulierungsregimes hinzuwirken. Zum anderen wären parallel dazu Validierungsmethoden zu entwickeln – ähnlich wie es derzeit im Bereich des autonomen Fahrens geschieht (DFKI 2018) –, mit denen die Vertrauenswürdigkeit und Sicherheit von landwirtschaftlichen AES überprüft werden können (Zweig 2019).

Unabhängig davon erscheint schon heute eine umfassende Förderung von Open-Source-Software angebracht. Die Offenlegung des Quellcodes ist eine wichtige (wenn auch keine hinreichende) Voraussetzung, um Algorithmen kontrollieren, mögliche Schwachstellen aufdecken und so das Vertrauen in die Produkte stärken zu können (Rotz et al. 2019a). Deshalb wäre in mit öffentlichen Fördergeldern unterstützten Entwicklungsprojekten in Erwägung zu ziehen, Open Source zur Bedingung zu machen. Hervorzuheben ist allerdings, dass eine vertrauenswürdige Ausgestaltung von AES weit mehr als den eigentlichen Entscheidungsalgorithmus umfasst. Von Relevanz ist vielmehr das »sozioinformatische Gesamtsystem« (Zweig 2019, S. 9). Dazu gehören »ein qualitätsgesicherter Entwicklungsprozess«, ein adäquates Design der Mensch-Maschine-Schnittstelle (unter Erhalt der menschlichen Kontrolle und des menschlichen Erfahrungswissens) sowie eine ausreichende Schulung der Nutzer/innen.

5.5 Wissens- und Forschungslücken

Obwohl die Digitalisierung bereits seit Längerem in der Landwirtschaft Einzug gehalten hat, sind etliche relevante Aspekte noch unzureichend beleuchtet. Von Bedeutung sind beispielsweise soziologische Fragestellungen hinsichtlich der Auswirkungen der Digitalisierung auf das Berufsbild und Selbstverständnis der Landwirt/innen, auf die Arbeit in der Landwirtschaft oder die gesellschaftliche Wahrnehmung der Landwirtschaft (Kap. 4.4; für einen Überblick Klerkx et al. 2019). Eine zunehmende Vernetzung von einzelnen digitalen Agrartechnologien hat zudem Konsequenzen hinsichtlich einer steigenden Anfälligkeit des Gesamtsystems Landwirtschaft gegenüber Ausfällen der einzelnen Teile (z. B. ausgelöst durch technische Probleme oder auch kriminelle Handlungen) und



möglicher Kaskadeneffekte, die die Landwirtschaft insgesamt betreffen. Forschung sollte hier ansetzen und mögliche Konsequenzen der Vernetzung digitaler Technologien in der Landwirtschaft für die Systemsicherheit begleitend untersuchen sowie Sicherheitsmaßnahmen (wie redundante Systeme) in der technischen Entwicklung von vorneherein mitdenken.

Für eine fundierte Abschätzung der Potenziale und Risiken der digitalen Landwirtschaft sind die beiden folgenden Forschungsbereiche von entscheidender Bedeutung:

- > Verbreitungsmuster und Nutzungsgrad digitaler Agrartechnologien
- > ökologische und betriebswirtschaftliche Effekte

Implementierung statistischer Erhebungen zur Technologienutzung

In welchen Betrieben bzw. Betriebstypen welche digitalen Agrartechnologien in welchem Umfang eingesetzt werden, ist bislang noch weitgehend unklar. Die vorliegenden Studien dazu sind größtenteils nicht repräsentativ oder bilden die verschiedenen Technologietypen nicht differenziert genug ab (Kap. 4.1). Dieses Defizit ist einer der Gründe, wieso bislang kaum valide abschätzbar ist, wie sich die bisherige Digitalisierung auf die Wettbewerbsfähigkeit kleinerer Betriebe oder den Agrarstrukturwandel ausgewirkt hat. Doch nicht nur für die Analyse derartiger Forschungsfragen, auch für die Planung sowie nachträgliche Bewertung agrarpolitischer Maßnahmen sind repräsentative Verlaufsdaten zur Verbreitung von Digitalisierungsanwendungen von zentraler Bedeutung. Nur auf einer ausreichenden Wissensbasis zu Verbreitungs- und Nutzungstendenzen ist eine vorausschauende Gestaltung der Digitalisierung der Landwirtschaft möglich.

Wünschenswert wäre deshalb die staatliche Implementierung statistischer Erhebungen zur Nutzung digitaler Technologien in der Landwirtschaft, wie sie für etablierte Technologien (Bodenbearbeitungsverfahren, Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung, Bewässerung) in Deutschland und zu digitalen Agrartechnologien in anderen Ländern bereits durchgeführt werden (z. B. USA oder Dänemark; Lowenberg-DeBoer/Ericksen 2019). Eine Erhebung zu digitalen Technologien sollte als Erweiterung der regelmäßig durchgeführten Agrarstrukturserhebungen realisiert werden. Die Agrarstrukturserhebungen liefern diverse statistische Informationen zu Betrieben, u. a. ihrer Zahl, Größe, Rechtsform, Beschäftigtenstruktur, zum Erwerbscharakter, zu den Eigentums- und Pachtverhältnissen, zur Bodennutzung, zu den Viehbeständen sowie dem ökologischen Landbau (Destatis 2017c, S. 6). Mit einer zusätzlichen Abfrage der digitalen Technologienutzung wären somit differenzierte Zuordnungen möglich, die aufgrund der Regelmäßigkeit der Erhebung auch Analysen im Zeitverlauf erlauben würden. Voraussetzung dafür wäre allerdings die Entwicklung einer

sinnvollen Kategorisierung, welche die verschiedenen Technologietypen ausreichend feinkörnig abbildet. Notwendig wäre zudem eine entsprechende Anpassung der gesetzlichen Grundlage, d.h. eine Novellierung des Agrarstatistikgesetzes (AgrStatG)²⁵⁷. Wünschenswert wäre darüber hinaus ein einheitliches Vorgehen in der EU, sodass die Entwicklung der Digitalisierung in der Landwirtschaft zwischen den Mitgliedstaaten verglichen werden kann. Dazu müsste die Verordnung (EU) 2018/1091²⁵⁸ entsprechend angepasst werden.

Ökologische und betriebswirtschaftliche Auswirkungen: Wissenslücken schließen

Aufgrund der vielfältigen Anwendungsbereiche und Verfahren, der sehr heterogenen Einsatzbedingungen und komplexen Wirkzusammenhänge bestehen hinsichtlich der ökologischen und betriebswirtschaftlichen Effekte der digitalen Landwirtschaft noch große Unsicherheiten. Das ist insofern problematisch, als gerade in diesen beiden Bereichen die größten Chancen der Digitalisierung gesehen werden. Für eine fundierte Abschätzung der Umweltwirkungen und des betriebswirtschaftlichen Nutzens mangelt es bislang noch an einer ausreichenden wissenschaftlichen Datenbasis. Bei den vorliegenden Untersuchungen handelt es sich hauptsächlich um kurzzeitige Feldversuche oder Modellrechnungen, deren Ergebnisse sich aufgrund der sehr unterschiedlichen Versuchsbedingungen nicht generalisieren lassen.

Um diese Wissenslücken zu schließen und somit zu einer fundierteren Einschätzung des ökologischen sowie des betriebswirtschaftlichen Nutzens digitaler Agrartechnologien zu kommen, sind gezielte systematische Forschungsanstrengungen erforderlich. Forschungsschwerpunkte sollten sein:

- > *Repräsentative Untersuchungen zur Wirkung von Digitaltechnologien in der Pflanzenproduktion unter Praxisbedingungen:* Verallgemeinerbare Aussagen zu den ökologischen und wirtschaftlichen Effekten sind nur möglich, wenn Versuche unter Bedingungen durchgeführt werden, die repräsentativ sind für verschiedene typische Ausprägungen der landwirtschaftlichen Praxis. Dazu gehören typische Standorte, Betriebstypen, Anbaukulturen und Produktionsintensitäten. Es ist also eine Reihe von parallel und über mehrere Jahre laufenden Untersuchungen (Versuchsserie) notwendig, die neben der Verallgemeinerbarkeit auch vergleichende Aussagen zu unterschiedlichen Wirkungen in Abhängigkeit von verschiedenen betrieblichen Bedingungen ermöglichen. Es sollte jeweils eine konventionelle, einheitliche Bewirtschaftung verglichen werden mit einer spezifischen teilflächenspezifischen bzw. -variieren Bewirtschaftung. In der Regel sollten solche Untersuchungen als

²⁵⁷ Gesetz über Agrarstatistiken (Agrarstatistikgesetz – AgrStatG)

²⁵⁸ Verordnung (EU) 2018/1091 über integrierte Statistiken zu landwirtschaftlichen Betrieben und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 1166/2008 und (EU) Nr. 1337/2011



On-Farm-Versuche durchgeführt werden. Es ist darauf zu achten, dass bei der Versuchsanordnung die Grundsätze zur Durchführung von On-Farm-Versuchen (IBS-DR 2012), d. h. ausreichende Anzahl von Wiederholungen der Versuchsglieder, zufällige Verteilung der Wiederholungen und gleiche Randbedingungen, eingehalten werden. Schließlich erfordert die Untersuchung ökologischer und wirtschaftlicher Wirkungen multidisziplinäre Projektgruppen und eine enge Kooperation mit Landwirt/innen.

- *Untersuchungen zu Auswirkungen von digitaler Tierbeobachtung und Herdenmanagement auf das Tierwohl:* Von digitalen Systemen, die der Überwachung von Tierverhalten, -zustand und -gesundheit sowie dem Stallmanagement dienen, werden positive Wirkungen auf das Tierwohl erwartet, vorrangig durch eine frühzeitige und sichere Erkennung von Gesundheitsproblemen und Stresssituationen. Die Tierwohlwirkungen digitaler Monitoringsysteme sollten unter Praxisbedingungen noch besser evaluiert werden, vor allem mit Blick auf ihre systemaren Zusammenhänge mit Automatisierungen in der Tierproduktion sowie Stall- und Haltungskonzepten (Kap. 3.3). Außerdem sollte an einer Erweiterung praxistauglicher und zuverlässig erhebbarer tierbezogener Indikatoren gearbeitet werden (WBA 2015, S. 12).
- *Monitoring der Auswirkungen auf betrieblicher Ebene:* Um die Veränderungen in den landwirtschaftlichen Betrieben infolge der Einführung digitaler Technologien und mögliche agrarstrukturelle Konsequenzen besser zu verstehen, sollten ausgewählte, repräsentative Betriebe mit unterschiedlicher Nutzung digitaler Technologien über einen längeren Zeitraum beobachtet werden. Im Sinne eines Monitorings wären Effizienz, Produktionsstrukturen, Wirtschaftlichkeit und Betriebsentwicklung zu analysieren. Wenn diese den Digitalisierungsprozess begleitende Forschung mit Betrieben aus dem Testbetriebsnetz des BMEL durchgeführt würde, wäre der zusätzliche Erhebungsaufwand begrenzt und betriebswirtschaftliche Daten der Betriebe bräuchten nicht zusätzlich erhoben werden.
- *Entwicklung von Kalkulationstools zu Kosten und Nutzen von digitalen Systemen:* Eine wichtige Bedingung für eine breitere Nutzung ist eine sichere Einschätzung der betriebswirtschaftlichen Voraussetzungen und Wirkungen, bevor von den landwirtschaftlichen Betrieben Investitionsentscheidungen getroffen werden. Die ökonomischen Vorteile sind aber in vielen Fällen nicht einfach bestimmbar (EIP-AGRI Focus Group 2015). Die Entwicklung und Validierung von Kalkulationstools, welche die Heterogenität und Variabilität der Technologien und Anwendungsbedingungen ausreichend abbilden, ist deshalb eine wichtige Aufgabe.
- *Forschung zu systemaren Folgewirkungen und Reboundeffekten:* Forschung zu Umweltwirkungen der Präzisionslandwirtschaft hat sich bisher auf einzelne Anwendungen (z. B. die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung) auf



der Feldebene konzentriert. Wenn Umweltentlastungseffekte realistisch eingeschätzt und agrarumweltpolitische Rahmenbedingungen weiterentwickelt werden sollen, dann müssen die Anpassungsreaktionen, die durch digitale Technologien ausgelöst werden, auf Betriebs- und Sektorebene besser verstanden sowie die erzielbaren Umweltentlastungen in Relation zu den bestehenden Umweltproblemen der Landwirtschaft gesetzt werden. Besondere Aufmerksamkeit sollte dabei auf mögliche Reboundeffekte gelegt werden, also auf die Frage, ob eine effizientere Ressourcennutzung insgesamt zu einer verstärkten Nutzung der Ressource führt (z. B. bei der Bewässerung; Kap. 3.2.1).

5.6 Schlussbetrachtung

Wie die vorab skizzierten Handlungsfelder zeigen, beinhaltet die Weiterentwicklung der digitalen Landwirtschaft viele Aspekte, die weit über die Landwirtschaft hinausweisen – so etwa die Ausgestaltung eines Wettbewerbsrechts für die digitale Wirtschaft, der rechtliche Umgang mit der Datenhoheit oder die Möglichkeiten einer Regulierung algorithmischer Entscheidungssysteme. Dazu kommt, dass die Digitalisierung eine immer engere Verzahnung der verschiedenen Glieder der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette zur Folge haben dürfte, sodass die Agrar- und Ernährungsbranche mehr denn je in einem Gesamtzusammenhang zu betrachten ist. Eine vorausschauende Gestaltung dieser Entwicklung ist demzufolge bei zahlreichen Fragen auf übergreifende Antworten angewiesen.

Dabei müssen in vielen Fällen Lösungen auf europäischer Ebene gefunden werden. Dies gilt insbesondere für die Agrarpolitik, die wie kaum ein anderer Politikbereich von europäischen Rahmensetzungen bestimmt wird. Die Art und Weise, wie die GAP für die nächste Periode 2021-2027 gestaltet wird, wird wesentliche Auswirkungen auf den zukünftigen Digitalisierungspfad der Landwirtschaft in Deutschland haben. Relevant sind dabei die Verteilung der Finanzmittel zwischen der 1. und 2. Säule, die Frage einer Kappung der Flächenprämien sowie die Ausformulierung der Konditionalitäten (d. h. Grundanforderungen an die Betriebsführung und Bewirtschaftungsstandards für den guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand von Flächen), die Einbeziehung von Tierwohlmaßnahmen, die Ausgestaltung der Fördermaßnahmen für Umwelt- und Klimaschutz sowie der zukünftigen Agrarinvestitionsförderung. Von dieser Ausgestaltung der EU-Agrarpolitik geht einerseits ein erheblicher Einfluss auf die wirtschaftliche Situation der landwirtschaftlichen Betriebe aus und somit auf ihre Bereitschaft und Fähigkeit, in digitale Agrartechnologien zu investieren. Andererseits werden damit die Rahmenbedingungen für Investitionsförderungen, auch für digitale Technologien, gesetzt. Schließlich beeinflusst die



konkrete Umsetzung der neuen GAP, inwieweit digitale Technologien bei geforderten Dokumentationen, Nachweisen und der Überwachung unterstützen können.

Die gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen werden entscheidend prägen, welchen Beitrag die Digitalisierung zur Bewältigung der Herausforderungen in der Landwirtschaft leisten kann. Neben Innovationsförderung, rechtlichen Vorgaben sowie der Ausgestaltung der europäischen und nationalen Agrarpolitik wäre darüber hinaus wichtig, sich auf gesellschaftlicher Ebene über die Ziele und die Entwicklungsrichtung zu verständigen, denen die Landwirtschaft zukünftig folgen soll. Dazu gehören Fragen nach der Rolle der Landwirt/innen in der Vermarktungskette, nach dem angemessenen Preis für Agrarprodukte, dem Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz, dem Wert tierischen Lebens oder dem Stellenwert von Familienbetrieben sowie der kleinbäuerlichen Landwirtschaft in einer globalisierten Welt. Erst vor dem Hintergrund eines derartigen Orientierungsrahmens lässt sich der digitale Fortschritt in der Landwirtschaft sinnvoll gestalten.





