

Agriculture Technology 2030

Strategische Forschungsagenda Teil 1: Nachhaltige Pflanzenproduktion

VDI-Roadmap
Februar 2022



Zusammenfassung

Die in dieser Roadmap vorgestellten Trends und Forschungsthemen basieren zunächst auf der Bewertung der allgemeinen Trends in der Landwirtschaft. Agrartechnische Entwicklungen müssen immer eine nachhaltige Landwirtschaft im Blick haben. Diese soll die drei Säulen der Nachhaltigkeit Ökologie, Ökonomie und soziale Aspekte fördern und zu einem gesellschaftlich akzeptierten Gleichgewicht im Spannungsfeld zwischen diesen Säulen beitragen.

Als Ergebnis der Aktivitäten der ManuFUTURE European Technology Sub-Plattform „Agricultural Engineering and Technologies“ (AET) und dem VDI-Fachbeirat Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik wurde die VDI-Roadmap als Strategische Forschungsagenda für „Agrartechnik im Pflanzenbau“ erarbeitet und zwischen den Partnern abgestimmt.

Ein zentrales Ziel der Landtechnik ist die Entwicklung und Bereitstellung von Maschinen und Maschinensystemen, die Versorgungssicherheit, minimierten Ressourceneinsatz und Gesamtwirtschaftlichkeit ermöglichen und einen optimalen Bewirtschaftungsprozess nachhaltig unterstützen. Eine anlagenspezifische, hochpräzise Prozessführung bei minimalem Einsatz von Ressourcen (z. B. Pflanzenschutzmittel, Kraftstoffverbrauch und Flächenverbrauch) ist das angestrebte Ziel. Natürlich müssen die Maschinen die Anforderungen des Produktionsprozesses des jeweiligen landwirtschaftlichen Betriebs erfüllen.

Die Roadmap zeigt die Trends für die Dekade nach 2020 in der Landtechnik auf und leitet konkrete Prognosen für die Technologieentwicklung ab. Das größte Potenzial liegt nach Einschätzung der Fachleute in der Verbesserung des Prozessmanagements, der Einführung digitaler Technologien und der Nutzung erneuerbarer Energien in allen Bereichen der Landwirtschaft und des ländlichen Raums.

Aus der Analyse der Trends in der Technologieentwicklung im Agrarsektor werden konkrete Forschungsfelder für die Technologie in der Pflanzenproduktion abgeleitet.

Eine ökologisch orientierte und ökonomisch starke Landwirtschaft ist in Zukunft mehr denn je auf hochmoderne Technik angewiesen. Folgende agrartechnische Forschungsfelder wurden für eine nachhaltige Pflanzenproduktion herausgearbeitet:

■ Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit, verstanden als gleichermaßen ökonomisches, ökologisches und sozial verträgliches Wirtschaften, erfordert den Einsatz leis-

tungsfähiger Maschinen in intelligenten Produktionssystemen. Ein wesentliches Ziel ist dabei die Senkung der Treibhausgasemissionen. Forschungsschwerpunkte sind:

- Steigerung der Maschineneffizienz
- Verbesserung der technischen Prozessführung
- Managementsysteme zur Optimierung der Mensch-Maschine-Interaktion
- Einsatz erneuerbarer Energie

■ Autonomisierung

Forschung an zunehmend autonom arbeitenden Maschinensystemen und Produktionsketten. Die mobilen Maschinen werden in Schwärmen das Feld bearbeiten, wobei die einzelne Maschine leistungs-, verbrauchs- und gewichtsoptimiert ausgelegt ist und damit einen erheblichen Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen leistet.

■ Zuverlässigkeit

Die Entwicklung von ausfallsicheren Produktionseinheiten oder von Störungsmanagementsystemen ist essentiell für weitere Fortschritte in der Agrartechnik. Die Forschung an Methoden und Modellen zur intelligente Zustandsbeurteilung von technischen Systemen sowie für eine vorausschauende Instandhaltung ist voranzutreiben.

■ Elektrifizierung/Sektorkopplung

Die Forschung zur Elektrifizierung von Landmaschinen bzw. zur Elektromobilität in der Landwirtschaft ist zu intensivieren. Die Elektrifizierung erweitert das Nutzungspotenzial selbsterzeugter erneuerbarer Energie in kurzen, dezentralen und hocheffizienten Kreisläufen. Die Sektorkopplung bei der Energieerzeugung im ländlichen Raum ermöglicht eine dezentrale Energieversorgung.

■ Internet der Dinge

Methodisch betrachtet ist die Landwirtschaft ein produzierender Wirtschaftssektor wie die Industrie. Die Methoden und Prinzipien von „Industrie 4.0“ sind unter Berücksichtigung der Spezifika im Pflanzenbau für die landwirtschaftlichen Betriebe zu adaptieren.

■ **Automatisierung/Sensorik**

Die Forschung zur Digitalisierung ist im Zusammenhang mit der Entwicklung angepasster Sensoren weiter voran zu treiben. Prozessebenen

werden zukünftig vollständig in die Cloud verlagert, so werden sich aus heute schon bekannten Farm-Management-Informationssystemen (FMIS) zukünftig Farm-Management-Systeme (FMS) entwickeln.

Vorwort

Im Jahr 2006 formulierten die Agraringenieure in Europa erstmals eine gemeinsame Vision für die Aufgaben und die Gestaltung der Technik für die Landwirtschaft. Ingenieure und Landwirtschaftswissenschaftler analysierten dafür globale Trends. Aus diesen leiteten sie konkrete Anforderungen für den zukünftigen Technikeinsatz in der Landwirtschaft ab. Die sektorale Subplattform „Agricultural Engineering and Technologies“ (AET) wurde als Initiative von Landtechnikherstellern und Wissenschaftlern in der Europäischen Technologieplattform „ManuFUTURE“ (ETP ManuFUTURE) gegründet. Der VDI ist aktives Mitglied und Unterstützer der AET-Initiative.

Die Aktivitäten von AET führten zu mehreren Forschungsclustern, die der EU-Kommission als Grundlage für Ausschreibungen vorgelegt wurden. Sie fanden letztlich Eingang in die Ausschreibungen der Forschungsrahmenprogramme „FP7“ und „Horizon 2020“. Dabei wurden vor allem Themen ausgewählt, die sich in die Forschungsstrategie der EU integrieren ließen. Im Bereich der Landtechnik waren dies Themen wie Automatisierung, Robotisierung, Precision Farming und Informations- und Kommunikationstechnologien. Aber auch Projekte für eine nachhaltige Landwirtschaft, sicherer Arbeitsplätze als zukünftige AgHMIs (Mensch-Maschine-Schnittstelle in der Landwirtschaft) wurden EU-weit ausgeschrieben. Vorschläge für Forschungsvorhaben zu einer nachhaltigen Tierproduktion sowie die Themen „Bioenergie“ und „nachwachsende Rohstoffe“ fanden in den EU-Ausschreibungen weniger Anklang. Als zukünftige Aufgabe von AET lässt sich daher ableiten, dass die Strategien der EU-Kommission und die Zukunftsvisionen der Landtechnikbranche besser in Einklang

gebracht werden müssen. Unsere VDI-Roadmap-Teil 1 zur „Nachhaltigen Pflanzenproduktion“ will dazu ihren Beitrag leisten. In einem Teil 2 „Technik für eine zukunftsfähige Tierhaltung“ sollen die Forschungsanforderungen, die sich in der Tierhaltung ergeben, geschärft und fachlich fundiert dargestellt werden.

Teil 1 der VDI-Roadmap wurde von der AET in enger Zusammenarbeit und mit Zustimmung des VDI-Fachbeirats der Max-Eyth-Gesellschaft „Agrartechnik“ erarbeitet.

Den Trends und Forschungsthemen ist ein allgemeiner Blick auf die Entwicklung in der Landwirtschaft vorangestellt. Agrartechnische Entwicklungen müssen immer eine nachhaltige Landwirtschaft im Blick haben. Diese soll die drei Säulen der Nachhaltigkeit Ökologie, Ökonomie und soziale Aspekte fördern und zu einem gesellschaftlich akzeptierten Gleichgewicht im Spannungsfeld zwischen den Säulen beitragen. Neue Technikrends, insbesondere unter dem Einfluss der Digitalisierung, müssen aber immer den Menschen im Fokus haben. Vor allem bei der Einführung neuer Assistenzsysteme und Kommunikationstechnologien müssen die Nutzer der Technik, die Betriebe und Anwender, in die Entwicklungen einbezogen werden. Im Ergebnis müssen Techniken und Verfahren entstehen, die eine effiziente Produktion von Nahrungsmitteln ermöglichen, die Umwelt entlasten und den Menschen landwirtschaftlich und unternehmerisch bei seinen Entscheidungen im Produktionsprozess und in der Betriebsführung unterstützen.

Düsseldorf im Februar 2022



Prof. Dr.-Ing. Peter Pickel
Sprecher der ManuFUTURE Sub-Plattform
Agricultural Engineering and Technologies (AET)



Dr. Markus Demmel
Vorsitzender VDI-Fachbereich
Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik

Verantwortliche für die Veröffentlichung:

VDI-Fachbeirat Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik

Die Publikation wurde unterstützt durch:

Manu*FUTURE* Sub-Plattform Agricultural Engineering and Technologies (AET)

Die Erstellung dieses Dokuments wurde hauptsächlich vorbereitet, durchgeführt und koordiniert von:
Jens Fehrmann, TU Dresden, Generalsekretär der AET
Tel.: +49(0) 351 46 33 27 84
E-Mail: jens.fehrmann@tu-dresden.de

Inhalt

Zusammenfassung	1
Vorwort	3
1 Landwirtschaftliche Hintergründe	6
2 Nachhaltigkeit	8
2.1 Einführung	8
2.2 Energiesysteme (Sektorkopplung) und Elektrifizierung	8
2.3 Erntetechnologien	10
2.4 Reststoffmanagement	11
2.5 Gartenbau	12
2.6 Mehrfachnutzung von Ackerland	12
3 Automatisierung und Sensoren	14
3.1 Einführung	14
3.2 Precision/Smart Farming	14
3.3 Internetverbindung	14
3.4 Roboter, Automatisierung, Schwärme	15
3.5 Bildgebung, Sensoren, Zustandsüberwachung	15
3.6 Farm-Management-Systeme: Digitalisierung, Big Data, Decision Support Systems (DSS)	16
3.7 Veränderte Maschinenkonzepte	16
3.8 Zuverlässigkeit	18
4 Digitalisierung des Agrar- und Lebensmittelsektors	19
4.1 Einführung	19
4.2 Nachverfolgung vom Feld bis zum Verbraucher	19
4.3 Optimierung von Betriebsabläufen	19
4.4 Neue Geschäftsmodelle	20
4.5 Datenmanagement	20
4.6 Umweltgerechte und nachhaltige Produktion	21
4.7 Mensch-Maschine-Schnittstellen auf Landmaschinen	21
5 Forschungsschwerpunkte	22
5.1 Digitale Transformation	22
5.2 Automation/Roboter/Autonomie	24
5.3 Neue Maschinenkonzepte	25
5.4 Betriebskonzepte für landwirtschaftliche Produktion und die Energieerzeugung	25
5.5 Energiesystem	25
Schrifttum	27

1 Landwirtschaftliche Hintergründe

In den vergangenen zwei Jahrzehnten musste der Nahrungsmittelbedarf von zusätzlich zwei Milliarden Menschen auf unserer Erde durch eine gesteigerte Produktion von landwirtschaftlichen Produkten gedeckt werden. Die Preise wurden, abgesehen von vorübergehenden Schwankungen, annähernd stabil gehalten. Zusätzlich konnte sogar die landwirtschaftliche Pro-Kopf-Produktion gesteigert werden. Dabei wurden die CO₂-Emissionen im Verhältnis zur Ertragsmenge gesenkt, wie im deutschen Projekt Eko-Tech nachgewiesen wurde.

Gründe für die Ertragssteigerung sind höhere Intensität und Effizienz der Produktion, unterstützt durch Pflanzenzüchtung, Schädlingsbekämpfung, Düngung und Mechanisierung [1].

Derzeit übersteigt die Produktion noch den Verbrauch. Die früher vorhergesagte Nahrungsmittelknappheit ist nicht eingetreten. Steigende Preise korrigieren kurzfristige Defizite. Die landwirtschaftliche Produktion konnte weitestgehend den Marktanforderungen nachkommen, unter anderem auch, weil die Lebensmittelindustrie es schaffte, neue Ausgangsprodukte bzw. Rohstoffe zu erschließen und zu verarbeiten.

Aufgrund der unterschiedlichen Struktur der landwirtschaftlichen Produktion in den verschiedenen Regionen der Welt stehen die Betriebe vor unterschiedlichen Herausforderungen. Der Erfolg der Landwirtschaft im Hinblick auf die Ernährung der Weltbevölkerung in den letzten Jahren scheint für die nächsten 30 Jahre nicht unbedingt fortführbar. Viele Studien sagen voraus, dass die zukünftigen Anforderungen nicht ohne tiefgreifende Veränderungen und Anpassungen erfüllt werden können. Bis 2050 wird sich die Nahrungsmittelproduktion im Vergleich zum Jahr 2000 verdoppeln müssen. Die „Food and Agriculture Organization“ (FAO) geht davon aus, dass 90 % des zukünftigen globalen landwirtschaftlichen Produktionswachstums aus höheren Erträgen und nicht aus der Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche kommen müssen [2].

Die Begrenzung von Wasser und Ackerland ist ein wesentlicher Faktor für die Prognose von Trends. Hinzu kommt, dass das Ertragswachstum, wie im Folgenden erläutert, zurückgeht. Die gleichzeitig immer wichtiger werdende Effektivitätssteigerung der Agrarproduktion führt zur unbedingten Notwendigkeit neuer landwirtschaftlicher Technologien und Methoden.

