



Digitalisierung der Landwirtschaft: technologischer Stand und Perspektiven

TAB-Fokus Nr. 31 zum Arbeitsbericht Nr. 193

September 2021

In Kürze

- › Etliche innovative Agrartechnologien, die wesentlich auf digitaler Datenverarbeitung beruhen, sind bereits praxisreif oder in fortgeschrittener Entwicklung, darunter satellitengesteuerte Landmaschinen, Sensor- und Applikationstechniken mit variabler Dosierung von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln oder Roboter für Melk-, Fütterungs- und Entmistungsvorgänge.
- › Digitale Einzelanwendungen dieser Art erfassen große Mengen an Prozessdaten und bilden so die Grundlage für eine weitreichende Digitalisierung der landwirtschaftlichen Produktion.
- › Der weitere Fortschritt bei den digitalen Agrartechnologien könnte zu grundlegenden Veränderungen der landwirtschaftlichen Prozesse führen, wie es beispielsweise im Bereich des Ackerbaus mit bestimmten Robotikkonzepten zu erwarten ist.
- › Mithilfe der Digitalisierung sollen die komplexen, von vielen unwägbareren Faktoren beeinflussten landwirtschaftlichen Betriebsabläufe effizienter und gleichzeitig nachhaltiger ausgerichtet werden und in der Folge Umweltentlastungen bewirken.
- › Zugleich erscheinen die digitalen Agrartechnologien allein nicht ausreichend bzw. teilweise nicht geeignet, um einige wichtige Umwelt- und Tierwohlprobleme der landwirtschaftlichen Produktion zu beheben.

Worum es geht

Digitale Technologien gewinnen in der landwirtschaftlichen Praxis immer mehr an Bedeutung und durchdringen inzwischen alle Bereiche der Landtechnik. Zu den bereits im Einsatz befindlichen digitalen Anwendungen zählen etwa satellitengesteuerte Landmaschinen, Sensorsysteme zur variablen Dosierung von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln, Roboter zur Automatisierung von Routinetätigkeiten im Stall oder Drohnen zur Ausbringung von Nützlingen. Während der Trend im Pflanzenbau zur teilflächenspezifischen bzw. variierten Bewirtschaftung geht, stehen in der Tierproduktion

einzel-tierbezogene Maßnahmen, wie Fütterung, Melken und Leistungsmessung, im Vordergrund. In beiden Bereichen ist eine zunehmende Automatisierung bis hin zur autonomen Arbeitserledigung festzustellen.

Wie in vielen Wirtschaftsbereichen eröffnet die Digitalisierung in Zusammenhang mit innovativen Datenanalyseverfahren auch in der Landwirtschaft neue Möglichkeiten, Produktionsprozesse datenbasiert zu steuern. Angesichts der grundlegenden, teils unvereinbar erscheinenden Anforderungen, denen sich die Landwirtschaft aktuell gegenüber sieht – Ernährungssicherung bei wachsender Weltbevölkerung einerseits, nachhaltigere Produktion andererseits –, werden die Entwicklungen und Perspektiven innovativer Agrartechnologien intensiv diskutiert. Ziel ist es, mithilfe der Digitalisierung die komplexen, von vielen unwägbareren Faktoren (Wetter- und Umwelteinflüsse etc.) beeinflussten landwirtschaftlichen Betriebsabläufe effizienter und gleichzeitig nachhaltiger auszurichten. Dies betrifft sowohl aus ökologischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht wünschenswerte Betriebsmitteleinsparungen, aber auch die Erleichterung von Nachweispflichten und Dokumentationsaufgaben.

Digitale Agrartechnologien – Stand und Perspektiven

Digitaltechnologien, die in landwirtschaftlichen Betrieben zum Einsatz kommen, sind überaus vielfältig und heterogen. Von besonderer Bedeutung für die Digitalisierung der Landwirtschaft sind die Entwicklungen in den vier Technikfeldern Sensoren, Landmaschinen, Drohnen und Roboter.