6 Literatur

6.1 In Auftrag gegebene Gutachten

- Bernhardt, H.; Bauerdick, J.; Mederle, M.; Reger, M. (2017): Drohnen in der Landwirtschaft. Technische Universität München, München
- Doluschitz, R.; Gindele, N. (2019): Auswirkungen der Digitalisierung auf landwirtschaftliche Betriebe. Göppingen
- Hertzberg, J.; Lingemann, K.; Scheuren, S.; Stiene S. (2017): Kurzgutachten zu Stand und Perspektiven autonomer und satellitengestützter Navigation in Landmaschinen. Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, Osnabrück
- Vogel, P.; Mesenberg, P. (2018): Neue Geschäftsmodelle und die Frage der Datenhoheit in der Landwirtschaft 4.0. Forschungsstelle RobotRecht der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Würzburg
-

6.2 Weitere Literatur

- 365FarmNet (2017): Landwirtschaft 4.0 – Landtechnik anschlussfähig machen. Berlin, www.landtechnik-anschlussfähig-machen.com/Whitepaper_Landwirtschaft_4.0_Januar2017.pdf (29.4.2020)
- Abit, M.; Amall, D.; Phillips, S. (2018): Environmental Implications of Precision Agriculture. In: Shannon, D.; Clay, D.; Kitchen, N. (Hg.): Precision Agriculture Basics. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, S. 20–220
- Acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) (2017): Wegweiser Smart Service Welt. Smart Services im digitalen Wertschöpfungsnetz. München, www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech2017_SSW_Wegweiser_de_bf.pdf (29.4.2020)
- Agrarheute (2013): Maschinen in Gemeinschaft kaufen? 14.10.2013, www.agrarheute.com/technik/maschinen-gemeinschaft-kaufen-459240 (29.4.2020)
- Agrarheute (2015a): Check: Diese Herbizide verträgt die Rübe nicht. 18.2.2015, www.agrarheute.com/pflanze/zuckerrueben/check-diese-herbizide-vertraegt-ruebe-444720 (29.4.2020)
- Agrarheute (2015b): Kostenlos testen: Aktives Feldmanagement von AgriCircle. 3.11.2015, www.agrarheute.com/management/finanzen/kostenlos-testen-aktives-feldmanagement-agricircle-513946 (29.4.2020)
- Agricon (2016): DLG: Helmstorfer Ergebnisse zur N-Düngung wertlos. Agricon Dossier 2016, Ostrau, www.agricon.de/fileadmin/user_upload/Dossier_OFR_Projekt_Helmstorf.pdf (29.4.2020)
- Agricon (o.J.): Der Yara N-Sensor. Intelligente Stickstoffdüngung, Ostrau, www.agricon.de/fileadmin/user_upload/PDF/YNS-Broschuere_web.pdf (29.4.2020)
- Alvemar, H.; Andersson, H.; Pedersen, H. (2017): Profitability of controlled traffic in grass silage production – economic modelling and machinery systems. In: Advances in Animal Biosciences 8(2), S. 749–753



- Amazone (2015): Go for Innovation 2016. Agritechnica 2015. Amazonen-Werke, Hasbergen-Gaste, <https://info.amazone.de/DisplayInfo.aspx?id=37338> (30.4.2020)
- Andretta, I.; Hauschild, L.; Kipper, M.; Pires, P.; Pomar, C. (2018): Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. In: *Animal* 12(9), S. 1990–1998
- Andretta, I.; Pomar, C.; Rivest, J.; Pomar J.; Lovatto, P.; Radünz Neto, J. (2014): The impact of feeding growing-finishing pigs with daily tailored diets using precision feeding technologies on animal performance, nutrient utilization, and body and carcass composition. In: *Journal of Animal Science* 92(9), S. 3925–3936
- Andretta, I.; Pomar, C.; Rivest, J.; Pomar J.; Radünz, J. (2016): Precision feeding can significantly reduce lysine intake and nitrogen excretion without compromising the performance of growing pigs. In: *Animal* 10(7), S. 1137–1147
- Anter, J.; Kraft, M.; Langkamp-Wedde, T. (2018): Sensorgestützte Berechnungssteuerung – ein Blick in die angewandte Forschung. In: Schimmelpfennig, S.; Anter, J.; Heidecke, C.; Lange, S.; Röttcher, K.; Bittner, F. (Hg.): *Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.9., Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Working Paper 85, Braunschweig*, S. 81–88
- Antille, D.; Chamen, W.; Tullberg, J.; Lal, R. (2015): The Potential of Controlled Traffic Farming to Mitigate Greenhouse Gas Emissions and Enhance Carbon Sequestration in Arable Land: A Critical Review. In: *Transactions of the ASABE* 58(3), S. 707–731
- Antille, D.; Peets, S.; Galambošová, J.; Botta, G.; Rataj, V.; Macak, M.; Tullberg, J.; Chamen, W.; White, D.; Misiewicz, P.; Hargreaves, P.; Bienvenido, J. Godwin, R. (2019): Review: Soil compaction and controlled traffic farming in arable and grass cropping systems. In: *Agronomy Research* 17(3), S. 653–682
- Arnold, S.; Kleine, S. (2017): Neue Wege der Geodatennutzung: Perspektiven der Fernerkundung für die Statistik. In: *WISTA 5, Wiesbaden*, S. 31–36
- Aubert, B.; Schroeder, A.; Grimaudo, J. (2012): IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. In: *Decision Support Systems* 54(1), S. 510–520
- Awater-Esper, S. (2019): 17% der Bauern erwägen Umstellung auf Biolandwirtschaft. top agrar online, 14.2.2019, www.topagrar.com/oekolandbau/news/17-der-bauern-erwaegen-umstellung-auf-biolandwirtschaft-10340887.html (16.8.2021)
- Bach, A.; Cabrera, V. (2017): Robotic milking: Feeding strategies and economic returns. In: *Journal Dairy Science* 100(9), S. 7720–7728
- Bahrs, E. (2018): Exemplarische betriebswirtschaftliche Auswirkungen der Digitalisierung in der Landwirtschaft und im Agribusiness. In: H. Wilhelm Schaumann Stiftung (Hg.): *Landwirtschaft und Digitalisierung. 27. Hülsenberger Gespräche, Hamburg*, 11.–13. Juni 2018, S. 161–169
- Baierl, M. (2017): Neues Präventionsangebot geht in Pilotphase. Die SVLFG entwickelt neue Präventionsangebote zum Thema »Seelische Gesundheit«. In: *LSV kompakt 3, Kassel*, S. 17
- Balman, A.; Schaft, F. (2008): Zukünftige ökonomische Herausforderungen der Agrarproduktion. Strukturwandel vor dem Hintergrund sich ändernder Märkte, Politiken und Technologien. In: *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 51, S. 13–24
- Barbière, C. (2020): Frankreich: Roboter als Pestizidersatz? Euractiv, 25.2.2020, www.euractiv.de/section/landwirtschaft-und-ernahrung/news/frankreich-roboter-als-pestizidersatz/ (4.8.2021)



- Barnes, A.; Soto, I.; Eory, V.; Beck, B.; Balafoutis, A.; Sánchez, B.; Vangeyte, J.; Fountas, S.; van der Wal, T.; Gómez-Barbero, M. (2019): Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. In: *Land Use Policy* 80, S. 163–174
- Bartzanas, T.; Amon, B.; Calvet, S.; Mele, M.; Morgavi, D.; Norton, T.; Yanez-Ruiz, D.; Vandongen, C. (2017): Mini-paper – Precision Livestock Farming. EIP-AGRI Focus Group Reducing livestock emissions from Cattle farming. https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/fg18_mp_precision_livestock_farming_2017_en.pdf (16.8.2021)
- BASF (2018a): Planet kooperiert mit BASF, um Landwirten in Europa täglich Satellitenbilder zur Verfügung zu stellen. Gemeinsame Presse-Information, 12.12.2018, San Francisco/Ludwigshafen, www.basf.com/global/de/media/news-releases/2018/12/p-18-407.html (30.4.2020)
- BASF (2018b): BASF unterzeichnet Vereinbarung zum Erwerb weiterer Saatgut- und Pflanzenschutzgeschäfte und Vermögenswerte von Bayer. 26.4.2018, Ludwigshafen, www.basf.com/global/de/media/news-releases/2018/04/p-18-182.html (30.4.2020)
- Bauer, J.; Gehrs, F.; Jatzlau, F.; Scheuren, S. (2018): Dezentraler Marktplatz in einer offenen, dezentralen Software-Plattform für landwirtschaftliche Dienstleistungen. In: Ruckelshausen, A.; Meyer-Aurich, A.; Borchard, K.; Hofacker, C.; Loy, J.-P.; Schwerdtfeger, R.; Sundermeier, H.-H.; Floto, H.; Theuvsen, B. (Hg.): *Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitale Marktplätze und Plattformen*. 38. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e.V., Bonn
- Deter, A. (2017): Bayer führt neue Digital-Farming-Marke xarvio ein. *top agrar online*, 14.11.2017, www.topagrar.com/acker/news/bayer-fuehrt-neue-digital-farming-marke-xarvio-ein-9850571.html (7.9.2021)
- Bayer, M. (2012): Arvato Systems steuert den Traktor aus der Cloud. *computerwoche.de*, 20.12.2012, www.computerwoche.de/a/arvato-systems-steuert-den-traktor-aus-der-cloud,2518380 (30.4.2020)
- Becker, M. (2016): Schutzrechte an Maschinendaten und die Schnittstelle zum Personendatenschutz. In: Büscher, W.; Glöckner, J.; Nordemann, A.; Osterrieth, C.; Rengier, R. (Hg.): *Marktkommunikation zwischen geistigem Eigentum und Verbraucherschutz*. Festschrift für Karl-Heinz Fezer zum 70. Geburtstag. München, S. 815–831
- Behmann, J.; Mahlein, A.-K.; Rumpf, T.; Römer, C.; Plümer, L. (2015): A review of advanced machine learning methods for the detection of biotic stress in precision crop protection. In: *Precision Agriculture* 16, S. 239–260
- Beinert, M. (2017): Fachliche, methodische und persönlich-soziale Anforderungen an landwirtschaftliche Arbeitskräfte vor dem Hintergrund der zunehmenden Technisierung und Digitalisierung in der Landwirtschaft. In: *Landwirtschaftliche Rentenbank (2017): Arbeitsmarkt, Ausbildung, Migration: Perspektiven für die Landwirtschaft*, Schriftenreihe 33, S. 7–42
- Berckmans, D. (2014): Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. In: *Revue Scientifique et Technique* 33(1), S. 189–196
- Berckmans, D. (2017): General introduction to precision livestock farming. In: *Animal Frontiers* 7(1), S. 6–11
- Berkhout, P.; Muskens, J.; Velthuisen, J. (2000): Defining the rebound effect. In: *Energy Policy* 28, S. 425–432

- Bitkom (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und Neue Medien e.V.) (2016): Digitalisierung der Landwirtschaft. Positionspapier, Berlin, www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/Bitkom-Positionspapier-Digitalisierung-in-der-Landwirtschaft.pdf (16.8.2021)
- Bitkom (2017): Open Data – Neue Konzepte erfolgreich umsetzen. Berlin, www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/171103-Open-Data.pdf (16.8.2021)
- Bitkom; DBV (2016): Digitalisierung in der Landwirtschaft. (Rohleder, B.; Krüsken, B.) www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/Bitkom-Pressekonferenz-Digitalisierung-in-der-Landwirtschaft-02-11-2016-Praesentation.pdf (16.8.2021)
- Bitkom; DBV; Landwirtschaftliche Rentenbank (2020): Digitalisierung in der Landwirtschaft 2020. (Rohleder, B.; Krüsken, B.; Reinhardt, H.) www.bitkom.org/sites/default/files/2020-04/200427_presentationpklw_final.pdf#page=3&zoom=auto,-187,98 (5.8.2021)
- Bitkom; Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft IAO (2014): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. (Bauer, W.; Schlund, S.; Marrenbach, D.; Ganschar, O.) www.produktionsarbeit.de/content/dam/produktionsarbeit/de/documents/Studie-Industrie-4-0-Volkswirtschaftliches-Potential-fuer-Deutschland.pdf (16.8.2021)
- BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung) (2018): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2017. BMEL (Hg.), Bonn
- BLE (2019): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2018. BMEL (Hg.), Bonn
- Blumenthal, B.; Kirchmeier, H.; Marx, M.; Brandhuber, R.; Demmel, M. (2018): Regelspurverfahren im Ackerbau. Ergebnisse aus dem Agro-Klima-Forschungsprojekt Regelspurverfahren – Controlled-Traffic-Farming. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan
- Blumöhr, T.; Zepuntke, H.; Tschäpe, D. (2006): Die Klassifizierung landwirtschaftlicher Betriebe. Gemeinschaftliches Klassifizierungsverfahren in Deutschland – methodische Grundlagen und Ergebnisse. In: Statistisches Bundesamt (Hg.): Wirtschaft und Statistik. Wiesbaden, S. 516–526
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2015a): Technik zum Menschen bringen. Forschungsprogramm zur Mensch-Technik-Interaktion, Bonn, www.mtidw.de/service-und-termine/publikationen/pdf-dateien/publikationen/broschuere-forschungsprogramm-mensch-technik-interaktion-barrierefrei (16.8.2021)
- BMBF (2015b): Zukunftsbild »Industrie 4.0«. Bonn, https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/zukunftsbild-industrie-4-0.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (16.8.2021)
- BMBF (2016): Agrarsysteme der Zukunft. Bekanntmachung Richtlinie zur Förderung von Forschungsvorhaben der Agrarforschung unter dem Namen »Agrarsysteme der Zukunft« im Rahmen der »Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030«. www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1231.html (16.8.2021)
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2016): Landwirtschaft verstehen. Im Fokus: Chancen der Digitalisierung. Berlin, https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Landwirtschaft-verstehen-Chancen-Digitalisierung.pdf;jsessionid=B4469CED6483159A114B7A5B6BC72804.live921?__blob=publicationFile&v=3 (16.8.2021)



- BMEL (2017a): Digitalisierung in der Landwirtschaft. www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/_Texte/Digitalisierung-Landwirtschaft.html (16.8.2021)
- BMEL (2017b): Digitalpolitik Landwirtschaft. Zukunftsprogramm: Chancen nutzen – Risiken minimieren. Bonn, https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/digitalpolitik-landwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=19 (16.8.2021)
- BMEL (2018a): Landwirtschaft verstehen. Fakten und Hintergründe, Berlin, www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Landwirtschaft-verstehen.pdf;jsessionid=6985EC09EA3719AD5B4A3EECE83C8863.live922?__blob=publicationFile&v=17 (16.8.2021)
- BMEL (2018b): Richtlinie über die Förderung der Einrichtung von Experimentierfeldern zur Digitalisierung in der Landwirtschaft. Bonn, www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Projektfoerderung/Digitalisierung/AT21092018B2.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (16.8.2021)
- BMEL (2018c): Bundesministerin Julia Klöckner: »Roboter, Drohnen, Satelliten – ich werde digitale Experimentierfelder auf landwirtschaftlichen Betrieben fördern«. Pressemitteilung Nr. 122/2018, 20.9.2018, www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2018/123-experimentierfelder.html (16.8.2021)
- BMEL (2018d): Bundesministerin Klöckner: »Die Nachfrage nach Bioprodukten wächst stärker als der Ökoanteil in Deutschland. Wir wollen das Potential stärker ausschöpfen!«. Pressemitteilung Nr. 161/2018, 26.10.2018, www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2018/161-oekolandbau.html (16.8.2021)
- BMEL (2018e): Durchbruch: Gemeinsam Kükentöten beenden! Pressemitteilung Nr. 171/2018, 8.11.2018, www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2018/171-seleggt-methode.html (16.8.2021)
- BMEL (2018f): Klöckner: »Wir bringen die Digitalisierung konkret voran und beantworten Datenfragen«. Pressemitteilung Nr. 180/2018, 16.11.2018, www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2018/180-geo-box.html (16.8.2021)
- BMEL (2018g): Die wirtschaftliche Lage der landwirtschaftlichen Betriebe. Buchführungsergebnisse der Testbetriebe des Wirtschaftsjahres 2016/2017. Bonn
- BMEL (2019a): Ackerbaustrategie 2035. Perspektiven für einen produktiven und vielfältigen Pflanzenbau. Berlin, www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Ackerbaustrategie.pdf;jsessionid=3A426A690FCE7A22B8717BB8B5563537.live922?__blob=publicationFile&v=16 (16.8.2021)
- BMEL (2019b): Bundesministerin Julia Klöckner gibt Machbarkeitsstudie zu Datenplattformen in der Landwirtschaft in Auftrag. Pressemitteilung Nr. 164/2019, 6.8.2019, www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2019/164-datenplattformen-landwirtschaft.html (16.8.2021)
- BMEL (2019c): Nationale Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung. Berlin, www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/Lebensmittelverschwendung/Nationale_Strategie_Lebensmittelverschwendung_2019.pdf;jsessionid=B13701D73BA9257F5BAD4E071EDAC391.live921?__blob=publicationFile&v=3 (16.8.2021)
- BMEL (2019d): Zukunftsstrategie ökologischer Landbau. Impulse für mehr Nachhaltigkeit in Deutschland, Berlin, www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ZukunftsstrategieOekologischerLandbau2019.pdf;jsessionid=497653CD16389E0F966CEE4AE2514DFE.live921?__blob=publicationFile&v=4 (16.8.2021)



- BMI (Bundesministerium des Innern) (2014): Nationaler Aktionsplan der Bundesregierung zur Umsetzung der Open-Data-Charta der G8. Berlin, www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/moderne-verwaltung/aktionsplan-open-data.pdf;jsessionid=2BA8F71B65B6702929F02FB0D06C4C19.1_cid373?__blob=publicationFile&v=3 (16.8.2021)
- BMVI (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur) (2017a): 5G-Strategie für Deutschland. Eine Offensive für die Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt für 5G-Netze und -Anwendungen. Berlin, www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/098-dobrindt-5g-strategie.pdf?__blob=publicationFile (16.8.2021)
- BMVI (2017b): »Eigentumsordnung« für Mobilitätsdaten? Eine Studie aus technischer, ökonomischer und rechtlicher Perspektive. Berlin
- BMVI (2018a): Aktuelle Breitbandverfügbarkeit in Deutschland (Stand Ende 2018). Erhebung der atene KOM im Auftrag des BMVI. Berlin, www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/breitband-verfuegbarkeit-ende-2018.pdf?__blob=publicationFile (16.8.2021)
- BMVI (2018b): Scheuer: Mega-Upgrade für das Breitband-Förderprogramm. Pressemitteilung. 3.7.2018, www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2018/044-scheuer-relaunch-breitbandprogramm.html (16.8.2021)
- BMVI (2019): Mobilfunkstrategie der Bundesregierung. Berlin, www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/Mobilfunkstrategie.pdf?__blob=publicationFile (16.8.2021)
- BMWI (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2016): Grünbuch. Digitale Plattformen. Berlin, www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/gruenbuch-digitale-plattformen.pdf?__blob=publicationFile&v=32 (16.8.2021)
- BMWI (2017): Weissbuch. Digitale Plattformen. Digitale Ordnungspolitik für Wachstum, Innovation, Wettbewerb und Teilhabe. Berlin, www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/weissbuch-digitale-plattformen.pdf?__blob=publicationFile&v=24 (16.8.2021)
- BMWI; BMF (Bundesministerium der Finanzen) (2019): Blockchain-Strategie der Bundesregierung. Wir stellen die Weichen für die Token-Ökonomie. www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/blockchain-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=10 (16.8.2021)
- Bochtis, D.; Sørensen, C.; Busato, P. (2014): Advances in agricultural machinery management: A review. In: *Biosystems Engineering* 126, S.69–81
- Bockelmann, H. (2019): Drohnen in der Landwirtschaft. 30.4.2019, Beckmann Verlag, <https://lu-web.de/redaktion/news/drohnen-in-der-landwirtschaft/> (5.5.2020)
- Böhrnsen, A. (2017): Rehkitze vor dem Mähtod retten. In: *profi* 7, S.90–92
- Bokelmann, W.; Doernberg, A.; Schwerdtner, W.; Kuntosch, A.; Busse, M.; König, B.; Siebert, R.; Koschatzky, K.; Stahlecker, T. (2012): Sektorstudie zur Untersuchung des Innovationssystems der deutschen Landwirtschaft. Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, <https://edoc.hu-berlin.de/handle/18452/14174> (16.8.2021)
- BÖLW (Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft e. V.) (2018): Deutscher Bio-Markt knackt die 10 Mrd. €-Marke. 14.2.2018, www.boelw.de/themen/zahlen-fakten/handel/artikel/umsatz-bio-2017/ (5.5.2020)
- BÖLW (2020): Branchenreport 2020. Ökologische Lebensmittelwirtschaft, Berlin
- Bommes, C. (2009): Immer in der Spur bleiben. In: *dlz agrarmagazin* 8, S.35–39
- Bongiovanni, R.; Lowenberg-Deboer, J. (2004): Precision Agriculture and Sustainability. In: *Precision Agriculture* 5, S.359–387