Aufgrund der klimatischen Bedingungen werden die Durchschnittserträge in Nordamerika voraussichtlich nicht steigen. Auch in den landwirtschaftlichen Vor-

zugsregionen der entwickelten Welt ist das genetisch manifestierte wirtschaftliche Ertragspotenzial von Nutz- bzw. Kulturpflanzen weitgehend ausgeschöpft.

Die Effekte der Steigerung landwirtschaftlicher Produktivität sind enorm. In der EU [3] werden je Prozentpunkt „Produktivitätssteigerung“

- zusätzlich 10 Mio. Menschen pro Jahr ernährt,
- die jährlich in der europäischen Landwirtschaft erwirtschaftete soziale Wohlfahrt um ca. 500 Mio. € gesteigert,
- 500 € zum Jahreseinkommen eines durchschnittlichen EU-Landwirts erwirtschaftet,
- die indirekten Netto-Landnutzungseffekte (durch Importe in die EU) um etwa 1,2 Mio. ha reduziert,
- 220 Mio. Tonnen an CO₂-Emissionen eingespart,
- die globale Artenvielfalt in einem Umfang erhalten, der der Fauna und Flora von ungefähr 300.000 bis 600.000 ha Regenwald entspricht.

Der Verbrauch landwirtschaftlich erzeugter Produkte wird weiter zunehmen, was zu einer höheren Abhängigkeit von Importen aus Entwicklungsländern führen könnte. Andererseits könnte auch durch Rückgang der Exportquote die Bedarfslücke, die ja ein potenzielles Geschäftsfeld darstellt, geschlossen werden. Ernährungssicherheit und Umweltschutz müssen in jedem Fall als Spannungsfeld betrachtet werden. Jüngste Studien und Berichte schärfen das öffentliche Bewusstsein und das von relevanten Entscheidungsträgern, dass die landwirtschaftliche Produktion erhöht werden muss. Das erforderliche Produktionswachstum wird in den Ländern der zweiten und dritten Welt hauptsächlich über eine erhöhte Produktionsintensität generiert werden. Dies eröffnet die Chance, neue Ideen und Konzepte für alle Akteure in diesem Bereich zu testen, zu demonstrieren, umzusetzen und zu realisieren.

Daher werden alle vier Ertragsfaktoren – Mechanisierung, Pflanzenzüchtung (neue oder besser angepasste Sorten), Pflanzenschutzmaßnahmen und ausreichende Düngung – eine Rolle spielen.

Bei einer Steigerung der Produktion einzelner Kulturen erfordert die Nachhaltigkeit der Landwirtschaft den Schutz, die Erhaltung und die Verbesserung ganzer landwirtschaftlicher und ländlicher Systeme. Insbesondere in den hoch entwickelten Ländern steht

eine höhere Produktionsintensität im Widerspruch zu gesellschaftlichen Anforderungen. Hier muss einer besseren Nährstoffeffizienz eine mindestens so hohe Priorität eingeräumt werden wie der Steigerung der Erträge. In Europa und Nordamerika kann der Fortschritt nur durch neue Anbauverfahren und -systeme erreicht werden. Dies macht den Einsatz neuer Technologien und Maschinen erforderlich.

Neben den bereits genannten Ertragsfaktoren wird die Wasserversorgung weltweit an Bedeutung gewinnen, denn Wasser ist in den meisten Regionen der begrenzende Faktor Nummer eins.

Die wichtigsten Markttrends für Landmaschinen werden sich kontinuierlich fortsetzen. So wird der Bedarf leistungsfähiger, Zug um Zug aber auch intelligenter Maschinensysteme weiterwachsen, um immer effizientere Prozesse für die Pflanzenproduktion auf Ackerflächen etablieren zu können [4]. Konzepte innovativer neuer („smarter“) Maschinensysteme werden schnell akzeptiert werden, wenn sie das gleiche Leistungs- und Ertragsniveau bieten wie konventionelle Maschinen. Dabei gilt, dass die Maschinen den Anforderungen des Produktionsprozesses des jeweiligen Betriebs entsprechen müssen. Die Anpassung der Prozesse an die Maschinen führt in der Regel in eine Sackgasse.

Aus technologischer Sicht ist es noch ein langer Weg, bis neue, „smarte“ Konzepte das Produktionsniveau der aktuell im Einsatz befindlichen Maschinen auf dem Feld erreichen. Daher werden in naher Zukunft noch große Maschinen mit bekannten Technologien die Pflanzenproduktion dominieren. Diese Maschinen

werden zunehmend mit intelligenten Assistenzsystemen ausgestattet sein, um die gewünschte optimierte Leistung der Maschinen im Alltag zu erreichen. Dies führt zu völlig neuen Steuerungs- und Bediensystemen für Maschinen. Digitale Assistenten und Informationssysteme werden in immer größerem Umfang Entscheidungen zur Steuerung und zum Einsatz von Maschinen soweit vorbereiten, dass der Maschinenbediener weitestgehend von Maschinenführungsaufgaben entbunden sein wird. Der verbleibende Entwicklungsaufwand auf diesem Weg zu höchster Autonomie ist jedoch noch erheblich. Die Unterstützung des Bedieners und die datenbasierte Erhöhung des Wissensstands über den Erfolg des Maschineneinsatzes wird die wichtigste Entwicklungsrichtung für die Industrie- sowie perspektivisch auch für Entwicklungsländer sein.

Im Widerspruch zum eigentlich vernünftigen Wunsch zu kleineren Maschinen werden in den nächsten Jahren wohl eher noch größere auf den Markt bzw. zum Einsatz kommen. Der erhoffte Paradigmenwechsel hin zu kleineren Einheiten und Maschinenschwärmen, die große Einheiten ersetzen, scheint nur langsam und auch nur für ausgewählte Prozesse oder gar nicht stattzufinden.

Um eine Steigerung der globalen Agrarproduktion zu erreichen, sollte der Wissens- und Technologietransfer in Entwicklungsländer gefördert werden. Die politischen Rahmenbedingungen dort sind dabei zu beachten und, wenn möglich, auch durch ergänzende Maßnahmen zur Sicherung der Ernährungsbedarfs positiv zu unterstützen.

2 Nachhaltigkeit

2.1 Einführung

Ein zentrales Ziel der Landtechnik ist die Entwicklung und Bereitstellung von Maschinen und Maschinensystemen, die Versorgungssicherheit, minimierten Ressourceneinsatz und einen wirtschaftlichen Einsatz ermöglichen und eine optimale Bewirtschaftung des Bodens nachhaltig unterstützen. Eine maschinensystem-spezifische, hochpräzise Prozessführung bei minimalem Einsatz von Ressourcen, wie Pflanzenschutzmitteln, Kraftstoffen und Flächen, ist dabei die Vision. „Mit weniger mehr produzieren“ ist ein Leitsatz der Agraringenieure und -ingenieurinnen [5]!

Ein zentrales Bestreben ist die Reduzierung von Treibhausgasemissionen, insbesondere durch Umsetzung der folgenden vier Maßnahmen:

- Steigerung der Maschineneffizienz
- Verbesserung der technischen Prozessführung
- Managementsysteme zur Optimierung der Mensch-Maschine-Interaktion
- Einsatz von erneuerbaren Energien

Das größte Potenzial liegt in der Verbesserung des Prozessmanagements und der Nutzung erneuerbarer Energien in allen Bereichen des landwirtschaftlichen Betriebs. Durch die Einführung von Technologien wie „Precision Farming“ und durch Maßnahmen wie Automatisierung und Autonomisierung kann die Prozessgestaltung optimiert werden.

Bei allen Projekten oder Aktivitäten, die sich mit Nachhaltigkeit befassen, müssen objektive Methoden der Ökobilanzierung (LCA) durchgeführt werden, um den Ergebniswert des jeweiligen Projekts oder der Aktivität nachzuweisen.

Im Folgenden werden Forschungsbereiche für eine nachhaltige Entwicklung der Landtechnik kurz vorgestellt.

2.2 Energiesysteme (Sektorkopplung) und Elektrifizierung

Die Landwirtschaft ist potenziell eine wichtige treibende Kraft für die Entwicklung, Produktion und Anwendung von erneuerbaren Energien, da sie der einzige Produktionssektor ist, der gleichzeitig große Mengen an Energie verbraucht und produziert. Viele landwirtschaftliche Betriebe sind bereits Energieer-

zeuger und tragen direkt oder indirekt zur Erzeugung erneuerbarer Energien bei, da sie über Landflächen (etwa für Windkraft- und PV-Anlagen) und Biomasse als grundlegende Ressourcen für die Energieerzeugung verfügen. Somit ist die Landwirtschaft „Prosument“ und die landwirtschaftliche Produktion sowie der Verbrauch von Energie bietet ein enormes Potenzial zur Schaffung einer kurzen und kreislauforientierten Energiewirtschaft im ländlichen Raum.

Die erneuerbaren Energieressourcen in ländlichen Gebieten sind heterogen verteilt:

- elektrische Ressourcen, z. B.:
 - Windkraft
 - Fotovoltaikanlagen (PV-Anlagen)
- thermochemische Ressourcen
 - feste Brennstoffe/Stoffe (Holz, Pellets, Pflanzenreste ...)
 - flüssige Brennstoffe (Pflanzenöl)
 - gasförmige Brennstoffe (Biomethan)
- thermische Ressourcen (solarthermische Anlagen, geothermische Anlagen)

Um ein Energiesystem optimal auszulegen, müssen die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität gekoppelt und gemeinsam optimiert werden. Bislang sind diese drei Bereiche aber noch weitgehend voneinander unabhängig. Die integrierte Energieversorgung für alle drei Sektoren bietet Synergien bei der Einbindung hoher Anteile erneuerbarer Energien. Diese „Sektorkopplung“ ist ein Schlüsselkonzept für die Energieerzeugung und den Aufbau von vollständig CO₂-neutralen Energiesystemen. Dementsprechend besteht Konsens, dass die Integration dieser drei Sektoren notwendig ist, um den Energiesektor zu optimieren und die gewünschten Ziele der energetischen Nachhaltigkeit zu erreichen. 75 % der in einer Delphi-Studie befragten Experten glauben, dass im Jahr 2040 eine „All Electric Society“ Realität sein wird; eine Gesellschaft, in der die Energiewirtschaft zu einer integrierten Industrie geworden ist [6]. Die Landwirtschaft kann ein führender Wirtschaftszweig auf diesem Weg sein.

Die Herausforderungen der schwankenden Versorgung mit Solar- und Windenergie können durch die Verknüpfung der drei Sektoren deutlich reduziert werden. Darüber hinaus ist die Integration wesentli-

che Voraussetzung für die Entwicklung von energieeffizienten Gesamtenergiesystemen und ist sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvoll. In der ersten Phase der Einführung der regenerativen Stromerzeugung ging es darum, den erstmaligen Aufbau und die grundlegende Einführung von Anlagen mit dem Ziel des Klimaschutzes zu fördern. In der nun einzuleitenden „zweiten Phase“ stehen das Gesamtsystem, die Förderung von Strukturen für intelligente Stromnetze sowie die Nutzung von Leistungsspitzen und das Lastmanagement durch die Stromverbraucher im Vordergrund [7].

Nach der Euphorie der letzten Jahre macht sich Ernüchterung bezüglich des Einsatzes von elektrischen Antrieben in mobilen Landmaschinen breit. Die angestrebten Kosten- und Massenziele sind noch nicht erreicht worden. Dies gilt insbesondere für elektrische Energiespeicher wie Batterien als wesentliche Komponenten elektrifizierter Landmaschinen. Aber auch wasserstoffbasierte Energieversorgungskonzepte wie der Einsatz von Brennstoffzellen sind noch nicht so weit entwickelt, dass in den nächsten Jahren eine Markteinführung zu erwarten ist. Sowohl für Batterien als auch für Brennstoffzellen scheint die realisierbare Energiespeicherkapazität in den Fahrzeugen für mittlere bis große Landmaschinen aufgrund der Platzknappheit in den mobilen Maschinen nicht ausreichend zu sein. Dennoch bleiben Effizienz, Regelbarkeit, Leistungsdichte und der Zugang zu erneuerbaren Energiequellen offensichtliche technologische Vorteile elektrischer Antriebe. Dies sollte Motivation für Forschungseinrichtungen und Hersteller landwirtschaftlicher Maschinen sein, weiterhin neue Konzepte mit elektrischen Antrieben zu entwickeln und zu testen [8].

Die für lange Arbeitstage benötigte Energie zum Betrieb leistungsfähiger Landmaschinen mit zum Teil, wie im Ackerbau häufig üblich, über zehn Stunden kontinuierlichem Maschineneinsatz wird im nächsten Jahrzehnt nicht wirtschaftlich konkurrenzfähig in den Fahrzeugen gespeichert werden können. Der enorme Druck auf die Automobilindustrie, rein elektrische, günstige und alltagstaugliche Fahrzeuge anzubieten, führt zu hohen Forschungsaufwendungen und komplexen Projekten. Dies lässt die Hoffnung aufkommen, dass zumindest langfristig kostengünstigere Speichersysteme mit hoher Kapazität zur Verfügung stehen werden. Die Entwicklung von Maschinen (-konzepten) mit elektrischen Speichern sollte in Vorbereitung darauf erfolgen. Darüber hinaus sollten in Zukunft neue Konzepte für schnelle oder alternative Wege zur Übertragung von elektrischer Energie vom Netz auf mobile Maschinen in Betracht gezogen werden (z. B. in [9]).

