
/// Nachhaltige Landnutzung und digitale Methoden: ein Widerspruch?


LANDWIRTSCHAFT 4.0

PATRICK OLE NOACK / MICHAEL RUDNER /// Die Landwirtschaft als Wirtschaftssektor wird in der öffentlichen Wahrnehmung meist weder mit Digitalisierung noch mit Nachhaltigkeit in Verbindung gebracht. Die aktuellen Diskussionen um den Einsatz von Herbiziden zeigen, wie weit die Meinungen auseinanderliegen. Tatsächlich lassen sich die Bereiche Landnutzung, Digitalisierung und Nachhaltigkeit aber synergetisch positiv wirksam verbinden.

Einleitung

In jüngerer Zeit werden in der öffentlichen Diskussion zwei Themen besonders intensiv behandelt. Einerseits die Digitalisierung, die für die Bayerische Staatsregierung von so zentraler Bedeutung ist, dass sie eine dedizierte Strategie¹ entwickelt hat, und andererseits die Nachhaltigkeit, für die die Vereinten Nationen im Jahr 2015 eine Liste von 17 Zielen² aufgestellt haben. Neben der ausreichenden Versorgung mit Lebensmitteln (Ziel 2) und dem verantwortlichen Umgang mit Ressourcen (Ziel 12) wird hier auch die Erhaltung der biolo-

gischen Vielfalt (Ziel 15) genannt. Die Landwirtschaft als Wirtschaftssektor wird in der öffentlichen Wahrnehmung aber meist weder mit Digitalisierung noch mit Nachhaltigkeit in Verbindung gebracht. Tatsächlich lassen sich die Bereiche Landnutzung, Digitalisierung und Nachhaltigkeit jedoch synergetisch zum Wohle der landwirtschaftlichen Betriebe, der Umwelt und der Gesellschaft verbinden. Die an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf angesiedelte Lehre und Forschung bewegt sich im Schnittpunkt dieser drei Bereiche. Im Folgenden zeigen wir anhand verschie-



Die Gewinnbewirtschaftung schafft neue Lebensräume für Tiere und Pflanzen wie z. B. das Sommer-Adonisröschen am Rand eines Getreidefelds im Landkreis Ansbach.

dener Beispiele auf, wo große Potenziale für die Optimierung der landgebundenen Nahrungs-, Futtermittel- und Energieproduktion mit Hinblick auf ökonomische und ökologische Ziele liegen.

Die Nutzung digitaler Methoden in der Landbewirtschaftung hat bereits eine lange Geschichte. Sie geht in die Anfänge der 1990er-Jahre zurück. Damals erfolgte erstmalig der Einsatz von Satellitenortungssystemen in der Landwirtschaft. In Mähdreschern wurde der lokale Ertrag positionsbezogen erfasst. Die aus der Verarbeitung der Daten resultierenden Ertragskarten zeigten, dass die Höhe des Ertrags innerhalb eines Feldes erheblich variieren kann. Aus diesen Erkenntnissen gespeist entstand der Gedanke des Precision Farming, einer kleinräumig an den Standort angepassten Bewirtschaftung. Schon damals stand neben den ökonomischen Vorteilen auch der Ressourcenschutz im Fokus.

Seitdem sind zahlreiche neue digitale Methoden entwickelt worden. Bei der Nutzung von Satellitendaten, Künstlicher Intelligenz und der Bildverarbeitung ist erst der Anfang gemacht und die Potenziale sind bei weitem noch nicht ausgeschöpft – auch und gerade in der Landwirtschaft.

Reduktion des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, vor allem von Herbiziden, wird in der Öffentlichkeit stark diskutiert. Besonders deutlich wurde dies beim Wirkstoff Glyphosat. Nicht nur um den Ansprüchen der Gesellschaft gerecht zu werden, sondern auch, um die Ausbildung von Resistenzen zu verzögern, wird empfohlen, möglichst zurückhaltend mit Herbiziden umzugehen. Die Digita-

lisierung bietet hier neue Möglichkeiten, die den zuverlässigen Einsatz am richtigen Ort steuern und den Rest der Fläche unbehandelt lassen.