- Bonny, S. (2017): Corporate Concentration and Technological Change in the Global Seed Industry. In: Sustainability 9(9), S. 1632
- Borchard, K. (2018): »Digitale Kompetenz an der Hochschule« – Wie kompetent sind Studierende und Mitarbeitende an der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät im Bereich der ITK? In: Ruckelshausen, A.; Meyer-Aurich, A.; Borchard, K.; Hofacker, C.; Loy, J.-P.; Schwerdtfeger, R.; Sundermeier, H.-H.; Floto, H.; Theuvsen, B. (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitale Marktplätze und Plattformen. 38. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S. 43–46
- Bos, J.; Bovenkerk, B.; Feindt, P.; van Dam, Y. (2018): The Quantified Animal: Precision Livestock Farming and the Ethical Implications of Objectification. In: Food Ethics 2, S. 77–92
- Boyer, C.; Brorsen, B.; Solie, J.; Raun, W. (2011): Profitability of variable rate nitrogen application in wheat production. In: Precision Agriculture 12, S. 473–487
- Brauer-Siebrecht, W.; Jacobs, A.; Koch, H.-J. Strassemeyer, J.; Märländer, B. (2018): Intensität und Risiko des chemischen Pflanzenschutzes beim Anbau von Zuckerrüben, Silomais und Winterweizen in Fruchtfolgen. In: Journal für Kulturpflanzen 70(6), S. 184–195
- Breitinger, M.; Zacharakis, Z. (2019): Schneller Mobilfunk für das Land. ZEIT ONLINE, 19.3.2019, www.zeit.de/wirtschaft/2019-03/5g-frequenzauktion-mobilfunk-versteigerung-lizenzen-faq#welche-bedingungen-muessen-die-bieter-erfuellen (5.5.2020)
- Bretschneider, M. (2019): Berufsbildung 4.0 – Fachkräftequalifikationen und Kompetenzen für die digitalisierte Arbeit von morgen: Die Ausbildungsberufe »Landwirt/-in« und »Fachkraft Agrarservice« im Screening. Wissenschaftliche Diskussionspapiere 204, Bonn, www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/download/10377 (5.5.2020)
- Briegleb, V. (2018): Glasfaser-Ausbau: Streit über die Mitverlegung und das DigiNetz-Gesetz. heise online, 26.4.2018, www.heise.de/newsticker/meldung/Glasfaser-Ausbau-Streit-ueber-die-Mitverlegung-und-das-DigiNetz-Gesetz-4035666.html (5.5.2020)
- Brisslinger, L. (2016): Welche Software macht das Rennen auf dem Feld? Gründerszene, 25.1.2016, www.gruenderszene.de/allgemein/digitalisierung-der-landwirtschaft-welche-software-gewinnt?interstitial_click (5.5.2020)
- Buczko, U.; van Laak, M.; Eichler-Löbermann, B.; Gans, W.; Merbach, I.; Panten, K.; Peiter, E.; Reitz, T.; Spiegel, H.; von Tucher, S. (2018): Re-evaluation of the yield response to phosphorus fertilization based on meta-analyses of long-term field experiments. In: Ambio 47(Suppl. 1), S. S50–S61
- Bundesnetzagentur (2019a): Eröffnung der 5G-Frequenzauktion. 19.3.2019, www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2019/20190319_Frequenzauktion.html (5.5.2020)
- Bundesnetzagentur (2019b): Antragsverfahren für lokale 5G-Campus-Netze gestartet. Pressemitteilung, 21.11.2019, www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Presse/Pressemitteilungen/2019/20191121_lokaleFreq.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (5.5.2020)
- Bundesregierung (2014): Digitale Agenda 2014–2017. Berlin, www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/digitale-agenda.pdf?__blob=publicationFile&v= (16.8.2021)



- Bundesregierung (2016): Chancen der Digitalisierung für ländliche Regionen. Antwort der Bundesregierung auf die Anfrage der Abgeordneten Markus Tressel, Dr. Konstantin von Notz, Tabea Rößner und der Fraktion Bündnis 90/DIE GRÜNEN. Deutscher Bundestag, Drucksache 18/8059, Berlin
- Bundesregierung (2017): Die Copernicus Strategie der Bundesregierung. Copernicus für Deutschland und Europa – Strategie und Handlungsfelder der Bundesregierung für eine erfolgreiche Umsetzung des europäischen Erdbeobachtungsprogramms. Berlin, www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/copernicus-strategie-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile (5.5.2020)
- Bundesregierung (2018a): Entwurf eines Fünften Gesetzes zur Änderung des Telekommunikationsgesetzes (5. TKG-Änderungsgesetz – 5. TKGÄndG). Deutscher Bundestag, Drucksache 19/6336, Berlin
- Bundesregierung (2018b): Freigabe der Korrektursignale des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung (SAPOS) für die Präzisionslandwirtschaft. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Gero Clemens Hocker, Frank Sitta, Grigorios Aggelidis, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP – Drucksache 19/5788 –. Deutscher Bundestag, Drucksache 19/6080, Berlin
- Bundesregierung (2018c): Umsetzungsstrategie der Bundesregierung – Digitalisierung gestalten. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Deutscher Bundestag, Drucksache 19/5810, Berlin
- Bundesregierung (2019a): Die Digitalisierungsstrategie der Bundesregierung in der Landwirtschaft. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Gero Clemens Hocker, Frank Sitta, Carina Konrad, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP. Deutscher Bundestag, Drucksache 19/15357, Berlin
- Bundesregierung (2019b): Risiken und Chancen der Digitalisierung in der Landwirtschaft für Gesellschaft und Gemeinwohl. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Kirsten Tackmann, Anke Domscheit-Berg, Dr. Petra Sitte, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. Deutscher Bundestag, Drucksache 19/16229, Berlin
- Bundesregierung (2019c): Tätigkeitsberichte 2016/2017 der Bundesnetzagentur – Telekommunikation und Post mit den Sondergutachten der Monopolkommission Telekommunikation 2017: Auf Wettbewerb bauen und Post 2017: Privilegien abbauen, Regulierung effektiv gestalten! – Drucksachen 19/168 und 19/169 – Stellungnahme der Bundesregierung. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Deutscher Bundestag, Drucksache 19/8492, Berlin
- Bundesregierung (2021): Datenstrategie der Bundesregierung. Eine Innovationsstrategie für gesellschaftlichen Fortschritt und nachhaltiges Wachstum. Kabinettsfassung, 27. Januar 2021. Berlin, www.bundesregierung.de/resource/blob/992814/1845634/f073096a398e59573c7526feaadd43c4/datenstrategie-der-bundesregierung-download-bpa-data.pdf?download=1 (16.8.2021)
- Bundesverband der Maschinenringe e. V. (2017): #FAIRNETZT auf der Agritechnica 2017. 16.11.2017, www.maschinenring.de/dingolfing-landau/presse/presse-detail/newsID/fairnetzt-auf-der-agritechnica-2017 (5.5.2020)
- Burwood-Taylor, L. (2016): Ag Drones Market to Reach \$3.7bn by 2022. AgFunder News, 6.4.2016, <https://agfundernews.com/ag-drones-market-to-reach-3-7bn-by-2022-as-cropio-first-to-integrate-drones-with-satellite-imagery5648.html> (5.5.2020)



- Business Wire (2017): New Science Technologies Ltd. Presented Cropio at an Annual International Space Commerce Conference SpaceCom. 8.12.2017, www.businesswire.com/news/home/20171208005121/en/New-Science-Technologies-Ltd.-Presented-Cropio-Annual (5.5.2020)
- Business Wire (2019): N.S.T. New Science Technologies announces its integration with John Deere Operations Center. 4.7.2019, www.businesswire.com/news/home/20190704005026/en/ (5.5.2020)
- Busse, M.; Doernberg, A.; Siebert, R.; Kuntosch, A.; Schwerdtner, W.; König, B.; Bokelmann, W. (2014): Innovation mechanisms in German precision farming. In: *Precision Agriculture* 15, S. 403–426
- BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2018): Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse der Meldungen gemäß § 64 Pflanzenschutzgesetz für das Jahr 2017, Braunschweig
- Carbonell, I. (2016): The ethics of big data in big agriculture. In: *Internet Policy Review* 5(1), DOI: 10.14763/2016.1.405
- Carolan, M. (2019): Automated agrifood futures: robotics, labor and the distributive politics of digital agriculture. In: *The Journal of Peasant Studies* 47(2), S. 1–24
- CDU/CSU; SPD (2018): Ein neuer Aufbruch für Europa. Eine neue Dynamik für Deutschland. Ein neuer Zusammenhalt für unser Land. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. 19. Legislaturperiode, Berlin, www.cdu.de/system/tdf/media/dokumente/koalitionsvertrag_2018.pdf?file=1 (5.5.2020)
- CDU/CSU; SPD (2019): TOP 2: Zukunftsoffensive für eine starke Mobilfunkinfrastruktur in allen Regionen. Beschluss der Geschäftsführenden Vorstände vom 13.–14. Juni 2019. www.spdfraktion.de/system/files/documents/beschlusspapier_zukunftsoffensive_fuer_eine_starke_mobilfunkinfrastruktur_in_allen_regionen.pdf (5.5.2020)
- Chamen, T. (2015): Controlled Traffic Farming – From Worldwide Research to Adoption in Europe and Its Future Prospects. In: *Acta Technologica Agriculturae* 18(3), S. 64–73
- Chaoui, H.; Sørensen, C. (Hg.) (2008): Review of Technological Advances and Technological Needs in Ecological Agriculture (Organic Farming). American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph
- Chemnitz, C. (2017): Wenn Ackerschlepper online gehen. In: Heinrich-Böll-Stiftung, Rosa-Luxemburg-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Oxfam Deutschland, Germanwatch, Le Monde diplomatique: Konzernatlas 2017. Daten und Fakten über die Agrar- und Lebensmittelindustrie, Berlin, S. 14–15
- Chostner, B. (2017): See & Spray: The Next Generation of Weed Control. In: *Resource* 24(4), S. 4–5
- Climate FieldView (2017): Climate FieldView Drive Machine Compatibility Guide. 15.10.2017, <https://climate.app.box.com/s/bvksrvem03e15slsqf13y4j9zh3xbqwm> (5.5.2020)
- Climate FieldView (2018): The Climate Corporation Develops New Predictive Seed Placement Technology, Advances Digital Farming Innovation. 29.8.2018, <https://climate.com/newsroom/predictive-seed-placement-technology> (5.5.2020)
- Colaço, A.; Povh, F.; Molin, J.; Romanelli, T. (2012): Energy assessment for variable rate nitrogen application. In: *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 14(3), S. 85–90

- Copa-Cogeca; CEMA; Fertilizers Europe; CEETTAR; CEJA; ECPA; EFFAB; FEFAC; ESA (2018): EU Code of conduct on agricultural data sharing by contractual agreement. http://fefac.eu/wp-content/uploads/2020/07/EU_COD1.pdf (16.8.2021)
- Cordell, D.; Drangert, J.-O.; White, S. (2009): The story of phosphorus: Global food security and food for thought. In: *Global Environmental Change* 19, S.292–305
- Cornelius, I. (2018): Agronator: Die größte Agrar-Drohne im Video. *agrarheute*, 28.3.2018, www.agrarheute.com/technik/agronator-groesste-agrar-drohne-video-535390 (5.5.2020)
- Daberkow, S.; McBride, W. (2003): Farm and Operator Characteristics Affecting the Awareness and Adoption of Precision Agriculture Technologies in the US. In: *Precision Agriculture* 4, S.163–177
- DAFA (Deutsche Agrarforschungsallianz) (2017): Fachforum Ökologische Lebensmittelwirtschaft. Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. Braunschweig, www.dafa.de/wp-content/uploads/DAFA-Strategie-%C3%96ko-Lebensmittelwirtschaft.pdf (16.8.2021)
- Dammer, K.-H.; Thöle, H.; Volk, T.; Hau, B. (2009): Variable-rate fungicide spraying in real time by combining a plant cover sensor and a decision support system. In: *Precision Agriculture* 10, S.431–442
- Dapp, M.; Balta, D.; Palmeshofer, W.; Krcmar, H. (2016): Open Data. The Benefits. Das volkswirtschaftliche Potential für Deutschland. Konrad-Adenauer-Stiftung, Sankt Augustin/Berlin, www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=3fbb9ec5-096c-076e-1cc4-473cd84784df&groupId=252038 (5.5.2020)
- Datenethikkommission der Bundesregierung (2019): Gutachten der Datenethikkommission. Berlin, www.bmjbv.de/SharedDocs/Downloads/DE/Themen/Fokusthemen/Gutachten_DEK_DE.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (5.5.2020)
- Dawkins, M. (2017): Animal welfare and efficient farming: is conflict inevitable? In: *Animal Production Science* 57, S.201–208
- DBV (Deutscher Bauernverband) (2015): Faktencheck. Entwicklung der Tierbestände. Gibt es immer mehr Nutztiere in Deutschland? Berlin, <https://media.diemayrei.de/82/635182.pdf> (5.5.2020)
- DBV (2016): Positionspapier des Präsidiums des Deutschen Bauernverbandes vom 13. September 2016 zu Landwirtschaft 4.0 – Chancen und Handlungsbedarf. Position Nr. 16, <http://media.repro-mayr.de/06/661106.pdf> (19.8.2021)
- DBV (2017): Situationsbericht 2017/18. Trends und Fakten zur Landwirtschaft, Berlin, <https://media.diemayrei.de/00/709600.pdf> (5.5.2020)
- DBV (2018): Situationsbericht 2018/19. Trends und Fakten zur Landwirtschaft, Berlin
- DBV (2019): Jeder vierte Landwirt nutzt aktiv Social Media. Gemeinsame Pressemitteilung von Bitkom und DBV, 17.1.2019, www.bauernverband.de/presse-medien/pressemitteilungen/pressemitteilung/jeder-vierte-landwirt-nutzt-aktiv-social-media (5.5.2020)
- DBV; Maschinenring; BLU (Bundesverband Lohnunternehmen); DLG; DRV (Deutscher Raiffeisenverband); LandBauTechnik Bundesverband; VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) (2018): Datenhoheit des Landwirts. Gemeinsame Branchenempfehlung von DBV, BMR, BLU, DLG, DRV, LandBauTechnik-Bundesverband, VDMA für die Erhebung, Nutzung und den Austausch digitaler Betriebsdaten in der Land- und Forstwirtschaft. <https://media.repro-mayr.de/60/712660.pdf> (5.5.2020)
- De Witte, T. (2019): Wirtschaftliche Perspektiven autonomer Kleinmaschinen im Ackerbau. In: *Journal für Kulturpflanzen* 71(4), S.95–100



- Deere & Company (2018): 2018 Annual Report. http://q4live.s22.clientfiles.s3-web-site-us-east-1.amazonaws.com/253594569/files/doc_financials/annual_proxy/2018/2018_John-Deere-Annual-Report.pdf (5.5.2020)
- Delin, S.; Lindén, B.; Berglund, K. (2005): Yield and protein response to fertilizer nitrogen in different parts of a cereal field: potential of site-specific fertilization. In: *European Journal of Agronomy* 22, S. 325-336
- Demmel, M.; Brandhuber, R.; Kirchmeier, H.; Müller, M.; Marx, M. (2012): Das Regelfahrspurverfahren – technische und organisatorische Realisierung. In: *Landtechnik* 67(6), S. 435–440
- Destatis (Statistisches Bundesamt) (2017a): Bodenbearbeitung, Erosionsschutz, Fruchtwechsel/Agrarstrukturerhebung 2016. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Produktionsmethoden/Publikationen/Downloads-Produktionsmethoden/bodenbearbeitung-erosionsschutz-fruchtwechsel-5411209169004.pdf?__blob=publicationFile (5.5.2020)
- Destatis (2017b): Landwirtschaftliche Betriebe mit Bewässerungsmöglichkeit auf Freilandflächen – ohne Frostschutzberegnung – und bewässerte Fläche 2015. www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Produktionsmethoden/Tabellen/bewaesserungsmoeglichkeiten.html (5.5.2020)
- Destatis (2017c): Methodische Grundlagen der Agrarstrukturerhebung 2016. Fachserie 3 Reihe 2. S. 5, Wiesbaden, www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Publikationen/Downloads-Landwirtschaftliche-Betriebe/grundlagen-strukturerhebung-2032605169004.pdf?__blob=publicationFile (5.5.2020)
- Destatis (2018a): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2018. Wiesbaden
- Destatis (2018b): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Daten zum Indikatorenbericht 2018. Wiesbaden
- Deter, A. (2012): Logistiksystem farm-pilot organisiert Ernteketten. 7.8.2012, www.topagrar.com/technik/news/logistiksystem-farm-pilot-organisiert-ernteketten-9364543.html (5.5.2020)
- Deter, A. (2017): Bayer führt neue Digital-Farming-Marke xarvio ein. top agrar online, 14.11.2017, <https://www.topagrar.com/acker/news/bayer-fuehrt-neue-digital-farming-marke-xarvio-ein-9850571.html> (18.8.2021)
- Deter, A. (2018a): Maschinenringe bauen zusammen mit SAP Agrarplattform auf. top agrar online, 12.2.2018, www.topagrar.com/technik/news/maschinenringe-bauen-zusammen-mit-sap-agrarplattform-auf-9377748.html (5.5.2020)
- Deter, A. (2018b): EU-Kommission will Agrarflächen aus dem All erkunden. top agrar online, 5.8.2018, www.topagrar.com/management-und-politik/news/eu-kommission-will-agrarflaechen-aus-dem-all-erkunden-9842041.html (5.5.2020)
- Deter, A. (2018c): Agricon stellt den neuen Yara N-Sensor ALS vor. top agrar online, 18.10.2018, www.topagrar.com/technik/news/agricon-stellt-den-neuen-yara-n-sensor-als-vor-10086236.html (5.5.2020)
- Deter, A. (2019): Neuer Studiengang »Precision Farming« ist wegweisend. top agrar online, 8.6.2019, www.topagrar.com/panorama/news/neuer-studiengang-precision-farming-ist-wegweisend-11568885.html (5.5.2020)
- Dewenter, R.; Lüth, H. (2018): Datenhandel und Plattformen. https://www.abida.de/sites/default/files/ABIDA_Gutachten_Datenplattformen_und_Datenhandel.pdf (5.5.2020)