Unterschiedliche Konzepte und Visionen können verfolgt werden, um mobile Landmaschinen zu elekt-

rifizieren. So sind beispielsweise Maschinen denkbar, die kurze Betriebszeiten bei geringem durchschnittlichen Energieverbrauch haben und meist in der Nähe von stationären Ladestationen eingesetzt werden, z. B. Hoflader oder Futtermischwagen. In solchen Betriebs-szenarien können die mobilen Maschinen häufig nachgeladen werden. Auch vorstellbar sind vollelektrische Maschinen mit kleinen Energiespeichern, die ohne Netzanschluss mit elektrischer Energie versorgt werden, z. B. aus dezentralen oder autarken Energiequellen wie Fotovoltaik. Dies könnte ein interessanter Weg sein, um kleine Landmaschinen für Entwicklungsländer auszurüsten, in denen der Zugang zu konventionellen Energiequellen nicht vorhanden oder nur schwer erreichbar ist. Dies könnte den Weg für eine weitere energieautarke Mechanisierung ebnen. In diesem Sinne sollten für spezielle Anwendungen mittelfristig Nischenlösungen entstehen und gefördert werden. Eine hohe Marktdurchdringung wird von der Einfachheit der Lösungen und den Kosten abhängen. Hindernisse, Lösungen und Randbedingungen könnten wie folgt aussehen:

- Entwicklung von Aluminium-Elektromotoren als Alternative, um die möglicherweise unzureichende internationale Kupferversorgung für die Massenproduktion von Elektromotoren zu überwinden
- Entwicklung von standardisierten Batteriepaketen, Batteriewechsel- oder Ladekonzepten, die lange Betriebsunterbrechungen vermeiden
- vollelektrische Maschinensysteme zur Überwindung hochkomplexer Hybridkonzepte
- Nicht fossile Energieversorgungskonzepte für mobile Landmaschinen könnten sich aufgrund der Fähigkeit der Landwirtschaft, eine unabhängige Infrastruktur aufzubauen, von der Automobilbranche unterscheiden.
- Überschaubare Energieversorgungs- und Energieverbrauchskonzepte könnten in der Landwirtschaft als kleinteilige und Kreislaufsysteme etabliert werden.
- Der technologische Fortschritt im Bereich der Dieselmotoren wird sich verlangsamen, weil die Automobilindustrie ihre kostspielige Grundlagenforschung reduzieren wird.

Die Entwicklung in der Automobil- und Lkw-Industrie wird auch die Integration von elektrischen Antriebssträngen in Landmaschinen vorantreiben, da die Kosten für Verbrennungsmotoren wegen rückläufiger Produktionszahlen steigen werden („abnehmende Skalierungseffekte“). Vermutlich wird es bei Verbrennungskraftmaschinen in den kommenden Jahren auch kaum noch Weiterentwicklungen geben, es sei

denn, der Verbrennungsmotor wird wirtschaftlich und politisch wieder aufgewertet, was aber nicht zu erwarten ist. Die Verdrängung des Verbrennungsmotors wird bei kleineren Maschinen beginnen und sich mit der Weiterentwicklung der Elektrifizierungstechnologie in größeren und großen Maschinen fortsetzen.

Die Idee von integrierten Energieversorgungskonzepten in der Landwirtschaft bezieht sich nicht nur auf Sektorkopplung und Elektrifizierung, sondern sollte auch andere Wege zu einer zirkulären Landwirtschaft einschließen. Auch wenn Verbrennungskraftmaschinen auf lange Sicht „aussterben“ werden, ist es unrealistisch zu erwarten, dass dies bereits bis 2030 geschehen wird. Tatsächlich werden Verbrennungsmotoren in der Dekade der 2020er-Jahre und wahrscheinlich auch noch einige Jahre danach die wichtigste Primärenergiequelle in Antriebssträngen mobiler Arbeitsmaschinen bleiben. Die Marktdurchdringung von Elektrifizierungslösungen wird ein kontinuierlicher Prozess mit mehreren Technologiestufen und vielen Problemlösungen sein.

Daher ist es sinnvoll, nachhaltige Energieversorgungskonzepte für mobile Landmaschinen auch noch unter Berücksichtigung von Verbrennungskraftmaschinen zu erforschen und entwickeln. Dies schließt den Einsatz von synthetischen Kraftstoffen (z. B. Power-to-X) oder Biokraftstoffen jeder Generation ein. Diese Kraftstoffe basieren zu einem großen Teil auf Kraftstoffen bzw. Energien, die aus der Landwirtschaft oder vom Land stammen oder dort erzeugt werden können.

Während synthetische Kraftstoffe voraussichtlich nur in großtechnischen Anlagen an Standorten mit hoher Sonneneinstrahlung und/oder Windaufkommen wirtschaftlich erzeugt werden können, bieten gerade Biokraftstoffe der ersten Generation ein hohes Potenzial für die Energiebereitstellung für landwirtschaftliche Maschinen mit Dieselmotoren und für einige andere Maschinen (etwa in der Forstwirtschaft), da sie auf oder in der Nähe von landwirtschaftlichen Betrieben produziert werden und zum Aufbau einer dezentralen und zirkulären Agrarwirtschaft beitragen können. Die Idee, Biokraftstoffe der ersten Generation in der Landwirtschaft einzusetzen, kann auch als Antrieb von landwirtschaftlichen Maschinen mit Energie aus der Landwirtschaft für die Landwirtschaft beschrieben werden, so wie es unsere Vorfahren vor Tausenden von Jahren taten, als die Maschinen noch keine Räder, sondern Beine von Ochsen und Pferde hatten [10].

Das Nebenprodukt von Biokraftstoffen der ersten Generation ist der Presskuchen, der 2/3 des Ertrags ausmacht. Dieser wird in der iluc-Debatte (iluc: Indirect Land Use Change), die eine indirekte Landnutzungsänderung durch Verdrängung von Nahrungsmittelproduktion durch Energiepflanzenanbau postuliert,

nicht in vollem Umfang gewürdigt. Jedoch empfiehlt die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EU 2018/2001 RED II), die die Energieallokationsmethode für die Berechnung der CO₂-Emissionen vorschreibt, für politische Erwägungen die Substitutionsmethode (siehe Nr. 116 in RED II [11]) als Bewertungsgrundlage zu verwenden. Diese weist eine günstige Treibhausgasbilanz für den begrenzten Einsatz dieser nachhaltigen Biokraftstoffe aus.

Am Beispiel des Einsatzes von Rapsöl als potenziellem Dieselerersatz in der Landwirtschaft wendet die RED II entgegen der Empfehlung für politische Erwägungen die Energieallokationsmethode an und berücksichtigt damit lediglich den niedrigeren Heizwert des Rapskuchens. Der wahre Wert ist jedoch das Eiweiß des Rapskuchens, das als Futtermittel und als Ersatz für Sojabohnenimporte aus dem Ausland zu einer möglichen EU-Eiweißstrategie und zur Vermeidung von Landnutzungsänderungseffekten im Zusammenhang mit Sojabohnenimporten beiträgt. Die reine Proteinausbeute von Raps liegt in etwa in der gleichen Dimension wie die Proteinausbeute von Weizen. Die Berücksichtigung des Proteinwerts würde die Anwendung der Substitutionsmethode im Gegensatz zur Energieallokationsmethode in der Ökobilanz zwingend erforderlich machen. Eine Ökobilanz auf Basis der Substitutionsmethode ist eine ganzheitlichere Betrachtung der Pflanzenölproduktion und würde auch den günstigen „Vorfrucht-Effekt“ des Rapses berücksichtigen.

2.3 Erntetechnologien

Der Weltmarkt für Erntemaschinen ist vergleichsweise klein. Aus Gründen der Produktionskosten ist die bestehende Vielfalt an Erntetechnologien relativ gering. Weltweit stellen Erntemaschinen einen Kompromiss, aber nicht das technologische Optimum für alle Regionen und Erntebedingungen dar. Das hohe Risiko der Einführung neuer, spezifisch optimierter Technologien sollte reduziert werden, um die Entwicklung und Einführung verbesserter Erntetechnologien zu ermöglichen.

Für die Transparenz und Rückverfolgbarkeit in der Lebensmittelproduktion wird eine präzise Erfassung und Dokumentation von Qualitätsparametern und Inhaltsstoffen in landwirtschaftlich eingesetzten Gütern oder des Ernteguts in allen Prozessschritten gewünscht. Dies unterstützt die Entwicklung weiterer Technologien in Richtung einer Kreislaufwirtschaft, z. B. durch Schließen von Stickstoffkreisläufen. Auch die selektive Ernte von qualitätsdifferenziertem Erntegut könnte ein Ansatz sein, um die Wertschöpfung von landwirtschaftlichen Produkten innerhalb eines Betriebs zu erhöhen.

2.4 Reststoffmanagement

Die Verbesserung bestehender Maschinen und die Entwicklung neuer Systeme zur verstärkten Nutzung von Biomasse für Bioraffinerien – z. B. Kurzumtriebsplantagen (KUP), Miscanthus und Zuckerhirse – bleiben weiterhin wichtige Chancen und Herausforderungen im Agrarsektor [12]. In diesem Zusammenhang wird erwartet, dass insbesondere landwirtschaftliche Reststoffe eine große Rolle in der zukünftigen Biomasseversorgung mit Bioraffineriekonzepten spielen werden. Ihre Verfügbarkeit ist jedoch aufgrund der Anbaupraktiken regional und saisonal begrenzt. Ihr Vorteil ist, dass ein Großteil der Anbaukosten in der Regel bereits auf das Hauptprodukt (z. B. Getreide) entfällt. Die Bereitstellungsketten von Getreidestroh sind gut entwickelt und etabliert; die Forschung konzentriert sich auf die Automatisierung des Prozesses, z. B. Radiofrequenz-Identifikation (RFID) zur Verfolgung von Ballen, automatische Sammlung auf dem Feld, Verladung auf Lkw. Es besteht Forschungsbedarf, um das Ausgangsmaterial für die Bioraffination auf Rückstände von Nicht-Getreidekulturen (z. B. Raps, Leguminosen) auszuweiten. Dies kann eine Verbesserung von Ernte, Transport und Lagerung dieser Biomasseprodukte erfordern. Wichtige Themen sind die Kontamination des Ernteguts mit Boden oder gar Steinen und die damit verbundenen Kosten für die Abtrennung von Verunreinigungen, die Zerkleinerung des Materials (beim Hacken von Holz) und die Reduzierung des Aschegehalts, der die Prozessanlagen beeinträchtigen würde. Neben der Landwirtschaft können auch andere wenig genutzte Restfraktionen (z. B. Industrieabfälle, Sägespäne) oder recycelte Fraktionen in Vielstoff-Bioraffineriekonzepten eingesetzt werden, was integrierte Logistikkonzepte für deren Sammlung und Bereitstellung erfordert.

Aufgrund der geringen Energiedichte und des hohen Feuchtigkeitsgehalts von landwirtschaftlicher Biomasse (im Vergleich zu fossilen Brennstoffen) ist der Transport über große Entfernungen kostspielig und ineffizient. Eine typische Lieferkette nach der Ernte, bevor das Ausgangsmaterial die Bioraffinerie erreicht, umfasst den Transport auf dem Feld (Be-/Entladen), Zerkleinerung, Trocknung, Konditionierung, Pelletierung, Lagerung und Verpackung (oder Ballenpressen). Je nach den spezifischen Anforderungen kann die Reihenfolge abweichen. Einige dieser Prozesse können auch in der Bioraffinerie stattfinden. Das Ziel der Kette ist es, das Material in einen geeigneten Zustand für die nachfolgenden Umwandlungsprozesse zu bringen.

Die Herausforderung in der Logistikkette umfasst die Betriebsoptimierung, die Lagerfähigkeit der Biomasse und das Qualitätsmanagement des nassen und leicht verderblichen Materials. Die Lagerung von Biomasse-

rohstoffen hilft, mit der Saisonalität des Biomassematerials umzugehen und die Lücke zwischen der Biomasseproduktion und der Konversion zu überbrücken. Um Probleme zu vermeiden, die durch mikrobiologische Aktivitäten verursacht werden (z. B. Materialverlust, Übertemperatur, Materialverbrennung oder -explosion, Pilzsporenfreisetzung, Terpenemission), sollte die Lagerung gut konzipiert und das Material dafür geeignet sein. Darüber hinaus können vor Ort Lagerungsmethoden wie die Nasskonservierung (Siliierung) für verschiedene Arten von Rohstoffen und Prozessen getestet werden.

Durch Trocknung kann das (Transport-)Gewicht verringert und die Lagerfähigkeit verbessert werden. Durch Verdichtung kann ein homogenes Material mit günstigen physikalischen und mechanischen Eigenschaften erzeugt werden. Vorteile der Konditionierung und Vorbehandlung sind höhere Dichten des Materials und damit logistische Vorteile, günstige Fließ- und Dosiereigenschaften, niedrige Wassergehalte und damit hohe Lagerstabilität, geringe Staumentwicklung bei der Handhabung und Standardisierung der Qualitätsparameter. Nachteilig sind die höheren Verarbeitungskosten. Verfahren zur Verdichtung sind Brikettierung (Strangpresse, Presskammer, Zylinderpresse), Pelletierung und Zentrifugalverfahren für feuchte Materialien mit hohem Wasserrückhaltevermögen. Auch die Torrefizierung von Biomasse kann die Qualität und Stabilität des Rohmaterials verbessern.