Sensoren dienen als Messfühler der Erfassung von sehr unterschiedlichen Prozessdaten und bilden damit eine ent-

Auftraggeber

Ausschuss für Bildung, Forschung und
Technikfolgenabschätzung
+49 30 227-32861
bildungundforschung@bundestag.de

scheidende technische Grundlage für die Digitalisierung landwirtschaftlicher Prozesse. Die Anzahl der verfügbaren Sensorsysteme und ihre Anwendungsfelder haben sich in den letzten Jahren deutlich erhöht. In der Pflanzenproduktion werden Sensoren eingesetzt, um die Wachstumsbedingungen für Pflanzen zu optimieren oder Erträge zu sichern bzw. zu steigern. Von besonderer Relevanz sind hier Bodensensoren (Bestimmung von Bodeneigenschaften, Steuerung der Bodenbearbeitung), Stickstoffsensoren zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung, Unkrautsensoren zur differenzierten Steuerung der Unkrautbekämpfung und Erntesensoren, die als integraler Bestandteil von Erntemaschinen der Messung von Erntemengen sowie der Erfassung von Qualitätseigenschaften des Ernteguts dienen. In der Tierhaltung kommen Sensortechnologien in der Stallhaltung und der Weidewirtschaft zum Einsatz, z. B. bei der Einzeltierbeobachtung (Herdenmanagement), bei Melk- und Fütterungsprozessen oder der Steuerung des Stallklimas (Stallmanagement). Aktuell ist eine deutliche Tendenz in der Entwicklung von Sensorsystemen hin zu Onlineverfah-

terpretationsalgorithmen in bewirtschaftungsrelevante Parameter übersetzt werden, um daraus mit Entscheidungsalgorithmen konkrete Bewirtschaftungsmaßnahmen ableiten zu können. Trotz ihrer zunehmenden Verbreitung sind viele Sensorsysteme nach wie vor Insellösungen. Perspektiven der landwirtschaftlichen Sensornutzung liegen deshalb vor allem im Bereich der Entwicklung von Multisensorplattformen bzw. -systemen, die verschiedene Sensoren kombinieren, sowie der Sensordatenfusion, also der Verknüpfung und gemeinsamen Interpretation von Daten verschiedener Einzelsensoren.

Moderne **Landmaschinen** verfügen über satellitengestützte Navigation und bieten mittels Telemetriesystemen neue Möglichkeiten des datenbasierten Flottenmanagements sowie der automatischen Dokumentation der durchgeführten Bewirtschaftungsmaßnahmen. Die präzise Ortung (± 2 cm) auf Basis der satellitengestützten Positionsbestimmung ist Stand der Technik und wird verbreitet genutzt, zudem werden etliche Assistenzfunktionen standardmäßig angeboten, wie z. B.

Parallelfahrssysteme oder die automatische Teilbreitenschaltung. Ein neuer Trend ist das sogenannte Tractor-Implement-Management, also die Steuerung von Prozessen auf dem Schlag (und entsprechender Traktorfunktionen) durch das Anbaugerät. Aktuelle Forschungsvorhaben zielen auf eine weitere Automatisierung oder gar eine vollautonome Betriebsweise von Landmaschinen (Abb. 1). Eine sichere Erfassung von statischen und dynamischen Hindernissen ist dafür eine wichtige Voraussetzung, die jedoch bislang nur unzureichend erfüllt

Abb. 1 Autonomes Traktorkonzept – Case IH



ren zu erkennen, bei denen die Sensorwerte in Echtzeit die Ausprägung von Bewirtschaftungsmaßnahmen bestimmen. Die Messdaten der Sensoren müssen dabei mithilfe von In-

ist. Daneben besteht insbesondere im Hinblick auf die Automatisierung von Bewirtschaftungsprozessen noch erheblicher Forschungsbedarf.