- DFKI (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz) (2018): TÜV fürs Autonome Fahren – TÜV SÜD und DFKI entwickeln Plattform für KI-Module im autonomen Fahrzeug, 2.3.2018, www.dfki.de/web/news/detail/News/tuev-fuers-autonome-fahren-tuev-sued-und-dfki-entwickeln-plattform-fuer-ki-module-im-autonomen-fahrz/ (5.5.2020)
- Dhuyvetter, K.; Smith, C.; Kastens, T.; Kastens, D. (2016): Guidance and Section Control Profit Calculator. User's Tutorial. Version 3.1.10, www.agmanager.info/guidance-section-control-profit-calculator (5.5.2020)
- Diacono; M.; Rubino, P.; Montemurro, F. (2013): Precision nitrogen management of wheat. A review. In: *Agronomy Sustainable Development* 33, S.219–241
- Dietrich, O.; Schubert, U.; Schuler, J.; Steidl, J.; Zander, P. (2015): Wassermanagement in der Landwirtschaft. Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Münchenberg
- Digital-Gipfel (2017): Glasfaserausbau und 5G. Zusammenhänge und Synergien. Impulspapier – Projektgruppe »Konvergente Netze als Infrastruktur für die Gigabit-Gesellschaft« – Fokusgruppe »Aufbruch in die Gigabit-Gesellschaft« – Plattform »Digitale Netze und Mobilität«. https://anga.de/media/file/1361.Impulspapier_PG_Glasfaserausbau_5G_final.pdf (5.5.2020)
- Dillon, C.; Kusunose, Y. (2013): Dispelling misperceptions regarding variable rate application. In: Stafford, J. (Hg.): *Precision agriculture '13*. Wageningen, S.769–776
- Direktor der Landwirtschaftskammer NRW (2019): Cross Compliance 2019. Informationen über die einzuhaltenden Verpflichtungen bei Cross Compliance 2019. Münster
- Dittus, H. (2019): Stellungnahme für das öffentliche Fachgespräch des Ausschusses für Ernährung und Landwirtschaft zum Thema: »Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Landwirtschaft«, 11. Februar 2019, www.bundestag.de/resource/blob/592032/29e03ac4a5d417d83f10c2ba51792493/Stn_von_Prof_Dittus-data.pdf (19.8.2021)
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) (2003): Gewannebewirtschaftung. DLG-Merkblatt Nr. 334, www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_334.pdf (16.8.2021)
- DLG (2017): Landwirtschaft 2030. 10 Thesen. https://www.dlg.org/fileadmin/2018_downloads/10_thesen/Folder_Thesen_Lawi_2030.zip (5.5.2020)
- DLG (2018a): Digitale Landwirtschaft. Ein Positionspapier der DLG. Frankfurt a.M.
- DLG (2018b): Fütterungstechnik für tragende Sauen in der Gruppenhaltung. DLG-Merkblatt 440. Frankfurt a.M.
- DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) (2009): TerraSAR-X. Das deutsche Radar-Auge im All. www.dlr.de/hr/Portaldata/32/Resources/dokumente/broschueren/TerraSAR-X_web_Broschuere2010_LoRes.pdf (5.5.2020)
- DLR (2017a): Neue Plattform für unbegrenzten Zugang zur Copernicus-Welt online CODE-DE: Klick auf die Welt. 10.3.2017, www.dlr.de/content/de/artikel/news/2017/20170310_code-de-klick-auf-die-welt_21668.html (16.8.2021)
- DLR (2017b): Satellitenkarten für die heimische Landwirtschaft. www.d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Postkarten_Landwirtschaft_051117_klein.pdf (5.5.2020)
- DLR (2018): Tandem-L. Vorschlag für eine Satellitenmission zur Erfassung von dynamischen Prozessen auf der Erdoberfläche. www.dlr.de/hr/PortalData/32/Resources/dokumente/tdml/Tandem-L_Broschuere_2018-04.pdf (4.8.2021)



- Dölger, D.; Gerwers, D. (2014): Sensorik im Pflanzenbau – Erfahrungsberichte aus der Praxis. In: *Journal für Kulturpflanzen* 66(2), S. 57–62
- Doluschitz, R. (2010): Konsequenzen einer fortschreitenden Automatisierung der Landwirtschaft für Betrieb und Betriebsleiter. In: Kunisch, M. (Hg.): *Automatisierung und Roboter in der Landwirtschaft*. KTBL-Vortragsstagung, Darmstadt, S. 156–169
- Doluschitz, R. (2019): Hat der Nebenerwerb Perspektiven? *BW agrar*, 2.4.2019, www.bwagrar.de/Aktuelles/Hat-der-Nebenerwerb-Perspektiven,QUIEPTYxMTIzNDkmTUIEPTUxNjQ0.html (5.5.2020)
- Doluschitz, R.; Morath, C.; Pape, J. (2011): *Agrarmanagement. Unternehmensführung in Landwirtschaft und Agribusiness*. Grundwissen Bachelor 3587, Stuttgart
- Doluschitz, R.; Schwenninger, R. (2003): *Nebenerwerbslandwirtschaft*. Stuttgart
- Domsch, H.; Schirrmann, M. (2009): *Teilflächenspezifische Grunddüngung*. Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 72, Leibniz-Institut für Agrartechnik, Potsdam-Bornim
- Drücker, H. (2016): *Precision Farming. Sensorgestützte Stickstoffdüngung*. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, KTBL-Heft 113, Darmstadt
- Drücker, H. (2018): Sensoren für die variable Stickstoffdüngung – Funktionsprinzipien und Marktübersicht. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/348/article/33577.html (5.5.2020)
- Dumont, A.; Mayor, B.; López-Gunn, E. (2013): Is the rebound effect or Jevons paradox a useful concept for better management of water resources? Insights from the irrigation modernization process in Spain. In: *Aquatic Procedia* 1, S. 64–76
- Düring, T.; Fisbeck, H. (2017): Einsatz der Blockchain-Technologie für eine transparente Wertschöpfungskette. In: Hildebrandt, A.; Landhäußer, W. (Hg.): *CSR und Digitalisierung*. Berlin/Heidelberg, S. 449–464
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (2017): Geändertes Gesetz über den Deutschen Wetterdienst in Kraft getreten. Gesetzgeber modernisiert Aufgaben des Deutschen Wetterdienstes. 25.7.2017, www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2017/20170725_dwd-gesetz.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D6 (5.5.2020)
- DWD (2019): Zahlen und Fakten zum Deutschen Wetterdienst 2019. 31.1.2019, www.dwd.de/DE/presse/pressekonferenzen/DE/2019/PK_26_03_2019/zundf_zum_dwd.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (19.8.2021)
- DZ Bank AG (2017): »Agrar 4.0« – Abschied vom bäuerlichen Familienbetrieb? <https://docplayer.org/200591449-Branchenanalysen-agrar-4-0-abschied-vom-baeuerlichen-familienbetrieb.html> (16.8.2021)
- EcoRobotix (2017): *Technologie im Dienste der Natur*. Yverdon-les-Bains, www.ecorobotix.com/wp-content/uploads/2017/02/ECOX_FlyerPres18-DE-1_RVB.pdf (5.5.2020)
- Eder, J. (2018a): So gesund sind Deutschlands Landwirte. *agrarheute*, 6.2.2018, www.agrarheute.com/land-leben/so-gesund-deutschlands-landwirte-542408 (16.8.2021)
- Eder, J. (2018b): Yara übernimmt trecker.com. 2.7.2018, www.agrarheute.com/management/agribusiness/yara-uebernimmt-treckercom-546114 (5.5.2020)
- EEA (European Environment Agency) (2009): *Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought*. EEA Report No 2/2009, Kopenhagen
- Ehlert, D.; Thöle, H. (2008): *Praktische Erprobung und Einführung von sensorgestützten Verfahren der Düngung und des Pflanzenschutzes zur Verbesserung von Umweltverträglichkeit, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit in der Getreide- und Grünfütterproduktion*. Leibniz-Institut für Agrartechnik, Potsdam-Bornim
- Ehnts, A. (2019): Sparsam spritzen. In: *Agrarheute* März 2019, S. 32–35



- EIP-AGRI Focus Group (2015): Precision Farming. https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eip-agri_focus_group_on_precision_farming_final_report_2015.pdf (5.5.2020)
- von Engelhardt, S.; Wangler, L.; Wischmann, S. (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. Berlin, www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/autonomik-studie-digitale-plattformen.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (5.5.2020)
- Ensthaler, J.; Haase, M. (2017): Datenhoheit und Datenschutz im Zusammenhang mit Smart Services. Berlin, <https://vdivde-it.de/sites/default/files/document/datenhoheit-und-datenschutz-smart-services.pdf> (5.5.2020)
- ETC Group; IPBES-Food (International Panel of Experts on Sustainable Food Systems) (2018): Too Big to Feed: The Short Report. Mega-mergers and the concentration of power in the agri-food sector: How dominant firms have become too big to feed humanity sustainably. www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/files/too_big_to_feed_short_report_etc_ipes_web_final.pdf (5.5.2020)
- EK (Europäische Kommission) (2020): Eine europäische Datenstrategie. COM(2020) 66 final, Brüssel
- EK (2017a): Aufbau einer europäischen Datenwirtschaft. SWD(2017) 2 final, Brüssel
- EK (2017b): Commission staff working document on the free flow of data and emerging issues of the European data economy. SWD(2017) 2 final. Brüssel
- Evans, K.; Terhorst, A.; Kang, B. (2017): From Data to Decisions: Helping Crop Producers Build Their Actionable Knowledge. In: *Critical Reviews in Plant Sciences* 36(2), S. 71–88
- Evans, R.; LaRue, J.; Stone, K.; King, B. (2013): Adoption of site-specific variable rate sprinkler irrigation systems. In: *Irrigation Science* 31, S. 871–887
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2017): The future of food and agriculture. Trends and challenges. Summary version, www.fao.org/3/a-i6881e.pdf (5.5.2020)
- Fasching, C. (2016): Precision Livestock Farming – Überblick über Systeme in der Rinderhaltung und ihre Bedeutung für Tierwohl und Tiergesundheit. In: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein: Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein 2016. Irdning, S. 15–22
- Fazel, L. (Hg.) (2014): Akzeptanz von Elektromobilität. Wiesbaden
- Fernández-Quintanilla, C.; Pena, J.; Andújar, D.; Dorado, J.; Ribeiro, A.; López-Granados, F. (2018): Is the current state of the art of weed monitoring suitable for site-specific weed management in arable crops? In: *Weed Research* 58, S. 259–272
- Finger, R.; Swinton, S.; El Benni, N.; Walter, A. (2019): Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. In: *Annual Reviews of Resource Economics* 11, S. 313–335
- Finistere Ventures (2018): 2018 Agtech Investment Review. https://files.pitchbook.com/website/files/pdf/Finistere_Ventures_2018_Agtech_Investment_Review_PJZ.pdf (5.5.2020)
- Fischer, S. (2019): Blended Learning: Potenzial ausschöpfen. B&B Agrar online, 27.5.2019, www.bildungsserveragrar.de/zeitschrift-bub-agrar/online-beitraege/online-spezial-archiv/blended-learning-potenzial-ausschoepfen/ (16.8.2021)
- Flessa, H.; Müller, D.; Plassmann, K.; Osterburg, B.; Techen, A.-K.; Nitsch, H.; Nieberg, H.; Sanders, J.; Meyer zu Hartlage, O.; Beckmann, E.; Anspach, V. (2012): Studie zur



- Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Sonderheft 361, Braunschweig
- Fodjan GmbH (2016): Lely und fodjan werden Partner bei der Entwicklung von Fütterungssoftware für Kühe. Pressemitteilung. 16.11.2016, https://fodjan.de/article/2016-11-16_fodjan_Pressemitteilung_Lely-und-fodjan-werden-Partner-bei-der-Entwicklung-von-Fuetterungssoftware-fuer-Kuehe.pdf (5.5.2020)
- Foods Standards Agency (2018): FSA trials first use of blockchain. 2.7.2018, www.food.gov.uk/news-alerts/news/fsa-trials-first-use-of-blockchain?navref=search-global-all-1 (5.5.2020)
- Fountas, S.; Carli, G.; Sørensen, C.; Tsiropoulos, Z.; Cavalaris, C.; Vatsanidou, A.; Liakos, B.; Canavari, M.; Wiebensohn, J.; Tisserye, B. (2015): Farm management information systems: Current situation and future perspectives. In: *Computers and Electronics in Agriculture* 115, S. 40–50
- Frank, H.; Gandorfer, M.; Noack, P. (2008): Ökonomische Bewertung von Parallelfahrssystemen. In: Müller, R.; Sundermeier, H.-H.; Theuvsen, L.; Schütze, S.; Morgenstern, M. (Hg.): *Unternehmens-IT: Führungsinstrument oder Verwaltungsbürde?* 28. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S. 47–50
- Fraunhofer IESE (2020): Machbarkeitsstudie zu staatlichen digitalen Datenplattformen für die Landwirtschaft. (Bartels, N.; Dörr, J.; Fehrmann, J.; Gennen, K.; Groen, E.; Härtel, I.; Henningsen, J.; Herlitzius, T.; Jeswein, T.; Kunisch, M.; Martini, D.; Rauch, B.; Roßner, S.; Striller, B.; Walter, L.-S.). IESE-Report Nr. 022. 20/D Version 1.1 – final, Kaiserslautern, www.iese.fraunhofer.de/content/dam/iese/de/dokumente/oeffentliche_studien/machbarkeitsstudie-agrardatenplattform.pdf (3.8.2021)
- Freier, B.; Pallutt, B.; Hommes, M. (1994): Zur Anwendung von flexiblen Schwellenwerten im integrierten Pflanzenschutz. In: *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 46(8), S. 170–175
- Fricke, E. (2018): Effiziente Bewässerungstechnik und -steuerung – Stand und Trends. In: Schimmelpfennig, S.; Anter, J.; Heidecke, C.; Lange, S.; Röttcher, K.; Bittner, F. (Hg.): *Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.9.*, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Working Paper 85, Braunschweig, S. 65–75
- Fröndhoff, B. (2018): Bayer muss für Monsanto-Deal die Digitalsparte verkaufen. *Handelsblatt*, 11.4.2018, www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/milliardeneue-bernahme-bayer-muss-fuer-monsanto-deal-die-digitalsparte-verkaufen/21164654.html (5.5.2020)
- Gandorfer, M. (2006): Bewertung von Precision Farming dargestellt am Beispiel der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. Dissertation, München
- Gandorfer, M.; Meyer-Aurich, A.; Kapfer, M. (2011): Ökonomische Aspekte von Precision Farming. Aktueller Stand und Perspektiven. In: Hambrusch, J.; Larcher, M.; Oedl-Wieser, T. (Hg.): *Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie* 20(2), S. 35–43
- Gandorfer, M.; Schleicher, S.; Heuser, S.; Pfeiffer, J.; Demmel, M. (2017a): Landwirtschaft 4.0 – Digitalisierung und ihre Herausforderungen. In: Wendl, G. (Hg.): *Ackerbau – technische Lösungen für die Zukunft. Landtechnische Jahrestagung 2017.* Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Schriftenreihe 6, Freising-Weihenstephan, S. 9–19



