

Agro-Nordwest Transformationsroadmap



Perspektiven der Agrartechnik 2050
Neue Anforderungen, Zukunftsmärkte und Disruptionen



Gefördert durch



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Projektträger



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung



EXPERIMENTIERFELD
AGRO-NORDWEST

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

► Herausgeber

IZT – Institut für Zukunftsstudien und
Technologiebewertung gemeinnützige GmbH

Schopenhauerstr. 26, 14129 Berlin | T 030.803088-30
wissenschaftskommunikation@izt.de | www.izt.de

► Autor*innen

Dr. Siegfried Behrendt | s.behrendt@izt.de
Christine Henseling | c.henseling@izt.de
Kathrin Gegner | k.gegner@izt.de

August 2024

Zitiervorschlag:

Behrendt, Siegfried; Henseling, Christine; Gegner, Kathrin (2024): Agro-Nordwest Transformationsroadmap. Perspektiven der Agrartechnik 2050. Neue Anforderungen, Zukunftsmärkte und Disruptionen, Berlin /Osnabrück.

Bildnachweise:

Bilder Nr. 3, 4, 7, 9-12, 14-18 unter Lizenz von Shutterstock.com verwendet
Bilder Nr. 5, 8, 13 generiert mit Midjourney
Bilder Nr. 1, 2, 19-22 eigene Darstellung IZT
Bild Nr. 6 Agrotech Valley Forum e. V.

Förderkennzeichen:

28DE103F22

Danksagung

Wir bedanken uns bei den Mitgliedern des Begleitkreises, den Impulsgebern und den Teilnehmenden an den Workshops für die wertvollen Beiträge und die Begleitung des Prozesses (Auflistung siehe Anhang).

Inhaltsverzeichnis

1	Agrarwirtschaft als Transformationsbranche	5
2	Transformationsszenarien – Was kommt auf die Landtechnik zu?	8
2.1	Transformationsszenario „Ökoeffizienter Pflanzenbau“	9
2.2	Transformationsszenario „Neue Bewirtschaftungsformen“	17
2.3	Transformationsszenario „Künstliche Biowelten: New Food Systems“	25
3	Strategisch relevante Zukunftsthemen, mit denen die Landtechnikbranche konfrontiert wird	31
4	Innovationsökosystem für Transformation	39
5	Anhang: Beteiligte am Roadmap-Prozess	41
6	Literaturverzeichnis	45

Abbildungen

Abbildung 1:	Treiber der Transformation der Agrarwirtschaft	7
Abbildung 2:	Drei Transformationsszenarien	8
Abbildung 3:	Drohnen- und Kameratechnologien	13
Abbildung 4:	Parallelfahrssystem	13
Abbildung 5:	Roboterschwarm	14
Abbildung 6:	Feldroboter	17
Abbildung 7:	Drohnen- und Kameratechnologien	17
Abbildung 8:	Agri-PV	18
Abbildung 9:	Agri-PV	18
Abbildung 10:	Agroforst	21
Abbildung 11:	Wasserbüffel	23
Abbildung 12:	Paludikultur	23
Abbildung 13:	Indoor-Farm	27
Abbildung 14:	Robotersysteme	27
Abbildung 15:	Cultured Meat	28
Abbildung 16:	Käseherstellung	28
Abbildung 17:	Frittierte Heuschrecken	30
Abbildung 18:	Insektenzucht im industriellen Maßstab	30
Abbildung 19:	Marktpotenziale für die Landtechnikbranche	35
Abbildung 20:	Disruptionspotenzial für die Landtechnikbranche	37
Abbildung 21:	Wildcards der Agrarwirtschaft	38
Abbildung 22:	Vom Experimentierfeld Agro-Nordwest zum Innovationsökosystem.....	39

Abkürzungen

CO ₂ - Äq	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
EU	Europäische Union
FMIS	Farmmanagement-Informationssysteme
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union
IoT	Internet of Things
KI	Künstliche Intelligenz
KLU	Kommission Landwirtschaft am Umweltbundesamt
OSB	Oriented Strand Board
ÖSL	Ökosystemleistungen
SEEA - EA	System of Environmental-Economic Accounting - Ecosystem Accounting
THG	Treibhausgase
WBAE	Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
ZKL	Zukunftskommission Landwirtschaft

1 Agrarwirtschaft als Transformationsbranche

Die Agrarwirtschaft befindet sich in einem tiefgreifenden und rapiden Transformationsprozess. Die damit verbundenen Veränderungen gehen weit über einen Strukturwandel hinaus, der die Agrarwirtschaft in den letzten Jahrzehnten stark geprägt hat. Zukünftig zeichnet sich die Agrarwirtschaft als Transformationsbranche aus, vergleichbar der Automobilbranche oder der Stahlindustrie. Auch wenn Einigkeit in Politik und Agrarwirtschaft darüber besteht, dass Nachhaltigkeit in ökologischer, sozialer und ökonomischer Hinsicht dabei das Ziel ist, wird dieser Wandlungsprozess doch von vielen widersprüchlichen Faktoren und Interessen beeinflusst, von zahlreichen Spannungslagen geprägt und ist infolgedessen mit hohen Unsicherheiten verbunden. Was bedeutet dieser Wandlungsprozess für die Agrartechnikbranche? Mit der Absicht eine Orientierung zu geben, wurde die „Transformationsroadmap zu den Zukunftsperspektiven der Agrartechnik“ erarbeitet. In einem kooperativen Ansatz mit unterschiedlichen Akteuren insbesondere aus verschiedenen Disziplinen der Wissenschaft, der landwirtschaftlichen Praxis, der Landtechnik, Banken, Wirtschaftsförderung, Landwirtschaftskammer, Start-up-Förderung und Innovateuren wurde der Frage nachgegangen, was die Transformation der Agrarwirtschaft treibt, mit welchen Trends und Dynamiken zu rechnen ist und welche neuen Anforderungen und Potenziale sich speziell für die Agrartechnik daraus ergeben. Entstanden ist eine explorative Roadmap zur Erkundung der Transformation der Agrarwirtschaft bis zur Mitte des Jahrhunderts. Sie soll für die Akteure des Experimentierfeldes Agro-Nordwest (aber auch generell für alle Experimentierfelder und darüber hinaus) das Verständnis für die Transformationsprozesse verbessern helfen und letztlich einen mittel- und langfristigen Orientierungsrahmen mit dem Zeithorizont 2050 für Forschung, Entwicklung und Innovation schaffen. Dabei soll der kooperative, inter- und transdisziplinäre Ansatz des Roadmappings eine ganzheitliche Sicht auf Transformationsprozesse der Agrarwirtschaft und eine spezifisch unternehmerische Perspektive eröffnen.

► Methodik des Roadmapping

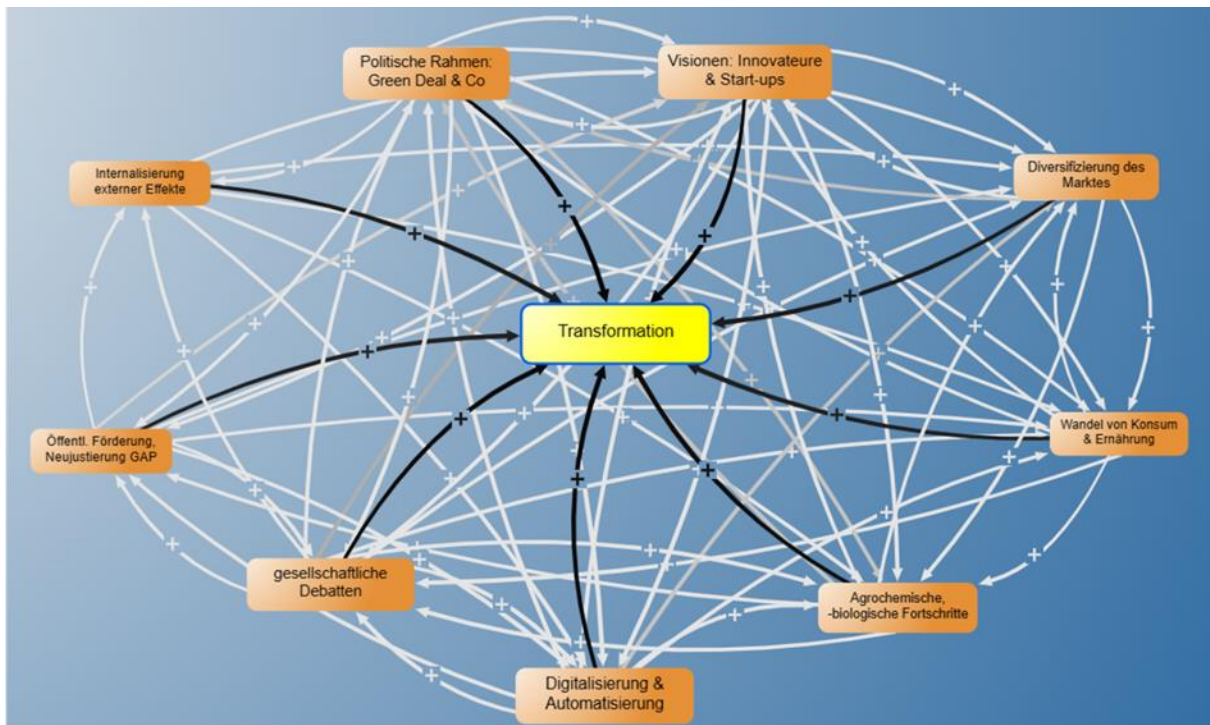
Die Transformationsroadmap, wie sie hier erarbeitet wurde, baut generell auf etablierte Vorgehensweisen des Roadmappings auf: Zum einen werden üblicherweise Trends identifiziert und analysiert. Zum anderen werden mittels der Szenariotechnik über Trends hinausgehende mögliche Entwicklungsverläufe dargestellt. Aus den Szenarien werden durch Rückprojektion in die Gegenwart die daraus resultierenden Handlungsbedarfe identifiziert. Dabei ergänzen sich die verschiedenen Sichtweisen wechselseitig. Während die Trendanalyse bekannte Entwicklungen in die Zukunft fortschreibt, können aus Zukunftsentwürfen und -bildern Herausforderungen und Aufgaben für die heute betroffenen Akteure abgeleitet werden. Aus der Kombination von Trendanalyse (Forecasting) und Szenarien (Backcasting) lassen sich Veränderungspotenziale identifizieren und in neue Anforderungen, Technologiebedarfe und Optionen für Zukunftsmärkte übersetzen.

Für die Erstellung der Transformationsroadmap wurden mehrere Anpassungen an das methodische Grundgerüst vorgenommen, um der Besonderheit von Transformationen, in dem Fall des Agrar- und Ernährungssystems, gerecht zu werden. Von einer Transformation spricht man dann, wenn sich nicht nur ein Element, sondern mehrere Elemente eines Systems ändern und diese Änderungen sich gegenseitig beeinflussen und wechselseitig verstärken. Transformationen

beinhalten koevolutionären Wandel in Technologien, Märkten, institutionellen Rahmen, in kulturellen Bedeutungen und Alltagspraktiken (Göpel 2023, S. 100). Der Wissenschaftliche Beirat für Globale Umweltveränderungen der Bundesregierung (WBGU) begreift den nachhaltigen weltweiten Umbau von Wirtschaft und Gesellschaft als „Große Transformation“ (WBGU 2011). Produktion, Konsummuster und Lebensstile müssen so grundlegend verändert werden, dass Wohlstand und soziale Gerechtigkeit innerhalb planetarer Grenzen hergestellt werden können. Dazu sind nicht nur Innovation und neue Ideen notwendig, sondern ganz wesentlich auch Exnovation: der Ausstieg aus nicht-nachhaltigen Pfadabhängigkeiten und Praktiken. Transformationen sind Prozesse, die geprägt sind von grundlegenden sozialen, politischen, technologischen und wirtschaftlichen Weichenstellungen und Umbrüchen, neuen Akteursgruppen und Allianzen, dem Ringen um Interessen und Machtverteilung sowie der Neubewertung von gewohnten Praktiken und Routinen einschließlich der Neujustierung von Rahmenbedingungen, Marktmechanismen und Geschäftsmodellen. Angesichts komplexer, interdependenter Entwicklungsprozesse entziehen sich Transformationen damit (weitgehend) einer Trendanalyse.

Aus diesem Grunde wird daher hier statt einer Trend- eine Treiberanalyse durchgeführt, die der Frage nachgeht, was die Transformation des Agrar- und Ernährungssystems antreibt. Als Treiber werden Einflussfaktoren verstanden, die Transformationsprozesse maßgeblich unterstützen, voranbringen oder verstärken. Ein methodischer Ansatz zur Strukturierung von Transformations-treibern bietet das so genannte „Schildkrötenmodell“ aus der Innovationsforschung, das von Hemmelskamp (1999) entworfen und von Fichter (2005) weiterentwickelt wurde. Es eignet sich auch zur Analyse von Transformationsprozessen komplexer, sozio-technischer Systeme, wie dem Agrar- und Ernährungssystem. Dazu zählen auf der Push-Seite die Regulation durch rechtliche Rahmenbedingungen, die Beeinflussung durch zivilgesellschaftliche Gruppen und Diskurse (Zivilgesellschaftlicher Push) und technologischer Fortschritt (Technology Push). Auf der Pull-Seite finden sich Market Pull, der Einfluss von Visionen und Innovateuren mit neuen Geschäftsideen und -modellen als Vorreiter für neue Märkte, sowie die finanzielle Förderung und Schaffung von Anreizen für Transformationsprozesse. Die hier vorgenommene Analyse orientiert sich an dieser Strukturierung, indem sie Schlüsseldokumente der Zukunftskommission Landwirtschaft (ZKL), des Wissenschaftlichen Beirats für Globale Umweltveränderungen der Bundesregierung (WBGU), des Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz (WBAE) und der Kommission Landwirtschaft am Umweltbundesamt (KLU) auswertet. Es handelt sich um Gremien, die sich mit den zentralen Aspekten der Zukunft und der nachhaltigen Gestaltung des Agrar- und Ernährungssystems befassen. Sie bieten gerade aufgrund ihrer interdisziplinären Zusammensetzung, verschiedenen Perspektiven und Überlappungen eine gewisse Gewähr dafür, dass die zentralen Treiber der Transformation zu einem nachhaltigen Agrar- und Ernährungssystem zur Sprache kommen.

Abbildung 1: Treiber der Transformation der Agrarwirtschaft



Quelle: eigene Darstellung IZT, erstellt mit iMODELER

Eine zweite Besonderheit ist die Entwicklung von Szenarien nicht auf Basis der Impact- und Konsistenzanalyse von Schlüsselfaktoren, wie vielfach üblich, sondern entlang von Diskursen, die die Transformation des Agrarsystems prägen. Diskurse sind zum einen „bewusstseins- und einstellungsbildend, speziell auch wissensbildend, zum anderen konativ handlungsorientierend, politisch willensbildend, strategie- und programmbildend, und im fließenden Anschluss daran schließlich auch handlungspraktisch – Institutionen und Ordnung gestaltend, Verwaltung und Management leitend, Produktion und Verbraucherpraxis prägend“ (Huber 2002, S. 134). Dies gilt speziell auch für die verschiedenen Stränge des Diskurses zur Zukunft der Agrarwirtschaft, die die Transformation der Landwirtschaft in den nächsten Jahrzehnten prägen werden. Auf Basis der Diskursanalyse werden korrespondierende Szenarien erstellt, die mögliche Entwicklungspfade der Transformation zu einer nachhaltigen Agrarwirtschaft mit einem Zeithorizont bis 2050 aufzeigen. Sie sind komplementär, ergänzen sich also, und stellen daher keine Alternativszenarien dar. Entlang dieser Transformationsszenarien, die in einem Foresight-Report¹ ausführlich beschrieben sind, wurden in einem nächsten Schritt durch Rückprojektion in die Gegenwart (Backcasting) die Veränderungspotenziale identifiziert, um daraus im Anschluss neue Anforderungen und neue Technologien sowie mögliche Zukunftsmärkte sowie Disruptionspotenziale abzuleiten bzw. zu bewerten. Praktisch wurden dazu Transformationsworkshops durchgeführt, in denen verschiedene Wissenschaftsdisziplinen, Praxisakteure und Innovateure einbezogen wurden. Die Ergebnisse wurden aufbereitet und in die vorliegende Transformationsroadmap übersetzt. Dies schließt auch die Frage ein, mit welchen Maßnahmen das Experimentierfeld Agro-Nordwest zur Entwicklung eines Innovationsökosystems für die Transformation der Agrarwirtschaft in der Region beitragen kann.