Wissensstand zu Umweltwirkungen

Anwendungen der Präzisionslandwirtschaft können mittels einer höheren Produktionseffizienz in unterschiedlichem Umfang den Einsatz von Betriebsmitteln verringern und in der Folge Umweltentlastungen bewirken:

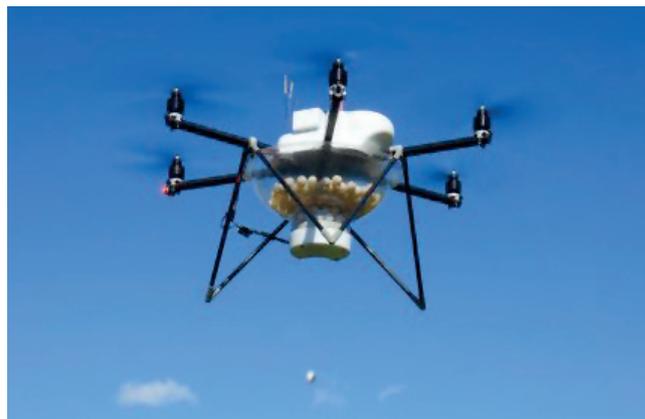
- im Ackerbau durch teilflächenspezifische Verfahren bei der Bodenbearbeitung, Stickstoffdüngung, Unkrautbekämpfung oder Aussaat sowie die variable Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten und die automatisierte Spurführung;
- im Bereich der Tierproduktion durch eine individualisierte Fütterung (Precision Feeding) sowie automatisiertes Melken.

Aufgrund der vielfältigen Anwendungsbereiche und Verfahren, der sehr heterogenen Einsatzbedingungen und komplexen Wirkzusammenhänge bestehen hinsichtlich der Größenordnung der in der Praxis erzielbaren Entlastungseffekte allerdings noch große Unsicherheiten. Für eine fundierte Abschätzung der Umweltwirkungen mangelt es bislang noch an einer ausreichenden wissenschaftlichen Datenbasis. Bei den vorliegenden Untersuchungen handelt es sich hauptsächlich um kurzzeitige Feldversuche oder Modellrechnungen, deren Ergebnisse sich aufgrund der sehr unterschiedlichen Versuchsbedingungen nicht generalisieren lassen.

Drohnen: Durch die Möglichkeit, verschiedene Sensorsysteme (Digitalkameras, multispektrale und hyperspektrale Sensoren), Navigations- und Funksysteme oder kleinere Lasten an einer Drohne zu befestigen, sind die landwirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten sehr vielfältig. Eingesetzt werden Drohnen in der Landwirtschaft bislang fast ausschließlich im Pflanzenbau. Hier ergeben sich vielfältige Nutzungsmöglichkeiten vor allem in den Bereichen Bestandsmonitoring, bei der Wildtierortung und der Erfassung von Wildtierschäden sowie bei der Schädlings- und Unkrautbekämpfung. In der Praxis bereits etablierte Einsatzfelder sind die Aufspürung von Rehkitzen mittels Echtfarb- und Wärmebildkameras sowie die biologische Bekämpfung des Maiszünslers durch das Ausbringen von *Trichogramma*-Schlupfwespen (Abb. 2). Aktuell werden die Anwendungsmöglichkeiten von Drohnen in der Landwirtschaft noch durch das eingeschränkte Flug- und Tragevermögen sowie die relativ hohen rechtlichen Einsatzhürden begrenzt. Zudem ist die Analyse der generierten Bilddaten sehr komplex und in der Regel nicht in Echtzeit möglich, was einen Nachteil gegenüber bodengebundenen Sensorsystemen darstellt. Generierung und Interpretation der Daten erfordern entsprechendes Know-how, weshalb landwirtschaftliche Drohnenleistungen hauptsächlich von spezialisierten Unternehmen angeboten werden.

