

Neue Pflanzenbausysteme entwickeln – welche innovativen Techniken werden benötigt?

Jens Karl Wegener, Lisa-Marie Urso, Dieter von Hörsten, Till-Fabian Minßen, Cord-Christian Gaus

Die Landwirtschaft steht vor umwälzenden Veränderungen, die sich aus verschiedenen Herausforderungen ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Art ergeben. Mit einer Fortschreibung des aktuellen technischen Entwicklungspfades werden diese zukünftig nicht zu meistern sein. Daraus resultiert die Notwendigkeit, das System Pflanzenbau sowie die zur verfahrenstechnischen Ausgestaltung notwendigen Prozesse grundlegend auf den Prüfstand zu stellen, um zu der geforderten nachhaltigen Intensivierung landwirtschaftlicher Produktion zu kommen. Vor diesem Hintergrund wird in dieser Studie das Anforderungsprofil für eine zukünftige Pflanzenproduktion definiert. Es werden Herausforderungen formuliert, die sich daraus ergeben, und einzelne Aspekte eines alternativen Produktionssystems betrachtet, wie mithilfe moderner Technik neue Wege in der Pflanzenproduktion ermöglicht werden könnten. Dabei liegt der Fokus darauf, zunächst einmal die Grundansprüche der Kulturpflanze zu befriedigen sowie weitere übergeordnete Anforderungen und Restriktionen, insbesondere im Hinblick auf Strukturen, zu berücksichtigen, um die erforderliche Verfahrenstechnik für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung abzuleiten. Dies steht im Gegensatz zur bisherigen Praxis, bei der u. a. auch die technische Entwicklung zur uniformen Bewirtschaftung immer größer werdender Schläge geführt hat.

Schlüsselwörter

Optimaler Standraum, Pflanzenbausystem, nachhaltige Intensivierung, autonome Maschinen, Precision Farming, teilflächenspezifische Bewirtschaftung, Sensortechnik, Dreiecksverband, digitale Landwirtschaft

Die landwirtschaftliche Produktion steht seit längerem durch steigende Ressourcenverknappung, fortschreitenden Strukturwandel, wachsenden Kostendruck und zunehmend negative Auswirkungen durch den Klimawandel vor großen Herausforderungen (BALMANN und SCHAFT 2008, IPPC 2011). Darüber hinaus stehen die landwirtschaftlichen Produktionssysteme fortschreitend in der gesellschaftlichen Kritik. Sie werden für negative Umweltwirkungen wie z. B. zunehmende Biodiversitätsverluste, Nitratbelastungen im Grundwasser sowie Pflanzenschutzmittelrückstände in Oberflächengewässern und auch in Nahrungsmitteln verantwortlich gemacht (SRU 2016). Des Weiteren stehen die stetig wachsenden Schlaggrößen einer mehr und mehr industrialisierten Landwirtschaft mit ihren als flächendeckend wahrgenommenen „Agrarwüsten“ nicht mehr im Einklang mit den gesellschaftlichen Bedürfnissen nach Naherholung, Freizeitgestaltung und „unberührter Natur“. Aufgrund der wachsenden Weltbevölkerung bei gleichzeitig weltweit schwindenden Agrarflächen sind Ertragssteigerungen notwendig, die in Anbetracht des aktuell geringen Preisniveaus für viele landwirtschaftliche Erzeugnisse sowie einer steigenden Volatilität der Märkte dennoch nachhaltig zu gestalten sind

(LORENZ 2005). Im Rahmen dieser Gemengelage stellt sich die Frage, wie die genannten Probleme in der landwirtschaftlichen Produktion durch erhebliche Anpassungen und Veränderungen der heutigen Produktionsformen gelöst werden können.

Die DFG-Senatskommission für Agrarökosystemforschung hat sich 2014 in einem Grundsatzpapier zum Thema der nachhaltigen und ressourceneffizienten Erhöhung der Flächenproduktivität geäußert (WOLTERS et al. 2014). Es wurde die These formuliert, dass eine nachhaltige Intensivierung des Pflanzenbaus (Abbildung 1, Verschiebung von 1 → 4) nur durch Innovationen zu erreichen ist, da der Grenznutzen eines zunehmenden Ressourceneinsatzes zur weiteren Ertragssteigerung mit etablierten Verfahren (Abbildung 1, Verschiebung von 1 → 2) immer weiter abnimmt. Die Kommission kommt u. a. zu dem Schluss, dass die nachhaltige Steigerung der Pflanzenproduktion nur im Landschaftskontext sinnvoll ist und macht dieses als einen zukünftigen interdisziplinären Forschungsschwerpunkt aus. In den weiteren Ausführungen zu diesem Schwerpunkt werden die kleinräumige und zeitliche Diversifikation von Anbausystemen sowie die Einbeziehung von Randstrukturen und Habitaten als ein Element dieser Strategie benannt. Offen blieb, mit welchen praxisnahen Instrumenten sich Agrarlandschaften so gestalten lassen, dass sich die Ziele des Biodiversitätsschutzes und der nachhaltigen Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion zur Deckung bringen lassen.