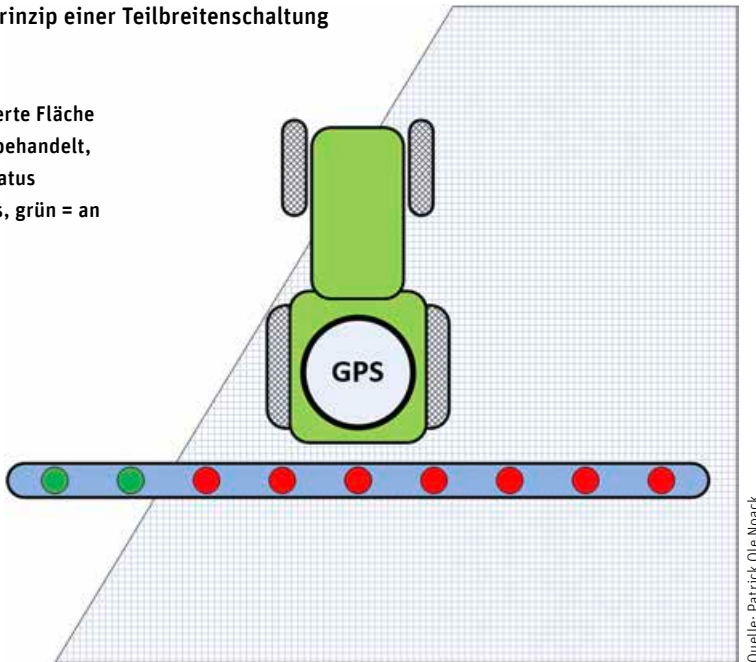
Die Überlappung beim Herbizideinsatz kann durch sogenannte Teilbreitenschaltungssysteme auf ein Minimum reduziert werden. Diese überwachen während der Ausbringung fortlaufend die Position einzelner Teilbreiten oder gar einzelner Düsen. Die behandelte Fläche wird aufgezeichnet. Sobald sich eine Düse oder Teilbreite in einem Bereich befindet, der schon behandelt wurde, werden diese ausgeschaltet. Dies führt zu einer erheblichen Verminderung von Überlappung an den Feldrändern, vor allem auf kleinen Flächen. Somit bewirkt die Kombination aus moderner Pflanzenschutztechnik mit Teilbreitenschaltungssystemen ökonomische und ökologische Vorteile.

Der Einsatz von Herbiziden kann mittels **SENSORTECHNIK zielgenau erfolgen.**

Bereits heute sind Systeme verfügbar, die mittels Sensoren auf einem bearbeiteten Feld erkennen können, ob Pflanzen vorhanden sind. Die Ausbringung von Totalherbiziden wie Glyphosat kann beim sogenannten Spotspraying mit Hilfe dieser Sensoren so gesteuert werden, dass nur dort Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden, wo Pflanzen stehen. Dies senkt die Ausbringungsmenge von Herbiziden erheblich.

Grundprinzip einer Teilbreitenschaltung

schrattierte Fläche
bereits behandelt,
Düsenstatus
rot = aus, grün = an



In der Entwicklung befinden sich zurzeit Sensoren, die auch in einem Bestand mit Kulturpflanzen erkennen können, ob sich zwischen oder in den Reihen Begleitflora befindet. Die Begleitflora kann mittels Bildverarbeitung identifiziert werden, so dass die Behandlung auf Basis teilflächenspezifischer Schadschwellen erfolgt und zudem die nicht ertragsrelevanten Arten nicht bekämpft werden müssen. Die Behandlung kann direkt nach der Erkennung oder im Nachgang elektrisch, mechanisch oder chemisch erfolgen. Es ist abzusehen, dass diese Technik in den kommenden Jahren marktreife erreichen wird und dann ebenso wie die Teilbreitenschaltungssysteme zu ökonomischen und ökologischen Vorteilen führt.