Die Konditionierung von Biomasse und die Herstellung von Pellets aus Biomasse ist Stand der Technik und ihre Wirtschaftlichkeit hängt stark von der Verfügbarkeit und den Produktionskosten des Biomasserohstoffs ab. Um die Wirtschaftlichkeit zu verbessern, sollte die Vorbehandlungskette flexibel genug sein, um unterschiedliche Rohstoffe zu verarbeiten. Im Hinblick auf weitere Standardisierungsaktivitäten ist es wichtig zu beachten, dass die Qualität des Rohmaterials je nach Anbausystem und Produktionsstandort variieren kann. Daher sollte die Qualität überwacht und bei der Konzipierung der Vorbehandlungskette berücksichtigt werden.

Hauptforschungsgebiete zur Ernte und Vorbehandlung sind [12]:

- Entwicklung, Erprobung und Verbesserung geeigneter Erntetechnologien für Stroh (z. B. aus Raps, Sonnenblumen, Mais oder Leguminosen)
- Optimierung von Maschinen für die Verarbeitung auf dem Feld (z. B. Ballenpressenkonzept mit gleichzeitiger Ernte und Verdichtung, Trennverfahren in einem Mähdescher)
- Vermeidung von Rückstandsverlusten bei der Ernte, Handhabung und Lagerung

- Entwicklung und Optimierung von Präzisionsgeräten für die Ernte und Sammlung von Waldrestfraktionen und Reduzierung der Kosten für die Durchforstungsholzernte
- Entwicklung von Technologien zur Qualitätsverbesserung der Biomasselagerung und Verbesserung der Rohstoffqualität durch technische Maßnahmen (z. B. Abtrennung problematischer Erntefraktionen, Einsatz von Zusatzstoffen)
- Verbesserung der Effizienz von Verdichtungstechnologien (z. B. Pellets, Briketts und Ballen) für verschiedene Größen (zentral/dezentral), zur Reduzierung des Energiebedarfs und der Kosten
- Überwachung der Auswirkungen von Anbausystemen auf die Qualität des Rohmaterials und auf die Anforderungen der Vorbehandlungskette
- mechanische Bekämpfung von Schadinsekten während der Überwinterungsphase
- Sammlung und Vernichtung von Unkrautsamen oder Verhinderung der Keimung
- Verbesserung der Stoppelbearbeitung auf dem Feld
- Gestaltung bzw. Optimierung der logistischen Biomasse-Versorgungskette und der gesamten logistischen Kette im Hinblick auf die Betriebsoptimierung (Wegeplanung, Routenplanung, Maschinendimensionierung, Kapazitätsanpassungen etc.)

2.5 Gartenbau

Die Gartenbautechnik steht vor ähnlichen Herausforderungen wie der Ackerbau. Auch hier soll ein sehr hoher Automatisierungsgrad bis hin zur Autonomie die Prozesse vereinfachen und die Kosten senken. Dabei kann auch auf Technologien aus der Fabrikautomation zurückgegriffen werden, da die Gemüseproduktion oft unter definierten Umgebungsbedingungen erfolgt. Im Fokus der Forschung steht die Vernetzung aller verfügbaren Daten zu Produktion, Transport und Vermarktung und Automatisierung des Gewächshausmanagements.

2.6 Mehrfachnutzung von Ackerland

Heute ist die Umwidmung von Ackerland in andere Nutzungen ein ernstes Problem. Landwirtschaftliche Flächen werden auf verschiedene Weise einer alternativen Nutzung zugeführt. Sie können in Bauland, Straßen- und Bahngelände und andere zivile Nutzun-

gen sowie in Flächen für die Energieerzeugung umgewandelt werden. Diese Umwidmung von landwirtschaftlichen Flächen ist und bleibt mindestens für das nächste Jahrzehnt ein Problem und muss aus Gründen der Ernährungssicherheit auf ein Minimum reduziert bzw. ganz beendet werden.

Die Produktion regenerativer Energie ist in diesem Zusammenhang ein Schlüsselfaktor, da die Landwirtschaft ein großes Potenzial bietet, um eine wichtige treibende Kraft für die Entwicklung, Produktion und Anwendung regenerativer Energie zu sein. Außerdem ist die Landwirtschaft ein einzigartiger Produktionssektor, der gleichzeitig große Mengen an Energie verbraucht und produziert. Landwirtschaftsbetriebe sind teilweise Energieproduzenten und tragen, wenn nicht direkt, so doch zumindest indirekt zur regenerativen Energieerzeugung bei, da sie Land und Biomasse als grundlegende Ressourcen für die Energieerzeugung bereitstellen.

Die Erzeugung von regenerativer Energie kann die Landwirtschaft beeinflussen. In Deutschland geht man z. B. bei der Fotovoltaik davon aus, dass ca. 200 GW im Gebäudebereich installiert werden können. Wird die gleiche Menge im Freiflächenbereich installiert, würde dies etwa 1 % der Landfläche Deutschlands (360.000 ha) beanspruchen. Dies würde zu einer gravierenden Landnutzungsänderung mit direkten Auswirkungen auf die Landwirtschaft führen und sollte vermieden werden. Bei einer Ackerfläche von ca. 12 Mio. ha in Deutschland wären 3 % der Ackerfläche von der Installation von Fotovoltaik auf Freiflächen betroffen. Aus ökologischer Sicht sind Themen wie Flächenerhalt statt Flächenverlust, öffentliche Akzeptanz, nachhaltiges Flächenmanagement, Biodiversität und regionale Versorgung oder neue Wege in der Landwirtschaft zu berücksichtigen [13]. Aus Gründen der Ernährungssicherheit sollten direkte und indirekte Landnutzungsänderungen (das heißt die Umwandlung von Nahrungsmittelproduktionsflächen für andere Nutzungen) minimiert werden.

Daher ist die Optimierung von Energieerzeugung und -verbrauch in der Landwirtschaft ein übergeordnetes Ziel. Ein möglicher Ansatz wäre die Kombination von Energieerzeugung (Strom, Kraftstoffe und Wärme), Energieverbrauch in stationären und mobilen Anwendungen und die stoffliche Nutzung von landwirtschaftlichen Produkten („Agrarsektorkopplung“, siehe auch Abschnitt 3.2).

Würde Strom aus Windkraft- oder PV-Anlagen (auf Gebäuden) für die Energieversorgung mobiler Anwendungen genutzt, würden sogar weniger (landwirtschaftliche) Flächen benötigt als bei der Mobilität, bei der Biokraftstoffe in Verbrennungsmotoren eingesetzt werden.

Ein weiterer möglicher Ansatz wäre die Kombination der Erzeugung von Wärme, Energie und stofflicher Nutzung von landwirtschaftlichen Produkten. Es gibt erste Forschungsansätze für die Kombination von Fotovoltaik und landwirtschaftlicher Produktion [14].

Mit der Agrothermie lassen sich Wärme- und Kältequellen kombinieren. Auch hier ist angedacht, die aktive Landwirtschaft mit der agrothermischen Technologie zu kombinieren.

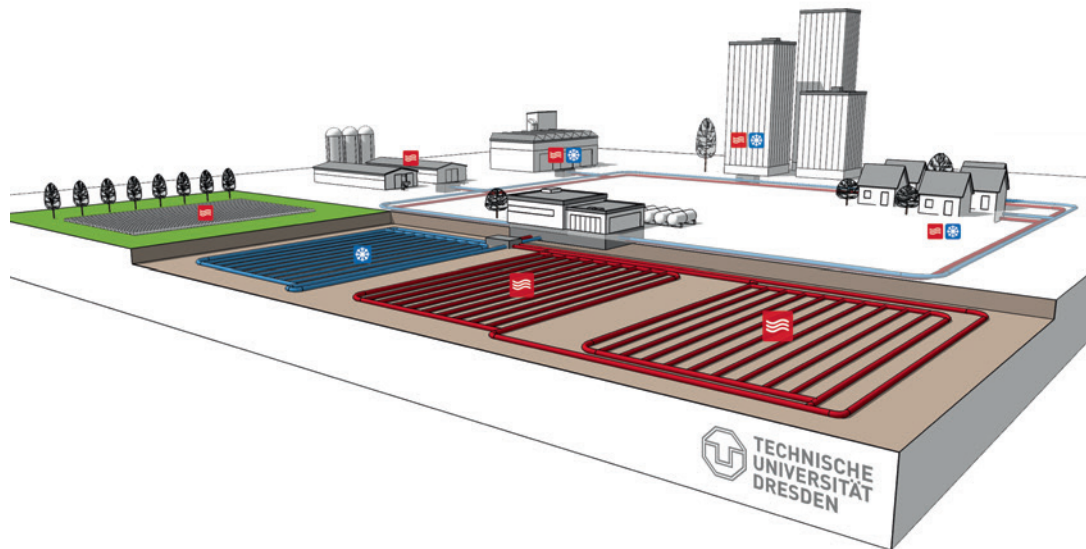


Bild 1. Kombination von Agrothermietechnologie and Pflanzenproduktion (Quelle: TU Dresden)

3 Automatisierung und Sensoren

3.1 Einführung

Automatisierung in der Landwirtschaft umfasst die Zukunftsthemen „Precision Farming“ bzw. „Smart Farming“. Die Vision ist, jede Pflanze und jedes Tier so individuell und optimal wie möglich zu versorgen und zu pflegen, der Einsatz von Ressourcen wird minimiert, Erträge werden wirtschaftlich optimiert. Die Automatisierung ist auch ein Vorläufer und Sprungbrett für eine weitgehende Autonomie von Maschinen und Maschinensystemen. Die Vision eines landwirtschaftlichen Automatisierungssystems, das die Ideen des Precision Farming mit Autonomie verbindet, führt letztlich zu einer integrierten Prozesssteuerung, die als „smart farming“ oder „digital farming“ bezeichnet werden kann. Der Aufbau von Smart-Farming-Systemen ist auch dadurch gekennzeichnet, dass die Prozesssteuerung und Entscheidungsunterstützung zunehmend in der Cloud stattfinden, sodass Landmaschinen Teil von cyberphysischen Produktionssystemen werden. Dies ist ein neuer, höherer Grad der Automatisierung. Die Cloud-basierte Prozesssteuerung und -verwaltung ermöglicht die Integration von globalen und lokalen Informationen und ebnet den Weg für eine hochautomatisierte und nachhaltige Landwirtschaft, die natürliche Kreisläufe nutzt und erhält [15].

In der Betriebsumgebung und vor allem an den Maschinen werden immer mehr Sensoren installiert, denn für das Informationsmanagement und zur permanenten Prozesssteuerung müssen die Maschinen mit Sensoren permanent online in die Automatisierungs-Cloud eingebunden werden (Maschinen werden Teil eines vernetzten Informationsmanagementsystems) [16]. Die Cloud bindet als eine Art innovative Sensorik externe Informationsquellen ein. Das können Wetterinformationen, kommerzielle Daten und Prognosen, geografische oder bodenphysikalische Informationen, Daten zum Gesundheitszustand der Pflanzen und mehr sein. Diese neuen, automatisch verknüpften Informationen stammen aus Datenbanken, internetbasierten Diensten oder realen physikalischen Sensoren bzw. Sensorträgern wie Satelliten, Drohnen, Wetterstationen oder auch den Landmaschinen selbst.

Als höchster denkbarer Automatisierungsgrad von landwirtschaftlichen Prozessen wird die Prozesssteuerung komplett in die Cloud verlagert. Entscheidungsunterstützungssysteme (engl. Decision Support Systems, DSS) werden zu Entscheidungssystemen bzw. sogenannte „Farm-Management-Information-Systeme“ (FMIS) oder zu „Farm-Management-Systemen“ (FMS). Dieser Entwicklungstrend lässt völlig

neue Geschäftsmodelle erwarten inklusive dem Handel mit Daten, unabhängig von deren Herkunft!

3.2 Precision/Smart Farming

Es gibt keine genaue Definition für „Precision Farming“ (PF). Im Gegensatz zu den Prognosen in der AET Vision 2020 [15] und der daraus abgeleiteten „Strategischen Forschungsagenda“ [15] haben sich nur wenige präzise landwirtschaftliche Konzepte auf dem Markt etabliert. Größere Traktoren und Erntemaschinen in entwickelten Ländern sind mit GNSS-basierten (GNSS: Global Navigation Satellite Systems) Lenksystemen ausgestattet. Sektionssteuerungssysteme setzen sich in größeren Betrieben und bei variablen Offline-Technologien immer mehr durch. Einige wenige landwirtschaftliche Betriebe nutzen Online-Systeme für die Düngung auf Basis von Spektrolsensoren. Andere Konzepte haben noch keine Marktreife erlangt, aber viele Technologien und Ideen befinden sich schon auf höheren technologischen Reifegraden.

Es fehlt an unabhängigen Daten über den Wert und die Kosten-Nutzen-Effekte von PF. Darüber hinaus machen viele unabhängige Lösungen mit unterschiedlichen Schnittstellen und verschiedenen Datenformaten diese Systeme inkompatibel (es besteht keine Interoperabilität).

PF ist derzeit durch einen immer größeren Entwicklungsaufwand für spezifische Sensoren gekennzeichnet. Diese Sensoren werden dann in wenigen spezialisierten Maschinen eingesetzt, was zu steigenden Sensorkosten führt. Alle Automatisierungslösungen benötigen neue Sensoren zur Prozessablauf- und Prozessstatusidentifikation, Ertragserfassung und Umgebungserfassung. Der Mangel an wirtschaftlichen Sensorenlösungen ist ein Hindernis für das Erreichen der Visionen von „Precision Farming“ oder sogar „Smart Farming“. Der Einsatz von Sensoren aus der Automobilindustrie, z. B. Sensoren zur Bildverarbeitung, Umweltüberwachung und -detektion, ist ein Weg, der zur Kostenreduzierung in Betracht gezogen werden muss. Die Entwicklung von einfachen Sensoren zur Erkennung und Erfassung von Prozessparametern ist ebenfalls erforderlich.