Roboter werden in der Landwirtschaft bislang vor allem in der Tierhaltung zur Automatisierung von arbeitsintensiven Routinearbeiten im Stall eingesetzt. Automatische Melksysteme, Fütterungsautomaten und Reinigungsroboter sind ausgereift und kommen bereits relativ verbreitet zur Anwendung. Dahingegen befinden sich Robotiklösungen zur vollständigen Automatisierung pflanzenbaulicher Prozesse (Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz, Unkrautbekämpfung, Ernte etc.) noch weitestgehend in der Forschungs- und Entwicklungsphase. Grund dafür sind u. a. die hohen Anforderungen an die sensorische Umfelderkennung und die autonome Steuerung der Maschinen infolge der variablen Einsatzbedingungen. Gleichwohl wird auch im Bereich der Feldrobotik an zahlreichen Konzepten gearbeitet und in Bereichen wie der Unkrautbekämpfung, der Aussaat oder

Abb. 2 Drohne bei der Ausbringung von Schlupfwespen gegen Maiszünsler



der Gemüse- und Obsternte stehen erste praxistaugliche Prototypen zur Verfügung. Während die weitere Verbreitung von Robotiklösungen in der Nutztierhaltung im Wesentlichen durch die (für einen wirtschaftlichen Einsatz) erforderliche Betriebsgröße begrenzt wird, ist im Ackerbau neben dem technologischen Entwicklungsbedarf auch eine grundlegende Neuausrichtung der Ackerbauprozesse und Pflanzenbausysteme erforderlich. Diskutiert werden in diesem Zusammenhang beispielsweise die Möglichkeiten einer sehr kleinräumigen, in Zukunft vielleicht sogar auf die Einzelpflanze ausgerichteten Ackerbewirtschaftung durch autonome Kleinmaschinen (Spot Farming). Perspektiven bieten hier neue Maschinenkonzepte, wie z. B. im Schwarm operierende Einheiten (Abb. 3).

Ausblick: Potenziale für eine nachhaltigere Landwirtschaft

Mit der Digitalisierung der Landwirtschaft eröffnet sich ein weites Innovationsfeld, das sehr unterschiedliche Technologiebereiche, wie Sensorik, Robotik, Automation und künstliche Intelligenz, umfasst. Zwar wird das größte Potenzial zur Optimierung landwirtschaftlicher Prozesse in

Bei einzelnen Einsatzfeldern können zudem Zielkonflikte auftreten. Bei der Unkrautbekämpfung beispielsweise verringern Onlineverfahren, die eine gezielte chemische oder mechanische Bekämpfung von einzelnen erkannten Unkrautpflanzen vornehmen, zwar deutlich die ökotoxikologischen Auswirkungen im Vergleich zur bisherigen meist präventiven Herbizidanwendung. Sie lassen aber nur eine sehr geringe oder keine Restverunkrautung zu, die als Nahrungsangebot und Habitate für Insekten und Vögel von hoher Bedeutung ist. Potenzielle Umweltentlastungen durch digitale Agrartechnologien müssen deshalb unter Berücksichtigung systemarer Zusammenhänge beurteilt werden. Relevant sind auch Re-

boundeffekte. So kann der effizientere Einsatz einer Ressource, z. B. Wasser bei der teilflächenspezifischen Bewässerung, eine relative Kostensenkung und dadurch im Endeffekt eine verstärkte Nachfrage nach dieser Ressource bewirken.

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

der umfassenden Vernetzung dieser Anwendungen auf Betriebsebene gesehen, was noch längst nicht realisiert ist (zu den Voraussetzungen und Implikationen dieser Vision siehe TAB-Fokus Nr. 32). Dennoch bieten bereits die verfügbaren digitalen Einzeltechnologien Chancen, die Landwirtschaft kostengünstiger und nachhaltiger zu gestalten. Hierfür ist eine rein technikgetriebene, an der Effizienzsteigerung orientierte Innovation der Agrarproduktion jedoch vermutlich nicht ausreichend. Denn der Trend zur Entwicklung immer größerer Maschinen und von Hightechlösungen, der die Landwirtschaft schon seit vielen Jahrzehnten geprägt hat, scheint derzeit ungebrochen. Grundsätzlich sind die Umweltwirkungen der Präzisionslandwirtschaft von mannigfaltigen Faktoren bestimmt und damit schwierig zu beurteilen (Kasten).