Der Einsatz von Wachstumsreglern dient dem Einkürzen der Nutzpflanze

und der Vermeidung von Lager (Umfällen der Nutzpflanzen). Die optimale Aufwandmenge hängt von der Höhe und der Dichte des Pflanzenbestandes ab. Dieser kann aus Fernerkundungsdaten (z. B. Sentinel-Mission der ESA³) abgeleitet werden. Diese Daten stehen kostenlos zur Verfügung und können direkt in sogenannte Applikationskarten umgewandelt werden. Dies führt dazu, dass die Aufwandmenge wenn nicht minimiert, so doch innerhalb der Fläche optimiert wird.

Gleiches gilt für die Ausbringung von systemischen Fungiziden. Die optimalen Ausbringungsmengen hängen hier ebenso wie beim Wachstumsregler von der Bestandesdichte ab. Wird diese aus Fernerkundungsdaten bestimmt, kann die Aufwandmenge an den Bestand angepasst werden.

Die Verminderung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln senkt zum einen die Produktionskosten und öffnet andererseits Lebensraum für eine große Anzahl an Arten der Begleitflora (Segetalarten), die für den Ertrag ohne Bedeutung sind. Damit besteht die Möglichkeit, dass die Äcker wieder reicher an Pflanzenarten werden. In den vergangenen 50 Jahren war die mittlere Artenzahl von Ackerwildkräutern von 25 auf unter 8 pro Acker gesunken.⁴ Eine vielfältigere Segetalflora bietet über längere Zeiträume im Jahr mehr Lebensraum für Insekten und Spinnen. Besonders bedeutend ist dies für die räuberisch lebenden Arten, die als Nützlinge agieren, da sie bereits bei der beginnenden Entwicklung von Schädlingspopulationen vor Ort sind und regulierend eingreifen können.

Trichogramma Ausbringung mit UAV (Drohnen) im Mais

Bestimmte Schädlinge wie etwa der Maiszünsler sind mit Pflanzenschutzmitteln schwer zu erreichen, da die Entwicklungsschritte überwiegend in der Wirtspflanze ablaufen. In solchen Fällen bietet sich die biologische Schädlingsbekämpfung mit parasitierenden Arten an. Die Ausbringung von Trichogramma, einer Schlupfwespe, die den Maiszünsler parasitiert, kann mittels Drohnen erfolgen. Dieses Verfahren

hilft effizient, die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren und so mit Rücksicht auf andere, hier vor allem nützliche, Insektenarten eine nachhaltige Bewirtschaftung zu fördern.⁵