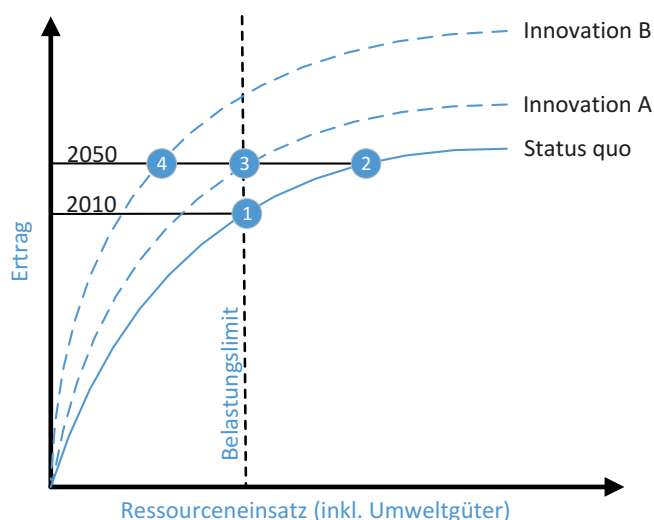


Abbildung 1: Beziehung zwischen Ressourceneinsatz für die Pflanzenproduktion und dem damit erzielbaren Ertrag. Wenn das Belastungslimit bereits erreicht ist (1), ist eine Steigerung der Flächenproduktivität (2) mit etablierten Verfahren (z. B. mehr Dünger und Pflanzenschutz) keine Option. Der hier beispielhaft für 2050 prognostizierte Ertragsbedarf lässt sich bei gleicher (3) oder reduzierter Umweltbelastung (4 = nachhaltige Intensivierung) nur durch Innovationen erreichen (WOLTERS et al. 2014).

Angesichts der eingangs geschilderten Probleme und Herausforderungen sowie der Notwendigkeit von Innovationen für eine nachhaltige Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion (Abbildung 1) müssen pflanzenbauliche Produktionssysteme neu konzipiert werden.

Bis heute hat sich das pflanzenbauliche Produktionssystem der zur Bewirtschaftung notwendigen Verfahrenstechnik angepasst. Vereinfacht formuliert besteht die Zielsetzung darin, pro Schlag eine

Kultur in möglichst großen, geometrisch einfachen Strukturen mit wenig Hindernissen zu kultivieren, die mit immer größeren und schlagkräftigeren Maschinen so effizient wie möglich bewirtschaftet werden kann. Diesem Dogma der uniformen Landbewirtschaftung hat sich in der Vergangenheit jegliche Entwicklung in der Pflanzenproduktion mehr oder weniger untergeordnet (AUERNHAMMER 2001).

Mit neuen technologischen Entwicklungen, wie sie z. B. aus der Digitalisierung der Landwirtschaft hervorgehen, oder mit der Option des Einsatzes autonomer Maschinen besteht zukünftig die Chance, die Technik an die optimalen pflanzenbaulichen Erfordernisse anzupassen und gleichzeitig die Landschaft in die Gestaltung von nachhaltigen Produktionssystemen miteinzubeziehen. Die Technik muss zum Werkzeug der Landwirtschaft werden und nicht die Art und Weise der Produktionssysteme bestimmen. In diesem Zusammenhang stellt sich zunächst die Frage, wie ein optimales Pflanzenbausystem aussieht. Daraus lassen sich dann die Anforderungen und speziellen Herausforderungen zur technischen Umsetzung ableiten, die im Folgenden erläutert werden.

Ziel dieses Beitrags ist es, den Rahmen für neue Pflanzenbausysteme darzustellen, welche die genannten Anforderungen erfüllen könnten und dann den verfahrenstechnischen Bedarf für die Bewirtschaftung abzuleiten. In einem nächsten Schritt muss dann geklärt werden, welche Aussichten und Chancen, aber auch Einschränkungen und Risiken durch neue Technologien zur Umsetzung zukünftiger Pflanzenbausysteme bestehen.