3.3 Internetverbindung

Internetkonnektivität ermöglicht es Einzelpersonen und Organisationen, sich über Computerterminals, Computer und mobile Geräte mit dem Internet oder

über Computernetzwerke (Intranet) zu verbinden. Sobald sie mit dem Internet verbunden sind, können Benutzer auf Internetdienste wie E-Mail und das World Wide Web zugreifen. Internet Service Provider (ISPs) bieten den Internetzugang über verschiedene Technologien an, die eine Vielzahl von Datensignalisierungen und Übertragungsraten (Geschwindigkeiten, Bandbreiten) bieten [17].

Mobiles Breitband ist der Marketingbegriff für den drahtlosen Internetzugang, das über Mobilfunktürme an Computer, Mobiltelefone und andere digitale Geräte mit tragbaren Modems geliefert wird. Einige Mobilfunkdienste ermöglichen es, mehrere Geräte über eine einzige Mobilfunkverbindung mit dem Internet zu verbinden (Tethering). Das Modem kann in Laptops, Tablets, Mobiltelefonen und anderen Geräten eingebaut sein oder Geräten über PC-Karten, USB-Modems und USB-Sticks oder Dongles hinzugefügt werden. Auch können separate Funkmodems verwendet werden.

Durch die Verbindung von Geodaten, Cloud-Diensten und landwirtschaftlichen Maschinen ist die Internetkonnektivität ein Wegbereiter (Enabler) für die Automatisierung in der landwirtschaftlichen Produktion. Die Landwirtschaft braucht praktische Ansätze und Möglichkeiten, um in zukünftigen 5G- und sogar 6G-Netzen eine vollständige Feldabdeckung (Produktionsstandort) zu erreichen.

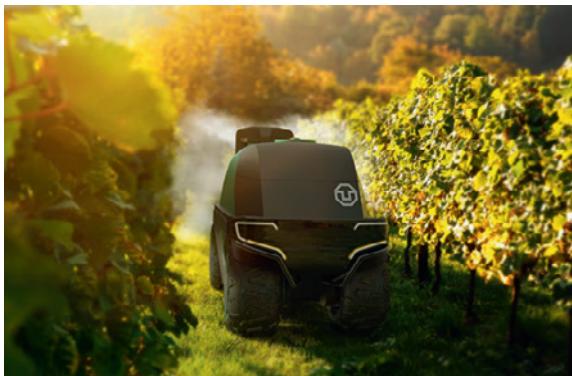


Bild 2. Autonomer Roboter in einer Obstanlage (Quelle: TU Dresden)

3.4 Roboter, Automatisierung, Schwärme

In der Landwirtschaft ist eine zunehmende Automatisierung zu beobachten. Die Automatisierung, die in anderen Industriezweigen bereits enorm fortgeschritten ist, steht aufgrund der vielen dynamischen und biologischen Anforderungen in der Landwirtschaft noch weitgehend am Anfang. Die Robotik ist eine Schlüsseltechnologie für diese Entwicklung, die in Zeiten knapper Ressourcen für eine Produktivitäts- und Qualitätssteigerung sorgen kann.

Es gibt viele Forschungs- und Entwicklungslösungen auf dem Gebiet der Robotik und Automatisierung. Es ist noch nicht sicher, welche Lösungen den Weg in die Praxis finden werden. [13]

3.5 Bildgebung, Sensoren, Zustandsüberwachung

Es gibt eine große Anzahl von Sensortypen zur Umfelderkennung. Die Signale dieser Sensoren müssen für Navigation, Gerätesteuerung und autonome Prozesse zusammengeführt werden. Mit dem Trend zur Automatisierung wird der Bedarf an Sensoren steigen, insbesondere an intelligenten Sensoren, die direkt mit einem Netzwerk (z. B. mit einem BUS-System) kommunizieren können.

Eine intelligente Verknüpfung von verschiedenen Sensordaten mit anderen Informationen ist erforderlich. Egal wo die Sensorinformationen herkommen, ob sie über GPS oder WLAN oder auf Basis modellbasierten Wissens über den Prozess lokalisiert werden, unterschiedliche Sensoren werden in Verbindung mit intelligenten Algorithmen und in Verbindung mit verschiedensten Informationsquellen entscheiden, welche Ereignisse zu welchem Zeitpunkt und an welchem Ort zu erfolgen haben bzw. aufgezeichnet werden müssen. Diese intelligente Verknüpfung von unterschiedlichen Sensordaten wird immer wichtiger.

Der Einsatz von smarten Sensoren ist so vielfältig wie die unterschiedlichen Anwendungsbereiche, vom Maschinenbau über die Prozesstechnik bis hin zum autonomen Fahren. Smarte Sensorsysteme ermöglichen es, den Anwendern von Sensorik und Messtechnik, die eigenen Dienstleistungen und Angebote zu erweitern und völlig neue Angebote bereitzustellen.

Dabei geht es in Zukunft um die Integration in die gesamte Lieferkette. Neben der intelligenten Sensorik benötigen Unternehmen neue Geschäftsmodelle, die intelligente Produkte und das Angebot von intelligenten Dienstleistungen ermöglichen.

Hersteller von mobilen Landmaschinen können mithilfe intelligenter Dienstleistungen modernste Zustandsüberwachung in ihren Fahrzeugen einzusetzen. Die Daten werden in der Leitstelle gesammelt und ausgewertet. Mit diesem Wissen kann der Landmaschinenhersteller effizient warten und verschlissene Teile frühzeitig austauschen, bevor die Maschine zum Stillstand kommt. Die Landmaschine erhält ein Produktgedächtnis. Außerdem ist immer erkennbar, wo sich jede Maschine befindet.

3.6 Farm-Management-Systeme: Digitalisierung, Big Data, Decision Support Systems (DSS)

Moderne Maschinen, die in der heutigen Landwirtschaft eingesetzt werden, sind bereits in hohem Maße durch analoge und digitale elektronische Baugruppen geprägt, die große und wachsende Datenmengen produzieren. Der jeweilige Stand der Technik wird dabei durch den Stand der eingesetzten Informationstechnik repräsentiert.

Um weitere Optimierungspotenziale in der landwirtschaftlichen Produktion zu erschließen und Erkenntnisse im Sinne von „Big Data“ zu gewinnen, ist es seitens der Informationstechnik notwendig:

- Daten über die Maschinen hinweg in einen Kontext zu stellen
- alle Teilnehmer des landwirtschaftlichen Prozesses mit prozessrelevanten Informationen zu unterstützen
- Daten vor Ort adaptiv nach Relevanz und Notwendigkeit zu filtern
- lokale Datenvernetzung von kooperierenden Teilnehmern und Maschinen zu gewährleisten
- aus Massendaten biologische und pflanzenbezogene Zusammenhänge zu extrahieren und als

Managementempfehlung zur Verfügung zu stellen

- die übergeordneten Auswirkungen des Managements auf bestimmte Umwelt- und Ökologieprozesse abzuleiten und als Entscheidungshilfe zur Verfügung zu stellen

Die breite und nahezu flächendeckende Verfügbarkeit von mobiler Breitband-Internetkommunikation, kombiniert mit der Nutzung verfügbarer Maschinendaten, intelligenter Endgeräte und intelligenter Datenbanktechnologien, eröffnet neue Möglichkeiten für die Umsetzung von effizienzsteigernden Systemen in der Landwirtschaft.

3.7 Veränderte Maschinenkonzepte

Um die Einführung neuer nachhaltiger Technologien zu beschleunigen, müssen die Systemansätze in stationären landwirtschaftlichen Umgebungen und für mobile Maschinen umgesetzt und demonstriert werden. Die Integration von GNSS-Informationen in die neue IT-Systemarchitektur ist für Logistik, Automatisierung und Rückverfolgbarkeit unerlässlich [18].

Wenn die Investitionskosten (€/ha, €/t) und die Leistung (ha/h, t/h) für ein neues Maschinensystem, wie Schwärme oder Roboter, auf das Niveau der heutigen Mechanisierung gesenkt werden können, wird dieses Konzept marktrelevant sein. Drei Konzepte werden hier beispielhaft vorgestellt.



Bild 3. Entscheidungsfindung in landwirtschaftlichen Prozessen (Quelle: TU Dresden)



Bild 4. Autonomer Mähdrescherschwarm (Quelle: TU Dresden)

Konzept 1: Autonomer Mähdrescherschwarm

Bis auf die Kabine entsprechen die Maschinen den heutigen Mähdreschern: mit 1,30 m Trommelbreite, ca. 5 m² Reinigungsfläche und 150-kW-Motor. Durch die 3 m breiten und 4 m hohen Geräte können die 8 t schweren Einheiten gemeinsam auf einem Tieflader transportiert werden. Auf dem Feld angekommen, werden die GPS-gesteuerten Kleinmaschinen von einer Person überwacht und automatisch entladen. Anschließend klappen sie das auf dem Dach transportierte Schneidwerk aus, stellen den Korntank auf und beginnen als autonome Einheit mit der Ernte.

Konzept 2: Getrenntes Mähen und Dreschen bei der Getreideernte



Bild 5. Getrenntes Mähen und Dreschen bei der Getreideernte (Quelle: TU Dresden)

Ein weiterer Ansatz ist die Aufteilung des Schneid- und Dreschprozesses. Die drei 12 m breiten fahrbaren Schneidwerke mit Laderäumen können als Paket auf einem Tieflader auf der Straße transportiert werden. In ihren 50 m³ großen Laderäumen nehmen die Schneidwerke bis zu 7 t Erntegut (Stroh und Getreide) auf, bevor es zum 400 kW starken Dreschwerk transportiert wird. Ein hydraulischer Hubarm hebt das Schneidwerk an und entlädt den Inhalt in das Dreschwerk. Optional können das gehäckselte Stroh und die Rückstände mit einem kleinen Förderband in den Sammelbehälter zurückgeführt werden, damit sie bei

der nächsten Mahd auf dem Feld verteilt werden können. Eine bewegliche Trennwand im Behälter verhindert die Vermischung von gehäckseltem Stroh und neuem Erntegut.

Konzept 3: Feldschwarmsystem für die Bodenbearbeitung



Bild 6. Feldschwarmsystems für die Bodenbearbeitung (Quelle: TU Dresden)

Bei der Bodenbearbeitung ist das Produktivitätswachstum eng mit der Erhöhung von Geschwindigkeit, Arbeitsbreite und Motorleistung verbunden. Engpässe in der Technologieentwicklung sind:

- komplexe Klappsysteme für den Transport
- Erhöhte Motorleistung erfordert höheres Gewicht zur Erzeugung der Zugkraft.
- Konzepte der Traktor-Geräte-Kombinationen stoßen an ihre Grenzen bei Abmessungen und Gewicht.
- Bodenverdichtung kann nur durch Einführung neuer Achsen reduziert werden.
- Die Bodenbearbeitung hat den höchsten spezifischen Leistungsbedarf (25 kW/m bis 35 kW/m Arbeitsbreite).

Ein Ansatz zur Überwindung dieser Engpässe ist ein neuer Maschinenansatz, der sogenannte Feldschwarm. Er beschreibt ein flexibles, modulares, zentral gesteuertes System von Arbeitsgeräten. Die Produktivität ist skalierbar über die Anzahl der Geräte und die Intelligenz der Automatisierung. Voraussetzung für die Intelligenz ist hier die satellitengestützte Positionierung und Navigation.

3.8 Zuverlässigkeit

Die Person, die heute einen Traktor, Mähdrescher oder eine Landmaschine bedient, wird weitgehend von der Aufgabe der Fahrzeugführung befreit.

Dadurch kann sie sich stärker auf den landwirtschaftlichen Prozess und die optimale Einstellung seiner hochkomplexen Maschine konzentrieren. Außerdem ist sie bei einer Maschinenstörung die erste Person vor Ort, die ein Problem als erste lösen kann. Sie ist also auch Wartungspersonal und übernimmt somit Vor-Ort-Services, was in den Flotten der autonomen Maschinen nicht als sinnvoll angesehen werden kann. Ein Stillstand von teuren Investitionsgütern, „Landmaschinen“ oder gar einem Maschinenpark ist jedoch wirtschaftlich nicht vertretbar. Daher wird die gewünschte Autonomie des Produktionssystems mit maximaler Zuverlässigkeit kombiniert. Die Entwicklung von ausfallsicheren Produktionseinheiten bzw. Fehlermanagementsystemen ist für den weiteren Fortschritt in der Landtechnik unerlässlich.

4 Digitalisierung des Agrar- und Lebensmittelsektors

4.1 Einführung

Wir befinden uns im Zeitalter der digitalen Transformation. Ingenieurinnen und Ingenieure sprechen in diesem Zusammenhang von der vierten industriellen Revolution oder auch „Industrie 4.0“. Aus methodischer Sicht ist die Landwirtschaft ein produzierender Sektor wie die Industrie. Alle methodischen Überlegungen und Prinzipien, die für die Industrie gelten, können auf die Landwirtschaft (siehe auch [22]) übertragen werden. Der Agrarsektor agiert nicht abgekoppelt von anderen Wirtschaftssektoren, sondern ist Teil des umfassenden Systems der Lebensmittelproduktion, das über Technologien wie Blockchain ganz oder weitgehend in das gesamte Produktionssystem integriert sein wird.