Gewannebewirtschaftung

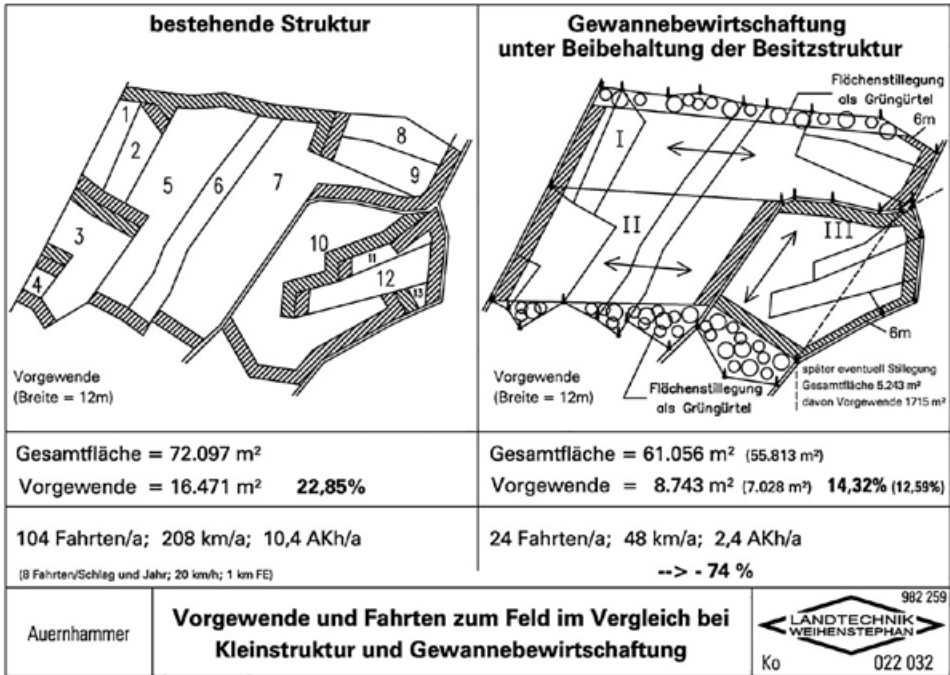
Große Gestaltungsmöglichkeiten für die Bewirtschaftung ergeben sich durch die genaue Verortung der Landmaschinen mit Hilfe der Satellitenortung (GNSS). Die Gewannebewirtschaftung als "virtuelle Flurbereinigung" bietet Chancen für die effiziente Bewirtschaftung großer, zusammenhängender Areale, ohne eine Veränderung der Besitzverhältnisse festzuschreiben.⁶

Die Optimierung der Geometrie der bewirtschafteten Flächen steigert die Effizienz. Auf der anderen Seite sollte die Landschaft aber ihre Strukturen und damit auch Strukturelemente nicht verlieren, da diese eine große Bedeutung als Lebensraum und Wanderkorridor für viele Tier- und Pflanzenarten besitzen. Das Feld sollte nur so breit sein, dass der Mittelbereich nach der Saatbettbereitung von den Tieren auch noch erreicht werden kann, da in einem Ackerökosystem nach jeder wendenden Bodenbearbeitung ausgehend von den Rückzugsräumen im Grunde eine Neubesiedlung durch die Tiere erfolgen muss.

Das Konzept der Gewannebewirtschaftung sieht ausdrücklich vor, dass aufgrund der Geometrie eines Gewannes schwer zu bewirtschaftende Ränder begrünt oder anderweitig ökologisch genutzt werden. Nach der virtuellen Flurbereinigung sind die neu entstandenen Bewirtschaftungseinheiten also nicht nur effizienter zu bearbeiten, sondern es entstehen zusätzlich Lebensräume für Tiere und Pflanzen, deren Bereit-

Der Einsatz von **DROHNEN kann die biologische Schädlingsbekämpfung unterstützen.**

Gewannebewirtschaftung als Methode zur ökologischen und ökonomischen Optimierung der Landnutzung



Quelle: Auernhammer, H., 2002: Vorgewende und Fahrten zum Feld im Vergleich bei Kleinstruktur und Gewannebewirtschaftung. AgTecCollection: Institut für Landtechnik TUM / Zeichenbüro, TU München 2009, <http://mediatum.ub.tum.de/?id=733611>. Ansprechpartner: <http://www.tec.wzw.tum.de/index.php?id=6>

stellung durch alle Flurstückseigentümer getragen wird.

Bei der Planung der Bewirtschaftungseinheiten können zusätzlich Korridore für das Einwandern von Tieren und Pflanzen oder die Vernetzung von Biotopen geschaffen werden, wenn die Teilstücke eine hinsichtlich des Verfahrens optimale Größe überschritten haben. Wird das Gewanne sehr breit, können auch innerhalb der Produktionsflächen Maßnahmen zur Förderung der biologischen Vielfalt durchgeführt werden. Beispiele, wie etwa 36 m breite Blühstreifen zum Schutz der Feldvögel in großen Ackerschlägen in Mecklen-

burg-Vorpommern, könnten dann auch in Landschaften, die aufgrund der Besitzverhältnisse kleinräumiger strukturiert sind, umgesetzt werden. Die großen Breiten sind nötig, um Räubern wie dem Fuchs das Aufspüren der Gelege

Die Gewannebewirtschaftung schafft NEUE Nutzungseinheiten und Lebensräume für Flora und Fauna.

nicht zu leicht zu machen und damit den Bruterfolg zu erhöhen.