Damit der weitere Fortschritt zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft führt, werden Forschungs- und Entwicklungsprogramme benötigt, die sich stärker als bislang an agrarökologischen Prinzipien orientieren. Im Hinblick auf eine umweltverträglichere Landbewirtschaftung eröffnen speziell autonome Roboter Perspektiven, einzelne große Landmaschinen durch viele kleinere Einheiten (zum Teil schwarmbasiert) zu ersetzen, die weitgehend eigenständig agieren und rund um die Uhr einsetzbar sind. Ökologisch vorteilhaft an solchen autonomen Kleingeräten sind die ge-

Abb. 3 Fendt »Xaver«: im Schwarm operierende Robotereinheiten



TAB-Arbeitsbericht Nr. 193
Digitalisierung der Landwirtschaft:
technologischer Stand und Perspektiven

Christoph Kehl, Rolf Meyer, Saskia Steiger



Projektinformationen

www.tab-beim-bundestag.de/projekte_digitalisierung-der-landwirtschaft.php

Projektleitung und Kontakt

Dr. Christoph Kehl
 +49 30 28491-106
kehl@tab-beim-bundestag.de

ringere Bodenverdichtung, vor allem aber neue Möglichkeiten einer sehr kleinräumigen, in Zukunft vielleicht sogar auf die Einzelpflanze ausgerichteten Produktionsgestaltung. Davon würde der ökologische Landbau, der nicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutz- und Düngemittel zurückgreifen kann, in besonderem Maße profitieren. Hinzu kommt, dass mithilfe autonomer Kleintechnik viele Ansätze des ökologischen Landbaus (mechanische Unkrautbekämpfung, Fruchtfolgegestaltung) in den konventionellen Landbau übertragen werden könnten.

Allerdings stehen entsprechende Entwicklungen noch relativ am Anfang, und es sind noch viele Forschungsfragen zu klären, wie z. B. im Verband operierende Kleinmaschinen zu einer nachhaltigeren Agrarproduktion beitragen können. Dabei geht es nicht nur um technischen Fortschritt im engeren Sinne, sondern um eine ganzheitliche Erneuerung der landwirtschaftlichen Produktionssysteme um die neuen Verfahrenstechniken herum. Wünschenswert wäre, dass die Innovationsanstrengungen bei digitalen Technologien enger verknüpft werden mit anderen angestrebten Veränderungen im Ackerbau (z. B. Erweiterung des Kulturpflanzenspektrums und der Fruchtfolgen). Erst bei abgestimmten und sich gegenseitig unterstützenden Innovationen ist ein spürbarer Beitrag zu einer nachhaltigeren Landbewirtschaftung zu erwarten.

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) berät den Deutschen Bundestag und seine Ausschüsse in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels. Das TAB wird seit 1990 vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) betrieben. Hierbei kooperiert es seit September 2013 mit dem IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH sowie der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung entscheidet über das Arbeitsprogramm des TAB, das sich auch aus Themeninitiativen anderer Fachausschüsse ergibt. Die ständige »Berichterstattergruppe für TA« besteht aus dem Ausschussvorsitzenden Dr. Ernst Dieter Rossmann (SPD) sowie je einem Mitglied der Fraktionen: Stephan Albani (CDU/CSU), René Röspele (SPD), Dr. Michael Ependiller (AFD), Prof. Dr. Andrew Ullmann (FDP), Ralph Lenkert (Die Linke), Dr. Anna Christmann (Bündnis 90/Die Grünen).