- Gandorfer, M.; Schleicher, S.; Noack, P. (2017b): LDBV bietet kostenloses RTK-Korrektursignal an – Preiswerter lenken lassen. In: Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 43, S. 38–39
- Garford (2018): robocrop inrow. Inter-row and inter-plant weeder. Garford Farm Machinery Ltd, Peterborough, <https://garford.com/wp-content/uploads/2018/07/Robocrop-InRow-.pdf> (5.5.2020)
- Gasso, V.; Oudshoorn, F.; Sørensen, C.; Pedersen, H. (2014): An environmental life cycle assessment of controlled traffic farming. In: *Journal of Cleaner Production* 73, S. 175–182
- Gasso, V.; Sørensen, C.; Oudshoorn, F.; Green, O. (2013): Controlled traffic farming: A review of the environmental impacts. In: *European Journal of Agronomy* 48, S. 66–73
- 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, Braunschweig
- Leibniz-Forschungsverbund „Nachhaltige Lebensmittelproduktion & gesunde Ernährung“ (o.J.): Positionspapier der Innovationsinitiative Landwirtschaft 4.0. https://www.leibniz-lebensmittel-und-ernaehrung.de/fileadmin/user_upload/Ernaehrung/Presse/Positionspapier_Landwirtschaft_4.0_Final2.pdf (5.5.2020)
- Georg-August-Universität Göttingen (2019): Kleine Ackerflächen fördern die Biodiversität. Presseinformation Nr. 146, 6.8.2019, www.uni-goettingen.de/de/3240.html?id=5547 (5.5.2020)
- Gereffi, G.; Humphrey, J.; Sturgeon, T. (2005): The governance of global value chains. In: *Review of International Political Economy* 12(1), S. 78–104
- Gindele, N.; Doluschitz, R. (2018): »Landwirtschaft 4.0«. Stand und Perspektiven. Baden-Württembergischer Genossenschaftsverband, 3.5.2018, www.wir-leben-genossenschaft.de/de/Landwirtschaft-4-0-Stand-und-Perspektiven-5654.htm (5.5.2020)
- Gindele, N.; Kaps, S.; Doluschitz, R. (2016): Betriebliche Möglichkeiten im Umgang mit dem Fachkräftemangel in der Landwirtschaft. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.), *Berichte über Landwirtschaft* 94(1), <https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/89/Gindele.pdf> (5.5.2020)
- Göggerle, T. (2019): John Deere-Datenplattform jetzt offen für externe Software. *agrarheute*, 8.2.2019, www.agrarheute.com/technik/traktoren/john-deere-einsatzen-trale-externe-software-551459 (5.5.2020)
- Gómez, C.; Pérez-Blanco, C. (2014): Simple Myths and Basic Maths About Greening Irrigation. In: *Water Resources Management* 28(12), S. 4035–4044
- Götz, M. (2018): In jedem Hausschwein steckt noch eine Wildsau. STS-Merkblatt Das Verhalten von Schweinen. Schweizer Tierschutz STS (Hg.), Basel, www.tierschutz.com/publikationen/nutztiere/infothek/verhalten/mb_schweine.pdf (5.5.2020)
- Griepentrog, H.; Weis, M.; Weber, H.; Schneider, W. (2019): Maschinenring Digital (MR digital). Digitalisierungskonzept für kleine und mittlere Betriebe. In: Meyer-Aurich, A.; Gandorfer, M.; Barta, N.; Gronauer, A.; Kantelhardt, J.; Floto, H.; (Hg.): *Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen – ein Widerspruch in sich?* 39. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S. 65–70



- Griffin, T.; Lowenberg-Deboer, J. (2005): Worldwide adoption and profitability of precision agriculture Implications for Brazil. In: *Revista de Politica Agricola* 14(4), S.20–37
- Griffin, T.; Shockley, J.; Mark, T. (2018): Economics of Precision Farming. In: Shannon, D.; Clay, D.; Kitchen, N. (Hg.): *Precision agriculture basics*. Madison, S.221–230
- GS1 Germany (2017): GS1 Germany unterstützt die Digitalisierung der Landwirtschaft. 28.3.2017, www.gs1-germany.de/service/presse/meldung/meldung/gs1-germany-unterstuetzt-die-digitalisierung-der-landwirtschaft-500/ (5.5.2020)
- Gutierrez-Martin, C.; Gomez Gomez, C. (2011): Assessing irrigation efficiency improvements by using a preference revelation model. In: *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(4), S.1009–1020
- Hägele, M.; Blümlein, N.; Kleine, O. (2011): Wirtschaftlichkeitsanalysen neuartiger Servicerobotik-Anwendungen und ihre Bedeutung für die Robotik-Entwicklung. Stuttgart
- Haidn, B.; Leicher, C. (2017): Automatisches Füttern – Neues aus Praxis und Forschung. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hg.): *Automatische Grundfuttervorlage für Rinder*. LfL-Information, Freising-Weißenstephan, S.47–68
- Handler, F.; Blumauer, E. (2015): Der Nutzen der Automatischen Teilbreitenschaltung bei Düngung und Pflanzenschutz. Vortrag, BLT-Fachtagung »Innovative Agrartechnik«, <https://docplayer.org/118903717-Der-nutzen-der-automatischen-teilbreitenschaltung-bei-duengung-und-pflanzenschutz.html> (16.8.2021)
- Harms, J.; Wendl, G. (2012): Automatische Melksysteme – Trends, Entwicklungen, Umsetzung. In: *Viehwirtschaftliche Fachtagung; Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein: 39. Viehwirtschaftliche Fachtagung gemäß Fortbildungsplan des Bundes. Milchproduktion – Status quo und Anpassung an zukünftige Herausforderungen, Irdning*
- Hartung, J.; Banhazi, T.; Vranken, E.; Guarino, M. (2017): European farmers' experiences with precision livestock farming systems. In: *Animal Frontiers* 7(1), S.38–44
- Häusler, A.; Nordmeyer, H. (2003): Using aerial photography to detect weed patches for sitespecific weed control – perspectives and limitations. In: Stafford, J.; Werner, A. (Hg.): *Precision Agriculture*. Wageningen, S.271–277
- Hefner, M.; Norremark, M.; Kristensen, H. (2017): Das Konzept des »controlled traffic farming« im ökologischen Gemüseanbau. In: Wolfrum, S.; Heuwinkel, H.; Reents, H.; Wiesinger, K.; Hülsbergen, K.-J. (Hg.): *Ökologischen Landbau weiterdenken. Verantwortung übernehmen, Vertrauen stärken: Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*. Berlin, S.382–385
- Herda, N.; Friedrich, K.; Ruf, S. (2018): Plattformökonomie als Game-Changer. Wie digitale Plattformen unsere Wirtschaft verändern: Eine strategische Analyse der Plattformökonomie. In: *Sonderausgabe zum Strategie Journal* 3, S.2–18
- Herlitzius, T. (2018): Landtechnikentwicklung im Digitalisierungshype – »Evolutionär oder Disruptiv?«. In: H. Wilhelm Schaumann Stiftung (Hg.): *Landwirtschaft und Digitalisierung*. 27. Hülsenberger Gespräche 2018, Hamburg, S.30–38
- Herlitzius, T.; Grosa, A.; Bögel, T. (2018): Bodenbearbeitungstechnik. In: Frerichs, L. (Hg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2018*. Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig, S.1–8
- Herlitzius, T.; Grosa, A.; Bögel, T. (2019): Bodenbearbeitungstechnik. In: Frerichs, L. (Hg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2018*. Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig, S.1–11



- Herlitzius, T.; Grosa, A.; Edler von der Planitz, B. (2013): Bodenbearbeitungstechnik. In: Frerichs, L. (Hg.): Jahrbuch Agrartechnik 2012. Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig, S. 1–8
- Hezarjaribi, A. (2008): Site-specific irrigation: Improvement of application map and a dynamic steering of modified centre pivot irrigation system. Dissertation, Gießen
- Hezarjaribi, A.; Sourell, H.; Bockisch, F.-J. (2008): Teilflächenspezifische Beregnung. Entwicklung von Beregnungsapplikationskarten und einer dynamischen Steuerung für Kreisberegnungsmaschinen. In: Landtechnik 63(3), S. 154–155
- High-Tech Gründerfonds (2017): fodjan sichert sich Serie-A Finanzierungsrunde und gewinnt neue Partner. 7.3.2017, <https://high-tech-gruenderfonds.de/de/fodjan-sichert-sich-serie-a-finanzierungsrunde-und-gewinnt-neue-partner/> (5.5.2020)
- HLPE (High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition) (2013): Investing in smallholder agriculture for food security. Committee on World Food Security, Rom
- Hoffmann, V. (2018): Zwischen Melkroboter und Precision Farming – psychische Belastungen durch veränderte Bedingungen. In: PECO-Institut e.V (Hg.): Das neue Feld. Arbeit in der Landwirtschaft 4.0. Werkstattbericht 2018, Berlin, S. 28–32
- Hofmann, M.; Ewald, R.; Bensch, F.; Wattenbach, R. (2018): Die Rolle der Satellitenkommunikation beim Breitbandausbau. Informationspapier des DLR Raumfahrtmanagement. Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Köln
- Holsten, B.; Pfannerstill, M.; Trepel, M. (2016): Phosphor in der Landschaft – Management eines begrenzt verfügbaren Nährstoffes. Institut für Ökosystemforschung, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Kiel
- Hostiou, N.; Fagon, J.; Chauvat, S.; Turlot, A. (2017): Impact of precision livestock farming on work and human animal interactions on dairy farms. A review. In: Biotechnology, Agronomy, Society and Environment 21(4), S. 268–275
- Hülsbergen, K.-J.; Maidl, F.-X.; Forster, F.; Prücklmaier, J. (2017): Minderung von Nitratausträgen in Trinkwassereinzugsgebieten durch optimiertes Stickstoffmanagement, am Beispiel der Gemeinde Hohenthann (Niederbayern) mit intensiver landwirtschaftlicher Flächennutzung. Technische Universität München, Weihenstephan, www.lfu.bayern.de/wasser/gw_gefaehrderung_schutz/gwschutz_landwirtschaft/projekte_hohenthann/doc/tum_bericht_hohenthann.pdf (5.5.2020)
- IBS-DR (Deutsche Region der Internationalen Biometrischen Gesellschaft) (2012): Leitfaden zur Einordnung, Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen unter Produktionsbedingungen (On-Farm-Experimente). Stand Juni 2012, www.biometrische-gesellschaft.de/fileadmin/AG_Daten/Landwirtschaft/PDFs/Leitfaden_OFE-Band_2012.pdf (5.5.2020)
- IPBES-Food (International Panel of Experts on Sustainable Food Systems) (2017): Too Big to Feed: The Short Report. Mega-mergers and the concentration of power in the agri-food sector: How dominant firms have become too big to feed humanity sustainably. (Mooney, P.) www.ipes-food.org/_img/upload/files/Concentration_Full_Report.pdf (5.5.2020)
- Jensen, H.; Jacobsen, L.-B.; Pedersen, S.; Tavella, E. (2012): Socioeconomic impact of widespread adoption of precision farming and controlled traffic systems in Denmark. In: Precision Agriculture 13, S. 661–677
- JKI (Julius Kühn-Institut) (2019): PAPA – Statistische Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. Behandlungshäufigkeit. <https://papa.julius-kuehn.de/index.php?menuid=46> (5.5.2020)



- John Deere GmbH (2017a): Agrar-Management-Systemlösungen (AMS). www.deere.de/de/magazines/publication.html?id=400043a3#40 (5.5.2020)
- John Deere GmbH (2017b): Übernahme von Blue River Technology – John Deere investiert in Künstliche Intelligenz. 6.9.2017, www.deere.de/de/unser-unternehmen/news-und-medien/pressemeldungen/2017/september/john-deere-investiert-presse.html (19.8.2021)
- John Deere GmbH (2018): John Deere als Wegbereiter zur Landwirtschaft 4.0 – Landwirte haben volle Datenkontrolle. 10.9.2018, www.deere.de/de/unser-unternehmen/news-und-medien/pressemeldungen/2018/september/volle-datenkontrolle-pressemitteilung.html (5.5.2020)
- John Deere GmbH (2019a): Agrar-Management-Systemlösungen (AMS). www.deere.de/assets/publications/index.html?id=b52d9bb8#58 (5.5.2020)
- John Deere GmbH (2019b): John Deere, CLAAS, CNH Industrial and 365FarmNet form DataConnect. 5.11.2019, www.deere.com/en/our-company/news-and-announcements/news-releases/2019/agriculture/2019nov05-dataconnect/ (5.5.2020)
- John, A.; Clark, C.; Freeman, M.; Kerrisk, K.; Garcia, S.; Halachmi, I. (2016): Review: Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. In: *Animal* 10(9), S. 1484–1492
- Joskin (2019): Güllefässer und Ausbringungstechnik. www.joskin.com/pdf/prospekt/epandeurs%20lisier/de/Tonnes%20+%20Lisier%20DE.pdf (5.5.2020)
- JRC (Joint Research Centre of the European Commission) (2014): Precision agriculture: an opportunity for EU farmers: potential support with the CAP 2014-2020. (Zarco-Tejada, P.; Hubbard, N.; Loudjani, P.) Brüssel
- Kampschulte, L. (2018): Schritt halten – ISOBUS nachrüsten. *traction*, 22.1.2018, www.agrarheute.com/traction/tests-technik/schritt-halten-isobus-nachruesten-541989 (5.5.2020)
- Karpinski, I. (2014): Volkswirtschaftliche Analyse einer flächenweiten Einführung von Precision Farming in Deutschland. Dissertation, Berlin
- Kathan, B. (2009): *Schöne neue Kuhstallwelt*. Berlin
- Khanal, S.; Fulton, J.; Shearer, S. (2017): An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. In: *Computers and Electronics in Agriculture* 139, S. 22–32
- Kielhorn, A.; Dzinaj, T.; Gelze, F.; Grimm, J.; Kleine-Hartlage, H.; Hörstkamp, S.; Kuntze, W.; Linz, A.; Naescher, J.; Nardmann, M. (2000): Beikrautregulierung in Reihenkulturen – Sensorgesteuerte Querhacke im Mais. In: *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft 17*, S. 207–215
- King, B.; Stark, J.; Wall, R. (2006): Comparison of site-specific and conventional uniform irrigation management for potatoes. In: *Applied Engineering in Agriculture* 22(5), S. 677–688
- Kingwell, R.; Fuchsbichler, A. (2011): The whole-farm benefits of controlled traffic farming: An Australian appraisal. In: *Agricultural Systems* 104, S. 513–521
- Kirschke, D.; Odening, M.; Häger, A.; Mußhoff, O. (2007): Strukturwandel im Agrarsektor. In: *Humboldt-Spektrum* 1, S. 24–31
- Kitchen, N.; Snyder, C.; Franzen, D.; Wiebold, W. (2002): Educational Needs of Precision Agriculture. *Precision Agriculture* 3, S. 341–351
- Klerkx, L.; Jakku, E.; Labarthe, P. (2019): A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. In: *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 90–91, S. 100315



- Klöble, U.; Fröba, N.; Niemann, H.; Kielhorn, A. (2007): Precision Farming auch im Ökolandbau? Fachhochschule Osnabrück, <http://core.ac.uk/download/pdf/10926787.pdf> (5.5.2020)
- Knierim, A.; Thomas, A.; Schmitt, S. (2017a): Agrarberatung im Wandel. In: B&B agrar 4, S. 27–32
- Knierim, A.; Thomas, A.; Schmitt, S. (2017b): Beratungsangebote in den Bundesländern. In: B&B agrar 4, S. 1–26
- Konferenz der Justizministerinnen und Justizminister der Länder (2017): Arbeitsgruppe »Digitaler Neustart« der Konferenz der Justizministerinnen und Justizminister der Länder. Bericht vom 15. Mai 2017. www.justiz.nrw.de/JM/schwerpunkte/digitaler_neustart/zt_bericht_arbeitsgruppe/bericht_ag_dig_neustart.pdf (5.5.2020)
- Königstein, K.; Haack, B. (2015): Webinare in der Agrarberatung. In: B&B agrar 5, S. 24–25
- KPMG; Bitkom research (2019): Cloud-Monitor 2019: Public Clouds und Sicherheit im Fokus
- Kral, I.; Mauch, M.; Barta, N.; Piringer, G.; Bauer, A.; Bauerndick, J.; Bernhardt, H.; Gronauer, A. (2017): Effizienzvergleich von automatischen Lenksystemen mit manueller Lenkung während der Grünlandernte auf Basis von Prozessparametern der Zugmaschine. In: Ruckelshausen, A.; Meyer-Aurich, A.; Lentz, W.; Theuvsen, B. (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitale Transformation – Wege in eine zukunftsfähige Landwirtschaft. 37. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., S. 81–84
- Kratz, S.; Schick, J.; Shwiekh, R.; Schnug, E. (2014): Abschätzung des Potentials erneuerbarer P-haltiger Rohstoffe in Deutschland zur Substitution rohphosphathaltiger Düngemittel. In: Journal für Kulturpflanzen 66(8), S. 261–275
- Kritikos, M. (2017): Precision agriculture in Europe. Legal, social and ethical considerations. Study. STOA (EPRS European Parliamentary Research Service Scientific Foresight Unit) Nr. PE 603.207
- Krombholz, K. (2019): Gedanken zur Vorgeschichte von Landwirtschaft 4.0. In: Freichs, L. (Hg.): Jahrbuch Agrartechnik 2018. Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2019, Braunschweig, S. 1–17
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (2019): PAMrobust – Abstandsauflagen im Pflanzenschutz. Darmstadt
- KTBL (2007): Geodateninfrastrukturen und Geodienste für die Landwirtschaft. KTBL-Heft Nr. 66, Darmstadt
- KTBL (2018): Faustzahlen für die Landwirtschaft. Darmstadt
- KTBL (2013): Automatische Melksysteme. Verfahren – Kosten – Bewertung. KTBL-Schrift 497, Darmstadt
- Kuhn, M. (2016): Unterwegs auf digitalem Feld. In: B&B agrar 2, S. 9–11
- Kuschel, S. (2018): Gewerkschaft 4.0 – neue Fragen? Neue Antworten! In: Das neue Feld. Arbeit in der Landwirtschaft 4.0. Werkstattbericht 2018. Berlin, S. 34–38
- Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (2019): Mobilfunk. Stand 29.4.2019, www.sapos-bw.de/fehlerquellen.php (19.8.2021)
- Landesregierung Rheinland-Pfalz (2015): Landwirtschaft digital. 10.12.2015, www.rlp.de/de/aktuelles/einzelansicht/news/detail/News/landwirtschaft-digital/ (5.5.2021)
- FDP/DVP; MLR (Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg) (2016): Situation der Maschinenringe in Baden-Würt-