Interessante Perspektiven entstehen durch die Nutzung der Fahrgassen als Lebensraumkorridor, indem dort eine geeignete Blümmischung ausgesät wird. Bei weiteren Bewirtschaftungsgängen werden dort keine Pflanzenschutzmittel angewendet. Die Behandlung nach der Ernte sollte so erfolgen, dass Insektenpopulationen, die sich dort aufgebaut haben, überwintern können. Als Beispiel kann die Blütenkorn-Initiative⁷ aus dem Hohenlohischen angeführt werden.

Lerchen-/ Kiebitzfenster

Zum Schutz der Feldvögel wurden in den vergangenen Jahren in vielen Ackererschlägen Feldlerchenfenster angelegt. Dafür wird im Feld ein Ausschnitt von 10 bis 20 m Länge von der Bewirtschaftung ausgespart. Es entwickelt sich dort eine spontane Begrünung, die sich aufgrund der fehlenden Düngung weniger kräftig entwickelt als die umgebende Kultur. Mit Hilfe von Teilbreitenschaltungssystemen können Lerchenfenster im Vorfeld geplant und bei der Aussaat automatisch angelegt werden. Dabei kann das Lerchenfenster die komplette Arbeitsbreite der Sämaschine umfassen. Es ist jedoch auch möglich, automatisch einzelne Säreihen abzuschalten. Diese sind dann von Fahrspuren entkoppelt und somit für Füchse schwer auffindbar.

Kiebitzfenster sind mit etwa 40 m x 40 m deutlich größer. Sie sind für alle Feldvögel gleichermaßen geeignet und aufgrund der Größe für Räuber schwieriger zu durchstöbern. Die zuvor genannte Gewannebewirtschaftung würde Flächengrößen hervorbringen, in welchen sich diese gut integrieren ließen.⁸

Humusmehrung

Eine zentrale Forderung hinsichtlich der Nachhaltigkeit ist die Reduktion des Kohlendioxidgehalts in der Atmosphäre. Durch Pflanzen aus der Atmosphäre aufgenommener Kohlenstoff kann nach seiner Zersetzung in der Ackerkrume in Form von Humus gebunden werden. Moderne Sämaschinen werden aus pflanzenbaulichen Gründen teilweise mit NIR-Sensoren ausgestattet, die auch für die fortlaufende Kartierung des Humusgehalts in Ackerböden verwendet werden könnten.



HUMUSMEHRUNG reduziert den Kohlendioxidgehalt.

Die entsprechenden Zu- bzw. Abnahme des Humusgehalts wäre im Nachgang für den Handel mit Zertifikaten⁹ oder die direkte Entlohnung für das Binden von atmosphärischem Kohlendioxid nutzbar. Humusmehrung fördert auch das Bodenleben. Eine vielfältige Lebensgemeinschaft im Humus steigert die Umsetzungsrate organischen Materials und fördert so die Bodenfruchtbarkeit.¹⁰

Reduktion der Nitratfracht

Die Nitratbelastung des Grundwassers, das als Trinkwasser große Bedeutung hat, wurde bereits in den 1980er-Jahren intensiv diskutiert. Heute ist sie wieder Anlass für Besorgnis. Ohne Zweifel tragen zu hohe Düngegaben zu einer hohen Nitratbelastung bei, da nicht von den Pflanzen aufgenommene Mengen mit

dem Sickerwasser in Richtung Grundwasserkörper verfrachtet werden.¹¹ Nachhaltige Bewirtschaftung zielt auf langfristig wenig belastetes Grundwasser, um die Versorgung mit Trinkwasser ohne aufwändige Nachbehandlung sicherstellen zu können. Eine präzise Steuerung der Düngegaben unter Berücksichtigung des Bedarfs der Pflanzen kann hier ein Schlüssel zur Lösung sein.