Die digitale Transformation (DT) in der Landwirtschaft bietet enorme Chancen und stellt diese gleichzeitig vor große Herausforderungen. Die DT kann, will und muss einen wesentlichen Beitrag zu einer modernen, effektiven und nachhaltigen Prozessorganisation leisten und die Integration von qualifizierten Dienstleistungen, insbesondere im Bereich der landwirtschaftlichen Managementsysteme, ermöglichen. Mithilfe digitalisierter Prozesse lassen sich Wertschöpfungsketten ohne zusätzlichen Aufwand abbilden und mit einem hohen Maß an Transparenz für die Verbraucher und Verbraucherinnen darstellen. Dies führt letztlich zur Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsnetzwerke, die den Herstellern von Agrarprodukten mehr Möglichkeiten zur Gestaltung und Wertsteigerung durch Produktdifferenzierung geben können. Dienstleistungen können individuell angepasst und die Kostenstruktur für Produkte, Anlagen und Dienstleistungen durch digitale Systeme reduziert werden.

4.2 Nachverfolgung vom Feld bis zum Verbraucher

Wege zur Verfolgung und Rückverfolgung (Track & Trace) von Lebensmitteln durch die Wertschöpfungskette zu finden, soll

- die Verknüpfung von Qualitätsmerkmalen mit Lebensmitteln ermöglichen und
- den Verbrauchern und Verbraucherinnen Wahlmöglichkeiten eröffnen (einschließlich der Individualisierung der Ernährung auf der Grundlage

von Qualitätskriterien, Gesundheitsaspekten, ethischen Besonderheiten usw.).

Grundsätzlich wird betont, dass die Forschungs- und Innovationsaktivitäten für Track & Trace auf bestehenden Forschungsprojektergebnissen und Technologien aufbauen sollten, da bereits viele hervorragende Arbeiten und nützliche Plattformen existieren.

Weitere Forschungs- und Innovationsschwerpunkte sind:

- besseres Verständnis des Profils, des Verhaltens und der Präferenzen der Verbraucher, um genau zu verstehen, was sie von „Track & Trace“-Produkten entlang der Agrarlebensmittelwertschöpfungskette erwarten/benötigen
- Entwicklung neuer Geschäftsmodelle für die direkte Verknüpfung/Kommunikation von Verbrauchern (und Gemeinschaften von Verbrauchern) mit Lebensmittelproduzenten
- Verstärkter interdisziplinärer Austausch und Innovation in Kombination mit gemeinschaftsbasierten Erfahrungen, wissenschaftlicher Forschung und relevanten Daten aus Lieferketten zu Lebensmittelqualität, Ernährung, Gesundheit und Nachhaltigkeit
- neue Technologien für Track & Trace (z. B. intelligente Verpackungen) im Hinblick auf ihre spezifischen Möglichkeiten und Kosten zur Anpassung an unterschiedliche Lebensmittel-Lieferketten
- mehr „offene Wissenschaft“ und die Nutzung digitaler Technologien, um den Zugang zu Forschungsdaten nach Abschluss von Projekten zu ermöglichen

4.3 Optimierung von Betriebsabläufen

Um die Effizienz, Produktivität und den Schutz der natürlichen Ressourcen zu erhöhen, wird es einen Übergang von der Skalierung der Maschinen (größere Maschinen, höhere Leistung) zur Optimierung des Maschinenbetriebs sowie des Gesamtsystems geben. In der Vergangenheit lag der Fokus auf einer einzelnen Einheit (Maschinenoptimierung) und nicht im Zusammenwirken mit anderen Maschinen oder auf aufeinander folgenden Arbeitsgängen innerhalb des Produktionsverfahrens. Es besteht die Notwendigkeit,

für alle Arbeitsgänge im Produktionsverfahren einen ungehinderten Datenaustausch zu ermöglichen, z. B. von der Ernte (verbleibende Rückstände auf dem Boden) bis zur Bodenbearbeitung (Steuerung der Bodenbearbeitungsmaschine entsprechend der Rückstandsmenge).

Mögliche Forschungs- und Innovationsaktivitäten sind:

- Datenanalytik und Wissensgenerierung – „Smart Information“¹ versus „Big Data“. Deep Learning ist in der gesamten Agrarlebensmittelproduktion und Wertschöpfungskette erforderlich, Menschen müssen „in the loop“ (im Kreislauf) der Datenanalyse sein, um Expertenwissen (hochwertige Informationen) zu erhalten und aufzubauen.
- Infrastruktur: Es gibt viel Potenzial, um den Verwaltungsaufwand (Kosten und Zeit) für Unternehmen zu reduzieren. Plug-and-Play-Anwendungen sind verfügbar, wobei verbesserte und kostengünstigere Sensortechnologien zur Datenerfassung eingesetzt werden. Allerdings ist eine Standardisierung der Datenformate erforderlich, um die Kommunikation und den Datenaustausch zwischen verschiedenen Systemen und Plattformen zu ermöglichen.
- Ein besserer Netzwerkzugang (Konnektivität) ist weiterhin erforderlich und muss bezahlbar sein. Darüber hinaus ist es notwendig, die Schnittstellen zu vereinfachen, die den Betreibern für den Zugriff auf Informationen und die Verwaltung von komplexen Daten, Wissen und Technologien angeboten werden. Die Landwirtschaft braucht erschwingliche, nutzbare Technologien, die für ihre Betriebe anwendbar sind.
- Risikomanagement: Bessere Instrumente (z. B. praktische Entscheidungshilfen und sogar Entscheidungssysteme) werden benötigt, um landwirtschaftliche und wirtschaftliche Risiken zu reduzieren und zu managen. Neue Technologien könnten „konstruktiv disruptiv“ sein und neue landwirtschaftliche Systeme fördern, die reaktionsfähiger und widerstandsfähiger gegen Veränderungen sind.
- Datenwert: Der anfängliche Einsatz von Systemen der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) in einzelnen landwirtschaftlichen Betrieben hat einen „hohen Einstiegspreis“ und der Wert der Digitalisierung muss durch Pilotprojekte und Fallstudien, ergänzt durch Nutzbarkeits- und Machbarkeitsstudien, eindeutig nachgewiesen werden. Ein System von Metriken, Key Performance Indicators (KPIs) und Geschäftsmodellen ist erforderlich.

¹ Information ist dynamisch, vernetzt, aktuell und sofort verfügbar

4.4 Neue Geschäftsmodelle

Die Schaffung neuer Geschäftsmodelle in der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette ist eine grundlegende Notwendigkeit, um die Attraktivität ländlicher Gebiete mit einer umweltfreundlichen und rentablen Landwirtschaft zu erhalten. Diese neuen Geschäftsmodelle sollten die Vorteile der neuen Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) nutzen. Der Bedarf wird so interpretiert, dass ein besonderer Fokus auf anpassungsfähige und flexible digitale Lösungen gelegt wird, um die Geschäftsbedürfnisse von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zu bedienen. Mögliche Ansätze sind:

- Entwicklung von „smarten“ regionalen und kurzen Lieferketten mit innovativer IKT-basierter Logistik und Verbraucherintelligenz
- regionale Synergien auf Basis der Interaktion und Verbindung von Akteuren in Lebensmittel- und Non-Food-Lieferketten auf regionaler Ebene
- Optimierung der Abläufe im landwirtschaftlichen Betrieb: Entwicklung und Implementierung von modellbasierten Entscheidungs(unterstützungs)-systemen und deren Optimierung für landwirtschaftliche Betriebe und Maschinensysteme. Dies muss insbesondere mit Betriebsanalysen und -optimierungen auf Basis neuer Informations- und Kommunikationstechnologien verknüpft werden [19].
- Prozessoptimierung: Verfügbare digitale Lösungen zur Prozessoptimierung (Logistik, Rohstoffe, Verpackung etc.) müssen für KMU angepasst werden. Demonstration und Erprobung ist erforderlich. Beratungs- und Entscheidungshilfen für die Skalierung der Prozessoptimierung für KMU sollten entwickelt werden.
- Weitere Voraussetzungen für neue Geschäftsmodelle: IKT-Anbieter müssen die Bedürfnisse von KMU besser kennen und umgekehrt. Es müssen bessere Verbindungen zwischen KMU und IKT-Dienstleistern hergestellt werden.

4.5 Datenmanagement

Die Zugänglichkeit und der Austausch von Daten sind eine grundlegende Voraussetzung für die Wertschöpfung in vernetzten Lebensmittelproduktionsketten. Hierfür müssen folgende Voraussetzungen geschaffen werden:

- Entwicklung von Datenstandards, die dem FAIR Data Principles (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable) entsprechen. „Daten-Center“

können eine Lösung sein. Oft gibt es Best-Practice-Inseln im Datenmanagement. Es müssen Methoden entwickelt werden, um diese Inseln miteinander zu verbinden.

- Standards für Dateninfrastrukturen und geeignete Anwendungsprogrammierschnittstellen (APIs) müssen etabliert werden.
- Die Vorteile der Kombination und des Austauschs von Daten müssen besser verstanden werden, insbesondere für Systeme zur Entscheidungsunterstützung und Entscheidungsfindung. Die gut funktionierenden Konzepte existierender Insellösungen auf lokaler und regionaler Ebene müssen analysiert und verbreitet werden. Anreize und andere Vorteile müssen allen Beteiligten angeboten werden, um sie in neue Projekte einzubinden.
- Hinsichtlich der Datenintegrität und -sicherheit muss Vertrauen aufgebaut werden, um den Austausch von Daten bzw. Informationen zu ermöglichen. Es ist notwendig, die technologischen und soziologischen Aspekte als Basis dieses Vertrauens besser zu verstehen und dabei die Rolle der Behörden mit zu berücksichtigen. Ethische Aspekte, Datenschutzrechte usw. müssen ein fester Bestandteil aller Entwicklungen in Bezug auf Datenhandhabung, -austausch und -management sein.
- Eine Aus- und Weiterbildung muss den verschiedenen beteiligten Akteuren und Interessengruppen (nicht nur den landwirtschaftlichen Betrieben) ermöglicht werden.

4.6 Umweltgerechte und nachhaltige Produktion

Die Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien kann die Umweltleistung der Lebensmittelproduktion und der Wertschöpfungsketten im Agrar- und Ernährungssektor verbessern. Dies bedeutet insbesondere:

- Umweltüberwachung – Messung der Umweltleistung und Erweiterung des Wissens und Verständnisses über die Auswirkungen der Landwirtschaft auf Klima, Energie, Wasser, Abfall und Verschmutzung. Entwicklung von Modellen und Algorithmen unter Verwendung großer Datenmengen, die von den kleinen, kostengünstigen und robusten Feldsensoren, die derzeit verfügbar sind, gesammelt werden.
- Umwelt-Benchmarking – basierend auf den oben erwähnten Überwachungsaktivitäten. Entwick-

lung neuer Benchmarkingverfahren bezogen auf die Umweltbeeinflussung. Berücksichtigung von Fragen des Dateneigentums und der Integration verschiedener Datenquellen, um die Wissensbasis für das Benchmarking zu verbessern.

- Förderung von Innovationen bei disruptiven Maschinensystemen – Dies betrifft sowohl Produktionssysteme der landwirtschaftlichen Betriebe als auch der vor- und nachgelagerten Bereiche der Nahrungsmittelverarbeitung.
- Food 4.0 – großes Potenzial für den verstärkten Einsatz von Sensoren, Software und Automatisierung, um die Entwicklung nachhaltigerer Lebensmittelversorgungsketten vom Hof bis zum Teller zu ermöglichen, z. B. der Einsatz von Sensoren und Modellen, um besser zu verstehen, wo und warum Lebensmittelverschwendung in der Lebensmittelversorgungskette auftritt.
- Verbesserung der Akzeptanz digitaler Technologien. Es besteht Bedarf an einem besseren Verständnis der Motivation für die Einführung von IKT durch Einzelpersonen und Unternehmen im Agrar- und Ernährungssektor.

4.7 Mensch-Maschine-Schnittstellen auf Landmaschinen

Aktuelle und zukünftige Bedienoberflächen für professionelle Arbeitsmaschinen erfordern neben der Anwendungsorientierung eine viel stärkere Benutzerorientierung bei immer komplexeren Informationsumgebungen. Vor allem die effiziente Bedienung hängt von der Bedienung, den persönlichen Fähigkeiten und der Qualität der Interaktion mit der Schnittstelle ab. Die zunehmende Komplexität von Maschinen und Steuerungen wird durch computergestützte Steuerungssysteme und adaptive Prozesseinstellungen (Precision Farming) realisiert [20].

Die Ausweitung von Prozesssteuerungssystemen muss umfassend durchdacht erfolgen, denn damit verbunden ist eine fundamentale Veränderung des Arbeitsumfelds. Die klassische Maschinenbedienung wird zunehmend durch planende und überwachende Tätigkeiten verdrängt. Dies führt zu einem Anstieg der Komplexität im Betriebsmanagement, verbunden mit wachsenden Anforderungen an kognitive Fähigkeiten des Personals. Dieser Trend, der teilweise auch in Verbindung mit dem Klimawandel (z. B. kürzere Vegetations-/Ernteperioden) zu sehen ist, wird durch die sich wandelnden demografischen Randbedingungen noch verstärkt. Es muss einen Paradigmenwechsel von der Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) zum kooperativen Gesamtsystem geben.

5 Forschungsschwerpunkte

Diese Forschungsthemen sind übergreifend und beziehen sich sowohl auf die Landwirtschaft und die Landtechnik als auch auf den Gartenbau.

5.1 Digitale Transformation

5.1.1 Blockchains/Rückverfolgbarkeit (Produktinformation)

Blockchains sind fälschungssichere und verteilte Datenstrukturen, in denen Transaktionen in chronologischer Reihenfolge protokolliert werden. Die Strukturen sind nachvollziehbar, unveränderbar und werden ohne eine zentrale Schaltstelle abgebildet. Mit der Blockchain-Technologie können Eigentumsverhältnisse direkter und effizienter gesichert und geregelt werden, da eine vollständige und unveränderbare Datenerfassung die Grundlage dafür schafft [21]. Alternative Wege, die die gleiche oder eine ähnliche anwendungsrelevante Funktionalität bieten, müssen untersucht und anhand von Blockchains als Referenzarchitektur bewertet werden.