¹ Verfügbar unter: https://www.agro-nordwest.de/media/foresight_report_2.pdf

2 Transformationsszenarien – Was kommt auf die Landtechnik zu?

Die Debatten über den Wandel des Agrar- und Ernährungssystems sind vielfältig und kontrovers. Mittlerweile schält sich ein Konsens dahingehend heraus, dass die Transformation des Agrar- und Ernährungssystems eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe ist. Und dass diese nicht entlang von einfachen Gegenüberstellungen bewältigt werden kann, beispielsweise industrielle großbetriebliche versus kleinbäuerliche Strukturen, ökologische versus konventionelle, intensive versus extensivere Produktionssysteme oder regionale versus globale Wettbewerbsorientierung. Wie ein Weg dazu aussehen könnte, beschreibt der Bericht der Zukunftskommission Landwirtschaft der Bundesregierung (ZKL 2021). Er leistet einen wichtigen Beitrag zur Formulierung eines konsensfähigen Transformationspfades für die Landwirtschaft in Deutschland, der von allen Beteiligten aus den Agrar- und Umweltverbänden als Meilenstein der Verständigung bewertet wird. Das Ziel der Transformation, für die der Bericht der ZKL einen Rahmen und politische Handlungsempfehlungen beschreibt, ist „ein ökonomisch leistungsfähiges Agrar- und Ernährungssystem, das in seinen Auswirkungen auf Klima, Natur und Tierwohl im Einklang mit den Prinzipien der nachhaltigen Ressourcennutzung steht, sozial verträglich ist, die Menschen bei einer gesunden Ernährung unterstützt und daher gesellschaftlich anerkannt ist“ (ZKL 2021, S. 115). Trotz des erreichten Konsenses darf man sich Transformation der Agrarwirtschaft nicht als einen homogenen, linear verlaufenden Entwicklungspfad vorstellen, sondern man muss sich Transformation im Plural vorstellen mit unterschiedlichen Entwicklungspfaden, die darauf abzielen, die Agrarwirtschaft ressourcenschonend, umweltverträglicher, klimaneutral usw. zu machen. Dabei gerät die Agrarwirtschaft ökonomisch und gesellschaftlich immer mehr unter Druck, ökonomisch weil die Ertragsituation schwieriger wird, gesellschaftlich infolge kritischer Haltungen gegenüber der Agrarwirtschaft, was z. B. Tierwohl, Biodiversität und den Einsatz von Pestiziden anbetrifft. Aus der Auseinandersetzung mit diesen Fragen resultieren vielschichtige Diskurse, die mögliche Transformationspfade der Agrar- und Ernährungswirtschaft markieren. Weil die Zukunft der Agrar- und Ernährungswirtschaft nur im Plural gedacht werden kann, ergibt sich die Notwendigkeit, die Vielschichtigkeit möglicher Dynamiken in Szenarien und erfahrbare Vorstellungsräume (Zukunftsbilder) zu übersetzen, mit deren Hilfe die diversen, mitunter divergierenden Zukünfte differenzierbar, vergleichbar und diskutierbar gemacht werden. Einer von uns durchgeführten Literaturanalyse zur Transformation der Agrarwirtschaft (einschließlich korrespondierender Sektoren und Felder) zufolge lassen sich drei Transformationsszenarien unterscheiden:

Abbildung 2: Drei Transformationsszenarien



Quelle: eigene Darstellung IZT

2.1 Transformationsszenario „Ökoeffizienter Pflanzenbau“

Der Pflanzenbau befindet sich in einer neuen Phase des Produktivitätswachstums, die den anhaltend hohen Wettbewerbsdruck im Agrar- und Lebensmittelmarkt, Arbeitskräftemangel, den steigenden Umwelt- und Nutzeranforderungen, die schwierige wirtschaftliche Lage vieler landwirtschaftlicher Betriebe vor dem Hintergrund stark gestiegener Energie-, Düngemittel- und Futterkosten und damit höherer Produktionskosten widerspiegelt. Um die negativen Umweltwirkungen zu verringern, und die vielfältigen und (teilweise) ambitionierten Ziele der Umwelt- und Klimapolitik (Green Deal, Farm-to-Fork-Strategie etc.) erfüllen zu können, bekommt insbesondere die Erhöhung der Ressourcenproduktivität eine zunehmende Bedeutung. Dabei geht es darum, den Ressourcenverbrauch und die Umweltbelastung nicht nur relativ, sondern möglichst absolut zu senken. Die Effizienzstrategie ist jene, die im vorherrschenden Agrar-, Lebensmittel- und Ernährungssystem am ehesten anschlussfähig ist. In den letzten Jahrzehnten konnte bereits durch technische Fortschritte die Ökoeffizienz vielfach verbessert werden. Nach wie vor bedarf es aber deutlich größerer Fortschritte, um ein umweltverträgliches, biodiversitätsförderndes und klimaneutrales Landwirtschaftssystem zu erreichen. Vor allem Precision Farming, Smart Farming, Digital Farming und Landwirtschaft 4.0 fungieren dabei als integrative Leitkonzepte für Forschung und Entwicklung und sind ein Innovationsschwerpunkt vieler Hersteller von Agrartechnologien, Dienstleistern und Start-ups. Die Erschließung der Potenziale, die die Digitalisierung und Automatisierung zur Steigerung der Ökoeffizienz bietet, ist aber voraussetzungsreich. So sind viele Fragen zum betrieblichen Nutzen nicht oder nicht hinreichend belastbar beantwortet. Nicht nur die Art des betrieblichen Nutzens ist dabei für die Landwirte von starkem Interesse (z. B. Kostenreduktion, mengenmäßige Ertragssteigerung, erhöhte Flexibilität, Arbeitserleichterungen oder auch kontinuierliche Qualität in der Produktion, bessere Qualität der landwirtschaftlichen Produkte). Sondern es sind auch die konkreten Anwendungsfälle (z. B. welche Feldfrüchte und welche landwirtschaftlichen Aktivitäten: Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz, Bewässerung, Ernte etc.) und die betrieblichen Umstände (z. B. welche Ackerflächengröße bzw. Betriebsgröße ist erforderlich bzw. optimal), die maßgeblich mitbestimmen, ob und inwieweit sich ein betrieblicher Nutzen einstellt. Es wird entscheidend darauf ankommen, einen betrieblichen Nutzen durch entsprechende Rahmenbedingungen zu generieren. Im tiefgreifend staatlich regulierten Landwirtschaftssektor (EU-Landwirtschaftspolitik und ihre Umsetzung auf nationaler Ebene) sind es u. a. die Subventionsvoraussetzungen bzw. -anforderungen an die Landwirtschaftsbetriebe, der Preisdruck auf den (staatlich beeinflussten) Märkten, aber auch die Umweltauflagen an die Landwirtschaft (z. B. mittels begrenzter Ausbringungsmengen an Düngemitteln einschließlich ihrem Nachweis gegenüber den Behörden, aber auch dem Verbot von Substanzen zum Pflanzenschutz). Dass der betriebliche Nutzen für Landwirtschaftsbetriebe nachweisbar und gut erkennbar ist, stellt einen, wenn nicht sogar den wesentlichen Erfolgsfaktor für eine beschleunigte Digitalisierung der Landwirtschaft dar. So lange nicht klar ist, dass sich die Investition langfristig amortisieren wird, stellt der Kauf digitalisierter und automatisierter Geräte und Anwendungen für die Agrarbetriebe und Lohnunternehmer ein (schwer zu kalkulierendes) Risiko dar. Vor allem die kleineren landwirtschaftlichen Betriebe sehen sich durch die Digitalisierung vor große Herausforderungen gestellt. Die Anschaffung digitaler Ausstattung und Vernetzung lohnt sich oft erst ab einer bestimmten Betriebsgröße, sodass kleinere und mittlere Betriebe tendenziell Schwierigkeiten haben, die potenziellen Vorteile der Digitalisierung zu nutzen. Die Diffusion neuer Technologien hängt auch

stark von einer wirksamen Beratung zur energie-, ressourcen- und biodiversitätsfördernden Anwendung ab.

► Transformationsfeld: Smart Farming

Smart Farming ist seit vielen Jahren Forschungsgegenstand zahlreicher Projekte und ein Entwicklungsschwerpunkt der Landtechnikhersteller. Die Aktivitäten konzentrieren sich auf die Optimierung der landwirtschaftlichen Prozesse auf der Grundlage von präzisen und standortspezifischen Informationen. Dabei werden Technologien wie GPS, Sensoren, Kartierung und Datenanalyse genutzt, um Entscheidungen in Bezug auf die Aussaat, Bewässerung, Düngung und Schädlingsbekämpfung zu verbessern. Das Hauptziel von Smart Farming ist es, Ressourcen wie Wasser, Dünger und Pflanzenschutzmittel effizienter einzusetzen, um den Ertrag zu steigern und negative Klima- und Umweltauswirkungen zu reduzieren. Ingenieurtechnische Aufgabe ist die Automatisierung des landwirtschaftlichen Betriebs auf operationaler Ebene sowie die Ermöglichung einer reibungslosen Interaktion mit internen und externen Unterebenen zur Steigerung der Produktivität. Bis dato zeichnen sich die digitalen Anwendungen durch einen relativ geringen Vernetzungsgrad aus, d. h. sie kommen vor allem als Einzelsysteme zum Einsatz. Zukünftig wird damit gerechnet, dass die Vernetzung deutlich zunimmt. Dies umfasst die Vernetzung von Maschinen und Geräten (IoT), die Verwendung von Big Data und künstlicher Intelligenz für die Entscheidungsfindung, autonome Landmaschinen und die Integration von digitalen Plattformen in die landwirtschaftlichen Aktivitäten.

Einschätzungen sind:

- Die **Herausforderung ist, die technischen Innovationen sowohl ökonomisch sinnvoll als auch an die gesellschaftlichen Anforderungen ausgerichtet in die vorhandenen betrieblichen Prozesse und Systeme zu integrieren.** Aus Sicht der Nutzer sind die Anforderungen eine einfachere Bedienbarkeit², höhere Produktivität, bessere Dokumentation, höhere Arbeitsqualität sowie größere Wirtschaftlichkeit. Risiken, die von den Nutzern gesehen werden, sind Abhängigkeit von Anbietern, Technologieabhängigkeit, stärkere Kontrolle seitens der Behörden und Verlust der Datenhoheit. Dass der betriebliche Nutzen für Landwirtschaftsbetriebe nachweisbar und gut erkennbar ist, stellt – wie oben dargelegt – einen wesentlichen Erfolgsfaktor für die Erschließung von Ökoeffizienzpotenzialen durch Digitalisierung der Landwirtschaft dar.
- Die **Farmmanagement-Informationssysteme (FMIS) befinden sich in einem Wandel.** Sie unterstützen neben landwirtschaftlichen Planungs-, Steuerungs-, Kontroll- sowie Dokumentationsaufgaben zunehmend auch komplexe Aufgabenbereiche, wie zum Beispiel die Qualitätssicherung und Rückverfolgbarkeit von Agrarprodukten. Neu ist, dass die FMIS einen Teil des Produktivitätswachstums außerhalb der Maschine übernehmen. FMIS fungieren hierbei als Regler, während die Maschinen als Aktuator einen Soll-Ist-Vergleich

² Bei immer komplexer werdenden Maschinen und gleichzeitigem Arbeitskräftemangel wird es notwendig, die Bedienung der Maschinen und Anwendungen zu vereinfachen

anstellen und entsprechend in die Umsetzung gehen. Als neue Technologie eröffnen FMIS auch neue Geschäftsmodelle bis hin zu „Meta-FMIS“.

- Eine wichtige Anforderung ist die **Interoperabilität, so dass verschiedene Systeme und Herstellergeräte nahtlos zusammenarbeiten können**. Physikalisch existieren zwar Schnittstellen, die Datenkompatibilität ist jedoch häufig nicht gegeben. Aufgrund dieser Inkompatibilitäten führen FMIS heute zu einem zusätzlichen Aufwand im Betrieb, der den potenziellen Nutzen schmälert („Digitalisierungsfalle“). Lösungen sollten eine benutzerfreundliche Schnittstelle bieten, damit Landwirte leicht auf Daten und Analysen zugreifen können. Dies bedeutet, dass unabhängig davon, ob es sich um Sensoren, Maschinen, Software-Anwendungen oder Datenbanken handelt, alle Komponenten in der Lage sein müssen, Informationen zu teilen und zu verstehen. Ohne diese Fähigkeit zur Integration und Zusammenarbeit der Systeme und Schnittstellen wäre es schwierig, die volle Bandbreite der digitalen Technologien in der Landwirtschaft effektiv zu nutzen.
- Die **Integration vernetzter, selbstlernender Systeme in betriebliche Prozesse des Smart Farming erfordert einfache, möglichst Plug & Play-basierte Lösungen**, um die Verbreitung zu erleichtern. Dies bedeutet, dass landwirtschaftliche Betriebe auf einfache und effiziente Weise intelligente Technologien in ihre Abläufe einbinden können. Konkret heißt dies, dass Landwirte Hardwarekomponenten wie Sensoren, Aktoren und autonome Maschinen in ihre Betriebe integrieren können, ohne aufwändige Konfigurationen oder Entwicklungsarbeiten. Diese Geräte sollten so gestaltet sein, dass sie miteinander kommunizieren können, Daten sammeln und analysieren, um Optimierungen in Echtzeit vorzunehmen.
- Smart Farming erfordert **maßgeschneiderte Software-Lösungen**, die speziell auf die Bedürfnisse und Herausforderungen des modernen landwirtschaftlichen Betriebs zugeschnitten sind. Diese Anforderung unterstreicht die Notwendigkeit, dass landwirtschaftliche Betriebe Zugang zu hochentwickelten digitalen Werkzeugen haben, die ihnen helfen, Daten in Echtzeit zu sammeln, zu analysieren und zu nutzen.
- **Cloudbasierte Plattformen zum Speichern, Analysieren und Teilen von Daten gewinnen an Bedeutung für den Aufbau neuer Geschäftsmodelle, eine einheitliche Nutzersprache, für Minimierung von Schnittstellen und Informationszuwachs für Produktionsplanung und -steuerung**. Herausforderungen bestehen in Bezug auf Entwicklungs- und Unterhaltungskosten, unternehmensübergreifenden Konkurrenzdruck, kontinuierliche Überarbeitung der Software und Datenschutz. Anforderungen an Datenaustauschplattformen sind der Verbleib der Daten in Deutschland, Verfügungsrechte (Zustimmung von Landwirten) und Bedienerfreundlichkeit. Hinzu kommt die Bereitstellung von öffentlichen Dateninfrastrukturen, wie sie mit Projekten wie der GeoBox, Agri-Gaia oder dem Agri-food Data Portal der EU verfolgt wird. Daraus ergibt sich die Aufgabe, eine öffentliche Cloud-Infrastruktur für die Landwirtschaft in Deutschland anzubieten, die naturschutzrelevante und agrarwirtschaftliche Daten an einem Ort bereitstellt. Dies könnte die wettbewerbliche Entwicklung von Anwendungen ermöglichen, die ökologische und ökonomische Zielsetzungen gleichermaßen berücksichtigen.

- Es besteht ein **Bedarf an Benchmarking und Evaluation digitaler Anwendungen**. Benchmarking beinhaltet den Vergleich der landwirtschaftlichen Prozesse und digitalen Anwendungen mit Branchenstandards oder den Best Practices (inklusive Ableitung von Leistungskennzahlen/Key Performance Indicators). Die Bewertung digitaler Anwendungen mittels Evaluation zielt darauf ab, sicherzustellen, dass die eingesetzten Technologien die gewünschten Ziele erreichen. Dies umfasst die Überprüfung von Aspekten wie Datenqualität, Zuverlässigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit. Die Nutzung dieser Instrumente ist wichtig, da sie Landwirte darin unterstützen, fundierte Entscheidungen zu treffen. Sie können ermitteln, ob bestimmte Technologien tatsächlich Mehrwert bieten und Anpassungen erforderlich sind.
- Im Kontext des Smart Farming eröffnen sich Möglichkeiten für den **Ergebnisverkauf** anstelle des herkömmlichen Produktverkaufs. Dieser Ansatz verschiebt den Fokus von der Bereitstellung von Produkten hin zur Erzielung konkreter Ergebnisse oder Leistungen für Landwirte. Beispielsweise können Anbieter Landwirten anbieten, für bestimmte Ernteerträge oder Pflanzenwachstum zu bezahlen, anstatt nur Saatgut oder Düngemittel zu verkaufen. Dies erfordert den Einsatz von Präzisionslandwirtschaftstechnologien, um optimale Bedingungen sicherzustellen und Erträge zu steigern. Auch **Pay-per-Use-Modelle**, die Landwirten den flexiblen Zugriff auf Technologien und Dienstleistungen ohne hohe Vorabinvestitionen ermöglichen, könnten zukünftig eine bedeutsame Rolle spielen, da sie Anreize für die Nutzung von Technologien und Dienstleistungen bieten und gleichzeitig die Kosten für Landwirte besser steuerbar machen. Dies könnte insbesondere für kleinere Betriebe von Vorteil sein.
- Die Wertschöpfung verschiebt sich von der Maschinenherstellung hin zu **datenbasierten Geschäftsmodellen**. Unternehmen, die Agrarmaschinen herstellen, müssen immer mehr datenbasierte Serviceleistungen anbieten, die die Leistung der Maschinen überwachen, Wartungsdienste bereitstellen und bei der Optimierung von Anbaupraktiken helfen. Dabei werden Systemlösungen für intelligente Netzwerke von Produktionsprozessen über die Wertschöpfungskette hinweg benötigt.
- **Autonome Geräte und Prozesse haben ein erhebliches Potenzial**. In folgenden Bereichen können autonome Geräte und Prozesse an Bedeutung gewinnen: Selbstfahrende Traktoren, Erntemaschinen und Transportfahrzeuge können Aufgaben wie das Pflügen, die Ernte und den Transport von Ernten autonom erledigen. Autonome Drohnen und Sensoren können in Echtzeit Daten über Felder sammeln und analysieren. Autonome Prozesse können die Verfolgung und Optimierung der Logistik- und Lieferkettenmanagementprozesse erleichtern.
- Im Zuge der Transformation der Agrarwirtschaft ist mit neuen und zunehmenden Dokumentations-, Nachweis- und Zertifizierungspflichten für landwirtschaftliche Betriebe zum Nachweis der Nachhaltigkeitsanforderungen zu rechnen. **Angepasste digitale Werkzeuge zur Unterstützung der Dokumentation und Kontrolle werden daher benötigt**. Im Fokus politischer Aktivitäten (Green Deal der EU etc.) stehen insbesondere Anforderungen zur umweltfreundlichen Bewirtschaftung der gesamten landwirtschaftlichen

Nutzfläche, Minderung von Nährstoffverlusten bei gleichzeitiger Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, Reduktion des Einsatzes von Düngemitteln, Verringerung der Verwendung und des Risikos chemischer Pflanzenschutzmittel sowie Aufhalten und Umkehren des Biodiversitätsverlusts und Wiedervernässung von Mooren.

- Da Smart Farming neue Technologien wie IoT und KI umfasst, müssen **Schulungskonzepte und (neutrale) Beratungsangebote ausgebaut werden, die Landwirte in der Integration und dem effektiven Einsatz dieser Technologien qualifizieren** (Installation von Sensoren, Nutzung von Datenanalysesoftware, Anpassung von Maschinensteuerungen etc.). Aufgrund der großen Menge an generierten Daten benötigen Landwirte besondere Schulungen im Datenmanagement. Dies sollte die Nutzung von Cloud-Speicher und Datenanalysetools einschließen. Mit zunehmender Vernetzung und Datenaustausch in der Landwirtschaft besteht darüber hinaus ein dringender Bedarf an Schulungen zur Cybersicherheit. Landwirte sollten sensibilisiert werden, wie sie ihre digitalen Systeme vor Bedrohungen schützen können, um Datenintegrität und Betriebskontinuität sicherzustellen.