Der Stickstoffbedarf von Pflanzen orientiert sich einerseits an den Wachstumsbedingungen (Boden, Witterung), andererseits an der Qualität des Produktes. Insbesondere die Qualität von Getreide (Gerste, Weizen) wird durch den Proteingehalt bestimmt. Die Düngung sollte sich also daran ausrichten, ein marktgerechtes Produkt zu erzeugen.

Entscheidend für die Reduzierung des Austrags von Stickstoff in das Grundwasser ist die Vermeidung einer Überversorgung. Stickstoff, der nicht von den Pflanzen aufgenommen werden kann, wird in der Regel in das Grundwasser verfrachtet. Zu geringe Düngermengen führen dem hingegen zu Ertrags- und / oder Qualitätseinbußen (siehe zuvor). Bisher erfolgt die Stickstoffdüngung in der Regel schlageinheitlich. Fußend auf der Schätzung des erwarteten Ertrags wird die für diesen Ertrag benötigte Stickstoffmenge berechnet. Dabei wird keine Rücksicht darauf genommen, dass der Pflanzenbestand

sich aufgrund von Bodenunterschieden (Nährstoffgehalt, Wasserhaltefähigkeit, Stickstoffnachlieferung) unterschiedlich entwickelt und damit einen variablen Stickstoffbedarf aufweist.

Mit Hilfe von Stickstoff-Sensoren kann die bereits von Pflanzen aufgenommene Stickstoffmenge gemessen werden. Aus der bereits aufgenommenen Menge und dem Gesamtbedarf wird dann fortlaufend die Restmenge berechnet, die für die Befriedigung des Gesamtbedarfs erforderlich ist. Dementsprechend wird die Ausbringmenge des Düngerstreuers an den Sollwert angepasst. Dieses Verfahren wird als Online-Düngung bezeichnet.

Die Offline-Düngung bezeichnet einen Ansatz, bei dem Satellitenaufnahmen genutzt werden. Die an den Satelliten angebrachten Sensoren liefern Bilder, die Informationen zur Reflektion des Lichts im roten und nahinfraroten Bereich des Lichts enthalten. Diese können zu Vegetationsindices (z. B. NDVI, REIP) verrechnet werden, die wiederum einen engen Zusammenhang zur bereits aufgenommenen Stickstoffmenge aufweisen. Diese Karten werden wiederum zur sogenannten Applikationskarte (Sollwertkarte) mit Sollmengen für die Stickstoffdüngung verarbeitet. Je nach Position des Fahrzeugs wird die Ausbringmenge entsprechend der Sollwertkarte geregelt. Diese Herangehensweise schränkt die Überdüngung erheblich ein.¹²

NIR-Sensoren sind in der Landwirtschaft und im Bereich der Lebensmittelverarbeitung weit verbreitet. Sie dienen der Bestimmung von Inhaltsstoffen in Saatgut, Futtermitteln, Speisegetreide, Milch und Fleisch. Durch den Einsatz in Güllefässern wird die Stickstoffkonzentration ermittelt. Somit kann die Aus-

Die Nitratbelastung des Grundwassers soll **GERINGSTMÖGLICH gehalten werden.**



Stickstoff-Sensor im Einsatz

bringmenge von Gülle in Abhängigkeit der Nährstoffkonzentration erfolgen.

Intelligente Düngung ist ein erfolgversprechender Weg, um einerseits den Proteingehalt der Feldfrüchte zu optimieren und andererseits die Trinkwasserqualität zu sichern. Hierzu ist neben der Kenntnis zum jeweiligen Vorrat an verfügbarem Stickstoff im Boden auch die Kenntnis zum Stickstoffgehalt des Wirtschaftsdüngers erforderlich.