5.1.2 Decision Support Systems (DSS)

Ein Decision Support System (DSS) ist ein spezifisches computergestütztes Informationssystem, das geschäftliche und organisatorische Entscheidungsaktivitäten unterstützt. Richtig konzipierte Entscheidungsunterstützungssysteme sind interaktive, softwarebasierte Systeme, die Entscheidungsträgern helfen sollen, nützliche Informationen aus Rohdaten, Dokumenten, persönlichem Wissen und/oder Geschäftsmodellen zusammenzustellen, um Probleme zu identifizieren, zu lösen und Geschäftsentscheidungen zu treffen. Zukünftige Entwicklungen sollten darauf abzielen, die Vertrauenswürdigkeit von DSS zu maximieren und die Zuverlässigkeit dieser Systeme zu erhöhen mit dem Ziel, letztlich Entscheidungsunterstützungssysteme zu Entscheidungssystemen weiterzuentwickeln.

5.1.3 Farm-Management-(Informations-)System

Farm-Management-Informationssysteme (FMIS) in der Landwirtschaft haben sich von der einfachen Buchführung zu hochentwickelten und komplexen Systemen zur Unterstützung des Produktionsmanagements entwickelt. Der Zweck der aktuellen FMIS

ist es, die gestiegenen Anforderungen an die Senkung der Produktionskosten, die Einhaltung von landwirtschaftlichen Standards und die Aufrechterhaltung einer hohen Produktqualität und -sicherheit zu erfüllen. In Analogie zu DSS sollten zukünftige Entwicklungen von FMIS darauf abzielen, die Vertrauenswürdigkeit zu maximieren und die Zuverlässigkeit dieser Systeme zu erhöhen mit dem Ziel, FMIS zu Farm-Management-Systemen (FMS) weiterzuentwickeln.

5.1.4 Informationsverarbeitung und Datenauswertung

In dem Maße, wie die Verfügbarkeit von Prozessdaten durch Prozessautomatisierung und Digitalisierung zunimmt, wird es entscheidend sein, betriebsrelevante Informationen für aktuelle Entscheidungen zu generieren. Dies ermöglicht z. B. zuverlässige Prognosen für den Erfolg des landwirtschaftlichen Produktionsprozesses. Solche Informationen werden aus großen Datenmengen generiert, indem explizites und empirisches Wissen systematisiert und in computerverarbeitbare Algorithmen überführt wird. Die Verfügbarkeit und heterogene Qualität der Prozessdaten sowie der hohe Aufwand, das für die Informationsverarbeitung notwendige Wissen zu generieren und in die betrieblichen Prozesse zu integrieren, sind bisher noch Barrieren für die Informationsbeschaffung und -bereitstellung.

5.1.5 Digitale Zwillinge der Landwirtschaftsbetriebe

Landwirtschaftliche Betriebe würden durch parallele digitale Modelle erhebliche Vorteile erfahren. Die Möglichkeit, historische Zustände zurückzuverfolgen und zukünftige Zustände zu simulieren, trägt zusammen mit der Beschreibung des aktuellen Zustands des Betriebs zur verbesserten Gestaltung von Betriebsabläufen bei. Digitale Betriebsmodelle (digitale Zwillinge) versetzen das Betriebsmanagement in die Lage, komplexe Zusammenhänge zu verstehen oder zu beherrschen, die mit menschlichen Fähigkeiten weder analysiert noch synthetisiert werden können. Digitale Zwillinge bilden somit die Basis für ausgefeilte Steuerungsmöglichkeiten, einschließlich ereignisbasierter Überwachung und eng sequenzierte Prozesskontrolle.

Der digitale Zwilling versetzt die landwirtschaftlichen Betriebe und weitere an den Betriebsabläufen Beteiligte in die Lage, auf unerwartete Abweichungen zu

reagieren. Probleme können frühzeitig erkannt und proaktiv angegangen werden. Beispielsweise kann Wartung vorausschauend für den richtigen Zeitpunkt geplant werden. Die Technologie digitaler Zwillinge führt tendenziell auch dazu, das landwirtschaftliche Geschäft zu beschleunigen, indem der gesamte Prozess, von der Produktion bis zum Marketing und Verkauf, in einer holistischen Betrachtungsweise ständig in Managemententscheidungen einbezogen wird.

5.1.6 Optimierung der Abläufe

Numerische Optimierungsmethoden werden immer häufiger auf landwirtschaftliche Systemmodelle angewendet, um die profitabelsten Managementoptionen und -strategien zu identifizieren. Die Entwicklung von Bewertungs- und Optimierungsmodellen für landwirtschaftliche Vorgänge und Prozesse ist sinnvoll und notwendig.

5.1.7 Internet der Dinge, Kommunikation mit allem²

Mit der zunehmenden Verbreitung des Internets der Dinge (IoT) durchdringen vernetzte Maschinen, Geräte und Komponenten jeden Teilbereich unseres Lebens; von Gesundheit und Fitness, Heimautomatisierung, Fahrzeugen und Logistik bis hin zu Smart Cities und industriellem IoT. So ist es nur logisch, dass das IoT Anwendung in der Landwirtschaft findet und fast alle Bereiche der landwirtschaftlichen Produktion beeinflusst. IoT-Technologien haben das Potenzial, die Landwirtschaft in vielerlei Hinsicht zu verändern. Nachfolgend sind fünf Aspekte aufgeführt:

- Daten, die von intelligenten Landwirtschaftssensoren gesammelt werden, z. B. Wetterbedingungen, Bodenqualität, Maschinendaten, Wachstumsfortschritt der Pflanzen, können genutzt werden, um den Zustand der einzelnen Betriebe im Allgemeinen sowie die Leistung der Mitarbeitenden, die Effizienz der Ausrüstung usw. zu verfolgen.
- Bessere Kontrolle über die internen Prozesse und damit geringere Produktionsrisiken. Die Fähigkeit, die Leistung der Produktion vorherzusagen, ermöglicht eine bessere Planung der Produktion. Eine exakte Prognose der Ernte sichert den vollständigen Verkauf des Produkts.
- Kostenmanagement und Abfallreduzierung durch Produktionskontrolle in Echtzeit.

² <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-5-technology-use-cases-for-smart-farming-and-4-challenges-to-consider/>

- Erhöhte Unternehmenseffizienz durch Prozessautomatisierung. Der Einsatz von intelligenten Geräten ermöglicht die automatisierte Steuerung mehrerer Prozesse, z. B. Bewässerung, Düngung oder Schädlingsbekämpfung.
- Verbesserte Produktqualität und -menge. Bessere Kontrolle über den Produktionsprozess und Aufrechterhaltung höherer Standards bei Pflanzenqualität und Wachstumsbedingungen durch Automatisierung.

In den vergangenen Jahrzehnten hat die Landwirtschaft eine Reihe von technologischen Veränderungen durchlaufen, die zunehmend in den Fokus von Industrie und Technik gerückt sind. Durch den Einsatz verschiedener intelligenter landwirtschaftlicher Geräte haben die Betriebe eine bessere Kontrolle über die pflanzenbaulichen Prozesse erlangt, wodurch diese effizienter und vorhersagbarer werden.

5.1.8 Einführung des 5G/6G-Standards

In 5G/6G-Testfeldern sollen Kommunikationstechnologien als Voraussetzung für den Einsatz von Robotertechnologien, autonomes Fahren, neue Landmaschinensysteme und automatisiertes Prozessmanagement in der Landwirtschaft vorgestellt werden. Diese Kommunikationstechnologien sind eine Sammlung neuer mobiler Technologien und zugehöriger Dienste, die sich durch Echtzeit-Automatisierungsfähigkeit, hohe Übertragungsraten und Zuverlässigkeit sowie Konnektivität einer großen Anzahl von Nutzern (Maschinen, Sensoren, Aktuatoren ...) auszeichnen, die der aktuelle 4G-Standard nicht bietet. Mit 5G werden Mobilfunk- und WLAN-Technologien konvergieren und rund 500 Milliarden Teilnehmer verbunden werden, von Servern bis hin zu IoT-Sensoren. [17]. Im Zuge der kommenden Jahre wird die 6G-Technologie vorbereitet werden. In der zweiten Hälfte des jetzigen Jahrzehnts (2021 bis 2030) müssen sich die landwirtschaftlichen Technologien auf die kommenden 6G-Kommunikationsstandards einstellen und dafür planen.

5.1.9 Satellitennavigationssystem

Durch den Empfang von erweiterten Positionierungssignalen, zusätzlich zu den Signalen der bekannten globalen Satellitennavigationssysteme GPS, GLONASS und Galileo auf modernen Landmaschinen und durch ergänzende Sensorik, ist es möglich, den Standort einzelner Pflanzen zu bestimmen und jederzeit mit höchster Genauigkeit zu reproduzieren, um die Bodenbearbeitung und andere pflanzenbauliche Maßnahmen zu optimieren. Der Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln kann reduziert und

die Produktivität und der Ertrag für den Betrieb gesteigert werden [12].

5.1.10 Digital Villages

Sogenannte „Digital Villages (DV)“ zielen darauf ab, den ländlichen Raum mithilfe von digitalen Lösungen und Dienstleistungen aufzuwerten. Die Hauptkomponenten des DV-Umfelds sind domänenspezifische Dienste (z. B. Mobilität, Gesundheit) sowie die Bereitstellung einer Basisinfrastruktur. Um digitale Lösungen im ländlichen Raum zu erhalten und zu betreiben, sind sektorübergreifende Lösungen notwendig. Der Living-Lab-Ansatz (Forschung gemeinsam mit Anwendern) soll genutzt werden, um die Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten zu ermöglichen und um innovative Lösungen zu schaffen. Entwicklungen sollen sich auf erschwingliche und nachhaltige digitale Lösungen konzentrieren.

5.1.11 Gläserne Produktion

Die langfristige Versorgung mit qualitativ hochwertigen Lebensmitteln muss als Grundbedürfnis der Gesellschaften gesichert werden. Die moderne Landwirtschaft und die neuesten technologischen Entwicklungen liefern einen starken Beitrag zur Ernährungssicherheit und der Einhaltung hoher Qualitätsstandards. Technologien müssen strenge Vorschriften in Bezug auf Qualitäts- und Umweltaspekte erfassen und komfortabel zugänglich machen, um die Landwirtschaft für den Verbraucher attraktiv zu halten und damit die Basis der Lebensmittelproduktion zu sichern.

5.2 Automation/Roboter/Autonomie

5.2.1 Autonome Prozesse

In der Landwirtschaft ist ein zunehmender Automatisierungsgrad zu beobachten. Die Automatisierung, die in anderen Industriezweigen bereits enorm fortgeschritten ist, steckt in der Landwirtschaft aufgrund vieler Anforderungen noch weitgehend in den Kinderschuhen. Die Robotik ist eine Schlüsseltechnologie für diese Entwicklung, die in Zeiten knapper Ressourcen für eine Produktivitäts- und Qualitätssteigerung sorgen kann.

Die abnehmende Verfügbarkeit von Arbeitskräften in der Landwirtschaft schafft weiteren Bedarf für höhere Automatisierungsgrade und für die autonome Steuerung von Maschinen.

5.2.2 Bildgebung und Sensoren

Für die Umgebungserfassung existiert eine Vielzahl von Sensoren. Die Signale der Sensoren müssen für Navigation, Gerätesteuerung und autonome Prozesse zusammengeführt werden. Mit dem Trend zur Automatisierung und Autonomie wird der Bedarf an Sensorik steigen, insbesondere an intelligenten Sensoren, die direkt mit einem IT-System – z. B. einem „Feldbus“ – kommunizieren können.

Eine intelligente Kombination verschiedener Sensordaten und vielfältiger Informationen ist gegenwärtig eine Herausforderung. Ob Lokalisierung über GNSS, WLAN oder modellbasiertes Wissen über den Prozess – Sensoren können heute über intelligente Algorithmen entscheiden, welche Ereignisse gemeldet werden müssen. Gleichzeitig wird die intelligente Verknüpfung unterschiedlicher Sensordaten immer wichtiger.

Die wachsende Menge an Daten und Informationen von Sensoren muss zukünftig in die Lebensmittelproduktions- und Lieferkette mit integriert werden. Dies ermöglicht u. a. neue Geschäftsmodelle, um die Daten aus intelligenter Produktion und von Smart Services nutzen.

Smart Services versetzen Hersteller mobiler Landmaschinen in die Lage, eine erweiterte Zustandsüberwachung und Informationssammlung in ihren mobilen Maschinen auf Basis telematischer Datenübertragung zu realisieren.

Mit dem Wissen aus gesammelten Daten können Landmaschinenhersteller effiziente Wartungsmethoden etablieren. Verschlossene Teile können früh- bzw. rechtzeitig ausgetauscht werden, sodass die Maschine nicht während eines kritischen Produktionsprozessschritts zum Stillstand kommt.

5.2.3 Mensch-Maschine-Schnittstelle

Aktuelle und zukünftige Bedienoberflächen für professionelle Arbeitsmaschinen erfordern neben der Anwendungsorientierung eine wesentlich stärkere Nutzerorientierung bei immer komplexeren Informationsumgebungen. Eine effiziente Bedienung ist abhängig von der Bedienung, den persönlichen Fähigkeiten und der Qualität der Interaktion mit der Schnittstelle. Die zunehmende Komplexität von Maschinen und Steuerungen wird zukünftig durch rechnergestützte Steuerungssysteme und adaptive Prozesseinstellungen beherrscht.