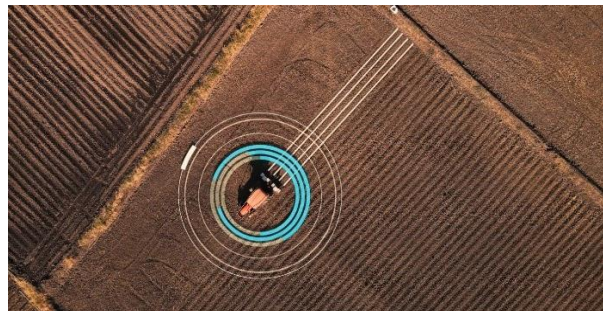
Die nachfolgenden Bilder zeigen Beispiele für die Anwendung von Smart Farming-Technologien: Nutzung von Drohnen- und Kameratechnologien zur Aufnahme von Felddaten (Abbildung 3) sowie Nutzung von Parallelfahrssystemen bei Traktoren (Abbildung 4).

Abbildung 3



Quelle: MONOPOLY919/Shutterstock.com, bereitgestellt durch Agrotech Valley Forum e. V.

Abbildung 4



Quelle: Lamyai/Shutterstock.com, bereitgestellt durch Agrotech Valley Forum e.V.

► Transformationsfeld: Autonome Robotik zur Feldbearbeitung

Die Robotik wird als eine Schlüsseltechnologie zur Produktivitäts- und Qualitätssteigerung in der Landwirtschaft betrachtet. Basierend auf der intelligenten Verknüpfung vielfältiger Sensordaten zielen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf autonom arbeitende Maschinensysteme, in denen die einzelnen Arbeitsgeräte flexibel und modular einsetzbar sind und zentral gesteuert werden (VDI 2022). Im Einsatz autonomer Feldroboter im Schwarm liegt das Potenzial für einen Paradigmenwechsel: Während kurzfristig unter Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen von einer bleibenden Dominanz großer Maschinen zur Feldbearbeitung ausgegangen wird, können kleine (ggf. autonome) Landmaschinen mittel- bis langfristig an Bedeutung gewinnen und sich so der landwirtschaftliche Maschineneinsatz weiter ausdifferenzieren. Ausgehend von einer hohen Entwicklungsdynamik autonomer Systeme im Sonderkulturbereich (Gemüseanbau, Weinbau etc.) entsteht das Potenzial einer Marktentwicklung für die Feldrobotik auch im klassischen Ackerbau. Ökologisch vorteilhaft sind die geringere Bodenverdichtung, sowie eine Optimierung des

Ressourceneinsatzes über neue Möglichkeiten einer sehr kleinräumigen, in Zukunft vielleicht sogar auf die Einzelpflanze ausgerichteten Produktionsgestaltung. Von autonomen Feldrobotern würde der ökologische Landbau in besonderem Maße profitieren, da er weder chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel noch Düngemittel einsetzen kann. Hinzu kommt, dass mithilfe autonomer Kleintechnik viele Ansätze des ökologischen Landbaus (mechanische Unkrautbekämpfung, Fruchtfolgegestaltung) in den konventionellen Landbau übertragen werden könnten.

Die nachfolgende Abbildung 5 zeigt einen Roboter-Schwarm.

Abbildung 5



Quelle: eigene Darstellung IZT; generiert mit Midjourney

Folgende Entwicklungsperspektiven werden gesehen:

- In den nächsten Jahren ist damit zu rechnen, dass sich für autonome Feldrobotiksysteme in Nischen in kleinen oder mittleren Stückzahlen ein Markt entwickelt. Gemäß einer nicht-repräsentativen Befragung kommen Feldroboter bislang bei 4,2 Prozent der befragten Betriebe zum Einsatz. 12,7 Prozent der Befragten geben an, den Einsatz von Feldrobotern zu planen (EFI 2024). Anwendungsbereiche sind der Gemüse-, Kräuter- und Weinanbau und Gärtnereien. Fragen der Übertragbarkeit auf den Ackerbau, der Skalierung und der Wirtschaftlichkeit sind derzeit noch mit großer Unsicherheit behaftet. Eine wichtige Anforderung stellt die Integration autonomer Systeme in die vorhandenen Abläufe dar. Es müssen standardisierte Schnittstellen geschaffen werden, nicht nur im Hinblick darauf, dass verschiedene digitale Systeme miteinander kompatibel sein müssen, sondern insbesondere mit Blick auf die derzeit vorhandenen Maschinen der Landwirte. Auch eine effiziente Mensch-Maschine-Schnittstelle wird notwendig. Fragen der Logistik und des Transports (Transport zum/vom Feld, Versorgung mit Energie/Kraftstoff und Betriebsmitteln, Koordination der Roboter untereinander etc.) sind noch zu lösende Aufgaben.
- **Langfristig haben autonome Feldrobotiksysteme das Potenzial für eine Sprunginnovation.** Sie bieten die Möglichkeit, einzelne große Landmaschinen durch viele kleinere Landmaschinen zu ersetzen. Auch schwarmbasierte Nutzungsszenarien sind möglich. Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) rechnet damit, dass „wenn die Entwicklung hin zu modularen Plattformen gehen würde, die je nach Bedarf und Anwendungszweck mit passender Bewirtschaftungstechnik ausgestattet werden und dadurch eine höhere Auslastung erreichen, dann könnten derartige Robotersysteme auch für Betriebe mit geringerer Flächenausstattung wirtschaftlich einsetzbar werden.“

Allerdings stehen diese Technologien in ihrer Entwicklung meist noch relativ am Anfang“ (Kehl et al. 2021, S. 232).

- **Für eine breitere Anwendung der noch sehr neuen Technologien müssen diese leistungsfähiger, zuverlässiger und kostengünstiger werden.** Der Zeitaufwand für das Beheben von Störungen beim Einsatz von Feldrobotern ist noch erheblich und es fehlt ein klarer Rechtsrahmen (Walther & Hampe 2021). Um die Markteinführung berechenbar zu gestalten und zu beschleunigen, braucht es angemessene Zulassungskriterien (in Deutschland) und Innovationsanreize für dieses Technologiesegment. Dabei „geht es nicht nur um Technikentwicklung im engeren Sinne, sondern um eine Innovation der landwirtschaftlichen Produktionssysteme um die neuen Verfahrenstechniken herum – bis hin zu einer Neugestaltung der gesamten Wertschöpfungskette“ (Kehl et al. 2021, S. 232).
- Neben der Entwicklung und Bereitstellung der Technologien sind **Dienstleistungen (Service Engineering) zur Überwachung, Fehlerbehebung, Wartung, Reparatur** etc. notwendig. Denkbar ist, dass neue Betriebszweige für regionale Wartung entstehen. Möglich ist auch die Bewirtschaftung und das Monitoring für mehrere Betriebe von einer zentralen Stelle aus („machine operation center“). Auch eine Nachfrage nach Komplettlösungen (z. B. „das bestellte Feld“ als Dienstleistung) wird erwartet.
- **Zur Anpassung an den Klimawandel und zur Förderung der Biodiversität ist zukünftig verstärkt mit diverseren Anbaustrukturen³ zu rechnen.** Hier bieten kleine, bodenschonende und wendige autonome Feldrobotiksysteme Vorteile. Roboterschwärme können insbesondere Arbeitsschritte wie Pflanzenschutz und Überwachungsfunktionen übernehmen, bei denen keine großen Tonnagen bewegt werden müssen, während für Erntevorgänge weiterhin große Maschinen als zentral angesehen werden. Auch in der Möglichkeit des elektrischen Antriebs von kleinen und leichten Landmaschinen bzw. Feldrobotern liegt ein Vorteil gegenüber großen, schweren Maschinen, deren Elektrifizierung aus heutiger Sicht technisch und ökonomisch nicht sinnvoll umsetzbar ist und für die neue, alternative Kraftstoffe gefunden werden müssen.
- Autonome Systeme ermöglichen/erfordern **neue Wertschöpfungsketten**. Es wird erwartet, dass neben der klassischen Landtechnik **weitere Akteure**, insbesondere Start-ups, in den Markt eintreten werden.

► Transformationsfeld: Digital unterstützter Ökolandbau

Der ökologische Landbau ist eine besonders ressourcenschonende und umweltverträgliche Form der Landwirtschaft, die sich am Prinzip der Nachhaltigkeit orientiert. Eine Herausforderung für die ökologische Landwirtschaft ist die Erhöhung der Flächenproduktivität bei gleichzeitiger Beibehaltung der ökologischen Vorteile. Die Digitalisierung und Automatisierung spielt bereits heute eine wichtige Rolle im Ökolandbau. Sie bieten weitere Potenziale, die zur Steigerung der ökonomischen und ökologischen Effizienz beitragen können. Da der Ökolandbau nur ein kleines Marktsegment darstellt, produzieren Landtechnikhersteller derzeit primär für die konventionelle

³ Beispielsweise Anbau verschiedener Kulturpflanzen auf einer Fläche

Landwirtschaft. Der Ökolandbau gewinnt aber zunehmend an Bedeutung, da damit zu rechnen ist, dass der Ökolandbau zukünftig wächst. Ziel der Bundesregierung ist es den Ökolandbau von heute 9,7 Prozent Flächenanteil auf 30 Prozent bis 2030 auszuweiten (BEL 2023). Für Landtechnikhersteller wird dieser Markt daher wichtiger. Bei Stärkung nachhaltiger Landwirtschaftspraktiken wird mit einer Konvergenz zwischen Ökolandbau und konventioneller Landwirtschaft gerechnet. Wie genau sich diese Konvergenz entwickelt, hängt von verschiedenen Faktoren ab, insbesondere von technologischen Fortschritten, Marktbedingungen und politischer Unterstützung für nachhaltige Landwirtschaftspraktiken (z. B. im Rahmen der Reform der GAP). Mit einer Auflösung des Konzepts des Ökolandbaus ist aber nicht zu rechnen.

Erwartet werden folgende Entwicklungen:

- Erwartet wird, dass die mechanische Beikrautbekämpfung von (teil-)autonomen Feldrobotern durchgeführt wird.
- Mit **erweiterten Rollendefinitionen in der Landwirtschaft (Landwirte als Biodiversitätsmanager und Landschaftsgestalter) können neue Geschäftsmodelle, über die Produktion von Lebensmitteln hinaus, entstehen**. Es wird erwartet, dass zukünftig das Biodiversitätsmanagement in der Landwirtschaft einen zentralen Stellenwert bekommt, um die Artenvielfalt auf landwirtschaftlichen Flächen zu fördern. Dazu müssen die Effekte der Landbewirtschaftung auf Biodiversität, Ökosysteme und Ökosystemleistungen erfasst und bewertet werden. Dies erfordert neue Indikatoren. Ebenfalls erforderlich sind Instrumente für ein Monitoring, um die Effekte auf Ökosystemleistungen und die Biodiversität zu messen. Hier spielt die Digitalisierung eine wichtige Rolle bei der Unterstützung des Monitorings für ein Biodiversitätsmanagement. Die Nutzung von Drohnen und Satellitenbildern ermöglicht beispielsweise die Überwachung großer Gebiete, um Veränderungen in der Landschaft, wie Landnutzung oder Habitatentwicklungen, zu erkennen. Geografische Informationssysteme (GIS) sind entscheidend, um georeferenzierte Daten über Artenvielfalt und Lebensräume zu speichern, zu analysieren und zu visualisieren. Potenziale für mehr Biodiversität auf dem Feld liegen in der technologischen Entwicklung zur Einzelpflanzenerkennung. Mit entsprechender Sensorik, Training von KI etc. kann die binäre Betrachtung Kulturpflanze/Nicht-Kulturpflanze überwunden werden und für die Kulturpflanze tolerierbare Beikräuter beibehalten werden. Befördert würde die Entwicklung durch stärkere Wertschätzung und finanzielle Vergütung von Ökosystemleistungen in der Landwirtschaft.
- Es besteht ein **Bedarf an angepassten digitalen Systemen zur Entscheidungsunterstützung**, um Landwirten im Ökolandbau spezifische Handlungsempfehlungen zur effizienten Nutzung von Wasser, Boden etc. zu geben. Entsprechende Systeme können des Weiteren auch die Planung von Fruchtfolgen und Mischkulturen unterstützen und ein Frühwarnsystem für Risiken wie Schädlingsbefall oder Extremwetterlagen bilden.

Nachfolgende Bilder zeigen einen autonomen Feldroboter (Abbildung 6) sowie Drohnen- und Kamertechnologien zur Aufnahme von Felddaten (Abbildung 7).

Abbildung 6



Quelle: Agrotech Valley Forum e. V.

Abbildung 7



Quelle: ekkasit919/Shutterstock.com

2.2 Transformationsszenario „Neue Bewirtschaftungsformen“

Vor dem Hintergrund weltweiter Herausforderungen wie dem Klimawandel, dem Verlust der Artenvielfalt, zunehmender Flächenkonkurrenz und Bodendegradation wird verstärkt an Bewirtschaftungsformen gearbeitet, die einen Beitrag zu gesunden und widerstandsfähigen Ökosystemen leisten. Eine weitere Zielstellung ist der Erhalt bzw. die (Wieder-)Herstellung von CO₂-Senken. Dabei spielen neue, klimafreundliche und nachhaltige Ansätze wie Agroforstsysteme, regenerative Landwirtschaft und Paludikultur eine zentrale Rolle. In den Bereich „Neue Bewirtschaftungsformen“ fallen des Weiteren innovative Ansätze, die Landwirtschaft mit der Erzeugung erneuerbarer Energien verknüpfen, allen voran Agri-Photovoltaik (Agri-PV). Wesentliche Treiber hinter diesen Entwicklungen sind gesellschaftliche Debatten, in denen zunehmend Nachhaltigkeit, Klimaschutz, Biodiversität und Generationengerechtigkeit als Anforderung an die Landwirtschaft formuliert werden, sowie die Agrar- und Nachhaltigkeitspolitik. Als Reaktion auf Umwelt- und Klimabelastungen aus der Landwirtschaft werden von Seiten der EU (EU Green Deal, Farm-to-Fork-Strategie und Biodiversitätsstrategie etc.) sowie auf der nationalen Ebene die Vorschriften für landwirtschaftliche Praktiken, wie der Einsatz von Betriebsmitteln, und die Art und Weise, wie Agrarbetriebe ihr Land bearbeiten dürfen, tendenziell verschärft.

Derzeit stellen die hier genannten neuen Bewirtschaftungsansätze noch eine Nische in der landwirtschaftlichen Nutzung dar. Ob sie sich tatsächlich entsprechend ihren Potenzialen verbreiten, ist von verschiedenen Rahmenbedingungen abhängig: von den regionalen Gegebenheiten und von den politischen Rahmensetzungen. Hierzu gehören Förderprogramme, eine Anpassung der GAP Eco-Schemes, sowie ein geeigneter Wissenstransfer in die Praxis durch Bildung und Beratung. Einige Ansätze (Agroforstwirtschaft, Agri-PV) werden von der Wissenschaft vorangetrieben. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Ansätze unter der Voraussetzung veränderter Rahmenbedingungen langfristig stark entwickeln könnten. Wenn sich diese Entwicklungen durchsetzen, sind hiermit erhebliche Auswirkungen auf die Landtechnik zu erwarten.

► Transformationsfeld: Agri-Photovoltaik - Doppelte Flächennutzung mit doppeltem Ertrag

Agri-Photovoltaik (Agri-PV) ist eine junge Technologie, der ein großes Potenzial bescheinigt wird (Fraunhofer ISE 2022). Sie bietet eine Möglichkeit, die PV-Leistung auszubauen und gleichzeitig die Landflächen für den Pflanzenbau zu nutzen, so dass sich die Landnutzungseffizienz deutlich erhöhen kann. Dabei kommen unterschiedliche Systeme zum Einsatz. Bei hochaufgeständerten

Agri-PV-Anlagen (Einsatz vorwiegend im Ackerbau und Gartenbau) werden die PV-Module auf einer Ständerkonstruktion mit einer Durchfahrts Höhe von 2,10 m oder mehr montiert. Der landwirtschaftliche Anbau findet unter den Modulen statt. Bei bodennahen vertikalen Systemen (Einsatz vorwiegend im Grünland und im Ackerbau) mit einer Aufständigung unter 2,10 m findet die landwirtschaftliche Nutzung zwischen den PV-Anlagenreihen statt. Neben dem Pflanzenbau bietet Agri-PV auch Chancen für die Weidetierhaltung. Über eine Steigerung der Landnutzungseffizienz hinaus kann Agri-PV bei geeignetem technischem Design auch positive Wirkungen für den landwirtschaftlichen Anbau selbst haben. Insbesondere eine verringerte Verdunstungsrate, die schattenspendende Wirkung sowie Windschutz sind wichtige Faktoren, die zu einer Förderung der Pflanzengesundheit und einer Senkung des Wasserverbrauchs beitragen. Indem die vorhandenen Gerüststrukturen genutzt werden, können zudem weitere Schutzsysteme (Hagelschutz, Frostschutz) kostengünstig integriert werden. Dies kann die Produktivität und die Wertschöpfung der landwirtschaftlichen Flächen deutlich steigern. Weltweit hat sich die Technologie der Agri-PV in den letzten Jahren sehr dynamisch entwickelt, in Deutschland existieren bis dato erst wenige Agri-PV-Anlagen. Die nachgewiesenen großen Potenziale von Agri-PV (Fraunhofer ISE 2022, Feuerbacher et al. 2022, Jäger et al. 2022) könnten zukünftig vor dem Hintergrund des Ziels der Bundesregierung, bis 2030 einen Anteil von 80 Prozent des Stroms mithilfe erneuerbarer Energien zu produzieren, zu einer starken Ausweitung führen.

Die nachfolgenden Bilder zeigen hochaufgeständerte Agri-PV-Anlagen.