Anforderungen an ein optimales Pflanzenbausystem im Rahmen einer nachhaltigen Intensivierung

Die Kulturpflanze stellt bestimmte Anforderungen an ein optimales Wachstum. Diese werden zum einen in ihren Grundansprüchen deutlich, zum anderen gibt es Anforderungen und Restriktionen, die auf das Wachstum wirken und berücksichtigt werden müssen.

Grundansprüche von Kulturpflanzen

Die Grundansprüche von Kulturpflanzen lassen sich auf einige wenige Parameter reduzieren:

- ausreichend Licht
- ausreichend Standraum (ober- und unterirdisch) und möglichst wenig Konkurrenz
- ausreichende und termingerechte Wasserversorgung
- ausreichende Bodengüte, -beschaffenheit und -fauna
- ausreichende und termingerechte Nährstoffversorgung
- gesunde Fruchtfolgen
- im Bedarfsfall Pflanzenschutz

Im Rahmen der Entwicklung eines neuen Pflanzenbausystems gilt es die Grundansprüche der Kulturpflanzen zu befriedigen, um optimales Wachstum zu gewährleisten und um Wachstumsfaktoren effizient auszunutzen (MITSCHERLICH 1922). Sowohl das Design des Pflanzenbausystems als auch die darauf angepasste Verfahrenstechnik sollten die genannten Parameter soweit möglich fördern.

Anforderungen und Restriktionen in Bezug auf den Ackerschlag

Darüber hinaus gibt es weitere Anforderungen und Restriktionen, die beim Anbau von Kulturpflanzen im Sinne einer natur- und umweltgerechten Gestaltung der landwirtschaftlichen Produktionssysteme auf der Ebene des Schlags berücksichtigt werden sollten (CHRISTEN und O'HALLORAN-WIETHOLTZ 2002). Dazu gehören z. B.

- Generelle Reduzierung des Einsatzes von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß
- Vermeidung der Verbreitung von Agrarchemikalien bei der Applikation auf Nicht-Zielflächen
- Verstärkter Bodenschutz durch Vermeidung von (Mehrfach-)Überfahrten, insbesondere bei schweren Radlasten
- Stärkere Berücksichtigung von Wettereinflüssen (z. B. Wind, Regen, Sonneneinstrahlung) und weiteren zeitlich abhängigen, in der Natur vorkommenden Ereignissen (z. B. Bienenflug) bei der Bewirtschaftung der Produktionsflächen

Anforderungen und Restriktionen in Bezug auf die Landschaft

Darüber hinaus gibt es aber auch strukturelle Anforderungen und Restriktionen hinsichtlich einer natur- und umweltgerechten Gestaltung, die sich auf einen größeren landschaftlichen Zusammenhang beziehen. (CHRISTEN und O'HALLORAN-WIETHOLTZ 2002). Dazu gehören z. B.

- Entwicklung von Strukturen, die auf die natürlichen geografischen und klimatischen Bedingungen abgestimmt sind, z. B. Berücksichtigung von lokal sich ändernden Bodenqualitäten, intelligente Verwendung von Flächen hoher und geringer Produktivität
- Schaffung von Strukturen, die der Wind- und Bodenerosion sowie der Stoffverlagerung auch unter sich wandelnden klimatischen Bedingungen (z. B. Starkregenereignisse) Einhalt gebieten, z. B. durch Orientierung der Kulturreihen, Neuanlage bzw. Rekultivierung von alten Gräben oder Landschaftselementen wie Hecken
- Schaffung von Refugien und Pufferzonen, die zu einer Vernetzung von Biotopen sowie zur Stärkung der Biodiversität und der Ökosystemdienstleistungen in der Agrarlandschaft führen
- Positive Beeinflussung des Landschaftsbildes durch kleinere Strukturen

Die genannten Strukturparameter gilt es sowohl in Bezug auf den Schlag als auch auf die Landschaft zu fördern und in Einklang zu bringen (CHRISTEN 2009).