- temberg. Antrag der Abg. Dr. Friedrich Bullinger u.a. FDP/DVP und Stellungnahme des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz. Landtag von Baden-Württemberg, Drucksache 16/634, Stuttgart
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hg.) (2019): Nährstoffbericht für Niedersachsen 2017/2018. Oldenburg
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2018): Nährstoffbericht 2017 über Wirtschaftsdünger und andere organische Düngemittel für Nordrhein-Westfalen. Münster
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2019): Ökolandbau in NRW. Erfolgreiche Betriebskonzepte für die Zukunft. Münster, www.oekolandbau.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/Publikationen/LWK-Broschuere_oekolandbau.pdf (5.5.2020)
- Larson, J.; Velandia, M.; Buschermohle, M.; Westlund, S. (2016): Effect of field geometry on profitability of automatic section control for chemical application equipment. In: *Precision Agriculture* 17, S. 18–35
- Li, H.; Zhao, J. (2018): Rebound effects of new irrigation technologies: The role of water rights. In: *American Journal of Agricultural Economics* 100(3), S. 786–808
- Lianos, I. (2018): Die Bayer/Monsanto-Fusion: eine kritische Beurteilung. Deutscher Bundestag, Ausschuss für Wirtschaft und Energie, Ausschussdrucksache 19(9)90, Berlin
- Lilienthal, H. (2014): Optische Sensoren in der Landwirtschaft: Grundlagen und Konzepte. *Journal für Kulturpflanzen* 66(2), S. 34–41
- Lindblom, J.; Lundström, C.; Ljung, M.; Jonsson, A. (2017): Promoting sustainable intensification in precision agriculture: review of decision support systems development and strategies. In: *Precision Agriculture* 18, S. 309–331
- Liu, Y.; Swinton, S.; Miller, N. (2006): Is Site-Specific Yield Response Consistent over Time? Does It Pay? In: *American Journal of Agricultural Economics* 88(2), S. 471–483
- Lopotz, H. (2013): Precision Farming Rechnen sich die Investitionen? Vortrag, Feldtag 2013, <https://docplayer.org/27992050-Precision-farming-rechnen-sich-die-investitionen.html> (16.8.2021)
- Lorenz, F.; Münchhoff, M. (2018): Teilflächenspezifische Bodenprobenahme und Düngung. DLG-Merkblatt 407, Stand; 9/2015, DLG e. V., Fachzentrum Landwirtschaft, Frankfurt a.M.
- Lowenberg-DeBoer, J. (2018): The economics of precision agriculture. In: Stafford, J. (Hg.): *Precision Agriculture for sustainability*. Cambridge, S. 461–482
- Lowenberg-DeBoer, J.; Erickson, B. (2019): Setting the Record Straight on Precision Agriculture Adoption. In: *Agronomy Journal* 111(4), S. 1–18
- Lüttger, A.; Dittmann, B.; Sourell, H. (2005): Leitfaden zur Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, Potsdam
- Ma, B.-L.; Wu, T.-Y.; Shang, J. (2014): On-farm comparison of variable rates of nitrogen with uniform application to maize on canopy reflectance, soil nitrate, and grain yield. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177, S. 216–226
- Machmüller, A.; Sundrum, A. (2015): Betriebliche Stickstoffüberschüsse erst durch systematische Analyse zielführend absenkbar. In: *Landbauforschung* 65(3/4), S. 171–192



- Mahlein, A.-K. (2016): Plant Disease Detection by Imaging Sensors – Parallels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping. In: *Plant Disease* 100(2), S. 241–251
- Maidl, F.-X. (2009): Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung nach dem System Online mit Map-Overlay. In: Kage, H.; Hollmann, F. (Hg.): *Norddeutsches Weizenforum 2009*. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und -züchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 63, S. 65–70
- Maidl, F.-X.; Spicker, B.; Kurt-Jürgen Hülsbergen, K.-J. (2014): Mit Sensoren die Bestände besser führen? In: Wendl, G. (Hg.): *Neue Techniken im Ackerbau*. Landtechnische Jahrestagung am 26. November 2014 in Deggendorf. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weißenstephan, S. 63–74
- Mamo, M.; Malzer, G.; Mulla, D.; Huggins, D.; Strock, J. (2003): Spatial and Temporal Variation in Economically Optimum Nitrogen Rate for Corn. In: *Agronomy Journal* 95(4), S. 958–964
- Manzini, S. (2017): Die Rehkitze per Drohne retten. In: *Badische Bauern Zeitung* 11, 18.3.2017, S. 16
- Mastel, K. (2002): Beregnung und Bewässerung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. Landesanstalt für Pflanzenbau, Merkblätter für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung Nr. 24, Rheinstetten
- McAuliffe, G.; Chapman, D.; Sage, C. (2016): A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. In: *Environmental Impact Assessment Review* 56, S. 12–22
- McCarthy, A.; Hancock, N.; Raine, S. (2013): Advanced process control of irrigation: the current state and an analysis to aid future development. In: *Irrigation Science* 31, S. 183–192
- McHugh, A.; Tullberg, J.; Freebairn, D. (2009): Controlled traffic farming restores soil structure. In: *Soil & Tillage Research* 104, S. 164–172
- Mellor, D.J. (2016): Updating Animal Welfare Thinking: Moving beyond the »Five Freedoms« towards »A Life Worth Living«. In: *Animals* 6(3), S. 21
- Meskens, L.; Vandermerch, M.; Mathjis, E. (2001): Implication of the introduction of automatic milking on dairy farms. Literature review on the determinants and implications of technology adoption. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.198.4207&rep=rep1&type=pdf> (19.8.2021)
- Miller, N.; Griffin, T.; Ciampitti, I.; Sharda, A. (2019): Farm adoption of embodied knowledge and information intensive precision agriculture technology bundles. In: *Precision Agriculture* 20, S. 348–361
- Mondon, M.; Thöne-Reineke, C.; Merle, R. (2017): Tierwohl und Wohlbefinden – Definition, Bewertung und Diskussion mit Fokussierung auf die Milchkuh. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*, 27.2.2017, <https://vetline.de/tierwohl-und-wohlbefinden-definition-bewertung-und-diskussion-mit-fokussierung-auf-die-milchkuh/150/3216/100978/> (5.5.2020)
- Mooney, P. (2018): Blocking the chain: Konzernmacht und Big-Data-Plattformen im globalen Ernährungssystem. ETC Group, *Global Change – Local Conflict?* (GLOCON), INKOTA-netzwerk e. V., Rosa-Luxemburg-Stiftung Gesellschaftsanalyse und politische Bildung e. V. (Hg.), Val David/Berlin
- Moser, B. (2018): Smart Services für die Landwirtschaft. Geschäftsmodelle für industrielle Smart Services. In: *UdZForschung* 19, S. 14–17



- Mouazen, A.; Palmqvist, M. (2015): Development of a Framework for the Evaluation of the Environmental Benefits of Controlled Traffic Farming. In: Sustainability 7, S.8684-8708
- Müller, M.; Demmel, M.; Sander, G. (2020): Bewässerungs-App. Ein webbasiertes Entscheidungssystem für bedarfsgerechtes Bewässern. Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e. V. (Hg.), Freising
- Muscalu, A.; Tudora, C.; Sorică, C.; Burnichi, F. (2019): Weed control methods for organic vegetables crop. In: Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering 12(2), S.25–30
- Munz, J. (2018): Digitalisierung in der Landwirtschaft – eine Bestandsaufnahme der bisherigen Entwicklungen unter besonderer Betrachtung von agrarspezifischen Informationssystemen. Masterthesis, Universität Hohenheim, Stuttgart
- Munz, J.; Gindele, N.; Doluschitz, R. (2019): Opportunities, Risks and Obstacles to the Implementation of Digitisation Technologies in German Agriculture. 12th EFITA International Conference, Rhodos, S.216–221
- Munz, J.; Gindele, N.; Doluschitz, R. (2020): Exploring the characteristics and utilisation of Farm Management Information Systems (FMIS) in Germany. In: Computers and Electronics in Agriculture 170, S.105246
- Natrop, C.; Holsteg, M.; Pries, M. (2009): Der Melkroboter: Ein »Buch mit sieben Siegeln«? Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster
- Natürlich Jagd (2017): Kitzrettung mit dem Oktokopter. 29.4.2017, www.natuerlich-jagd.de/im-revier/kitzrettung-mit-dem-oktokopter.html (5.5.2020)
- Neddermann, N.; Grunwald, A.; Trautz, D.; Korte, H.; Westerkamp, C. (2019): Anwenderorientierte Methode für Wissenstransfers über Digitalisierungsmöglichkeiten für kleine und mittelgroße landwirtschaftliche Betriebe. In: Meyer-Aurich, A.; Gandorfer, M.; Barta, N.; Gronauer, A.; Kantelhardt, J.; Floto, H. (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen – ein Widerspruch in sich? Referat der 39. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn
- Niemann, H.; Schwaiberger, R.; Fröba, N. (2007): Parallelfahrssysteme. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, KTBL-Heft 67, Darmstadt
- Niggli, U. (2018): Die Nase vorn. In: Ökologie und Landbau 3, S.23–25
- Nordmeyer, H. (2006): Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz – Beitrag der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung. In: Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 58(12), S.317–322
- Obenauf, U.; Borchard, I.; Lubkowitz, C.; Kock, C. (2013a): Ergebnisse zur teilflächenspezifischen Grunddüngung. In: Bauerblatt 5. Januar, S.28–34
- Obenauf, U.; Borchard, I.; Lubkowitz, C. (2013b): Was bringt die teilflächenspezifische N-Düngung wirklich? N-Sensor im praktischen Einsatz. In: Bauernblatt 30. März, S.22–27
- Obenauf, U.; Borchard, I.; Lubkowitz, C.; Kock, C. (2014): N-Sensor im praktischen Einsatz. Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Projekt On Farm Research. In: Journal für Kulturpflanzen 66(2), S.48–56
- Oebel, H.; Gerhards, R. (2006): Kameragesteuerte Unkrautbekämpfung – eine Verfahrenstechnik für die Praxis. In: Journal of Plant Diseases and Protection Sonderheft XX, S.181–187
- Oksanen, T.; Linkolehto, R.; Seilonen, I. (2016): Adapting an industrial automation protocol to remote monitoring of mobile agricultural machinery: a combine harvester with IoT. In: IFAC-PapersOnLine 49(16), S.127–131



- Omelko, M.; Schneeberger, W. (2005): Betriebswirtschaftliche Auswirkungen eines automatischen Melksystems. 32. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning
- Oudshoorn, F.; Kristensen, T.; van der Zijpp, A.; de Boer, I. (2012): Sustainability evaluation of automatic and conventional milking systems on organic dairy farms in Denmark. In: *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences* 59, S.25–33
- Overbeck, V. (2019): Förderung von moderner Pflanzenschutztechnik. In: Frerichs, L. (Hg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2018*. Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig, S.121–132
- Palmethofer, W. (2019): Open Data: EU öffnet Datensilos des öffentlichen Sektors. *Netzpolitik.org*, 12.4.2019, <https://netzpolitik.org/2019/open-data-eu-oeffnet-datensilos-des-oeffentlichen-sektors/> (5.5.2020)
- Paustian, M.; Theuvsen, L. (2017): Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. In: *Precision Agriculture* 18, S.701–716
- Pedersen, S.; Fountas, S.; Have, H.; Blackmore, B. (2006): Agricultural robots – system analysis and economic feasibility. In: *Precision Agriculture* 7, S.295–308
- Pesce, M.; Kirova, M.; Soma, K.; Bogaardt, M.-J.; Poppe, K.; Thurston, C.; Monfort Belles, C.; Wolfert, S.; Beers, G. (2019): Research for AGRI Committee – Impacts of the digital economy on the food-chain and the CAP. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brüssel
- Petersen, J.; Lewens, J.; Hess, S. (2018): Adoptions- und Diffusionsbarrieren von Precision Farming in Schleswig-Holstein. In: Ruckelshausen, A.; Meyer-Aurich, A.; Borchard, K.; Hofacker, C.; Loy, J.-P.; Schwerdtfeger, R.; Sundermeier, H.-H.; Floto, H.; Theuvsen, B. (Hg.): *Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitale Marktplätze und Plattformen*. 38. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S.179–182
- Pfeiffer, L.; Lin, C.-Y. (2014): Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence. In: *Journal of Environmental Economics and Management* 67, S.189–208
- Pflanz, M.; Nordmeyer, H.; Schirrmann, M. (2018b): Weed Mapping with UAS Imagery and a Bag of Visual Words Based Image Classifier. In: *Remote Sensing* 10, 1530
- Pflanz, M.; Schirrmann, M.; Nordmeyer, H. (2018a): Räumlich hochauflösende Unkrautererkennung mittels Flugroboter und merkmalsextrahierender Bildverarbeitung. In: Nordmeyer, H.; Ulber, L. (Hg.): *Tagungsband 28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung: 27. Februar–1. März 2018*, Braunschweig. *Julius-Kühn-Archiv* 458, Braunschweig, S.379–384
- Pierpaoli, E.; Carli, G.; Pignatti, E.; Canavari, M. (2013): Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review. In: *Procedia Technology* 8, S.61–69
- Plattform Industrie 4.0 (2016): *Industrie 4.0 – wie das Recht Schritt hält*. Ergebnispapier. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.), www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-wie-das-recht-schritt-haelt.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (5.5.2020)
- Podszun, R. (2019): Kartellrecht in der Datenökonomie. In: *Aus Politik und Zeitgeschichte* 69(24-26), S.28–34
- Pohl, J.-P.; Rautmann, D.; Nordmeyer, H.; von Hörsten, D. (2018): Teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung – eine Innovation zur präzisen Applikation im Pflanzenbau. In: Nordmeyer, H.; Ulber, L. (Hg.): *Tagungsband*



28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung: 27. Februar–1. März 2018, Braunschweig. Julius-Kühn-Archiv 458, Braunschweig, S.372–377
- Pomar, C. (2017): Basic concepts and potential impact of precision feeding technologies in the production of growing-finishing pigs. In: *Journal of Animal Science* 95, Suppl. 2/*Journal of Dairy Science* 100, Suppl. 1, S.22
- Pomar, C.; Remus, A. (2019): Precision pig feeding: a breakthrough toward sustainability. In: *Animal Frontiers* 9(2), S.52–59
- Pomar, C.; Pomar, J.; Dubeau, F.; Joannopoulos, E.; Dussault, J. (2014): The impact of daily multiphase feeding on animal performance, body composition, nitrogen and phosphorus excretions, and feed costs in growing-finishing pigs. In: *Animal* 8, S.704–713
- Pommer, R.; Pache, S.; Heber, I.; Rindfleisch, A. (2013): Nutzung Automatischer Melksysteme (AMS) in der sächsischen Milchproduktion. *Automatische Melksysteme in Sachsen. Schriftenreihe des LfULG Heft 10, Dresden*
- Porter, M.; Heppelmann, J. (2014): Wie smarte Produkte den Wettbewerb verändern. In: *Harvard Business Manager, Sonderdruck aus Heft 12/2014*, <https://docplayer.org/storage/27/12324512/1641914944/hVbjd2j9pZEpaCfKnSETQ/12324512.pdf> (19.8.2021)
- Prankl, H. (2006): *Der ISOBUS auf landwirtschaftlichen Maschinen und Traktoren. HBLFA Francisco Josephinum/BLT Biomass – Logistics – Technology, Wieselburg*
- Pries, M.; Menke, A.; Verhülsdonk, C.; Beintmann, S.; Hünting, K.; Benninghoff, J.; Tholen, E. (2011): Kraftfutter beim Automatischen Melksystem – in den Trog oder in die Melkbox? *Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen*, <https://www.landwirtschaftskammer.de/riswick/versuche/tierhaltung/fuetterung/kraftfutter-ams.htm> (19.8.2021)
- PwC (PricewaterhouseCoopers) (2016): Quo vadis, agricola? Smart Farming: Nachhaltigkeit und Effizienz durch den Einsatz digitaler Technologien. (Bovensiepen, G.; Hornbach, R.; Raimund, S.) www.pwc.de/de/handel-und-konsumguter/assets/smart-farming-studie-2016.pdf (19.8.2021)
- Raiffeisen-Landbund eG (2018): Konjunkturbarometer: Immer mehr Landwirte beklagen zu langsames Internet. 24.4.2018, www.raiffeisen-warendienst.de/news-ansicht/konjunkturbarometer-immer-mehr-landwirte-beklagen-zu-langsamem-internet/ (24.8.2021)
- Ramm, S.; Reckleben, Y. (2019): Sensor- und satellitengestützte Stickstoffdüngung. Ein Weg zu mehr N-Effizienz? In: *Getreidemagazin, Sonderdruck aus 1/2019*, www.nextfarming.de/fileadmin/assets/nextfarming/dokumente/pressemitteilung/Artikel_Getreidemagazin_01_2019_Ramm_und_Reckleben.pdf (19.8.2021)
- Raun, W.; Solie, J.; Johnson, G.; Stone, M.; Mullen, R.; Freeman, K.; Thomason, W.; Lukina, E. (2002): Improving Nitrogen Use Efficiency in Cereal Grain Production with Optical Sensing and Variable Rate Application. In: *Agronomy Journal* 94(4), S.815–820
- Recke, G.; Strüve, H. (2015): Zur Wirtschaftlichkeit der automatisierten Fütterung in der Rinderhaltung. In: Ruckelshausen, A.; Schwarz, H.-P.; Theuvsen, B. (Hg.): *Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Komplexität versus Bedienbarkeit, Mensch- Maschine-Schnittstellen*. 35. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S.149–152
- Reckleben, Y. (2011): Optimierung der Stickstoffdüngung auf gutem Weg. In: *Bauernblatt* 24. Dezember, S.46–49