Abbildung 8



Quelle: eigene Darstellung IZT, generiert mit Midjourney

Abbildung 9



Quelle: xieyuliang/Shutterstock.com

Einschätzungen sind:

- Das Anbaukonzept bei Agri-PV-Systemen muss ganzheitlich gedacht werden. Es ist noch weitere **Forschung notwendig**, um zu klären, welche Kulturen unter einem Agri-PV-Dach angebaut werden können. Welche Pflanzen tolerieren die Verschattung durch die PV-Module? Für welche Pflanzen erweist sich die Verschattung sogar als Vorteil (insbesondere vor dem Hintergrund zukünftig zu erwartender höherer Temperaturen und vermehrter Dürreperioden)? Welche Fruchtfolge ist erfolversprechend? Hierzu sind weitere Versuchsfelder einzurichten und wissenschaftlich auszuwerten.
- Um diese neue Technologie auch tatsächlich von der Forschung in die landwirtschaftliche Praxis zu bringen, sind **Beratungs- und Informationsangebote für Landwirte** essenziell. Ein wichtiger Schritt wäre die Entwicklung eines Tools zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit (auch im Vergleich zu Freiflächen-PV). Für welche Flächen und welche Kulturen rechnet

sich eine Agri-PV-Anlage? Wie müsste sie dimensioniert sein? Welche Bedingungen müssen erfüllt sein?

- Bei Agri-PV-Anlagen ist es schwierig, Aussagen zu notwendigen Anpassungen bei der Landtechnik zu treffen. Es gibt eine Vielfalt an Gestaltungsmöglichkeiten für diese Anlagen (bodennah oder hochaufgeständert, unterschiedliche Durchfahrtshöhe, unterschiedliche Anordnung der PV-Module etc.). Derzeit gilt: die Agri-PV-Anlage passt sich den Gegebenheiten des Landwirts an. Es liegt zwar ein Regelwerk sowie eine DIN-Norm (DIN SPEC 91434) vor, die Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung von Agri-PV-Flächen festlegt. Derzeit ist jedoch schwer absehbar, in welcher Ausprägung sich Agri-PV-Anlagen in Zukunft durchsetzen werden. Generell wird angenommen, dass Agri-PV eine Entwicklung hin zu kleineren Landmaschinen sowie zu GPS-gesteuerten und autonomen Geräten verstärkt. Aufgrund des begrenzten Raums nach oben (bei hochaufgeständerten Anlagen) sowie durch die Ständerkonstruktion müssen die **Maschinen tendenziell kleiner und wendiger** werden. Das Befahren der Felder wird durch die regelmäßig platzierten Ständer schwieriger, hier werden **GPS-gesteuerte Maschinen/ automatische Lenksysteme** notwendig. Auch der Einsatz von **autonomen Feldrobotern** bietet sich für diese Systeme an. Allerdings erfordern es nicht alle Agri-PV-Konzepte, kleinere Maschinen einzusetzen. Es werden auch Anlagen gebaut (vertikale Systeme), bei denen die Arbeitsbreite bis zu 30 m beträgt. Da die Wirtschaftlichkeit von Agri-PV-Anlagen aber davon abhängig ist, wie viele PV-Module auf einer Fläche installiert sind, geht die Entwicklung auch bei den vertikalen Systemen hin zu geringeren Reihenabständen.
 - Chancen für Agri-PV mit Blick auf 2050 werden v.a. auch darin gesehen, dass die **Anlagen mit Bewässerungssystemen und mit Schutzvorrichtungen (z. B. Frostschutz, Hagelschutz)** verknüpft werden können. V. a. mit Blick auf die klimatischen Veränderungen, die sich heute schon abzeichnen, sind Innovationen wichtig, die Lösungsansätze in diesen Bereichen schaffen. Ein bedeutendes Feld ist die Entwicklung von technischen Lösungen, die sich die PV-Trägerkonstruktion zu Nutze macht, insbesondere im Bereich Bewässerung (z. B. Regenwassersammlung, Tröpfchenbewässerung). Denkbar sind auch Systeme für das Smart Farming, z. B. Vorrichtungen, die gezielt Nährstoffe abgeben.
 - Des Weiteren werden Chancen für die **Elektrifizierung der Landmaschinen** gesehen. Bei Umstellung bestimmter Landmaschinen auf Elektrobetrieb könnte der Landwirt einen Teil des selbstproduzierten Stroms direkt für seinen Maschinenpark verwenden. Elektroantriebe sind allerdings nur für kleinere Maschinen denkbar. Für große Maschinen, die eine hohe Zugleistung erbringen müssen (bspw. große Traktoren), ist ein Elektroantrieb kaum technisch und ökonomisch sinnvoll umsetzbar.
- ▶ Transformationsfeld: Agroforstsysteme – verschiedene Funktionen auf einer Fläche

Vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Transformation der Landwirtschaft ist die Schaffung klimafreundlicher, resilienterer und bodenschonender Anbauformen notwendig. Hier bietet die Agroforstwirtschaft große Potenziale. Mit der Schaffung von Agroforstsystemen auf landwirtschaftlichen Flächen sind verschiedene Vorteile verbunden. Die dort angebaute Gehölze stellen eine

Kohlenstoff-Senke dar und leisten somit einen Beitrag zum Klimaschutz. Agroforstsysteme besitzen außerdem eine höhere Klimaresilienz als Reinkulturen und bewirken durch die Abschwächung von Temperaturextremen und die Reduktion der Windgeschwindigkeit eine Verbesserung des Mikroklimas (Böhm et al. 2019). Die Wasserverfügbarkeit für die landwirtschaftlichen Kulturen kann erhöht und die Ertragsstabilität gesteigert werden. Zu nennen sind weitere Vorteile: Agroforstsysteme mindern die Bodenerosion und leisten einen Beitrag zur Erhöhung der Biodiversität sowie zum Gewässerschutz (Böhm et al. 2019). Ein zentraler Aspekt für die Verbreitung des Konzepts besteht darin, dass es produktionstypunabhängig umsetzbar ist (bei Grünland, Ackerbau, Viehhaltung, Obst und Gemüsebau). Derzeit stellt Agroforstwirtschaft in Deutschland noch eine Nische der landwirtschaftlichen Nutzung dar. Durch eine Umsetzung der Klima- und Nachhaltigkeitsziele in der Landwirtschaft und die Ausgestaltung entsprechender Rahmenbedingungen kann diese Anbauform mittel- bis langfristig eine erhebliche Dynamik erhalten.

Einschätzungen sind:

- Agroforstsysteme können einen großen Beitrag zur Bioökonomie leisten. **Neben dem Anbau von Energieholz bietet die Produktion von Holz für die stoffliche Nutzung erhebliche Potenziale.** In Kurzumtriebsplantagen (KUP), bei denen schnellwachsende Baumarten wie Pappeln, Weiden u. a. angebaut werden, kann hochwertiges Holz als Ausgangsprodukt für Baustoffe, Dämmstoffe, Verpackungsholz etc. produziert werden. Dadurch können neue Wertschöpfungsketten entstehen, die über die Holzproduktion hinausgehen. Auch die Extraktion von festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen wird als Zukunftsmarkt gesehen (z. B. Gewinnung von Lignin zur Herstellung polymerer Werkstoffe). Ein erheblicher Teil der in Deutschland benötigten Biomasse könnte zukünftig durch Agroforstsysteme hergestellt werden. Wenn auf 50 Prozent der Ackerfläche in Deutschland Agroforstwirtschaft betrieben würde (davon 10 Prozent für den Anbau von Agroforstgehölzen) könnten jährlich 15 bis 20 Mio. Festmeter Holz produziert werden (Kudlich 2023).
- Neue Geschäftsmodelle für landwirtschaftliche Betriebe auf der Basis von Agroforstsystemen sind insbesondere denkbar, wenn Beiträge zur Wiederherstellung bzw. zum **Erhalt von Ökosystemleistungen** (wie z. B. CO₂-Bindung im Holz, landschaftliche Vielfalt) finanziell honoriert werden (im Zuge einer Reformierung der GAP sowie durch Förderprogramme). Für Betriebe könnte dies eine interessante zusätzliche Einkommensquelle darstellen. Für Lohnunternehmer könnten neue Geschäftsmodelle im Bereich der Dienstleistungen entstehen (Anlegen und Bewirtschaften von Agroforstsystemen).
- Bei der Bewirtschaftung kann weitgehend auf bereits am Markt vorhandene Geräte und Maschinen zurückgegriffen werden. Die Agroforststreifen werden entsprechend der Arbeitsbreiten angelegt, so dass beim Befahren der landwirtschaftlichen Flächen kein Systemwechsel notwendig ist. Bei der Planung von Agroforstsystemen werden die Flächen i. d. R. so angelegt, dass das Säen, Bewirtschaften und Ernten der Ackerkulturen mit bestehenden Maschinen möglich ist. Größere Anpassungen bei der Technologie und neue Maschinen könnten allerdings notwendig werden, wenn zunehmend syntropische Systeme (Flächen, auf denen Bäume und Kulturpflanzen gemeinsam angebaut werden und eng miteinander stehen) umgesetzt werden.

- Es entstehen **neue Anforderungen in den Bereichen Pflege und Ernte der Baumstreifen**. Erforderlich wird die Pflege zwischen den Bäumen, insbesondere die Entfernung von Unkräutern. Hier könnten z. B. Mähroboter statt chemischer Pflanzenschutzmittel zum Einsatz kommen. Ein wichtiger Bereich ist die Entwicklung von autonomen Hackgeräten mit Erkennungssystemen, die in Individualkulturen eingesetzt werden können. Hier besteht Bedarf an kleineren individuelleren Hacksystemen.
- Bei der Ernte ist die Situation unterschiedlich. Für die Ernte von Futterlaub sind derzeit noch keine Geräte am Markt. Bei Holz-Reihenkulturen besteht bei der Erntetechnik Entwicklungsbedarf. Derzeit werden bei Kurzumtriebsplantagen Fäller-Bündler-Geräte eingesetzt. Hier gibt es mit Blick auf eine Effizienzsteigerung bei der Ernte Optimierungspotenzial.

Die nachfolgende Abbildung 10 zeigt einen Agroforststreifen auf einem landwirtschaftlichen Feld.

Abbildung 10



Quelle: Sigur/Shutterstock.com

Bei Agroforstsystemen geht es nicht so sehr um die Entwicklung von neuen Geräten und Maschinen. Vielmehr geht es um die Vermittlung des notwendigen Wissens (Beratung und Weiterbildung) an die Landwirte. Darüber hinaus müssen zur weiteren Verbreitung dieses Ansatzes die **ökonomischen Rahmenbedingungen** entsprechend gestaltet werden (Förderbedingungen, Schaffung langfristiger Planungssicherheit, Aufbau von regionalen Wertschöpfungsketten). Wenn sich zukünftig die politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen mit Blick auf Zukunftsthemen wie Bioökonomie und Klimaschutz verändern, könnten Agroforstsysteme eine weite Verbreitung in fast allen landwirtschaftlichen Betriebsformen finden.

► Transformationsfeld: Paludikultur – Landwirtschaft auf wiedervernässten Moorflächen

Das Thema Wiedervernässung von Mooren wird vor dem Hintergrund der CO₂-Speicherpotenziale zunehmend diskutiert. In Deutschland sind derzeit ca. 1,3 Mio. Hektar (knapp 7 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche) trockengelegte und bewirtschaftete Moorböden. Auf diesen Flächen werden jährlich etwa 41 Mio. t CO₂- Äq. und damit etwa 40 Prozent der gesamten THG-Emissionen aus der Landwirtschaft und der landwirtschaftlichen Bodennutzung emittiert (Grethe et al. 2021, S. 16). Da durch eine Wiedervernässung ein Großteil der Emissionen vermieden werden kann, ergibt sich ein hohes Minderungspotenzial. Der landwirtschaftliche Anbau auf

wiedervernässten Moorflächen (Paludikultur) unterscheidet sich erheblich von derzeitigen Nutzungssystemen. Die Erzeugung von Lebensmitteln auf trockengelegten Mooren wird in den Hintergrund rücken. Dagegen wird die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen für die Bewirtschaftung nasser Moore immer wichtiger (Nordt et al. 2022): Großteils für die Erzeugung von Rohstoffen (z. B. Papier und Pappe aus Gras, Dämmstoffe), als Ausgangsstoffe für die Bioökonomie (Zellstoff, Lignin), für die Erzeugung von Biomasse für die energetische Nutzung sowie als Weideflächen für Rinder, Gänse und Schafe. Auch für die Erzeugung von Strom aus PV-Anlagen können Moorflächen genutzt werden (insbesondere für Agri-PV-Systeme). Bisher handelt es sich bei Paludikultur-Verfahren um landwirtschaftliche Nischen. Vor dem Hintergrund der von der Bundesregierung festgelegten Klimaziele (bis 2045 soll Deutschland treibhausgasneutral sein) und der großen Potenziale, die wiedervernässte Moore für die CO₂-Speicherung bieten, ist jedoch mittel- bis langfristig mit einer erheblich größeren Verbreitung dieser Anbauweise zu rechnen.

Einschätzungen sind:

- Die Bewirtschaftung wiedervernässter Moorflächen bedeutet eine **Umstellung auf neue Nutzungssysteme und neue Agrarprodukte** (nicht mehr Nahrungsmittelproduktion, sondern Produktion von nachwachsenden Rohstoffen). Dies zieht **Veränderungen in der Wertschöpfungskette** nach sich. Es werden neue Verarbeitungstechnologien und Vermarktungsstrategien erforderlich, um die speziellen Produkte (aus der Paludikultur) in der Breite auf dem Markt zu platzieren. Durch die Moorbewirtschaftung können neue Produkte und Märkte im Bereich der Bioökonomie entstehen, bspw. OSB-Platten und andere Werkstoffe aus Rohrkolben-Biomasse statt aus Holz, Dämmstoffe aus Rohrkolben oder Schilf. Hierfür sind Änderungen der politischen Rahmenbedingungen und Anreizsysteme notwendig. Für die Moorbewirtschaftung ist der Wissensaufbau bei Landwirten durch (Weiter-)Bildung und Beratung ein zentraler Faktor.
- Durch den Beitrag von wiedervernässten Mooren zur Vermeidung von CO₂-Emissionen und zur Speicherung von CO₂ im Moorkörper, könnten **neue Einkommensquellen** für Landwirte entstehen, indem sie für die Emissionsreduktion honoriert werden. Auch Landtechnik-Unternehmen könnten Anreize erhalten, um in diesem Bereich zu investieren oder Technologien zu entwickeln, die mit der CO₂-Reduktion in Mooren in Zusammenhang stehen. Das könnte zu neuen Geschäftsfeldern und Produktentwicklungen führen.
- Durch die Wiedervernässung von Mooren könnten landwirtschaftlich genutzte Flächen reduziert bzw. in großem Umfang anders genutzt werden, was zu einer **veränderten Nachfrage nach landwirtschaftlichen Maschinen** führen könnte. Die Nachfrage nach Maschinen für die Moorpflege und -bewirtschaftung könnte steigen, während möglicherweise die Nachfrage nach landwirtschaftlichen Geräten für herkömmliche Anbauarten auf entwässerten Moorflächen sinkt. Landtechnikhersteller müssen möglicherweise ihre Produktlinien anpassen, um auf diese Verschiebungen in der Landnutzung zu reagieren. Die bisher in der Paludikultur eingesetzten Maschinen sind Prototypen oder Einzellösungen. Bislang fehlte ein Markt für solche Landmaschinen, weshalb Hersteller kaum einen Anreiz hatten, entsprechende Maschinen zu entwickeln und herzustellen. Dies könnte sich zukünftig ändern, wenn eine Wiedervernässung der Moore in großem Umfang umgesetzt wird.

- Für die Bewirtschaftung wiedervernässter Moorflächen **bedarf es angepasster Maschinen und Prozesstechniken**. Vorhandene Prozesstechniken können aufgrund der hier vorliegenden hohen Wasserstände und geringen Tragfähigkeiten des Bodens nicht eingesetzt werden. Für den Einsatz auf Moorböden sind kleinere und leichtere Maschinen notwendig, die den Bodendruck und die Bodenverdichtung reduzieren. Auch automatisierte Technologien in Kombination mit Robotertechnik und Drohnen können helfen, den Druck auf den Boden zu minimieren und ermöglichen präzisere landwirtschaftliche Aktivitäten. Spezielle Anpassungen müssten eine breitere Verteilung des Maschinengewichts, spezielle Reifen oder Raupenkettensysteme für bessere Traktion, sowie möglicherweise eine höhere Bodenschonung beinhalten, um die empfindliche Vegetation und den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens zu erhalten. Robuste Konstruktionen und Materialien sind notwendig, um den widrigen Bedingungen in wiedervernässten Mooren standzuhalten und die Langlebigkeit der Maschinen sicherzustellen. Des Weiteren müssten Maschinen speziell für die Ernte an die spezifischen Eigenschaften des Pflanzenmaterials angepasst werden.
- Die Bewirtschaftung wiedervernässter Moore bringt **spezifische Logistikanforderungen** mit sich, die auf die besonderen Eigenschaften dieser Umgebungen abgestimmt sein müssen. Daher erfordert die Logistik spezielle Transportmittel oder Anpassungen, um Ausrüstung, Materialien und Ernten in diese Gebiete zu bringen und aus ihnen heraus zu transportieren. Im Rahmen der Logistik muss außerdem ein **Wassermanagement** für die Bewirtschaftung der Moore und der angrenzenden Gebiete berücksichtigt werden. Beispielsweise kann es notwendig werden, Pumpen oder Entwässerungssysteme für landwirtschaftliche Aktivitäten zu integrieren, um den Wasserstand zu regulieren und eine optimale Umgebung für die landwirtschaftliche Produktion zu schaffen.
- Aus Sicht der Landtechnikindustrie muss sich im Bereich Paludikultur eine gesamte Verfahrenskette entwickeln. In Deutschland gibt es über 1 Mio. Hektar Moorfläche. Wenn etwa 50 Prozent dieser Fläche für Naturentwicklung und 50 Prozent für Paludikultur genutzt wird, entsteht erheblicher Bedarf für Maschinen. Voraussetzung dafür ist die politische Förderung für die Wiedervernässung.