Für die Umsetzung der zuvor genannten Anforderungen in ein zukünftiges Produktionssystem müssen Pflanzenbausysteme neu gedacht werden. Dabei ist es sehr wahrscheinlich, dass diese neuen Systeme nicht mehr uneingeschränkt mit der derzeitigen Verfahrenstechnik bewirtschaftet werden können und sich somit auch Bedarf für neue Technologien ergibt. Diese technologischen Aspekte und pflanzenbaulichen Herausforderungen wurden bereits auf einem Workshop im Rahmen des BÖLN-Projektes „Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen“ (Braunschweig 21. bis 22. April 2016) intensiv diskutiert. Es wurden Möglichkeiten erarbeitet, wie verschiedene Prozesse in der Landwirtschaft von der Bodenbearbeitung bis zur Ernte auch mit kleinen autonomen Maschinen gestaltet werden könnten.

Herausforderungen zur Umsetzung eines neuen Pflanzenbausystems

Optimale Standraumverteilung

Um den Konkurrenzdruck zwischen den Kulturpflanzen zu reduzieren und gleichzeitig der Einzelpflanze mehr Licht zu verschaffen, wäre grundsätzlich ein Anbau im Dreiecksverband sinnvoll. Diese Anordnung maximiert den ober- und unterirdischen Standraum der Einzelpflanze und führt zu weiteren positiven Effekten (GRIEPENTROG 1999, GÖTZ und BERNHARD 2010, DEMMEL et al. 2010). Zum einen werden erforderliche Saatgutmengen durch dünnere Bestände reduziert. So würde z.B. die Anzahl der Körner pro m² von 220–240 bei einem heutigen Weizenbestand auf 150–180 Körner pro m² sinken, wenn dieser im Dreiecksverband mit gleichem Pflanzabstand in jede Richtung gedrillt wird. Zum anderen ist weniger Saatgut gleichbedeutend mit weniger Beizmittel, das in den Boden gelangt. Dünnere Bestände hätten zudem phytosanitäre Vorteile, weil eine potenziell bessere Bestandsdurchlüftung die Verbreitung von pilzlichen Pathogenen reduziert und auch Unkräuter durch bessere und gleichmäßigere Bestandentwicklung unterdrückt werden. Dies würde auch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reduzieren. Zudem erleichtert ein Dreiecksverband die mechanische Unkrautbekämpfung, weil er prinzipiell von unterschiedlichen Richtungen her bearbeitet werden kann (Abbildung 2). Somit wäre auch ohne großen sensortechnischen Aufwand eine Intra-Reihen-Bearbeitung mit einfachen und bekannten Hackwerkzeugen möglich. Zur Umsetzung der Gleichstandsamt ist eine georeferenzierte Saattechnik mit sehr hoher Ablagegenauigkeit, auch in der Tiefe, erforderlich.

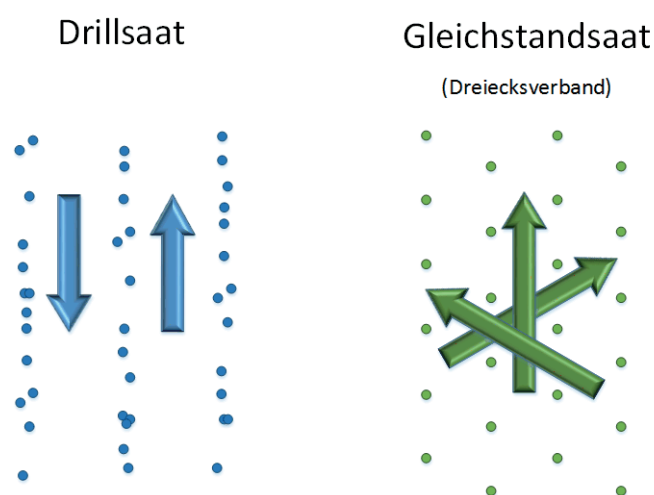


Abbildung 2: Mögliche Bearbeitungsrichtungen bei Drillsaat und Gleichstandsamt im Vergleich

Düngung

Die zielgerichtete Düngung von Teilflächen anhand des tatsächlichen Pflanzenbedarfs kann heute bereits in Teilen technisch umgesetzt werden, z.B. durch teilflächenspezifische Stickstoffgabe in Kombination mit N-Sensor. Allerdings ist die Auflösung der realisierbaren Teilflächen heute noch vergleichsweise grob (DÖLGER und GERWERS 2014). In einem idealen Pflanzenbausystem erfolgt die Applikation von Düngemitteln sehr viel kleinräumiger, im Idealfall hochaufgelöst bis hin zur Ebene der Einzelpflanze. Die Düngergaben werden unter Berücksichtigung der Witterungsbedingungen über den gesamten Vegetationsverlauf je nach spezifischem Bedarf einer jeden Kulturart ausgebracht. So könnte bei Kulturen wie Mais und Weizen z.B. die Teilgaben und Applikationszeitpunkte ausgeweitet werden.