- Reckleben, Y. (2014a): Sensoren für die Stickstoffdüngung – Erfahrungen in 12 Jahren praktischem Einsatz. *Journal für Kulturpflanzen* Nr. 66(2), S. 42–47
- Reckleben, Y. (2014b): Lenksysteme in der Landwirtschaft – Herausforderung und Nutzen für den Anwender. [www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/ALL/4BF662C255C128E2C125838600383C13/\\$FILE/Prof.%20Dr.%20Yves%20Reckleben%20-%20Lenksysteme%20in%20der%20Landwirtschaft%20AT%202014.pdf](http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/ALL/4BF662C255C128E2C125838600383C13/$FILE/Prof.%20Dr.%20Yves%20Reckleben%20-%20Lenksysteme%20in%20der%20Landwirtschaft%20AT%202014.pdf) (5.5.2020)
- Reckleben, Y. (2015): Wann sich Parallelfahrssysteme lohnen. ke-next.de, 9.11.2015, www.ke-next.de/industrie-forschung/forschung/wann-sich-parallelfahrssysteme-lohnen-117.html (5.5.2020)
- Reichardt, M.; Jürgens, C.; Klöble, U.; Hüter, J.; Moser, K. (2009): Dissemination of precision farming in Germany: acceptance, adoption, obstacles, knowledge transfer and training activities. In: *Precision Agriculture* 10, S. 525–545
- Landwirtschaftliche Rentenbank (2019): »Digital Farming« – Die Landwirtschaft im technologischen Wandel. *Agrar Spezial*. Frankfurt a.M., www.rentenbank.de/dokumente/Agrar-Spezial-2018-Digital-Farming.pdf (5.5.2020)
- Richter, O.; Beffa, R.; Langemann, D. (2018): Does weed control by precision spray technology favour the emergence of resistance? In: Nordmeyer, H.; Ulber, L. (Hg.): *Tagungsband 28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung*: 27. Februar–1. März 2018, Braunschweig. *Julius-Kühn-Archiv* 458, Braunschweig, S. 390–397
- Riemens (2016): Developments in physical weed control in Northwest Europe. In: Nordmeyer, H.; Ulber, L. (Hg.) (2016): *Tagungsband 27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung*, 23.–25. Februar 2016. *Julius-Kühn-Archiv* 452, Braunschweig, S. 24–26
- Rodríguez-Díaz, J.; Pérez-Urrestarazu, L.; Camacho-Poyato, E.; Montesinos, P. (2011): The paradox of irrigation scheme modernization: more efficient water use linked to higher energy demand. In: *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(4), S. 1000–1008
- Rojo, F.; Kizer, E.; Upadhyaya, S.; Ozmen, S.; Ko-Madden, C.; Zhang, Q. (2016): A Leaf Monitoring System for Continuous Measurement of Plant Water Status to Assist in Precision Irrigation in Grape and Almond crops. In: *IFAC-PapersOnLine* 49–16; S. 209–215
- Roland Berger Strategy Consultants GmbH (2015): *Business opportunities in Precision Farming: Will big data feed the world in the future?* München
- Römer, W. (2014): Die Versorgung der deutschen Ackerböden mit Phosphat und die Herausforderungen der Zukunft. In: *Bodenschutz* 4, S. 125–130
- Roosen, J. (2017): *Digitalisierung in Land- und Ernährungswirtschaft*. (24.1.2018)
- Rösch, C.; Dusseldorp, M.; Meyer, R. (2007): *Precision Agriculture. Landwirtschaft mit Satellit und Sensor*. Frankfurt a.M.
- Rose, D.; Parker, C.; Fodey, J.; Park, C.; Sutherland, W.; Dicks, L. (2018): Involving stakeholders in agricultural decision support systems: Improving user-centred design. In: *International Journal of Agricultural Management* 6(3–4), S. 80–89
- Roßberg, D. (2016): Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau. In: *Journal für Kulturpflanzen* 68(2), S. 25–37
- Roskopf, K.; Wagner, P. (2004): Der digitale Landwirt. Die Nutzung des Computers im Betriebsmanagement. In: Schiefer, G., Wagner, P., Morgenstern, M.; Rickert, U. (Hg.): *Integration und Datensicherheit – Anforderungen, Konflikte und Perspektiven*. 25. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S. 121–124



- Rotz, S.; Duncan, E.; Small, M.; Botschner, J.; Dara, R.; Mosby, I.; Reed, M.; Fraser, E. (2019a): The Politics of Digital Agricultural Technologies: A Preliminary Review. In: *Sociologia Ruralis* 59(2), S. 203–229
- Rotz, S.; Gravely, E.; Mosby, I.; Duncan, E.; Finnis, E.; Horgan, M.; LeBlanc, J.; Martin, R.; Neufeld, H.; Nixon, A.; Pant, L. et al. (2019b): Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labour and rural communities. In: *Journal of Rural Studies* 68, S. 112–122
- Rowe, E.; Dawkins, M.; Gebhardt-Henrich, S. (2019): A Systematic Review of Precision Livestock Farming in the Poultry Sector: Is Technology Focussed on Improving Bird Welfare? In: *Animals* 9(9), DOI: 10.3390/ani9090614
- Salfer, J.; Minegishi, K.; Lazarus, W.; Berning, E.; Endres, M. (2017): Finances and returns for robotic dairies. In: *Journal of Dairy Science* 100(9), S. 7739–7749
- Šálek, M.; Hula, V.; Kipson, M.; Daňková, R.; Niedobová, J.; Gamero, A. (2018): Bringing diversity back to agriculture: Smaller fields and non-crop elements enhance biodiversity in intensively managed arable farmlands. In: *Ecological Indicators* 90, S. 65–73
- Samborski, S.; Gozdowski, D.; Stepien, M.; Walsh, O.; Leszczynska, E. (2016): On-farm evaluation of an active optical sensor performance for variable nitrogen application in winter wheat. In: *European Journal of Agronomy* 74, S. 56–67
- Sanders, J. (2019): Analyse der wirtschaftlichen Lage ökologisch wirtschaftender Betriebe im Wirtschaftsjahr 2017/18. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, www.thuenen.de/de/bw/projekte/analyse-der-wirtschaftlichen-lage-oekologisch-wirtschaftender-betriebe/ (5.5.2020)
- Sauter, R.; Bode, M.; Kittelberger, D. (2015): White Paper: »Wie Industrie 4.0 die Steuerung der Wertschöpfung verändert«. Horváth & Partners, Stuttgart
- Sawall, A. (2018a): Standardisierung von 5G ist fertig. GOLEM.DE, 17.6.2018, www.golem.de/news/3gpp-standardisierung-von-5g-ist-fertiggestellt-1806-134992.html (5.5.2020)
- Sawall, A. (2018b): 700 MHz – der ungenutzte Frequenzbereich in Deutschland. GOLEM.DE, 5.10.2018, www.golem.de/news/mobilfunk-700-mhz-der-ungenutzte-frequenzbereich-in-deutschland-1810-136946.html (5.5.2020)
- Schewe, R.; Stuart, D. (2015): Diversity in agricultural technology adoption: How are automatic milking systems used and to what end? In: *Agriculture and Human Values* 32, S. 199–213
- Schimmelpfennig, D. (2016): Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture. United States Department of Agriculture, Economic Research Report Nr. 217
- Schimmelpfennig, S.; Heidecke, C.; Anter, J. (2018): Herausforderungen für die Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen in Deutschland. In: Schimmelpfennig, S.; Anter, J.; Heidecke, C.; Lange, S.; Röttcher, K.; Bittner, F. (Hg.): *Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.9.*, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Working Paper 85, Braunschweig, S. 137–144
- Schittenhelm, S.; Kottmann, L. (2018): Notwendigkeit der Bewässerung aus Sicht des Pflanzenbaus. In: Schimmelpfennig, S.; Anter, J.; Heidecke, C.; Lange, S.; Röttcher, K.; Bittner, F. (Hg.): *Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.9.*, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Working Paper 85, Braunschweig, S. 11–22
- Schleicher, S.; Gandorfer, M. (2018): Digitalisierung in der Landwirtschaft: Eine Analyse der Akzeptanzhemmnisse. In: Ruckelshausen, A.; Meyer-Aurich, A.; Borchard, K.; Hofacker, C.; Loy, J.-P.; Schwerdtfeger, R.; Sundermeier, H.-H.; Floto, H.; Theuvsen,



- B. (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitale Marktplätze und Plattformen. 38. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S.203–206
- Schmid, K.; Lavèn, P.; Doluschitz, R. (2013): Stand, Entwicklung und Perspektive der Nebenerwerbslandwirtschaft – Ergebnisse einer empirischen Untersuchung in Baden-Württemberg aus dem Jahr 2012. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hg.), Berichte über Landwirtschaft 91(3), https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/33/Doluschitz-91_3.pdf (5.5.2020)
- Schneider, I. (2019): Regulierungsansätze in der Datenökonomie. In: Aus Politik und Zeitgeschichte 69(24-26), S.35–41
- Schöfbeck, J.; Gandorfer, M. (2012): Lenksysteme. Hohe Zufriedenheit. Neue Landwirtschaft. In: Neue Landwirtschaft 6, S.50–52
- Schollen, F.-P. (2018): Schwelle zur Landwirtschaft 4.0. eilbote-online.com, 18.7.2018, www.eilbote-online.com/artikel/elektronik-schwelle-zur-landwirtschaft-40-33318/ (5.5.2020)
- Schön, H.; Haidn, B.; Wendl, G. (2003): Technische Innovationen in der Nutztierhaltung zur Verbesserung des Tier- und Verbraucherschutzes. In: Archiv für Tierzucht, Dummerstorf 46, Sonderheft, S.32–42
- Schrijver, R. (2016): Precision agriculture and the future of farming in Europe. Scientific Foresight Study. European Parliamentary Research Service, Scientific Foresight Unit, PE 581.892, Brüssel
- Schulten-Baumer, F.; Schmittmann, O.; Schulze Lammers, P. (2009): Parallelfahrssysteme – Akzeptanz und Nutzen. In: Landtechnik 64(1), S.61–63
- Schulte-Ostermann, S.; Wagner, P. (2019): Ökonomische Effekte von Informationsverlusten im Hinblick auf die Düngung von Phosphor. In: Meyer-Aurich, A.; Gandorfer, M.; Barta, N.; Gronauer, A.; Kantelhardt, J.; Floto, H. (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft Fokus: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen – ein Widerspruch in sich? 39. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S.223–226
- Sears, L.; Caparelli, J.; Lee, C.; Pan, D.; Strandberg, G.; Vuu, L.; Lawall, C.-Y. Lin Lawall (2018a): Jevons' Paradox and Efficient Irrigation Technology. In: Sustainability 10, DOI:10.3390/su10051590
- Sears, L.; Lim, D.; Lin Lawall, C.-Y. (2018b): The Economics of Agricultural Groundwater Management Institutions: The Case of California. In: Water Economics and Policy 4(3), 1850003
- Sellmann, F.; Bangert, W.; Grzonka, S.; Hänsel, M.; Haug, S.; Kielhorn, A.; Michaels, A.; Möller, K.; Rahe, F.; Strothmann, W.; Trautz, D.; Ruckelshausen, A. (Hg.) (2014): RemoteFarming. 1: Human-machine interaction for a field-robot-based weed control application in organic farming. www.your-robot.com/publications/sellmann14mcg/sellmann14mcg.pdf (5.5.2020)
- Shockley, J.; Dillon, C.; Stombaugh, T. (2011): A Whole Farm Analysis of the Influence of Auto-Steer Navigation on Net Returns, Risk, and Production Practices. In: Journal of Agricultural and Applied Economics 43(1), S.57–75
- Shockley, J.; Dillon, C.R.; Stombaugh, T.; Shearer, S. (2012): Whole farm analysis of automatic section control for agricultural machinery. In: Precision Agriculture 13, S.411–420
- Sirami, C.; Gross, N.; Baillod, A.; Bertrand, C.; Carrié, R.; Hass, A.; Henckel, L.; Miguet, P.; Vuillot, C.; Alignier, A.; Girard, J. et al. (2019): Increasing crop heterogeneity



- enhances multitrophic diversity across agricultural regions. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 116(33), S.16442–16447
- SL BW (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg) (2017): Landwirtschaftliche Betriebe setzen vermehrt auf Bewässerung. Baden-Württemberg: Zunahme um ein Drittel seit 2010. Pressemitteilung 172/2017, 7.7.2017, Stuttgart
- Song, J.; Guo, Y.; Wu, P.; Sun, S. (2018): The Agricultural Water Rebound Effect in China. In: Ecological Economics 146, S. 497–506
- Sonnen, J. (2019): Digitalisierung und Vernetzung in der Landwirtschaft – Bestandsaufnahme und Ausblick. In: Frerichs, L. (Hg.): Jahrbuch Agrartechnik 2018. Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig, S.25–35
- Sørensen, C.; Rodias, E.; Bochtis, D. (2017): Auto-Steering and Controlled Traffic Farming – Route Planning and Economics. In: Pedersen, S.; Lind, K. (Hg.): Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives. Cham, S. 129–145
- Soto, I.; Barnes, A.; Balafoutis, A.; Beck, B.; Sánchez, B.; Vangeyte, J.; Fountas, S.; Van der Wal, T.; Eory, V.; Gómez-Barbero, M. (Hg.) (2019): The contribution of precision agriculture technologies to farm productivity and the mitigation of greenhouse gas emissions in the EU. Luxemburg
- Sourell, H. (2006): Präziser berechnen. Stand der Technik. In: Landtechnik 61(4), S. 200–201
- Spalević, Ž.; Ilić, M.; Savija, V. (2018): The use of drones in agriculture: ICT policy, legal and economical aspects. In: Ekonomika 64(4), S. 93–107
- Specht, L.; Kerber, W. (2017): Datenrechte – eine rechts- und sozialwissenschaftliche Analyse im Vergleich Deutschland – USA. https://www.abida.de/sites/default/files/ABIDA_Gutachten_Datenrechte.pdf (5.5.2020)
- Specter, M. (2013): Why the Climate Corporation Sold Itself to Monsanto. The New Yorker, 4.11.2013, www.newyorker.com/tech/annals-of-technology/why-the-climate-corporation-sold-itself-to-monsanto (5.5.2020)
- Spohrer, K. (2019): Trends in der Bewässerungstechnik. DLG Media Service, Pressemitteilung T5, 11. September 2019, Kassel
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2015): Stickstoff: Lösungsansätze für ein drängendes Umweltproblem. Sondergutachten, Berlin
- SRU (2016): Umweltgutachten 2016. Impulse für eine integrative Umweltpolitik. Hausdruck, Berlin
- SRU; WBBGR (Wissenschaftlicher Beirat für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2018): Für einen flächenwirksamen Insektenschutz. Stellungnahme, Berlin/Bonn
- Steiner, U.; Bürling, K.; Oerke, E.-C. (2008): Sensorik für einen präzisierten Pflanzenschutz. In: Gesunde Pflanzen 60, S. 131–141
- Stepanov, I. (2019): Introducing a property right over data in the EU: the data producer's right – an evaluation. In: International Review of Law, Computers & Technology 51(2), S. 65–86
- Stevenson, P. (2017): Precision livestock farming: could it drive the livestock sector in the wrong direction? Compassion in World Farming. Godalming
- Suebsin, C.; Gerdtsri, N. (2009): Key factors driving the success of technology adoption: Case examples of ERP adoption. In: Kocaoglu, D. (Hg.): Proceedings of PICMET '09 – technology management in the age of fundamental change. Piscataway, S. 2638–2643



- Syngenta (2019): Syngenta acquires Cropio. 2.9.2019, www.syngenta.com/company/media/syngenta-news/year/2019/syngenta-acquires-cropio (5.5.2020)
- TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (2004): Stand und Perspektiven des Einsatzes von moderner Agrartechnik im ökologischen Landbau. (Dusseldorp, M.; Rösch, C.) TAB-Hintergrundpapier Nr. 12, Berlin
- TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (2012a): Fernerkundung: Anwendungspotenziale in Afrika. (Gerlinger, K.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 154, Berlin
- TAB (2012b): Ökologischer Landbau und Bioenergieerzeugung – Zielkonflikte und Lösungsansätze. (Meyer, R.; Priefer, C.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 151, Berlin
- TAB (2016): Blockchain. (Thiele, D.; Ehrenberg-Sillies, S.) Themenkurzprofil Nr. 1, Berlin
- TAB (2017): Chancen und Risiken mobiler und digitaler Kommunikation in der Arbeitswelt. (Börner, F.; Kehl, C.; Nierling, L.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 174, Berlin
- TAB (2019): Nachhaltigkeitsbewertung landwirtschaftlicher Systeme – Herausforderungen und Perspektiven (Meyer, R.; Priefer, C.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 188, Berlin
- TAB (2020): Mögliche Diskriminierung durch algorithmische Entscheidungssysteme und maschinelles Lernen – ein Überblick. (Kolleck, A.; Orwat, C.) TAB-Hintergrundpapier Nr. 24, Berlin
- TAB (2021): Digitalisierung der Landwirtschaft: technologischer Stand und Perspektiven. (Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 193, Berlin
- Tackenberg, M.; Volkmar, C.; Dammer, K.-H. (2016): Sensor-based variable-rate fungicide application in winter wheat. In: *Pest Management Science* 72(10), S. 1888–1896
- Tackenberg, M.; Volkmar, C.; Michael Schirrmann, M.; Giebel, A.; Dammer, K.-H. (2018): Impact of sensor-controlled variable-rate fungicide application on yield, senescence and disease occurrence in winter wheat fields. In: *Pest Management Science* 74(6), S. 1251–1258
- Taube, F.; Henning, C.; Albrecht, E.; Reinsch, T.; Kluß, C. (2015): Nährstoffbericht des Landes Schleswig-Holstein, im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. Kiel
- Taylor, R.; Zilberman, D. (2017): Diffusion of drip irrigation: The case of California. In: *Applied Economic Perspectives and Policy* 39(1), S. 16–40
- The Daily Scoop (2019): Climate FieldView Adding Airbus Satellite Imagery. 8.4.2019, www.thedailyscoop.com/news/new-products/climate-fieldview-adding-airbus-satellite-imagery (16.8.2021)
- Thomas, S.; Kuska, M.; Bohnenkamp, D.; Brugger, A.; Alisaac, E.; Wahabzada, M.; Behmann, J.; Mahlein, A.-K. (2018): Benefits of hyperspectral imaging for plant disease detection and plant protection: a technical perspective. In: *Journal of Plant Diseases and Protection* 125, S. 5–20
- Thompson, N.; Bir, C.; Widmar, D.; Mintert, J. (2019): Farmer Perceptions of Precision Agriculture Benefits. In: *Journal of Agricultural and Applied Economics* 51(1), S. 142–163
- Thörmann, H.-H.; Anter, J.; Nolting, K. (2014): Optimierung der Berechnungstechnik durch teilflächenspezifische Berechnung (Precision Irrigation) auf betrieblicher Ebene. In: Grocholl, J.; Anter, J.; Asendorf, R.; Feistkorn, D.; Mensching-Buhr, A.; Nolting, K.; Riedel, A.; Schossow, R.; Thörmann, H.-H.; Urban, B.: *Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung. Forschungsergebnisse zu Anpassungsstrategien der Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg an den Klimawandel.*