*Auf wiedervernässten Moorfläche könnten z. B. Wasserbüffel gehalten werden könnten (Abbildung 11).
Abbildung 12 zeigt eine Landmaschine zur Paludikultur-Bewirtschaftung.*

Abbildung 11



Quelle: U. J. Alexander/Shutterstock.com

Abbildung 12



Quelle: Photodigitaal.nl/Shutterstock.com

Ökosystemleistungen in der Landwirtschaft

Derzeit gibt es verschiedene Entwicklungen, die darauf abzielen, den Wert von Biodiversität und Ökosystemleistungen (ÖSL) sichtbar zu machen, damit dieser Wert in öffentlichen, politischen und wirtschaftlichen Entscheidungen berücksichtigt wird. Unter Ökosystemleistungen werden Leistungen der Natur verstanden, die für Wirtschaft, Gesundheit und Lebensqualität grundlegend sind; bspw. Bestäubungsleistungen von Insekten, CO₂-Bindung in Mooren, Grundwasserneubildung, Hochwasserschutz durch Auen etc. Bei Entscheidungen über die wirtschaftliche Entwicklung eines Landes sowie die Ausrichtung von Unternehmen werden diese Leistungen bislang als grundlegende produktive Faktoren ignoriert. Aktuell nimmt die Erkenntnis auf internationaler Ebene zu, dass ÖSL und Biodiversität besser in die Wirtschafts- und Nachhaltigkeitsberichterstattung integriert werden müssen (BfN 2023). So etabliert sich das UN-Statistiksystem zum Ecosystem Accounting seit März 2021 (SEEA EA) in großen Teilen als internationaler Standard für die nationale Berichterstattung zu Ökosystemen und Ökosystemleistungen. Außerdem gibt es Entwicklungen, um auch auf der Unternehmensebene die Berichterstattung zu Biodiversität und Ökosystemleistungen zu etablieren. Eine zentrale Bedeutung hat dabei die Corporate Sustainability Directive (CSRD) der EU-Kommission. Die nationale Umsetzung der CSR-Richtlinie verpflichtet ab 2024 größere Unternehmen in Deutschland dazu, in ihren Bilanzen auch die Abhängigkeit von der Natur sowie die Auswirkungen auf die Natur darzulegen. Hierzulande betrifft dies etwa 15.000 Unternehmen. Dies umfasst auch Angaben entlang der Wertschöpfungskette und wird dadurch – vermittelt durch die berichtspflichtigen Unternehmen der Ernährungswirtschaft – zukünftig auch die Landwirte betreffen. Diese Entwicklungen bringen Chancen und Herausforderungen für den Landwirtschaftssektor mit sich.

Folgende Entwicklungen sind in diesem Zusammenhang relevant:

- Die Entwicklung des Naturkapitals muss gemessen und die Auswirkungen seines Verlustes deutlich gemacht werden. Dazu wird in Deutschland ein systematisches Monitoring von Naturkapital und Ökosystemleistungen aufgebaut (Ökosystematlas des Statistischen Bundesamts).
- Die Integration von ÖSL in die Entscheidungsfindung bietet eine Chance, um auf eine Honorierung der Gemeinwohlleistungen der Landwirte hinzuarbeiten. Landwirte haben selbst ein starkes Interesse daran, Bewirtschaftungsformen umzusetzen, mit denen Biodiversität und Ökosysteme gestärkt und erhalten werden (Mehring et al. 2023). Die Entwicklungen um die Messung und Inwertsetzung von Ökosystemleistungen stärkt die Diskussion, wie solche Umweltleistungen der Landwirte besser finanziell honoriert werden können. Insbesondere die GAP-Subventionen müssten dem ÖSL-Ansatz gemäß neu ausgerichtet werden.

Der ÖSL-Ansatz beinhaltet die Sichtbarmachung und Messung von Ökosystemleistungen. Für die regelmäßige Erhebung der entsprechenden Daten müssen Instrumente entwickelt werden, die eine hohe Qualität der Daten gewährleisten und dabei gleichzeitig den Aufwand für die Landwirte geringhalten. Digitale Systeme versprechen hier erhebliche Potenziale.

2.3 Transformationsszenario „Künstliche Biowelten: New Food Systems“

New Food-Systeme sind Gegenstand zahlreicher Forschungsprojekte und ein Innovationsfeld für neue Geschäftsideen und Geschäftsmodelle auf Basis von geschlossenen, künstlichen Agrarsystemen. Hier treiben innovative Start-ups, Forschungsnetzwerke und Unternehmen der Agrarindustrie die Marktentwicklung gemeinsam voran. Wichtige Transformationsfelder sind Indoor-Farming, Fleisch, Milch und Käse aus „zellulärer Landwirtschaft“ (bzw. zellulärer Lebensmittelproduktion) und „Insect Farming“. Ein Treiber der Entwicklung ist auch die Innovations-, Wirtschafts- und Nachhaltigkeitspolitik mit umfangreichen Programmen zur Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsförderung (insbesondere als ein Element zur „Protein transition“). In den letzten Jahren hat sich eine vielfältige und dynamische Start-up Szene, zunehmend auch in Deutschland entwickelt. Sie eint ein Mind Shift der Lebensmittelsystemtransformation: flächenunabhängig ohne Natur mit neuartigen Systemen Nahrungsmittel klimaneutral jenseits der klassischen Landwirtschaft zu erzeugen. Von zentraler Bedeutung ist der Einsatz von Biotechnologie. Durch die sprunghaften Fortschritte in der Biotechnologie in Verbindung mit Bioinformatik und Gentechnik können sowohl eine effiziente Nutzung alternativer Proteinquellen als auch neue, künstliche Agrarsysteme effizienter realisiert werden, die auf mögliche Wende- oder Bruchpunkte in einer zukünftigen Transformationsentwicklung des Agrar- und Ernährungssystems hinweisen. Durch den Ausbau der Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsförderung entsteht in Kombination mit der Mobilisierung von Investitionskapital ein Resonanzboden, auf dem sich selbsttragende Innovationsökosysteme entwickeln. Marktanalysen rechnen mit neuen Märkten bereits in den nächsten Jahren. Dafür gibt es aber wenig belastbare Daten. Realistischer erscheint dies erst mittelfristig ab 2030. Dann könnten alternative Proteinquellen, zelluläre Innovationen und Indoor-Farming heute verbreitete landwirtschaftlichen Anbauverfahren ergänzen. Ob sie langfristig das Potenzial haben, bei verbreiteter Diffusion den konventionellen Ackerbau in Teilen nicht nur zu ergänzen, sondern zu ersetzen, ist unsicher, würde aber für diesen Fall die Nahrungsmittelproduktion revolutionieren.

► Transformationsfeld: Indoor-Farming im industriellen Maßstab

Vertikale Indoor-Farmen haben das Potenzial die Nahrungsmittelproduktion zu revolutionieren. In den letzten Jahren gab es einen regelrechten Hype um Vertical Farming, der sich in Investitionen für neue Geschäftsmodelle niedergeschlagen hat. Vertical Farming basiert auf bodenlosen Systemen wie Hydroponik (Wurzeln hängen in Wasser mit Nährstoffen), Aeroponik (Sprühnebel aus Wasser und Nährstoffen) oder Aquaponik (Verbindung von Aquakultur und Hydroponik). In Deutschland wird Vertical Farming vor allem von etablierten großen Gemüsebauern (insbesondere Pfalz, Vechta, Schwerin) betrieben. Der vertikale Anbau lohnt sich wegen der hohen Kosten für hochwertige Gemüse, die einen hohen Preis pro Gewicht erzielen und möglichst dicht angebaut werden können. Viele vertikale Farmen konzentrieren sich auf Blattgemüse wie Salat oder Basilikum. Diese wachsen schnell und können mehrmals jährlich gepflanzt und geerntet werden. Auch Kulturen mit besonderen Inhaltsstoffen wie zum Beispiel Arzneipflanzen sind interessant für den vertikalen Indoor-Anbau, da die homogenen Bedingungen dort ganzjährig ideale Wachstumsbedingungen ermöglichen. Zukünftig könnten sich auch Feldfrüchte (wie Weizen) kultivieren

lassen. Wie hoch das Potenzial sein könnte, wird unterschiedlich beurteilt. Fragen der Skalierung und Wirtschaftlichkeit sind derzeit noch mit großer Unsicherheit behaftet.

Folgende Einschätzungen lassen sich treffen:

- **Indoor-Farming wird wahrscheinlich mittel- bis langfristig marktrelevant, kurzfristig ist mit einer Nischenentwicklung zu rechnen.** Dies liegt an hohen Infrastrukturkosten und insbesondere am hohen Strombedarf von Indoor-Anlagen (für Licht etc.) und entsprechend hohen Energiekosten. Energiebedarf sowie -kosten werden in den nächsten Jahren wahrscheinlich nicht im erforderlichen Ausmaß sinken, um die Rentabilität von Indoor-Farming über Nischenprodukte hinaus herzustellen. Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien in Verbindung mit Netzinfrastrukturen besteht aber die Möglichkeit, dass die Energiepreise tendenziell sinken.
- Bei den wichtigen Feldfrüchten Weizen, Mais, Soja und Reis sind durch Vertical Farming kurz- bis mittelfristig keine signifikanten Erträge bzw. Mehrerträge zu erwarten. Für Start-ups im Indoor-Farming sind andere, höherpreisige Lebensmittel wie Gemüse- und Kräuteraanbau wirtschaftlicher. Entsprechend wird sich der Markt im Wesentlichen in diesen Segmenten entwickeln. **Dies könnte sich ändern, wenn im Fall von Weizen, Sorten gezüchtet werden, die an die kontrollierten Bedingungen angepasst sind, und der Energiebedarf deutlich reduziert wird.**
- Denkbar sind große **Indoor-Farming-Fabriken** in der Nähe von Städten. Neben Gebäuden ist auch die Nutzung von leeren Bergwerken vorstellbar. **Kleinste skalierbare Einheiten könnten auch auf landwirtschaftlichen Höfen betrieben werden, um Landwirten zusätzliche Produktionsmöglichkeiten zu eröffnen.** Die Perspektive ist nicht, mit dieser Technologie die Weizenproduktion in Deutschland zu ersetzen, aber es könnte der Flächendruck reduziert werden und die mit einer Ausweitung von Brach- und Naturschutzflächen einhergehenden Produktionsminderungen könnten abgemildert werden.
- **Bei der Umsetzung zeichnen sich verschiedene Geschäftsmodelle ab, die sich hauptsächlich nach Größe und Einsatzgebiet der Anlagen unterscheiden.** So werden „plant farms with artificial light“ als ganze Gebäude konzipiert, die ausschließlich der Lebensmittel-/Nutzpflanzenproduktion dienen. So genannte „Container-Farmen“ nutzen Container, um die Pflanzen unter kontrollierten Bedingungen zu kultivieren. Bei In-Store-Farmen werden kleine Farmen im Lebensmitteleinzelhandel oder in Restaurants aufgestellt. Die Konsumenten können so näher mit den Nahrungsmitteln in Kontakt kommen. Letztendlich sind sogenannte „Appliance Farms“ für den privaten Gebrauch gedacht.
- **Für Indoor-Farming wird Prozess- und Anlagentechnik benötigt.** Sie zielt auf eine präzise Kontrolle der Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Feuchtigkeit, Licht und Nährstoffzufuhr, was wiederum zu höheren Erträgen und einer effizienteren Nutzung von Ressourcen führen soll. Dies ermöglicht eine ressourceneffiziente Lebensmittelproduktion, unabhängig von externen Umweltbedingungen.
- Langfristig ist mit einer **Verschiebung der Nachfrage nach herkömmlicher Agrartechnik** zu rechnen, wenn Lebensmittelproduzenten vermehrt auf Indoor-Farming-Lösungen

umsteigen. Hersteller herkömmlicher Agrartechnik müssten ihre Produkte und Geschäftsmodelle (im Fall des Rückgangs von Wirtschaftsdünger, Rückgang des Futtermittelanbaus, Verringerung der Ausbringung chemischer Pflanzenschutzmittel etc.) anpassen, um in einer zunehmend von Indoor-Farming geprägten Wettbewerbslandschaft ihre Marktanteile zu sichern bzw. neue Märkte zu erschließen.

Abbildung 13 zeigt eine Indoor-Farm, Abbildung 14 den Einsatz von Robotiksystemen.

Abbildung 13



Quelle: eigene Darstellung IZT, generiert mit Midjourney

Abbildung 14



Quelle: Es srawuht/Shutterstock

Indoor-Farming mit Weizen

Indoor-Farming mit Weizen ist Gegenstand aktueller Forschung. Zukünftig könnte Weizen in vertikalen Farmen in mehreren Schichten übereinander angebaut werden. Unter optimalen Bedingungen ließen sich bis zu sechsmal höhere Erträge erzielen als auf traditionellen Feldern. Die präzise Steuerung von Licht, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Nährstoffzufuhr ermöglicht es, die Wachstumszyklen zu verkürzen und somit mehrere Ernten pro Jahr zu realisieren. Dies führt zu einer kontinuierlichen und stabilen Weizenproduktion. Die kleinste Einheit für Indoor-Farming von Weizen wäre eine Fläche von 10x10 m mit etwa fünf Schichten. Sie könnte die herkömmliche Produktion von vier oder fünf Tonnen Weizen ersetzen. In einer Anlage mit 100 Schichten könnte 6.000-mal mehr Weizen pro Fläche produziert werden im Vergleich zu einem Durchschnittsertrag im Feld von 3,4 t/ha. Ein kritischer Punkt beim Indoor-Farming ist der Energiebedarf. Nach heutigem Stand werden 650 kWh/kg zur Weizenproduktion benötigt. Ziel der Forschung der nächsten zehn Jahre ist eine Reduktion des Energiebedarfs auf deutlich unter 60 kWh/kg Weizen. Unter der Annahme eines Strompreises von 0,01 €/kg und eines Energieverbrauchs von 60 kWh/kg Weizen könnte für 0,60 €/kg Weizen produziert werden (ohne Subventionen sowie ohne Umwelt- und Gesundheitsschäden). Im Vergleich dazu: Der Preis in der heutigen Landwirtschaft liegt bei ca. 0,40 €/kg Weizen (hinzu kommen Subventionen sowie Kosten für Umwelt- und Gesundheitsschäden in Höhe von ca. 0,30 €/kg Weizen (Asseng 2024). Die Integration regenerativer Energien ist ein weiterer zentraler Baustein für die Nachhaltigkeit des Indoor-Farmings. Sie umfasst den Einsatz von Solar-, Wind- und Geothermieanlagen, um den Energiebedarf der Farmen zu decken und den CO₂-Fußabdruck erheblich zu reduzieren.

► Transformationsfeld: Fleisch, Milch und Käse aus zellulärer Lebensmittelproduktion

Die zelluläre Lebensmittelproduktion hat das Potenzial, ein zentraler Bestandteil künftiger Lebensmittelherstellung zu werden. Die Verwendung von Zellkulturen (tierischer Herkunft oder Mikroorganismen), die in Bioreaktoren gezüchtet werden, könnte zukünftig eine groß angelegte „tierfreie“ Produktion von Lebensmitteln und Lebensmittelzutaten, z. B. Milchproteine und Fleisch, ermöglichen. Der derzeitige Stand der Entwicklung zeigt eine zunehmende Investition und Forschung in diesem Bereich. Es gibt einige Start-ups und Unternehmen, die Technologien der zellulären Lebensmittelproduktion entwickeln und kommerzialisieren. Jedoch stehen sie noch vor Herausforderungen wie der Skalierbarkeit der Produktion und der Kostenreduktion. Das Transformationspotenzial für die Landwirtschaft liegt in der Möglichkeit, die Umweltbelastung zu verringern, Ressourcen effizienter zu nutzen und die Lebensmittelproduktion nachhaltiger zu gestalten. Die zelluläre Lebensmittelproduktion könnte auch dazu beitragen, die steigende Nachfrage nach tierischen Produkten zu decken, ohne die negativen Auswirkungen der konventionellen Tierhaltung auf Umwelt und Tiere zu verstärken.

Kultiviertes Fleisch (Abbildung 15) und Käse aus Präzisionsfermentation könnten zukünftig eine Alternative zu herkömmlichen Produkten darstellen (Abbildung 16).

Abbildung 15



Quelle: Firn/Shutterstock.com

Abbildung 16



Quelle: New Africa/Shutterstock.com

Für die Agrartechnik sind folgende Einschätzungen bedeutsam:

- **Ein Markt für die zelluläre Lebensmittelproduktion wird sich voraussichtlich eher langsam entwickeln.** Die genaue Zeitachse hängt von verschiedenen Faktoren ab, darunter regulatorische Genehmigungen, Skalierbarkeit der Produktion, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz der Verbraucher. Höhere Produktionsmengen werden künftig niedrigere Preise ermöglichen. Schätzungen gehen davon aus, dass zelluläres Fleisch in 5-15 Jahren wettbewerbsfähig ist, aber es ist schwer vorherzusagen, wie schnell sich die Technologie weiterentwickeln und verbreiten wird. Im Jahr 2040 könnte die zelluläre Lebensmittelproduktion fest etabliert sein.
- **Die zelluläre Lebensmittelproduktion wird voraussichtlich (u. a. aufgrund von Skaleneffekten bei den Produktionsanlagen) vorrangig in industriellen Produktionsstätten zu verorten sein. Für Landwirte dürfte sich aus jetziger Sicht ihre Rolle eher als Rohstofflieferanten für eine Fermentationswirtschaft beschränken.** Zwar beschreibt die Foresight-Studie „Farmers of the future“ (Bock et al. 2020) des Joint Research Centre (JRC) der EU-Kommission „cell farmers“ als ein mögliches Zukunftsprofil für Landwirte. Es

ist allerdings fraglich, ob es sich realisiert. Erste Farmkonzepte werden in den Niederlanden (mit Respect farms) als Geschäftsfeld für Landwirte verfolgt. Zentral hierfür ist es, automatisierte Systeme und ein neues Design von Bioreaktoren („Plug and Play“- Systeme) für den Landwirt zu entwickeln, so dass der Betrieb dieser Systeme leicht erlernt bzw. gehandhabt werden kann. Der Ansatz wird auch in den USA aufgegriffen, wo die Umsetzung in großen Maßstäben gedacht wird. Entsprechende Ansätze sollten beobachtet werden.

- **Sollte sich die zelluläre Lebensmittelproduktion etablieren, ist mit einer Veränderung der landwirtschaftlichen Produktion zu rechnen.** Herkömmliche Anbauflächen könnten verringert werden, was zu einem Rückgang der Nachfrage nach traditionellen landwirtschaftlichen Technologien führen könnte. Anlagen- und Prozesstechnik würde Landtechnik in betroffenen Bereichen ersetzen und könnte so zu einem Wettbewerbsfaktor werden.