Bei Zuckerrüben und Raps wären aufgrund der Nährstoffansprüche andere Strategien notwendig. Bei der Ausbringung sollte die Applikationstechnik den Dünger aber generell so gezielt platzieren, dass dieser möglichst vollständig von den Pflanzen aufgenommen wird und somit so wenig wie möglich auf anderem Wege (Grundwasser, Oberflächenabfluss etc.) verloren geht (TAUBE et al. 2013). Damit kann die Umweltbelastung durch Düngemittel drastisch gesenkt werden. Nährstoffe, die von den Pflanzen vorwiegend über Diffusion aufgenommen werden, können neben den Reihen abgelegt werden. Alle anderen Nährstoffe, die von der Pflanze über Massenfluss assimiliert werden, sollten so gezielt im Boden positioniert werden, dass das Wurzelwachstum der Kulturpflanzen, deren Wachstum zum Nährstoff verläuft, positiv beeinflusst wird, z.B. im Hinblick auf Standfestigkeit und Wasserversorgung. Zur Umsetzung müssen Techniken zur hochaufgelösten Informationsbeschaffung, z.B. direkt über Sensortechnik, indirekt über Informationsverschneidung oder durch Kombination, sowie zur wesentlich genaueren teilflächenspezifischen Ablage von Düngern auf und auch in den Boden entwickelt werden.

Pflanzenschutz

Auch im Hinblick auf den Pflanzenschutz ist eine Reduzierung auf das notwendige Maß anzustreben, was – wie bei der Düngung – auf eine sehr kleinräumige Applikationen bis hin zur Einzelpflanzenbehandlung hinausläuft, die ausschließlich nach Bedarf gesteuert wird. Dies setzt voraus, dass Schadereignisse frühzeitig erkannt und behandelt werden, bevor sich diese großflächig ausbreiten. Hier ist eine ausgeklügelte Verknüpfung von sensorbasierter Bestandsdiagnostik mit Prognose-Tools vonnöten, um das Überschreiten von Schadschwellen frühzeitig zu detektieren.

Produktionsflächen

Die meisten landwirtschaftlichen Produktionsflächen sind in ihren Eigenschaften nicht homogen. Sie weisen in der Fläche z.B. unterschiedliche Bodenarten auf, die einen Einfluss auf das Ertragsniveau und die Wasserversorgung haben. Ein zukünftiges Pflanzenbausystem sollte im Zuge der Produktionsmaximierung auf solche und andere schlagspezifische Unterschiede, z.B. Höhenprofile, Flächen mit Erosionspotenzial, geografische Ausrichtung etc., Rücksicht nehmen. Eine grundlegende Möglichkeit zur Berücksichtigung von kleinräumigen Unterschieden stellt „Spot Farming“ dar. Die Idee dabei ist, den einzelnen Schlag in eigenständige Spots mit in sich weitgehend homogenen Eigenschaften aufzuteilen und diese je nach spezifischen Eigenschaften mit unterschiedlichen Kulturpflanzen und Fruchtfolgen zu bewirtschaften. Zur Definition solcher Spots wäre im einfachsten Fall z.B. eine Orientierung an Bodenkarten und teilflächenspezifischen Erträgen denkbar. Aus der Schnittmenge dieser (und ggf. auch weiterer) Daten können Teilflächen unterschiedlicher Qualitäten in einem Ackerschlag identifiziert werden (Abbildung 3). Auf Spots mit hoher Produktivität bzw. guter Bodenstruktur kann dann eine standortspezifische Fruchtfolge, z.B. Zuckerrübe – Winterweizen – Mais – Winterweizen, angelegt werden, auf Spots mit geringerer Produktivität eine andere standortspezifische Fruchtfolge, z.B. Raps – Roggen – Mais – Roggen. Spots mit sehr geringer Produktivität könnten bewusst als Refugien oder Pufferzonen z.B. mit Blühpflanzen oder auch zum Schutz vor Erosion gezielt mit Landschaftselementen bestellt werden.