- Teil 4 Wasser sparen im Ackerbau. Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hg.), Uelzen, S. 101–116
- Todde, G.; Maria Caria, M.; Gambella, F.; Pazzona, A. (2017): Energy and Carbon Impact of Precision Livestock Farming Technologies Implementation in the Milk Chain: From Dairy Farm to Cheese Factory. In: *Agriculture* 7, S. 79
- Top agrar online (2014): Ackerschlagkarteien im Test. 14.3.2014, www.topagrar.com/acker/news/ackersschlagkarteien-im-test-9968947.html (5.5.2020)
- Trautz, D.; Kühling, I. (2018): Automatisierungspotenzial und Technikanforderungen im ökologischen Landbau. Vortrag, Tagung »Landtechnik der Zukunft. Großtraktoren + Giganten oder Feldschwärme«, Berlin, <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-234781> (16.8.2021)
- Trendov, N.; Varas, S.; Zeng, M. (2019): Digital technologies in agriculture and rural areas. Status report. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom
- Trilk, J.; Zube, P.; May, D. (2005): Management, Kostenaufwand und Wirtschaftlichkeit Automatischer Melksysteme in Auswertung mehrjähriger praktischer Nutzung. In: *Züchtungskunde* 77(4), S. 256–270
- Trilk, J.; Zube, P.; Münch, K.; May, D. (2006): Bewertung der Anwendung Automatischer Melksysteme. Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (Hg.), Potsdam
- Tse, C.; Barkema, H.; DeVries, T.; Rushen, J.; Vasseur, E.; Pajor, E. (2018): Producer experience with transitioning to automatic milking: Cow training, challenges, and effect on quality of life. In: *Journal of Dairy Science* 101(10), S. 9599–9607
- Tsiropoulos, Z.; Carli, G.; Pignatti, E.; Fountas, S. (2017): Future Perspectives of Farm Management Information Systems. In: Pedersen, S.; Lind, K. (Hg.): *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives*. Cham, S. 181–200
- Tullberg, J.; Antille, D.; Bluett, C.; Eberhard, J.; Scheer, C. (2018): Controlled traffic farming effects on soil emissions of nitrous oxide and methane. In: *Soil & Tillage Research* 176, S. 18–25
- Tullberg, J.; Yule, D.; McGarry, D. (2007): Controlled traffic farming – From research to adoption in Australia. In: *Soil & Tillage Research* 97(2), S. 272–281
- UBA (Umweltbundesamt) (2015): Schonung von Phosphor-Ressourcen aus Sicht einer nachhaltigen Bodennutzung und des Bodenschutzes. Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt (Hg.), Dessau-Roßlau, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/schonung_von_phosphor-ressourcen_aus_sicht_einer_nachhaltigen_bodennutzung_und_des_bodenschutzes.pdf (5.5.2020)
- UBA (2018): Umwelt und Landwirtschaft. Daten zur Umwelt. Dessau-Roßlau, www.umweltbundesamt.de/publikationen/daten-zur-umwelt-2018-umwelt-landwirtschaft (5.5.2020)
- UBA (2019a): Umweltbelastungen der Landwirtschaft. 29.1.2019, www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft (5.5.2020)
- UBA (2019b): Ökologischer Landbau. 12.7.2021, www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/oekologischer-landbau#textpart-1 (24.8.2021)
- Umstätter, C. (2017a): «Digitalisierung muss nicht Vollautomatisierung bedeuten». In: *Agrarforschung Schweiz* 8(11-12), S. 454–455
- Umstätter, C. (2017b): Smart Farming und Arbeit 4.0. Der Mensch im Mittelpunkt! 4. Agroscope-Nachhaltigkeitstagung 2017, Agroscope, <https://www.agroscope.ad>



- min.ch/dam/agroscope/de/dokumente/aktuell/Veranstaltungen/a-nachhaltigkeitstagung/2017/04-umstaetter.pdf.download.pdf/04_Umstaetter_Agroscope_NHT_2017_01_19.pdf (5.5.2020)
- Urso, L.-M.; Wegener, J. von Hörsten, D.; Kottmann, L.; Minßen, T.-F.; Gaus, C.-C. (2017): Der Pflanzenbau der Zukunft – Ist ein Neudenken erforderlich? In: Ruckelshausen, A.; Meyer-Aurich, A.; Lentz, W.; Theuvsen, B. (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitale Transformation – Wege in eine zukunftsfähige Landwirtschaft. 37. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S.149–152
- Van Asbroeck, B.; Debussche, J.; César, J. (2017): Data ownership. A new EU right in data. Bird & Bird, <https://sites-twobirds.vuture.net/1/773/uploads/white-paper---data-ownership---a-new-eu-right-in-data.pdf> (5.5.2020)
- Van der Wal, T.; Klein, B. (2014): Seeds of Growth. In: GeoConnexion International Magazine 13(5), S.20–22
- Van Evert, F.; Gaitán-Cremaschi, D.; Fountas, S.; Kempenaar, C. (2017): Can Precision Agriculture Increase the Profitability and Sustainability of the Production of Potatoes and Olives? In: Sustainability 9, S.1863
- Van Evert, F.; Booij, R.; Jukema, J.; ten Berge, H.; Uenk, D.; Meurs, E.; van Geel, W.; Wijnholds, K.; Slabbekoorn, J. (2012): Using crop reflectance to determine sidedress N rate in potato saves N and maintains yield. In: European Journal of Agronomy 43, S.58–67
- VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) (2016): Landwirtschaft 4.0 – Verständnis, Ziele und Handlungsbedarf aus Sicht der Landtechnikindustrie. Positionspapier, Frankfurt a.M.
- VDMA; Fraunhofer IOSB-INA (2017): Industrie 4.0 – Kommunikation mit OPC UA. Leitfaden zur Einführung in den Mittelstand. Frankfurt a.M./Lemgo, https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/16617345/1492669959563_2017_Leitfaden_OPC_UA_LR.pdf/f4ddb36f-72b5-43fc-953a-ca24d2f50840 (5.5.2020)
- Velandia, M.; Buschermohle, M.; Larson, J.; Thompson, N. Jernigan, B. (2013): The economics of automatic section control technology for planters: A case study of middle and west Tennessee farms. In: Computers and Electronics in Agriculture 95, S.1–10
- Vinzent, B.; Maidl, M.; Münster, S.; Gandorfer, M. (2019): Überbetrieblicher Einsatz eines Sensorsystems zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. In: Meyer-Aurich, A.; Gandorfer, M.; Barta, N.; Gronauer, A.; Kantelhardt, J.; Floto, H. (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen – ein Widerspruch in sich? 39. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S.263–268
- Visionweeding (o.J.): Robovator. F. Poulsen Engineering ApS, Hvalsø, www.visionweeding.com/robovator-mechanical/ (5.5.2020)
- Wagner, P. (2010): Bewertung unterschiedlicher Ansätze zur teilflächenspezifischen Düngung aus informationstechnischer und ökonomischer Sicht. In: Claupein, W.; Theuvsen, L. (Hg.): Precision agriculture reloaded – informationsgestützte Landwirtschaft. 30. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S.217–220
- Wagner, P. (2012): So rechnen sich N-Sensoren. In: dlz agrarmagazin, S.36–39
- Wagner, P. (2014): Virtuelle Flurbereinigung als Alternative zur Kommassierung. www.researchgate.net/publication/237635096_Virtuelle_Flurbereinigung_als_Alternative_zur_Kommassierung (5.5.2020)



- Wagner, P.; Marz, M. (2017a): Precision Farming – Direkte und indirekte Erhebung von Makronährstoffen. In: Ruckelshausen, A.; Meyer-Aurich, A.; Lentz, W.; Theuvsen, B. (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitale Transformation – Wege in eine zukunftsfähige Landwirtschaft. 37. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S.153–156
- Wagner, P.; Marz, M. (2017b): Precision Farming – Langzeitversuche mit Grunddüngungsstrategien. In: Ruckelshausen, A.; Meyer-Aurich, A.; Lentz, W.; Theuvsen, B. (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitale Transformation – Wege in eine zukunftsfähige Landwirtschaft. 37. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S.157–160
- Walter, A. (2018): Digitale Landwirtschaft – Welcher Weg ist vorgezeichnet? In: H. Wilhelm Schaumann Stiftung (Hg.): Landwirtschaft und Digitalisierung. 27. Hülseberger Gespräche, Hamburg, S.10–20
- Walter, A.; Finger, R.; Huber, R.; Buchmann, N. (2017): Smart farming is key to developing sustainable agriculture. In: PNAS 114(24), S.6148–6150
- Waltmann, M.; Gindele, N.; Doluschitz, R. (2019): Ökonomische Parameter in Precision Agriculture – strukturelle Anforderungen und Wirkungen in Deutschland. In: Meyer-Aurich, A.; Gandorfer, M.; Barta, N.; Gronauer, A.; Kantelhardt, J.; Floto, H.; (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen – ein Widerspruch in sich? 39. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S.275–280
- WBA (Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik beim BMEL) (2015): Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/GutachtenNutztierhaltung-Kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (16.8.2021)
- WBAE (Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim BMEL), WBW (Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik beim BMEL) (2016): Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten November 2016
- Wegener, J.; Urso, L.; von Hörsten, D.; Hegewald, H. (2019): Spot farming – an alternative for future plant production. Spot farming – eine Alternative für die zukünftige Pflanzenproduktion. In: Journal für Kulturpflanzen 71(4), S.70–89
- Wegener, J.; Urso, L.-M.; von Hörsten, D.; Minßen, T.-F.; Gaus, C.-C. (2017): Neue Pflanzenbausysteme entwickeln – welche innovativen Techniken werden benötigt? Landtechnik – Agricultural Engineering 72(2), S.91–100
- Weller von Ahlefeld, P. (2019): Rebound Effekte in der Präzisionslandwirtschaft – Ein Kommentar. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.), Berichte über Landwirtschaft 97(3), <https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/247/pdf> (16.8.2021)
- Werkheiser, I. (2018): Precision Livestock Farming and Farmers’ Duties to Livestock. In: Journal of Agricultural and Environmental Ethics 31, S.181–195
- White, R. (2016): Increasing energy and protein use efficiency improves opportunities to decrease land use, water use, and greenhouse gas emissions from dairy production. In: Agricultural Systems 146, S.20–29
- Wiesler, F.; Appel, T.; Dittert, K.; Ebertseder, T.; Müller, T.; Nätscher, L.; Olf, H.-W.; Rex, M.; Schweitzer, K.; Steffens, D.; Taube, F.; Zorn, W. (2018): Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. VDLUFA Standpunkt, Speyer

- Wiggerthale, M. (2019): Gefährliche digitale Monopole. Konzernmacht in der digitalen Welt. In: *Ökologisches Wirtschaften* 34(1), S. 10
- Wildraut, C.; Mergenthaler, M. (2017): Technik als Beitrag für mehr Tierwohl in der Schweinehaltung aus Sicht von Landwirten. Vortrag, 57. Jahrestagung der GEWISOLA/27. Jahrestagung der ÖGA »Agrar- und Ernährungswirtschaft zwischen Ressourceneffizienz und gesellschaftlichen Erwartungen«, Soest
- Wilhelm, B.; Pforte, F.; Hensel, O.; Drücker, H.; Hartung, E. (2010): Intensität teilflächenspezifisch anpassen. In: *Neue Landwirtschaft 2-2010*, S. 57–61
- Wilkinson, J. (2017): Geschichte: der Trend zum Global Player. In: *Konzernatlas 2017. Daten und Fakten über die Agrar- und Lebensmittelindustrie*, S. 10–11
- Winter, R. (2014): Der Markt sortiert sich neu. In: *DLG-Mitteilungen* 6, S. 30–33
- Wolfert, S.; Ge, L.; Verdouw, C.; Bogaardt, M.-J. (2017): Big Data in Smart Farming – A review. In: *Agricultural Systems* 153, S. 69–80
- Woolley, M. (2018): Mesh-Vernetzung. Sensoren per Bluetooth vernetzt. IT & Production online, 3.1.2018, www.it-production.com/hardware-und-infrastruktur/sensoren-per-bluetooth-vernetzt/ (5.5.2020)
- Wróbel, M. (2011): Erträge steigern und die N-Bilanz im Griff. Agricon GmbH, Ostrau, <https://www.yumpu.com/de/document/read/6893285/ertrage-steigern-und-die-n-bilanz-im-griff-ertrage-steigern-und-die-n>
- Würriehausen, N.; Lakner, S. (2015): Stand des Strukturwandels in der ökologischen Landwirtschaft. www.econstor.eu/handle/10419/108528 (5.5.2020)
- Yara (2018): Yara übernimmt trecker.com. 3.7.2018, www.yara.de/news-veranstaltungen/news/yara-ubernimmt-trecker.com/ (5.5.2020)
- ZALF (Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung) (2019): Auftakt für Forschungsprojekt DAKIS: Die Zukunft der Landwirtschaft ist digital. 11.4.2019, www.zalf.de/de/aktuelles/Seiten/Pressemitteilungen/2019-04-11_PM_DAKIS_FINAL.aspx (5.5.2020)
- Zech, H. (2015): Daten als Wirtschaftsgut – Überlegungen zu einem »Recht des Datenerzeugers«. In: *Computer und Recht* 3, S. 137–146
- Zhu, X.; Chikangaise, P.; Shi, W.; Chen, W.-H.; Yuan, S. (2018): Review of intelligent sprinkler irrigation technologies for remote autonomous system. In: *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 11(1), S. 23–30
- Zillmann, E.; Graeff, S.; Link, J.; Batchelor, W.; Claupein, W. (2006): Assessment of Cereal Nitrogen Requirements Derived by Optical On-the-Go Sensors on Heterogeneous Soils. In: *Agronomy Journal* 98(3), S. 682–690
- Zinkernagel, J.; Kleber, J.; Fricke, E.; Meyer, A.; Schaumberg, G.; Kruse, S.; Scheyer, R. (2017): Effiziente Bewässerung im Gemüsebau. Hochschule Geisenheim, Institut für Gemüsebau, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Bildungs- und Beratungszentrum Griesheim, Geisenheim u. a. O.
- Zorn, W.; Schröter, H. (2018): Wirkung differenzierter P-Düngung auf Ertrag, P-Gehalt im Boden, P-Saldo sowie N-Effizienz auf dem Löß-Braunschwarzerdestandort Friemar nach 6 Jahren Versuchsdauer. In: *VDLUFA (Hg.): Digitalisierung in Landwirtschaft, Versuchs- und Untersuchungswesen – Anforderungen und Auswirkungen. VDLUFA-Schriftenreihe* 75, S. 112–119
- Zunhammer (2018): VAN-CONTROL 2.0. www.zunhammer.de/sites/default/files/van_control_2018.pdf (5.5.2020)
- Zweig, K. (2019): Algorithmische Entscheidungen: Transparenz und Kontrolle. Konrad-Adenauer-Stiftung, Analysen & Argumente Nr. 338, Sankt Augustin/Berlin



7 Anhang

7.1 Abbildungen

Abb. 2.1	Entwicklungsstufen der Digitalisierung in der Landwirtschaft	34
Abb. 2.2	Verfügbarkeit von schnellem Breitbandinternet ($\geq 50\text{Mbit/s}$) für Haushalte in ländlichen Gemeinden (Bevölkerungsdichte kleiner als 100 Einwohner pro km^2) in Deutschland von 2012 bis 2018	49
Abb. 2.3	Vergleich der agrarchemischen Industrie vor (2014, links) und nach der jüngsten Fusionswelle (2017, rechts)	63
Abb. 4.1	Break-even-Analyse RTK-Lenksystem	173
Abb. 4.2	Durchschnittliche Flächenausstattung landwirtschaftlicher Betriebe nach Bundesländern 2016	183
Abb. 4.3	Verteilung der landwirtschaftlichen Einzelunternehmen nach Erwerbs- charakter 2016; in Klammern 2010	184
Abb. 4.4	Bedeutung der Nebenerwerbslandwirtschaft 2016	186
Abb. 4.5	Anteil landwirtschaftlicher Betriebe mit Erwerbs- und Einkommenskombinationen 2016	188
Abb. 4.6	Strukturwandel in der deutschen Landwirtschaft	190

7.2 Tabellen

Tab. 2.1	Öffentliche Verfügbarkeit von Geobasisdaten in den deutschen Bundesländern	60
Tab. 2.2	Umsatz und Marktanteile führender Unternehmen der Agrarbranche (2014)	62
Tab. 2.3	Ausgewählte Farmmanagementsysteme	78
Tab. 3.1	Ergebnisse von Versuchen zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung in Deutschland	115
Tab. 3.2	Umweltentlastungspotenziale durch Controlled Traffic Farming, Ergebnisse eines Reviews	137
Tab. 4.1	Verbreitung digitaler Agrartechnologien in der Landwirtschaft	163



7.3 Kästen

Kasten 2.1	Agrarsysteme der Zukunft – das Projekt »DAKIS«	37
Kasten 2.2	Herausforderungen und Perspektiven der datenbasierten Steuerung landwirtschaftlicher Prozesse	39
Kasten 2.3	Satellitendaten: Dienstleistungen für die Landwirtschaft	56
Kasten 2.4	Positionen von Interessenvertretern und politischen Entscheidungsträgern	72
Kasten 3.1	Funktionsweise von Stickstoffsensorsystemen	112
Kasten 3.2	Systeme zur Unkrauterkenung und variierten Unkrautbekämpfung	121
Kasten 3.3	Bewässerungstechniken	128
Kasten 4.1	Nebenerwerb – eine Erwerbsform mit Besonderheiten	184



**BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG**

Karlsruher Institut für Technologie

Neue Schönhauser Straße 10
10178 Berlin

Telefon: +49 30 28491-0
E-Mail: buero@tab-beim-bundestag.de
Web: www.tab-beim-bundestag.de
Twitter: @TABundestag