► Transformationsfeld: Insect Farming für Nahrungsmittel und Tierfutter

Insect Farming ist weltweit ein wachsender Markt. In Europa und Deutschland ist die Bereitschaft, Insekten zu essen bis dato allerdings sehr gering. Für die nächsten Jahre ist davon auszugehen, das sich daran nur wenig ändert, sodass sich der Markt in diesem Bereich in einer Nische bewegt und nur langsam entwickelt. Die Zukunftsperspektiven von Insect Farming hängen von verschiedenen Faktoren ab, darunter Verbraucherakzeptanz, regulatorische Rahmenbedingungen, technologische Fortschritte, Skalierung der Produktion und Senkung der Kosten für insektenbasierte Futter- und Lebensmittel.

Einschätzungen sind:

- Einschätzungen deuten darauf hin, dass **Insect Farming innerhalb der nächsten 10 bis 20 Jahre weltweit einen signifikanten Marktanteil im Agrar- und Ernährungsmarkt erreichen könnte.** Die Einschätzung basiert auf mehreren Faktoren. Erstens wird die steigende Nachfrage nach proteinreichen Lebensmitteln bei gleichzeitiger Knappheit traditioneller Proteinquellen wie Fleisch und Fisch als treibende Kraft angesehen. Insekten gelten als eine nachhaltige und ressourcenschonende Proteinquelle, da sie weniger Land, Wasser und Futter benötigen als herkömmliches Vieh. Zweitens gibt es bereits Regulierungen, die Insekten als Nahrungsquelle ermöglichen. Dies könnte die Akzeptanz und den Verkauf von Insektenprodukten erleichtern. Drittens steigt das Bewusstsein der Verbraucher für die Umweltauswirkungen der Lebensmittelproduktion, was zu einer verstärkten Nachfrage nach nachhaltigen und umweltfreundlichen Nahrungsquellen führt. Insektenzucht wird oft als ökologisch vorteilhaft angesehen, da sie weniger Treibhausgasemissionen und eine geringere Belastung der Umwelt verursacht. Schließlich tragen technologische Fortschritte dazu bei, die Effizienz und Rentabilität von Insektenfarmen zu verbessern, was die Skalierbarkeit und Wettbewerbsfähigkeit der Produktion erhöht. Obwohl die genaue Zeitachse und die Größe des Marktanteils unsicher sind, deuten diese Faktoren darauf hin, dass Insektenzucht langfristig weltweit eine wachsende Rolle im Agrarsektor spielen könnte.

- Hierzulande bietet Insektenzucht nur in begrenztem Maße neue Möglichkeiten für Erlösquellen für Landwirte, insbesondere in Regionen, in denen traditionelle landwirtschaftliche Praktiken herausfordernd oder begrenzte Erträge zu erzielen sind. Landwirte könnten ihre landwirtschaftlichen Betriebe diversifizieren, indem sie Insektenzucht als zusätzliche Einnahmequelle integrieren. Es bestehen einige Hürden, die das Potenzial begrenzen. Dazu gehören nicht passende Ställe und Gebäudestrukturen. Die Insektenzucht wird daher eher in Industriebereichen und Gewerbegebieten, weniger in landwirtschaftlichen Betrieben verortet.
- Insect Farming stellt **neue Anforderungen an spezifische Technologien und Geräte, die nicht in herkömmlichen landwirtschaftlichen Betrieben vorhanden sind**. Erforderlich werden zum Beispiel Inkubatoren, Belüftungssysteme, Fütterungsautomaten und Erntemaschinen. Diese müssen auf die spezifischen Anforderungen der Insektenzucht abgestimmt sein, um optimale Ergebnisse zu erzielen. Insektenzuchtanlagen könnten von fortschrittlichen Automatisierungs- und Sensoriklösungen profitieren, um Prozesse wie Fütterung, Überwachung von Umweltbedingungen und Ernte zu optimieren.

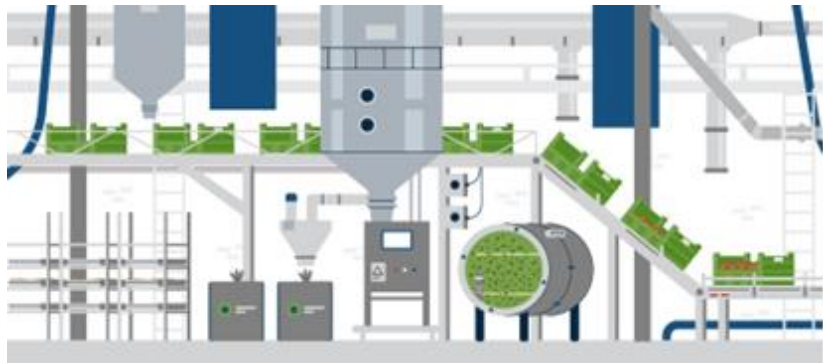
Die nachfolgenden Abbildungen zeigen frittierte Heuschrecken (Abbildung 17) sowie eine Insektenzucht im industriellen Maßstab (Abbildung 18).

Abbildung 17



Quelle: Momentum studio/Shutterstock.com

Abbildung 18



Quelle: Gvardgraph/Shutterstock.com

3 Strategisch relevante Zukunftsthemen, mit denen die Landtechnikbranche konfrontiert wird

Bis 2030 werden eher inkrementelle, im Trend liegende Veränderungen der Agrar- und Ernährungswirtschaft erwartet. Ab 2030 dürfte sich die Geschwindigkeit von Transformationsprozessen mit der Herausbildung einer „neuen Agrar-Governance“ als Antwort auf planetare Grenzen und Ernährungssicherheit beschleunigen. Im Zuge der Transformation werden folgende Zukunftsthemen für die Landtechnikbranche relevant:

- ▶ Digitalisierung und Automatisierung ermöglichen große Ökoeffizienz-Potenziale, reichen aber allein nicht aus

Digitalisierung und Automatisierung bilden den dominanten Technologiepfad. Die Hauptaufgaben liegen in der Integration in die betrieblichen Prozesse und Systeme, der Interoperabilität, der Zuverlässigkeit, der vorausschauenden Instandhaltung und der stärkeren Nutzerorientierung bei immer komplexeren Informationsumgebungen u. a. durch Managementsysteme zur Optimierung der Mensch-Maschine-Interaktion. Prozessleitebenen werden zukünftig in die Cloud verlagert, so werden sich aus heute schon bekannten Farmmanagement-Informationssystemen (FMIS) zukünftig Farmmanagement-Systeme (FMS) entwickeln. Die Wertschöpfung wird sich von maschinen- zu datenbasierten Geschäftsmodellen verschieben, der Ergebnisverkauf und Pay-per-Use-Modelle gewinnen an Bedeutung. Diagnostiziert wurde ein Bedarf an Benchmarking und Evaluation digitaler Anwendungen, spezifischen Kosten-Nutzen-Analysen sowie Demonstratoren. Für die Erreichung der Transformationsziele für eine nachhaltige Landwirtschaft werden die Effizienzgewinne der Digitalisierung allein allerdings nicht ausreichen.

- ▶ Sprunginnovationen: von großen Landmaschinen zu schwarmbasierter autonomer Feldrobotik

Das Potenzial für eine Sprunginnovation hat die autonome Feldrobotik. Sie bietet die Möglichkeit, große Landmaschinen durch viele kleinere Landmaschinen zu ersetzen. Auch schwarmbasierte Nutzungsszenarien sind möglich. Am Trend zu immer leistungsfähigeren, großen Maschinen wird sich aber voraussichtlich in naher Zukunft wenig ändern. Große Maschinen mit smarten Technologien werden den Markt weiterhin dominieren, noch größere Maschinen werden zum Einsatz kommen. Ein Paradigmenwechsel scheint sich bis dato nicht abzuzeichnen und wenn dann nur langsam (VDI 2022). Mittel- bis langfristig wird aber erwartet, dass kleinere autonome Landmaschinen einen größeren Stellenwert erhalten. Durch den Einsatz kleinerer, autonomer Geräte ergeben sich Vorteile wie Bodenschonung und leichter Transport. Möglich sind sinkende Stückkosten aufgrund des „Scale Downs“. Eine Anforderung an die autonome Maschine ist ein vorausschauendes Verhalten als Bestandteil von Prozess- und Systemarchitekturen (Einbringung der „Self Awareness“ des Organic Computing, Nutzung von KI und „Diskreten Ereignisgesteuerten Systemen“ (DES). Notwendig wird auch die Erweiterung von Standards für intelligente, autonome Systeme zur Verbesserung der Integration. Mit dem Scale-Down stellen sich auch Fragen der Energieträger bzw. der Antriebssysteme (z.B. nach der Elektrifizierung). Erwartet wird, dass die Verbreitung der Feldrobotik bei bestimmten Kulturpflanzen, wie z. B. Zuckerrüben oder Gemüse

schneller voranschreiten wird als beispielsweise bei Mais oder Getreide. In den letztgenannten Bereichen gibt es andere Möglichkeiten der mechanischen Unkrautbekämpfung (Traktor mit Hackgerät), die etabliert und wirtschaftlich konkurrenzfähig sind. Eine Hürde besteht darin, dass die derzeitigen Robotermodelle nicht vielseitig einsetzbar sind, sondern spezialisiert für bestimmte Kulturpflanzen konstruiert sind. Hier ist weitere Entwicklung nötig, damit der Roboter multifunktional in verschiedenen Kulturen eingesetzt werden kann. Um die Markteinführung berechenbar zu gestalten und zu beschleunigen, braucht es angemessene Zulassungskriterien (in Deutschland) und Innovationsanreize für dieses Technologiesegment. Dabei geht es nicht nur um Technikentwicklung, sondern um eine Innovation der landwirtschaftlichen Produktionssysteme um die neuen Verfahrenstechniken herum bis hin zu einer Neugestaltung der gesamten Wertschöpfungskette (Kehl et al. 2021).

► Transformation wird von einer Diversifizierung der Landwirtschaft geprägt

Es ist mit einer zunehmenden Diversifizierung der Landwirtschaft zu rechnen. Es ist zu erwarten, dass zukünftig Biodiversitätserhalt, Ausbau landwirtschaftlicher Treibhausgas-Senken sowie der Ausbau der erneuerbaren Energien in der Landwirtschaft einen zentralen Stellenwert erhalten werden. Vor diesem Hintergrund könnten sich neue Bewirtschaftungsformen, wie Agroforstsysteme, Paludikultur und Agri-PV, von derzeitigen Nischen zu relevanten Märkten entwickeln. Damit können neue Geschäftsmodelle für Landwirte, die über die Produktion von Lebensmitteln hinausgehen, entstehen bis hin zu neuen Profilen und Berufsbildern (z. B. „Moor-Klimawirt“, „Ökosystemwirt“, „Solarfarmer“). Voraussetzung ist, dass entsprechende Rahmenbedingungen für die Finanzierung dieser Tätigkeiten geschaffen werden (im Zuge einer Reformierung der GAP sowie durch Förderprogramme und Schaffung geeigneter rechtlicher und regulatorischer Rahmenbedingungen). Im Zusammenhang damit können auch neue Märkte für die Landtechnikbranche entstehen, z. B. angepasste Maschinen und Prozesstechniken im Bereich Agroforstwirtschaft, Paludikultur und Agri-Photovoltaik.

► New Food Systeme haben das Potenzial, die Nahrungsmittelproduktion zu revolutionieren

Trend-, Markt- und Potenzialstudien über Indoor-Farming, Cultured Meat, Precision Fermentation und Insect Farming weisen auf das Wachstumspotenzial dieser Marktsegmente hin. Die Erschließung der Wachstumspotenziale über Nischenmärkte hinaus setzt nicht nur neue Marktangebote, sondern in vielen Fällen auch eine Veränderung der Nachfrage- und Rahmenbedingungen voraus. New Food-Systeme sind daher auf eine Synchronisierung des angebots- und nachfrageseitigen Wandels angewiesen. Kurzfristig ist damit zu rechnen, dass Innovationen in kleinen oder mittleren Stückzahlen erprobt werden. Durch den Ausbau der Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsförderung entsteht in Kombination mit der Mobilisierung von Investitionskapital ein Resonanzboden, auf dem sich neue Märkte entwickeln. Mittelfristig könnten geschlossene, künstliche Biosysteme heute verbreitete landwirtschaftliche Verfahren ergänzen. Langfristig haben sie das Potenzial die Nahrungsmittelproduktion zu revolutionieren. Sie ermöglichen einen Paradigmenwechsel vom Ackerbau hin zu einer Landwirtschaft ohne Boden. Die agrarwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten würden sich verändern, der Innovationsdruck auf die Landwirtschaft

würde zunehmen, statt Landtechnik wäre Anlagentechnik notwendig. Im Fall von zellulärer Landwirtschaft (Precision Fermentation, Cultured Meat) kann kaum noch von Landwirtschaft gesprochen werden, es handelt sich vielmehr um Biotechnologie in Verbindung mit Lebensmitteltechnologie.

- ▶ Transformation birgt neue Risiken und Zielkonflikte, die für Landtechnikhersteller mittelbar relevant werden

Die Transformation der Agrarwirtschaft geht über bisherigen Strukturwandel hinaus. Sie umfasst insbesondere Landnutzungsänderungen, den Erhalt und die Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit von Ökosystemen und Biodiversität, den Ausbau natürlicher Senken für negative Kohlenstoff-Emissionen zur Erreichung der Klimaneutralität und das flussgebietsübergreifende Wassermanagement. Dies birgt neue Risiken und Zielkonflikte für die Agrarwirtschaft, die für Landtechnikhersteller mittelbar relevant werden. Ausmaß und Geschwindigkeit der Transformation hängen wesentlich von der Gestaltung, Umsetzung und Fortsetzung der angestoßenen politischen Strategien zur Ökologisierung der Agrar- und Ernährungssysteme im Zusammenspiel marktmächtiger ökonomischer Akteure und Innovateure ab, global, auf EU-Ebene und national in Deutschland. Einige der damit verbundenen Risiken und Zielkonflikte umfassen die Komplexität der Zusammenhänge, Marktunsicherheit, Investitionsbedarfe und die Veränderung regulatorischer Anforderungen. Landwirte stehen vor der Herausforderung, sich auf einen Markt einzustellen, der sich durch wandelnde Verbraucherpräferenzen und regulatorische Maßnahmen im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit und Umweltschutz verändert. Der Wandel erfordert außerdem eine Anpassung an neue Bewirtschaftungsformen, die oft spezialisiertere und punktuellere Lösungen erfordern. Dies führt dazu, dass Landwirte vermehrt nach Nischenprodukten und spezialisierten landwirtschaftlichen Technologien suchen, die auf ihre individuellen Bedürfnisse zugeschnitten sind. Da die Anforderungen an die Landwirtschaft zunehmend differenzierter werden, entstehen Märkte für neue Landtechniken, die in kleineren Stückzahlen produziert werden können, um den spezifischen Anforderungen einzelner Betriebe gerecht zu werden („weniger Standardtechnik, hin zu mehr Vielfalt“). Um den Herausforderungen der Transformation zu begegnen, müssen Landwirte und Agrartechnikhersteller verstärkt kooperieren, z. B. bei der Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger Anbaumethoden, der Vermarktung von Produkten oder der Nutzung von Technologien. Durch Kooperationen und Netzwerke können Synergieeffekte entstehen, die es Landwirten und Agrartechnikherstellern ermöglichen, Ressourcen effizienter zu nutzen und Innovationen voranzutreiben.

- ▶ Erhalt von Ökosystemleistungen rückt politisch und gesellschaftlich zunehmend in den Vordergrund

Die Debatten und Entwicklungen zu einer Erhöhung der Wertschätzung von Biodiversität, Ökosystemen und Ökosystemleistungen (ÖSL) erhalten politisch und gesellschaftlich zunehmend Bedeutung. Bislang werden Leistungen der Natur (bspw. Bestäubungsleistungen, CO₂-Bindung im Boden, Erosionsschutz oder Grundwasserneubildung) in der Wirtschaftsberichterstattung nicht abgebildet und bei Entscheidungsprozessen nicht adäquat berücksichtigt. Mit den aktuellen Entwicklungen auf internationaler sowie auf nationaler Ebene zur Messung und Sichtbarmachung

von ÖSL soll sich dies nun ändern. Hier sind vor allem die Montrealer Biodiversitätskonferenz, die EU-Biodiversitätsstrategie 2030 und deren nationale Umsetzung von Bedeutung. Einen wesentlichen Schritt für die staatliche Berichterstattung zum Naturkapital stellt das SEEA-Ecosystem Accounting der UN dar. Außerdem gibt es Entwicklungen, um auch auf der Unternehmensebene die Berichterstattung zu Biodiversität und Ökosystemleistungen zu etablieren. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Corporate Sustainability Directive (CSRD) der EU-Kommission. Dies bietet die Möglichkeit, eine Grundlage zu schaffen, um eine Finanzierung der Gemeinwohlleistungen der Landwirte zu begründen. Folgt man diesem Ansatz, könnten insbesondere die Subventionen für die Landwirtschaft im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) weitaus stärker an die Erbringung von Umwelteleistungen geknüpft werden. Durch eine Inwertsetzung von Ökosystemleistungen könnten sich neue (zusätzliche) Einkommensmöglichkeiten für Landwirte entwickeln, wenn sie ihre Verfahren so umstellen, dass ÖSL erhalten bzw. gefördert werden (der Landwirt als „Ökosystemwirt“). Gleichzeitig bringt es die Herausforderung mit sich, Indikatoren zur Messung der Ökosystemleistungen festzulegen und Daten über deren Entwicklung kontinuierlich zu erheben. Um die Landwirte im Hinblick auf weitere Berichtspflichten zu entlasten, ist die Entwicklung von (digitalen) Tools zur Messung von Ökosystemleistungen und die Entwicklung von Software zur Entscheidungsfindung notwendig. Wirkungen der Landbewirtschaftung messbar zu machen, wird als Entwicklungsstrang im Bereich der digitalen Anwendungen an Bedeutung gewinnen. Dies kann ein wichtiger Treiber für die Landtechnik mit Blick auf die längerfristige Entwicklung werden.