Reduktion Erosion und P-Austrag

Der Klimawandel macht sich auf verschiedene Weise bemerkbar. Neben längeren Trockenphasen im Sommer ist die Häufung von Starkregenereignissen festzustellen. In der Regel sind dabei die Regentropfen relativ groß. Sie haben damit auch eine höhere Bewegungsenergie und können beim Aufschlag leichter Bodenkrümel aus dem Verbund lösen. Bei diesen Starkregen ist die Aufnahmekapazität der Böden (Infiltrationsrate, Wasserhaltekapazität) rasch erschöpft und es ent-

steht Oberflächenabfluss. Das Resultat ist Bodenerosion.

Der Schaden entsteht zum einen auf dem Acker, da fruchtbare Krume verloren geht und zum anderen hangabwärts, mit dem Eintrag des Feinmaterials in Gewässer – von Siedlungsbereichen soll hier nicht die Rede sein. In den Gewässern verschlämmt das Feinmaterial die Sohle (Kolmation). Damit geht wichtiger Lebensraum für gründelnde Fische, Jungfische, Muscheln und im Gewässer lebende Insektenlarven verloren.

Eine Begleiterscheinung der Bodenerosion ist der Austrag von Phosphat aus den landwirtschaftlichen Flächen mit dem abfließenden Oberflächenwasser. Der Eintrag ins Gewässer führt zu schlechterer Wasserqualität und begünstigt Algenwachstum. In Badeseen können Blaualgen zu gesundheitlichen Problemen führen.

Der Bodenerosion kann durch hangparallele Bewirtschaftung und der damit verbundenen Steigerung der Infiltrationsfähigkeit der Böden entgegengewirkt

HANGPARALLELE Bewirtschaftung kann die Bodeninfiltration steigern.

werden. Somit wird durch die Planung und langjährige Nutzung von Fahrspuren die Bodenfruchtbarkeit nachhaltig verbessert. Durch das Anlegen hangparalleler Fahrspuren (contour farming¹³) wird die Geschwindigkeit des oberflächlich abfließenden Wassers begrenzt und der Bodenabtrag so eingeschränkt. Gleichzeitig wird die Bodenverdichtung zwischen den Fahrspuren durch das einmalige Anlegen und wiederholte Nutzen derselben Fahrspuren (Regelfahrspurverfahren, Controlled Traffic Farming) erheblich reduziert und damit die Infiltrationsfähigkeit des Bodens gesteigert. Ein nicht oder nur minimal verdichteter Boden kann in kürzerer Zeit mehr Wasser aufnehmen.¹⁴

Somit kann die wiederholte Nutzung derselben Fahrspuren erheblich zur effizienten Nutzung der knappen Ressource Phosphat, der Vermeidung der Eutrophierung von Gewässern und dem Erhalt der Bodenfruchtbarkeit beitragen¹⁵.

Ausblick

Die aufgeführten Beispiele zeigen, dass gerade im verantwortungsvollen Einsatz der Digitalisierung in der Landwirtschaft sehr große Potenziale für eine nachhaltige und ökologische Ausrichtung der Nahrungsmittelproduktion zu sehen sind. Die Themen Digitalisierung und Nachhaltigkeit stehen damit nicht im Widerspruch zueinander. Ganz im

Gegenteil: Es können in großem Umfang Synergien genutzt werden.

Die Politik hat die Möglichkeit, durch die Förderung von Forschung und Investitionen steuernd in die Umsetzung digitaler Methoden einzugreifen. Und sie sollte dies vor allem dort tun, wo der gesellschaftliche und volkswirtschaftliche Nutzen sowie der Nutzen für Umwelt, Natur und natürliche Ressourcen im Vordergrund stehen und den einzelbetrieblichen Nutzen überwiegen.

Digitalisierung kann in diesem Umfeld durch die Bereitstellung von Daten und Informationen zu einer Versachlichung beitragen und gleichzeitig Werkzeuge für die Minimierung unerwünschter Effekte bereitstellen. An der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf wird diese Entwicklung durch das Kompetenzzentrum für Digitale Agrarwirtschaft (KoDA)¹⁶ und die intensive Kooperation zwischen den Fakultäten in Lehre und Forschung begleitet.