Schwärme, Roboter und autonomes Arbeiten könnten das Umfeld für die Bedienung völlig verändern. Die Arbeit kann sich auf eine Maschine eines Schwarms konzentrieren oder sogar maschinenunabhängig sein.

Neue Konzepte zur gleichzeitigen Steuerung von Maschinen und komplexen Prozessen durch einen oder wenige Bedienende sind zu erforschen und zu etablieren.

5.3 Neue Maschinenkonzepte

Das seit Beginn der Mechanisierung der landwirtschaftlichen Produktion bestehende Paradigma der kontinuierlichen Produktivitätssteigerung in einer Einheit (Maschine) könnte durch modulare Maschinensysteme in kleineren Einheiten mit hoher Autonomie abgelöst werden, wobei die Produktivität stufenweise entlang neuer Prozessketten gesteigert und angepasst werden kann. Die bekannten Entwicklungstrends der Automatisierung und Elektrifizierung werden dazu führen, dass die Wertschöpfung im Gesamtsystem in Zukunft weniger vom Traktor abhängt und sich auf die Prozesssteuerung der Anlagen und die Betriebsleitsysteme verlagert. Smart Farming und die Kombination von Maschinen- und Prozessautomatisierung werden die zukünftige nachhaltige landwirtschaftliche Produktion prägen. Forschungsthemen in diesem Bereich sind:

- Konnektivität, Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M), Maschine-zu-Infrastruktur-Kommunikation (M2I)
- Digitalisierung, neue Bedienkonzepte
- modularer Aufbau

5.4 Betriebskonzepte für landwirtschaftliche Produktion und die Energieerzeugung

5.4.1 Kleinere autonome Maschinen und Entscheidungssysteme für die standortbezogene Landwirtschaft

Die breite und nahezu flächendeckende Verfügbarkeit von mobiler breitbandiger Internetkommunikation, kombiniert mit der Nutzung verfügbarer Maschinendaten, intelligenter Terminals und Datenbanktechnologien, eröffnet neue Möglichkeiten für die Implementierung von effizienzsteigernden Systemen in der Landwirtschaft.

5.4.2 Städtische oder vertikale Landwirtschaft

Vollständig entkoppelte Indoor-Systeme (z. B. vertikale Landwirtschaft, Hydrokultur) werden zunehmend

mit hohem Marketingaufwand in die Öffentlichkeit getragen. Der um 2020 erlebte „Hype“ wird wahrscheinlich bis 2030 nicht marktrelevant werden. Als ursächlich für diese Vermutung wird unterstellt, dass die hohen Energie- und Infrastrukturkosten nicht im erforderlichen Ausmaß sinken werden. Ferner ist eine breite Akzeptanz in Europa fraglich. Bei den wichtigen Feldfrüchten Weizen, Mais, Soja und Reis sind durch diese Methoden keine signifikanten Erträge bzw. Mehrerträge zu erwarten. Dies könnte sich ändern, wenn vorhandene große Infrastruktureinheiten für Indoor-Farming identifiziert werden, die nicht mehr für den ursprünglichen Zweck genutzt wird (z. B. stillgelegte Bergwerke).

5.4.3 Kombination von Agri-Fotovoltaik und Pflanzenbau

Die Energiewende muss unter ökologischer Sichtweise herbeigeführt werden. Dabei ist der Erhalt der landwirtschaftlichen Nutzfläche (keine Umwidmung in andere Nutzung) ebenso wichtig wie öffentliche Akzeptanz, nachhaltiges Flächenmanagement, der Erhalt hoher Biodiversität und eine möglichst regionale Nahrungsmittelversorgung der Bevölkerung.

Die Landwirtschaft muss auf erneuerbare Energiequellen zurückgreifen. Ein möglicher Ansatz wäre die Kombination von Wärmeerzeugung, Energie und stofflicher Nutzung von landwirtschaftlichen Produkten. So gibt es beispielsweise erste Forschungsansätze für die Kombination von Fotovoltaik und landwirtschaftlicher Produktion.

5.4.4 Kombination von Agrothermietechnologie und Pflanzenbau

Agrothermieanlagen sind zur Wärme/Kälte-Versorgung ganzer Quartiere oder Siedlungen geeignet. Es ist sinnvoll, Landwirtschaft aktiv mit Agrothermietechnologie zu kombinieren.

5.5 Energiesystem

Die europäischen Länder entwickeln Strategien für die Energiewende. Dieser Wandel kann auch in der Landwirtschaft aktiv genutzt werden. Dabei finden sich Anforderungen an die Energieeffizienz und der Trend zur Digitalisierung wieder. Der zukünftige Treibstoff für Landmaschinen wird laut dieser Strategie Strom und Gas sein, erzeugt durch Power-to-X oder klassische Biogasprozesse. Diese Technologien können durch konventionelle Biokraftstoffe unterstützt werden (siehe auch Abschnitt 3.2). Die Kombination verschiedener erneuerbarer Energiequellen

sollte bei der Entwicklung neuer Antriebskonzepte und für das gesamte Energiemanagement in Betracht gezogen werden. Folgende Aspekte sind dabei zu berücksichtigen:

- dezentrales Energiemanagement im ländlichen Raum
- alternative Kraftstoffe
- elektrische und hybride Antriebsstränge, Kombination mit erneuerbaren Energieträgern
- Methangas- und Wasserstoff-Verbrennungsmotoren/mobile Methangasversorgung und -speicherung

Schrifttum

Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung) (ABl. L 328 vom 21.12.2018, S. 82) (RED II)

Literatur

- [1] OECD/Food and Agricultural Organization of the United Nations (2014): OECD-FAO Agricultural Outlook 2014: OECD Publishing 2014, http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2014-en. OECD: ISSN 1563-0447 (print), ISSN 1999-1142 (online), FAO: ISBN 978-92-5-108397-0 (print), E-ISBN 978-92-5-108398-7 (PDF)
- [2] FAO (Food and Agriculture Organization): High-level expert forum: How to feed the world in 2050. Rome, Oct. 12-13 2009, Expert Meeting Report, download: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/EM_report/EM_report.pdf
- [3] Noleppa, S.; von Witzke H.; Carlsburg, M., 2013: The social, economic and environmental value of agricultural productivity in the European Union, Berlin: Humboldt Forum for Food and Agriculture (HFFA) e. V., 2013
- [4] Stute, Friedrich: Kostenführerschaft pro Tonne ist das Ziel, Bauernzeitung, Ratgeber Pflanzenbau und Technik, 2016, Sonderheft 2016
- [5] CEMA, CECE (2011): CECE and CEMA - Optimising our industry to reduce emissions. (CECE and CEMA success stories to reduce CO2). CECE Committee for European Construction Equipment, CEMA European Agricultural Machinery, Oct. 17th 2011, Brussels
- [6] German Association of Energy and Water Industries (BDEW), Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH PricewaterhouseCoopers AG WPG (PwC): DELPHI ENERGY FUTURE 2040. Delphi-study on the future of energy systems in Germany, Europe and the world by the year 2040 - <https://www.pwc.com/gx/en/energy-utilities-mining/pdf/delphi-energy-future.pdf>, 2016
- [7] Quaschnig, Volker: Sektorkopplung durch die Energiewende, Berlin, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 2016
- [8] Aumer, W.: Funktionsintegration elektrischer Antriebe in mobilen Arbeitsmaschinen, Fortschritte Naturstofftechnik, Springer-Verlag GmbH Deutschland 2018, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57457-7>
- [9] Johannes Winterhagen: Elektrischer Traktor – An der langen Leine. Frankfurter Allgemeine Zeitung, Rubrik Motor, Jan 5th 2019
- [10] Phil Hogan: Speech by Commissioner at Bio-Economy Investment Summit, Nov. 9th, 2015, Brussels
- [11] DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)
- [12] Fehrmann, Jens: European Research Roadmap on GNSS applications in agriculture, Dresden, 2013, UNIFARM contract number 287206
- [13] Energiewende, Agora: Energiewende und Dezentralität, Berlin: Agora Energiewende, 2017, 108/04-A-2017/DE
- [14] Oberfell, T.; Bopp, G.; Reise, Ch., Schindle, S.: Landwirtschaft unter Photovoltaik – die weltweite erste APV-Forschungsanlage im Reallabor, Freiburg, ISE Fraunhofer, 2017
- [15] ManuFUTURE, Agricultural Engineering and Technologies: Vision 2020 and Strategic Research Agenda, Brussels, 2006. Link: <http://www.manufuture.org/wp-content/uploads/AET-Vision-and-SRA1.pdf>
- [16] Sørensen, C. G.; Pesonen, L.; Fountas, S.; Suomi, P.; Bochtis, D.; Bildsøe, P.; Pedersen, S. M.: A user-centric approach for information modelling in arable farming. Computers and Electronics in Agriculture 73, 1 (July 2010), Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.04.003>, pp. 44–55
- [17] Fettweis, G. P.; Franchi, N.: Das Netz der Netze und seine Bedeutung für die digitale Landwirtschaft In: 27. Hülsenberger Ge-

- sprache 2018 – Landwirtschaft und Digitalisierung, Hamburg, 2018, ISSN 2510-4969, pp 21–29
- [18] Herlitzius, T., Fehrmann, J.: Stand und Tendenzen der Roboteranwendungen im Bereich der Pflanzen- und Tierproduktion (State of the Art and Trends in Robotics in Plant Production and Live Stock Farming). Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestages (Evaluation Report for the German Parliament), TU Dresden, 2017
- [19] Dionysis, D.; Sørensen, C. G.; Busato, P.: Advances in agricultural machinery management - A review. Biosystems Engineering, Volume 126, October 2014, ISSN 1537-5110, pp 69–81
- [20] Krzywinski, J.; Lorenz, S.: Nutzer- und anwendungsorientierte Konzepte zukünftiger Human-Machine Interfaces für Landmaschinen, Dresden: Gesellschaft für Informatik e. V., 2017; ISBN 978-88579-662-6
- [21] UK Government Chief Scientific Adviser: Distributed Ledger Technology: beyond block chain, WordLink, 2016. GS/16/1
- [22] VDI-Statusreport „Industrie-4.0-Technologien in der Landwirtschaft – Digitale Anwendungen im Pflanzenbau und in der Tierhaltung“, 2021. www.vdi.de/publikationen

VDI-Fachbereich Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik

Der VDI-Fachbereich Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik ist traditionelles Netzwerk und Anlaufstelle für die Agrartechnikbranche. Vertreter aus Industrie und Wissenschaft, aus Verwaltung und landwirtschaftlicher Praxis sind ihr eng verbunden. Die ehrenamtliche Arbeit erfolgt in Arbeitsgruppen und Fachausschüssen. Seit April 2009 ist die Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik ein Fachbereich in der VDI-Gesellschaft Technologies of Life Sciences. Er unterstützt die Mitglieder darin, die Entwicklungen in der Branche aktiv mitzugestalten.

VDI

Sprecher, Gestalter, Netzwerker

Die Faszination für Technik treibt uns voran: Seit mehr als 160 Jahren gibt der VDI Verein Deutscher Ingenieure wichtige Impulse für neue Technologien und technische Lösungen für mehr Lebensqualität, eine bessere Umwelt und mehr Wohlstand. Mit rund 135.000 persönlichen Mitgliedern ist der VDI der größte technisch-wissenschaftliche Verein Deutschlands. Wir sprechen für Ingenieurinnen und Ingenieure sowie für die Technik und gestalten so die Zukunft aktiv mit. Über 12.000 ehrenamtliche Expertinnen und Experten bearbeiten jedes Jahr neueste Erkenntnisse zur Förderung unseres Technikstandorts. Als drittgrößter technischer Regelsetzer ist der VDI Partner für die deutsche Wirtschaft und Wissenschaft.

Themen, die Sie auch interessieren könnten:

www.vdi.de/publikationen

VDI-Statusreport „Life Sciences – Trends und Perspektiven – Zukunfts-Szenarien 2025 in den Life Science-Bereichen: Agrartechnik, Bionik, Biotechnologie, Biodiversität und Medizintechnik“, 2018

VDI-Statusreport „Industrie 4.0-Technologien in der Landwirtschaft - Digitale Anwendungen im Pflanzenbau und in der Tierhaltung“, 2021

VDI-Handlungsfelder „Bioökonomie – Gemeinsam für eine nachhaltige Wirtschaft“, 2021

VDI-Roadmap „Agriculture Technology 2030 – Strategische Forschungsagenda, Teil 2: Technik für eine zukunftsfähige Tierhaltung (in Erarbeitung)

www.vdi-nachrichten.com/shop

VDI-Report 79th International Conference on Agricultural Engineering LAND.TECHNIK AgEng 2022, VDI-Bericht 2395

VDI-Report 78th International Conference on Agricultural Engineering LAND.TECHNIK 2020, VDI-Bericht 2374

VDI-Report 77th International Conference on Agricultural Engineering LAND.TECHNIK AgEng 2019, VDI-Bericht 2361

VDI-Report 76th International Conference on Agricultural Engineering LAND.TECHNIK 2018, VDI-Bericht 2332

VDI-Report 75th International Conference on Agricultural Engineering LAND.TECHNIK AgEng 2017, VDI-Bericht 2300

VDI-Report 74th International Conference on Agricultural Engineering LAND.TECHNIK 2016, VDI-Bericht 2273

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDI-Gesellschaft Technologies of Life Sciences
Dr. Andreas Herrmann
Tel. +49 211 6214-372
meg@vdi.de
www.vdi.de