► Zukunftsmärkte für die Landtechnikbranche

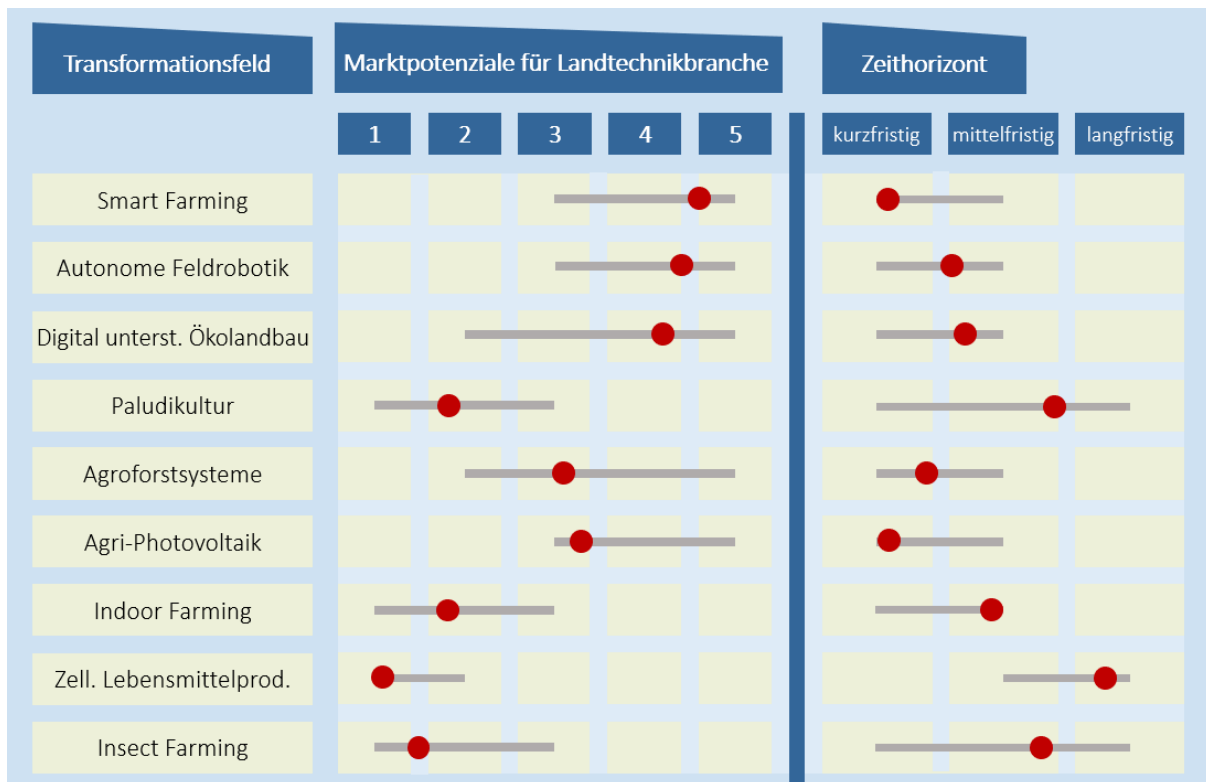
Für neun Transformationsfelder wurde eine Bewertung der Marktpotenziale für die Landtechnikbranche vorgenommen (siehe Abbildung 19).

Den Transformationsfeldern Smart Farming, Autonome Feldrobotik und Digital unterstützter Ökolandbau wird eine hohe Marktrelevanz zugesprochen, die sich bereits kurz- bis mittelfristig manifestiert. Bei diesen Entwicklungen im Zuge der Digitalisierung der Landwirtschaft handelt es sich um den derzeit dominanten Technologiepfad, sie sind Gegenstand der Forschung und ein Innovationsschwerpunkt vieler Hersteller von Agrartechnologien, Dienstleistern und Start-ups. An sie werden hohe Erwartungen zur Steigerung der Öko-Effizienz geknüpft.

Mittlere Marktpotenziale, die aber bereits kurzfristig relevant werden können, werden bei Agroforstsystemen und Agri-Photovoltaik gesehen. Agri-Photovoltaik steht als Technologie erst am Anfang, ihr wird allerdings ein großes Potenzial bescheinigt. In mehreren Ländern (u. a. Japan, China, USA, Frankreich) wurde die Errichtung von Agri-PV-Anlagen stark vorangetrieben. In Deutschland existieren zwar bislang nur wenige Anlagen, aufgrund der politisch gesetzten Ziele der Bundesregierung für den Ausbau erneuerbarer Energien könnte die Technologie einen erheblichen Schub erhalten. Die Agroforstwirtschaft – als klimafreundliche, klimaresiliente und bodenschonende Anbauform – kann einen wesentlichen Beitrag zu einer nachhaltigen Transformation der Landwirtschaft leisten. Paludikultur-Verfahren werden nach Einschätzung der Mitglieder des Begleitkreises erst längerfristig relevant. Das Transformationsfeld weist eine geringe bis mittlere Marktrelevanz für die Landtechnikbranche auf. Derzeit werden Paludikultur-Verfahren nur auf sehr wenigen Flächen realisiert, bei den eingesetzten Landmaschinen handelt es sich um

Prototypen oder Einzellösungen. Sollte eine Wiedervernässung von Mooren in großem Umfang realisiert werden, müssten neue Produktlinien für die Moorpflege und -bewirtschaftung entwickelt werden. Folgende Abbildung zeigt die Marktpotenziale der untersuchten Transformationsfelder für die Landtechnikbranche (1 = sehr gering bis 5 = sehr hoch) und Eintritt der Marktrelevanz (kurzfristig: bis 2030, mittelfristig: 2030 bis 2040, langfristig: ab 2040) nach Einschätzung des Roadmap-Begleitkreises. Die Breite der Balken repräsentiert die Bandbreite der Antworten.

Abbildung 19: Marktpotenziale für die Landtechnikbranche mit Zeithorizont für die Marktrelevanz



Quelle: eigene Darstellung IZT

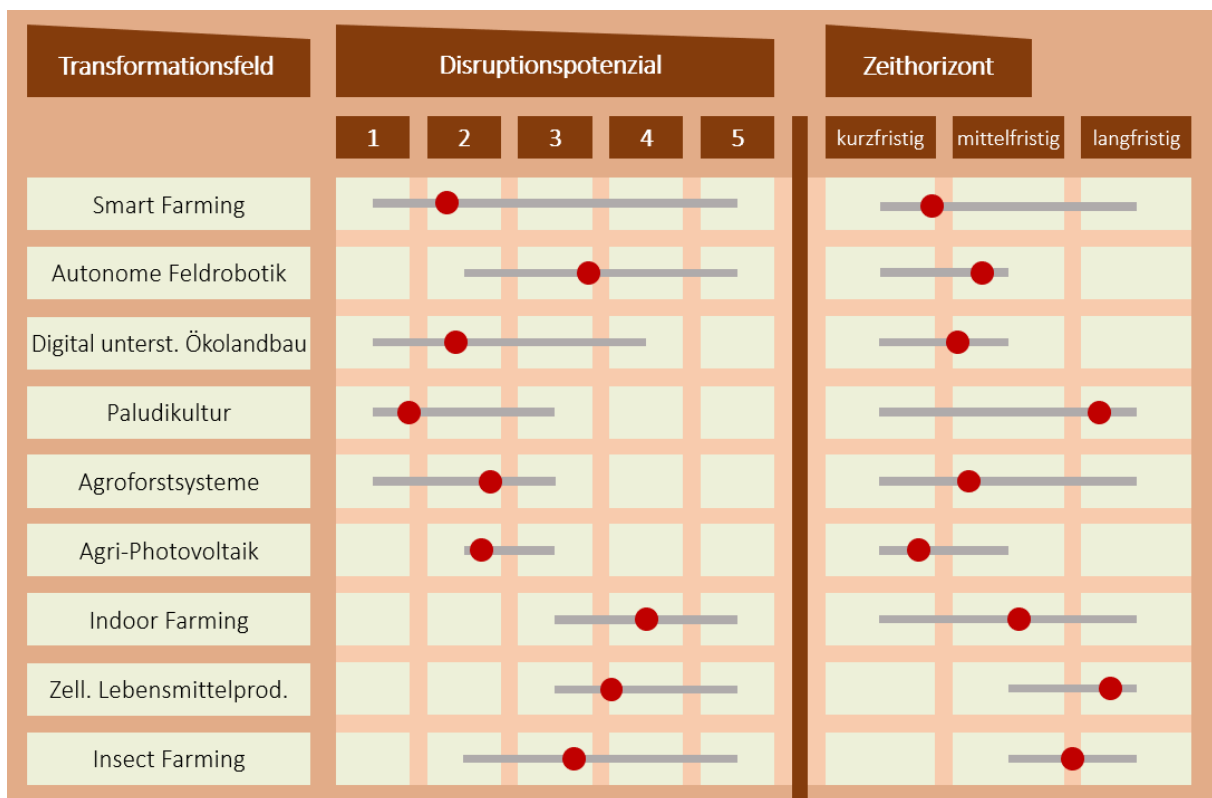
Den Technologiefeldern Indoor-Farming, Zelluläre Lebensmittelproduktion und Insect Farming werden geringe Marktpotenziale für die Landtechnik zugeschrieben. Indoor-Farming wird wahrscheinlich mittelfristig marktrelevant, kurzfristig ist mit einer Nischenentwicklung zu rechnen. Langfristig könnte es zu einer Verschiebung der Nachfrage nach herkömmlicher Agrartechnik kommen, wenn Indoor-Farming stärkere Verbreitung findet. Anstelle herkömmlicher Landmaschinen werden für Indoor Farming Prozess- und Anlagentechnik benötigt. Im Bereich der zellulären Landwirtschaft ist eine Vielzahl an Investitionen und Forschungsaktivitäten zu verzeichnen, allerdings gehen die Teilnehmer des Begleitkreises davon aus, dass die Technologie erst langfristig relevant wird. Da es sich um ein biotechnologisches Produktionsverfahren in geschlossenen Systemen handelt, werden keine Marktchancen für die Landtechnikbranche gesehen. Insect Farming bewegt sich derzeit in einer Nische. Es wird angenommen, dass dieser Bereich erst mittel- bis langfristig marktrelevant wird. Beim Insect Farming werden spezifische Technologien und Geräte benötigt, die sich erheblich von herkömmlichen Landmaschinen und Geräten unterscheiden. Auch in diesem Bereich werden nur geringe Marktpotenziale für die Landtechnikbranche gesehen.

► Wie hoch ist das Disruptionspotenzial?

Für die betrachteten neun Transformationsfelder wurde außerdem eine Einschätzung der Disruptionspotenziale vorgenommen (siehe Abbildung 20).

Die größten Disruptionspotenziale werden im Bereich Autonome Feldrobotik gesehen sowie bei den New Food Systems: Indoor-Farming, zelluläre Lebensmittelproduktion und Insect Farming. Bei Autonomer Feldrobotik könnten Disruptionen auftreten, da diese Technologie einen Paradigmenwechsel von großen, schweren Landmaschinen hin zu kleineren, autonom agierenden Robotern bis hin zu Roboterschwärmen mit sich bringen könnte. Ein solcher Wechsel könnte eine Neugestaltung der gesamten Wertschöpfungskette nach sich ziehen. In diesem Innovationsfeld treten neben den Landtechnikherstellern neue Akteure, insbesondere Start-ups auf. Indoor Farming könnte (neben den derzeitigen Einsatzgebieten im Kräuter- und Gemüsebau) zukünftig auch für den Anbau von Feldfrüchten, z. B. Weizen, zum Einsatz kommen. Voraussetzung wäre, dass Sorten gezüchtet werden, die an die Bedingungen des Indoor-Farming angepasst sind und dass der Energieverbrauch erheblich gesenkt wird. Tritt dieser Fall ein, so könnte dies zu einem Rückgang der Nachfrage nach herkömmlicher Agrartechnik führen. Auch die zelluläre Lebensmittelproduktion und Insect Farming könnten erhebliche Auswirkungen auf die Landtechnikbranche haben. Wenn sich diese Verfahren durchsetzen, ist mit einer Veränderung der Flächennutzung zu rechnen. Insbesondere die herkömmliche Tierhaltung könnte zurückgehen. Größere Auswirkungen durch New Food Systems werden allerdings erst in einem mittleren bis langfristigen Zeithorizont erwartet. Die folgende Abbildung zeigt das Disruptionspotenzial der untersuchten Transformationsfelder für die Landtechnikbranche (1 = sehr gering bis 5 = sehr hoch) und den Zeithorizont (kurzfristig: bis 2030, mittelfristig: 2030 bis 2040, langfristig: ab 2040) nach Einschätzung des Roadmap-Begleitkreises. Die Breite der Balken repräsentiert die Bandbreite der Antworten.

Abbildung 20: Disruptionspotenzial für die Landtechnikbranche mit Zeithorizont



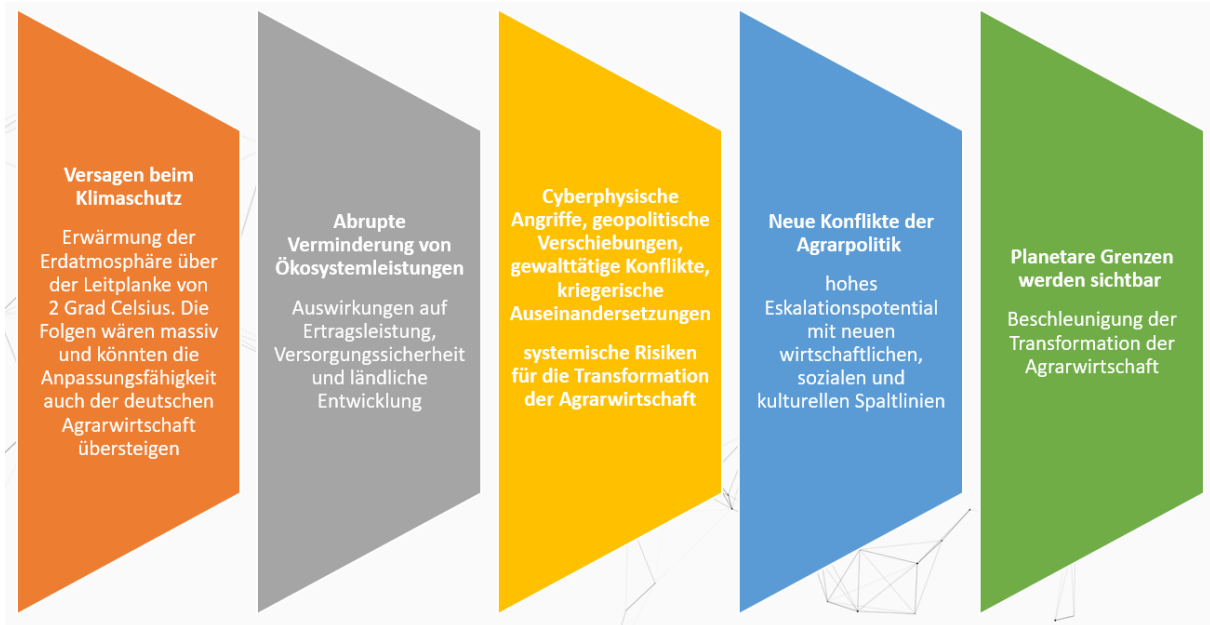
Quelle: eigene Darstellung IZT

► Wildcards: Jederzeit sind Überraschungen möglich

Jederzeit sind auch Überraschungen möglich, die die sich abzeichnenden Zukunftsentwicklungen und Dynamiken der Transformation der Agrarwirtschaft deutlich überlagern, bremsen oder beschleunigen können. Solche Überraschungen werden in der Zukunftsforschung als Wildcards bezeichnet. Das können kritische Ereignisse, Krisen oder rückgekoppelte Entwicklungen mit gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Kippunkten sein. Eine der gravierendsten Wildcards für die Agrarwirtschaft stellt ein politisches „Versagen beim Klimaschutz“ dar. Die Folgen einer Erwärmung der Erdatmosphäre über der Leitplanke von 2 Grad Celsius wären massiv und könnten die Anpassungsfähigkeit auch der deutschen Agrarwirtschaft partiell übersteigen. Die „abrupte Verminderung von Ökosystemleistungen“, die für die Agrarwirtschaft essentiell sind, ist eine weitere Wildcard, die sich auf Ertragsleistungen, Versorgungssicherheit und ländliche Entwicklung auswirkt. „Cyberphysische Angriffe“ und „geopolitische Verschiebungen“, „gewalttätige Konflikte“ und „kriegerische Auseinandersetzungen“ wurden als weitere Wildcards identifiziert, die systemische Risiken für die Transformation der Agrarwirtschaft mit sich bringen. Auch neue Konflikte der Agrarpolitik haben das Potenzial für eine Wildcard. Die Auseinandersetzung über die Transformation entfaltet ein hohes Eskalationspotenzial, wie es bei Bauernprotesten bereits zum Ausdruck kam. Sie könnte sich zukünftig zu einer neuen wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Spaltlinie entwickeln. Selbst bereits beschlossene Maßnahmen (des Green Deals etc.) werden aufgegeben oder relativiert. Aber auch die umgekehrte Dynamik ist möglich - eine Beschleunigung der Transformation der Agrarwirtschaft, weil negative Auswirkungen der Überschreitungen planetarer Grenzen zunehmend sichtbar werden und sich so der politische Druck,

darauf zu reagieren, erhöht. Für die Agrartechnikbranche bedeutet dies, solche Wildcards in Blick zu nehmen mit der Aufgabe, Fähigkeiten und Strukturen zur Resilienz der Agrarwirtschaft zu fördern, die es ermöglichen, sich auf plötzliche Veränderungen, Entwicklungen und Kaskadeneffekte vorzubereiten, diese zu bewältigen und betroffene Systeme anzupassen und zu verbessern.