Viele Lösungen bieten bereits heute das Potenzial, die Bereiche Nachhaltigkeit, Digitalisierung und Landwirtschaft synergetisch zu verbinden, doch es besteht noch erheblicher Forschungsbedarf. Bestehende Systeme müssen optimiert, neue Möglichkeiten ausgelotet und die ökologische Wirkung digitaler Systeme überwacht und quantifiziert werden.

Die Digitalisierung der Landwirtschaft in Synergie mit Nachhaltigkeit sollte weiter erforscht und GEFÖRDERT werden.

Um die Nachhaltigkeitsziele zügig zu erreichen und den Planeten für nachfolgende Generationen lebenswert zu erhalten, können sich angewandte Forschung und die Weiterentwicklung der Lehre an dieser Schnittstelle zu einem wichtigen Lösungsansatz entwickeln. ///



/// PROF. DR. AGR. PATRICK OLE NOACK
ist wissenschaftlicher Leiter des Kompetenzzentrums für Digitale Agrarwirtschaft (KODA), Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.



/// PROF. DR. RER. NAT. HABIL. MICHAEL RUDNER
ist Professor für Geobotanik, Landschaftsökologie und -planung, Pflanzenökologie, Fakultät Umweltingenieurwesen, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.

Anmerkungen

- ¹ www.stmwi.bayern.de/digitalisierung/bayern-digital
- ² sustainabledevelopment.un.org
- ³ <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>
- ⁴ Meyer, S., Wesche, K., Krause, B., u. a.: Diversitätsverluste und floristischer Wandel im Ackerland seit 1950, in: Natur und Landschaft 89/2014, S. 392-398.
- ⁵ <https://agdrone.net/portfolio/schaedlingsbekaeempfung-maiszuenler/>
- ⁶ Rothmund, M.: Technische Umsetzung einer Gewannebewirtschaftung als „Virtuelle Flurbereinigung“ mit ihren ökonomischen und ökologischen Potenzialen, Dissertation, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Department für Biogene Rohstoffe und Technologie der Landnutzung, Fachgebiet Technik im Pflanzenbau, 2005, <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1509166/document.pdf>
- ⁷ <https://bluetenkorn.de>
- ⁸ BASF: Lerchenfenster, Kleine Saatlücke mit großem Nutzen, <https://www.agrar.basf.de/Dokumente/Nachhaltigkeit/lerchenfenster-infoblatt.pdf>, Stand: 25.12.2019.
- ⁹ <https://www.carbocert.de>
- ¹⁰ https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Boden/_Texte/Humus-GrundlageBodenfruchtbarkeit.html
- ¹¹ Bayerisches Landesamt für Umwelt: Übersicht Wasser: Grundwasserbeschaffenheit, <https://www.lfu.bayern.de/wasser/grundwasserbeschaffenheit/grundwasser/index.htm>, Stand: 7.1.2020.
- ¹² Delgado, J., Khosla, R., Bausch, W., u. a.: Nitrogen fertilizer management based on site-specific management zones reduces potential for nitrate leaching, in: Journal of Soil and Water Conservation, 60/2005, S. 402-410.
- ¹³ <https://www.britannica.com/topic/contour-farming>
- ¹⁴ Gasso, V., Sorensen, C. A. G., Oudshoorn, F. W., u. a.: Controlled traffic farming: A review of the environmental impacts, in: European Journal of Agronomy, 48/2013, S. 66-73.
- ¹⁵ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: AgroKlima Bayern - Technik für Regelfahrspurverfahren (Controlled Traffic Farming - CTF), <https://www.lfl.bayern.de/ilt/pflanzenbau/marktfruchtanbau/025089/index.php>, Stand: 25.12.2019.
- ¹⁶ <https://www.hswt.de/hochschule/zentrale-einrichtungen/kompetenzzentrum-fuer-digitale-agrarwirtschaft-koda.html>