Abbildung 21: Wildcards der Agrarwirtschaft



Quelle: eigene Darstellung IZT

Die Hauptaufgaben liegen darin, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft, Agrartechnikhersteller und Landwirtschaft deutlich zu verstärken. Es bedarf des besseren Innovationstransfers, der Verankerung eines ausgeprägten Entrepreneurship-Bewusstseins bei Studierenden, des Ausbaus der Weiterbildung für Landwirte mit Demonstratoren und Wirtschaftlichkeitsanalysen sowie der Weiterentwicklung der inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit. Aus Sicht der am Roadmap-Prozess teilnehmenden Akteure sind dazu neue leistungsfähige Formate der Ressourcen- und Wissensintegration in frühen Innovationsphasen in Form eines Foresight Labs notwendig. Ein solches Foresight Lab sollte vier Funktionen leisten:

1. Vorausschau politischer, rechtlicher, ökonomischer, gesellschaftlicher, technologischer Entwicklungen mit Blick auf Zukunftsthemen und Themen mit hohem Innovations- und/oder Disruptionspotenzial für die Landtechnikbranche.
2. Einbindung unterschiedlicher Wissenschaftsdisziplinen (Sozial-, Wirtschafts-, Technik-, Rechtswissenschaften usw.) und Akteursperspektiven (Finanzierung, Wirtschaftsförderung, Behörden usw.).
3. Entwicklung relevanter Zukunftsperspektiven durch Vernetzung mit Vordenkern, Visionären, Kreativdenkern, Innovateuren, Early adopters und Praxisakteuren aus verschiedenen Innovationsfeldern.
4. Identifizierung und Nutzung von Verwertungsmöglichkeiten, Anwendungsfällen und Geschäftsmodellen durch den Fokus auf attraktive Technologie- und Marktkombinationen. Dies gilt speziell für die Gründung und Unterstützung von Start-ups.

Ein Foresight Lab dieser Art bietet eine übergreifende Plattform für Akteure im Innovationsökosystem, frühzeitig Innovationschancen und Risiken der Transformation der Agrarwirtschaft zu erkennen, einzuordnen und für die Entwicklung von Zukunftsmärkten zu nutzen.

5 Anhang: Beteiligte am Roadmap-Prozess

▶ Workshop-Reihe

Auftakt-Workshop mit dem Begleitkreis (18.01.2023)

Workshop 1 - Treiber, Diskurse und Transformationsszenarien (28.06.2023)

Workshop 2 - Transformationsszenario "Ökoeffizienter Pflanzenbau" (12.10.2023)

Workshop 3 - Transformationsszenario "Neue Bewirtschaftungsformen" (08.11.2023)

Workshop 4 - Transformationsszenarien "Künstliche Biowelten und Strukturwandel" (17.01.2024)

Auswertungs-Workshop mit dem Begleitkreis (06.03.2024)

▶ Begleitkreis und Workshop-Reihe

Name	Institution	Position
Karsten Baldsiefen	GROUP SCHUMACHER	Leitung Produkttechnik
Dr. Siegfried Behrendt	IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH	Forschungsleiter Ressourcen, Wirtschaften und Resilienz
Dirk Bock	Agrotech Valley Forum e.V.	Marketing- und Event-Manager
Nicole Bramlage	Landkreis Vechta	Leiterin Stabsstelle Wirtschaftsförderung Mobilität und Tourismus
Johannes Bühlmeyer	Ring der Landjugend in Westfalen-Lippe	Vorsitzender
Jannik Dittmer	Landwirtschaftliche Rentenbank	Referent Innovation & Strategie
Josef Elfrich	Biohof Elfrich	Landwirt
Robert Everwand	Agrotech Valley Forum e.V.	Geschäftsführer
Prof. Dr. Martin Franz	Universität Osnabrück	Professor für Humangeographie mit Schwerpunkt Wirtschaftsgeographie
Kathrin Gegner	IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH	Wissenschaftliche Mitarbeiterin Forschungsfeld Ressourcen, Wirtschaften und Resilienz
Christiane Grimm	Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)	Referat Landnutzung und Digitalisierung
Sebastian Henrichmann	AGRAVIS Technik Holding GmbH	Smart Farming und Digitalisierung
Christine Henseling	IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH	Senior Researcher Forschungsfeld Ressourcen, Wirtschaften und Resilienz
Prof. Dr. Joachim Hertzberg	Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI); Universität Osnabrück	Geschäftsführender Direktor DFKI Niedersachsen & Leiter des Forschungsbereichs Planbasierte Robotersteuerung; Professur für Informatik mit dem Schwerpunkt Wissensbasierte Systeme
Janna Hilker	Next2Sun Technology GmbH	Projektentwicklung

Name	Institution	Position
Dr. Tobias Jorissen	Hochschule Osnabrück	Wiss. Mitarbeiter Fakultät für Agrarwissenschaft und Landschaftsarchitektur
Jan Jütten	GROUP SCHUMACHER	Produkttechnik, Entwicklung
Stefan Kiefer	AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG	Produktmanagement, Leitung Pflanzenbauinnovation
Timo Klemann	AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG	Produktlinienverantwortlicher, Produktlinie Pflanzenschutztechnik
Jana Korrmann	AGRAVIS Raiffeisen AG	Consultant Strategie und Innovation
Dr. Michael Kreyenhagen	Maschinenfabrik Bernard Krone GmbH & Co. KG	Bereichsleiter Vorentwicklung
Christoph Kühn	AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG	Produktlinienverantwortlicher, Produktlinie Düngetechnik
Dr. Martin Leinker	CLAAS KGaA MbH	Produktstrategie und Hochschulteam
Bastian Luttermann	AGRAVIS Raiffeisen AG	Business Development Manager
Alexander Märdian	Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e. V. (DIL)	Leiter DIL Innovation Hub
Dr. Jutta Middendorf-Bergmann	Ludwig Bergmann GmbH Landmaschinen- und Fahrzeugbau	Geschäftsführerin
Peter Molitor	Sparkasse Osnabrück	Fachberater Agrarkunden
Dr. Henning Müller	Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) Agrotech Valley Forum e.V.	Senior Researcher 1. Vorsitzender Agrotech Valley Forum e.V.
Dr. Stefanie Retz	Verbund Transformationsforschung Agrar Niedersachsen (trafo:agrar) Universität Vechta	Stellvertretende Leitung, Projektmanagement, Projektentwicklung Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Tobias Reuter	Hochschule Osnabrück	Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur
Lothar Riesenbeck	Maschinenfabrik Bernard Krone GmbH & Co. KG	Leiter Produktmanagement
Prof. Dr. Arno Ruckelshausen	Hochschule Osnabrück	Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik, Professor im Ruhestand
Dr. Dorothee Schulze Schwering	Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen	Innovationsmanagerin
Thomas Serries	WIGOS Wirtschaftsförderungsgesellschaft Osnabrücker Land mbH	Leitung UnternehmensService
Dr. Thilo Steckel	CLAAS KGaA MbH	Research Management and External Relations
Marc Steinberg	CLAAS KGaA MbH	Unternehmensstrategie

Name	Institution	Position
Norbert Steinhaus	Verbund Transformationsforschung Agrar Niedersachsen (trafo:agrar)	Projektentwicklung
Florian Stöhr	Seedhouse Accelerator GmbH	Geschäftsführer
Prof. Dr. Dieter Trautz	Hochschule Osnabrück	Professor für Agrarökologie und umweltschonende Landwirtschaft
Dr. Michaela van Eickelen	Agrotech Valley Forum e.V.	Projektkoordinatorin Experimentierfeld Agro-Nordwest
Burkhard Voss	Eickenbecks Hofgenuss	Landwirt
Prof. Dr. Benjamin Weinert	Hochschule Osnabrück MKT – Campus Lingen	Professor für Wirtschaftsinformatik
Dr. Susanne Wiese-Willmaring	Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)	Abt. Umweltforschung, Referat Lebensmittel
Ingo Zapp	Forsthof Artland GmbH	Geschäftsführender Gesellschafter
Roland Zieschank	IZT- Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH	Projektleiter

► Impulsgeber

Name	Institution	Position
Prof. Dr. Senthoid Asseng	Technische Universität München	Professor für Digital Agriculture, Direktor des Hans-Eisenmann-Forums für Agrarwissenschaften an der TUM
Dr. Josef Efken	Thünen-Institut für Marktanalyse	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Prof. Dr. Markus Frank	Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen	Professor für Pflanzengesundheitsmanagement
Dr. Barbara Grabkowsky	Verbund Transformationsforschung agrar Niedersachsen (trafo:agrar); Universität Vechta	Leitung des Verbunds Transformationsforschung agrar Niedersachsen (trafo:agrar)
Prof. Dr. Thomas Herlitzius	Technische Universität Dresden	Professor für Agrarsystemtechnik; Direktor des Instituts für Naturstofftechnik
Mareike Jäger	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften	Dozentin für Ökologischen Landbau
Dr. Julia Köhn	DeepSoil StudierendenGesellschaft Witten/Herdecke e.V.	Gründerin Member of the Board of Advisors
Tsvetelina Krachunova	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.	Arbeitsgruppe: Bereitstellung von Ökosystemleistungen in Agrarsystemen

Name	Institution	Position
Wolfram Kudlich	Deutscher Fachverband für Agrofornstwirtschaft WALD21 GmbH	Fachbereichsleitung Bewirtschaftung und Technik Geschäftsführender Gesellschafter und Pappelbauer
Carl Pump	Universität Greifswald Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE	Wiss. Mitarbeiter am Lehrstuhl für Allgemeine Volkswirtschaftslehre und Landschaftsökonomie Externer Gastwissenschaftler
Dr. Thilo Steckel	CLAAS KGaA MbH	Research Management and External Relations
Prof. Dr. Dieter Trautz	Hochschule Osnabrück	Professor für Agrarökologie und umweltschonende Landbewirtschaftung
Dr. Wendelin Wichtmann	Greifswald Moor Centrum Universität Greifswald	Projektkoordination Wiss. Mitarbeiter am Institut für Botanik und Landschaftsökologie
Florentine Zieglowski	RESPECTfarms	Co-Founder RESPECTfarms Gründungsmitglied DLG-Ausschuss New Feed & Food

6 Literaturverzeichnis

Asseng, S. (2024): Inhouse-Farming im industriellen Maßstab. Vortrag beim Transformationsworkshop "Künstliche Biowelten und Strukturwandel – Verringerung der Erzeugung und des Konsums tierischer Lebensmittel" am 17. Januar 2024 in Osnabrück

BfN (Hrsg.) (2023): Neue Sicht auf die Werte der Natur. Ökosystemleistungen und Biodiversität in der nationalen Wirtschaftsberichterstattung. Bundesamt für Naturschutz. Online verfügbar unter: www.bfn.de/publikationen/policy-brief/neue-sicht-auf-die-werte-der-natur

BEL (2023): Bio-Strategie 2030 – Nationale Strategie für 30 Prozent ökologische Land- und Lebensmittelwirtschaft bis 2030. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/oekologischer-landbau/bio-strategie-2030.html>

Bock, A.K.; Krzysztofowicz, M.; Rudkin, J. and Winthagen, V. (2020): Farmers of the Future. EUR 30464 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-26332-6, doi:10.2760/680650, JRC122308

Böhm, C.; Warth, P.; Hübner, R.; Eckert, W. Z.; Würdig, K.; Ehrhrit, J. et al. (2019): Roadmap Agroforstwirtschaft. Bäume als Bereicherung für landwirtschaftliche Flächen in Deutschland. Hg. v. G. Nawroth, P. Warth und C. Böhm. Stuttgart. Online verfügbar unter https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2020/03/2020_Roadmap_Agroforst.pdf

EFI (Expertenkommission Forschung und Innovation) (2024): Gutachten 2024. Online verfügbar unter https://www.e-fi.de/fileadmin/Assets/Gutachten/2024/EFI_Gutachten_2024_24124.pdf, zuletzt geprüft am 13.05.2024.

Feuerbacher, A.; Herrmann, T.; Neuenfeldt, S.; Laub, M.; Gocht, A. (2022): Estimating the economics and adoption potential of agrivoltaics in Germany using a farm-level bottom-up approach. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 168. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112784

Fichter, Klaus (2005): Interpreneurship. Nachhaltigkeitsinnovationen in interaktiven Perspektiven eines vernetzenden Unternehmertums. Marburg: Metropolis-Verl. (Theorie der Unternehmung, 33).

Fink, A.; Grabkowsky, B.; Hortmann-Scholten, A.; Lagemann, A.; Ohse, S.; Wedemeier, J.; Wolf, A. (2022): Transformationsszenarien der Agrar- und Ernährungswirtschaft in Nord-West-Niedersachsen (TRAIN). HWWI Policy Paper, No. 136. Hg. v. Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut (HWWI). Online verfügbar unter <https://www.economtor.eu/bitstream/10419/261491/1/1810727235.pdf>, zuletzt geprüft am 12.06.2023.

FAO (Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen) (2017): The future of food and agriculture, Trends and challenges. Online verfügbar unter <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>, zuletzt geprüft am 13.05.2024.

Fraunhofer ISE (2022): Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfaden für Deutschland. 2. Aufl. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme. Online verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/agri-photovoltaik-chance-fuer-landwirtschaft-und-energiewende.html>, zuletzt geprüft am 15.06.2023

Göpel, M. (2023): Wir können auch anders. Aufbruch in die Welt von morgen. Unter Mitarbeit von M. Jauer. Sonderausgabe für die Bundeszentrale für Politische Bildung. Bonn: Bundeszentrale für Politische Bildung (Schriftenreihe / Bundeszentrale für Politische Bildung, Band 10960). Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/shop/buecher/schriftenreihe/519957/wir-koennen-auch-anders/>, zuletzt geprüft am 23.08.2023.

Grethe, H.; Martinez, J.; Osterburg, B.; Taube, F.; Thom, F. (2021): Klimaschutz im Agrar- und Ernährungssystem Deutschlands: Die drei zentralen Handlungsfelder auf dem Weg zur Klimaneutralität. Online verfügbar unter https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/06/2021-06-01-Klimaneutralitaet_Landwirtschaft.pdf, zuletzt geprüft am 01.03.2023

Haller, L.; Moakes, S.; Niggli, U.; Riedel, J.; Stolze, M.; Thompson, M. (2020): Entwicklungsperspektiven der ökologischen Landwirtschaft in Deutschland. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklungsperspektiven-der-oekologischen>, zuletzt geprüft am 22.02.2024

Hemmelskamp, Jens (1999): Umweltpolitik und technischer Fortschritt. Eine theoretische und empirische Untersuchung der Determinanten von Umweltinnovationen. Heidelberg: Physica-Verlag (Umwelt- und Ressourcenökonomie).

Huber, J. (2002): Umweltsoziologie. In: G. Endruweit und G. Trommsdorff (Hg.): Wörterbuch der Soziologie. Stuttgart: Lucius u. Lucius, S. 641–645. Online verfügbar unter <https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/12158/ssoar-2002-huber-umweltsoziologie.pdf>.

Jäger, M.; Vaccaro, C.; Boos, J.; Junghardt, J.; Strebel, S.; Anderegg, D. et al. (2022): Machbarkeitsstudie Agri-Photovoltaik in der Schweizer Landwirtschaft. Hg. v. Wädenswil : ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Online verfügbar unter <https://digitalcollection.zhaw.ch/handle/11475/25624>, zuletzt geprüft am 06.09.2023

Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S. (2021): Digitalisierung der Landwirtschaft: gesellschaftliche Voraussetzungen, Rahmenbedingungen und Effekte. Teil II des Endberichts zum TA-Projekt. TAB-Arbeitsbericht Nr. 194. Hg. v. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Berlin. Online verfügbar unter https://www.tab-beim-bundestag.de/projekte_digitalisierung-der-landwirtschaft.php#block3082, zuletzt geprüft am 28.02.2024.

Kudlich, W. (2023): Agroforstsysteme schaffen Mehrwert: Verschiedene Funktionen auf einer Fläche. Vortrag beim Transformationsworkshop „Neue Bewirtschaftungsformen“ am 8. November 2023 in Osnabrück

Mehring, M.; Bi, N.; Brietzke, A.; Götz, K.; Gross, V.; Mosbrugger, V.; Sprenger, P.; Stein, M.; Stieß, I.; Sunderer, G.; Taffner, J. (2023): Zielvorstellung Biodiversität – Biodiversitätsbewusstsein in der Land- und Forstwirtschaft. Konzeptentwicklung und Ergebnisse einer standardisierten Befragung in Deutschland. ISOE-Materialien Soziale Ökologie 72. Frankfurt am Main.

Nordt, A.; Abel, S.; Hirschelmann, S.; Lechtape, C.; Neubert, J. (2022): Leitfaden für die Umsetzung von Paludikultur. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 05/ 2022. Online verfügbar unter https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2022-05_Nordt%20et%20al_Paludikultur%20Leitfaden.pdf

Respect Farms (2024): RESPECTfarms, the world's first cultivated meat farm, <https://www.respectfarms.com>

Thünen (2023): Regionalwirtschaftliche Auswirkungen einer Reduzierung der Tierhaltung in Konzentrationsgebieten. Abschlussbericht zum Projekt ReTiKo. Thünen Report 110. Thünen-Institut. Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn066379.pdf, zu-letzt geprüft am 03.08.2023.

Tsonkova, P.; Böhm, C. (2020): CO₂-Bindung durch Agroforst-Gehölze als Beitrag zum Klimaschutz. Loseblatt Nr. 6. Online verfügbar unter: https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/02/06_CO2-Bindung.pdf

VDI (Verein Deutscher Ingenieure e.V.) (2022): Agriculture Technology 2030. Strategische Forschungsagenda Teil 1: Nachhaltige Pflanzenproduktion. VDI Roadmap. Online verfügbar unter: <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/agriculture-technology-2030-nachhaltige-pflanzenproduktion-teil-1>, zuletzt geprüft am 22.02.2024

Walter, A.; Finger, R.; Huber, R.; Buchmann, N. (2017): Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 114 (24), S. 6148–6150. DOI: 10.1073/pnas.1707462114.

Walther, S.; Hampe, M. (2021): Ökologische und ökonomische Potenziale digitaler Technologien im Unkrautmanagement. In: KTBL (Hg.): Boden gut machen – neue Ackerbausysteme. KTBL-Tagung am 16. und 17. März 2021, online. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) | Darmstadt, S. 214–215, zuletzt geprüft am 19.12.2022.

WBGU (2011): Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine große Transformation. 2., veränd. Aufl. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/welt-im-wandel-gesellschaftsvertrag-fuer-eine-grosse-transformation>, zuletzt geprüft am 23.08.2023.

ZKL (2021): Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft. Abschlussbericht. Zukunftskommission Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/download/abschlussbericht-der-zukunftskommission-landwirtschaft>, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