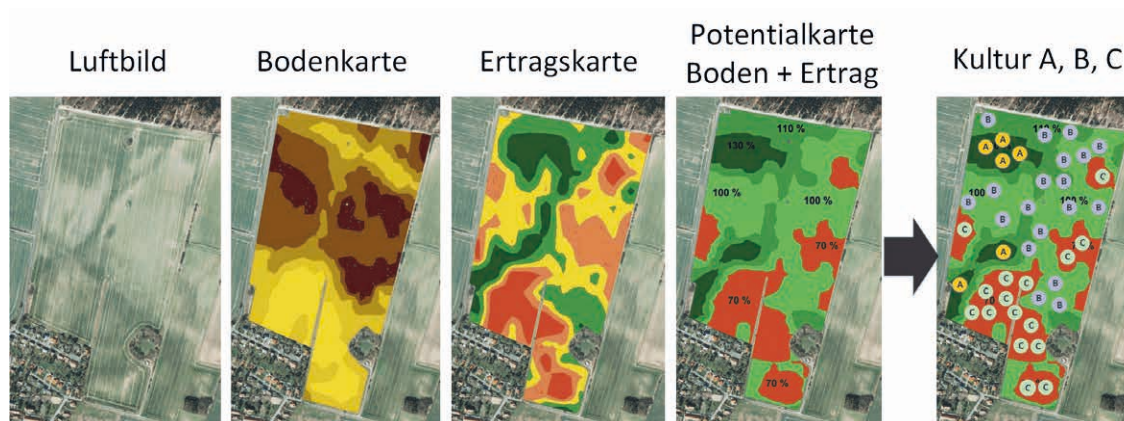


Abbildung 3: Beispiel für Pflanzengesellschaften im Spot Farming unter Berücksichtigung kleinräumiger Unterschiede in Ackerflächen (nach CLAAS 2016)

Technische Möglichkeiten zur Umsetzung des Spot Farming

Technische Umsetzung

Die heutige landwirtschaftliche Verfahrenstechnik wird nicht in der Lage sein, die skizzierten Möglichkeiten des Spot Farmings vollends umzusetzen. Aus diesem Grund muss geprüft werden, mit welchen neuen und auch bekannten Verfahrensansätzen die angestrebten Ziele erfolgreich erreicht werden können. Dabei werden insbesondere die Möglichkeiten von Zukunftstechnologien aus den Bereichen Precision Farming und Sensortechnik (ZHANG et al. 2002), bei autonomen Landmaschinen und nicht-chemischem Pflanzenschutz (BOSCH 2015) eine Rolle spielen.

Auch heute stehen bereits eine Vielzahl von Informationen über kleinräumige Unterschiede auf den Produktionsflächen zur Verfügung, die sich für die Umsetzung eines Spot Farmings nutzen lassen. Die Herausforderung wird darin bestehen, Methoden zur Datenaufbereitung und Planung zu entwickeln, mit deren Hilfe ein sinnvoller Kompromiss zwischen der Optimierung der Erfüllung von Grundansprüchen einzelner Kulturpflanzenarten, der natur- und umweltgerechten Gestaltung des Gesamtsystems sowie der Vielzahl möglicher Restriktionen ermittelt werden kann, und zwar auf den verschiedenen Maßstabebenen einer Region. Dieser Weg beinhaltet u. a. eine enge Zusammenarbeit zwischen Pflanzenbau, Agrarökosystemforschung und Landschaftsplanung. Darüber hinaus bieten moderne Methoden die Möglichkeit Daten, Wissen und Werkzeuge weiter zu vernetzen, um Expertensysteme zu entwickeln, mit deren Hilfe in der Praxis sowohl die Produktivität gesteigert als auch negative Einflüsse des Pflanzenbaus auf die Umwelt gesenkt werden können (SCHEIBER et al 2014).

Optimaler Standraum

Zur technischen Umsetzung der Maximierung von Licht und Standraum für die Einzelpflanze durch einen Dreiecksverband ist eine Verbesserung der Ablagegenauigkeit der Sägerätetechnik notwendig. In diesem Zusammenhang werden Sägeräte benötigt, die in der Lage sind, jegliche Kulturarten in der geforderten Ablagegenauigkeit zu platzieren. Erste Ansätze werden in diesem Zusammenhang mithilfe der Einzelkornsägeräte erreicht. Jedoch kann auch hier die geforderte Ablagegenauigkeit vor allem bei höheren Fahrgeschwindigkeiten nicht mehr vielversprechend eingehalten werden (KÖLLER und GALL 2013). Auch eine präzise standortangepasste Ablagetiefe für ein optimales Wachstum der Pflanze stellt eine Herausforderung dar. Eine technische Lösung dafür könnte auch eine verbesserte Saatgutaufbereitung von Kulturpflanzen umfassen, die derzeit noch nicht modifiziert werden (z. B.

Saatgutaufbereitung Getreide). Eine georeferenzierte Ablage des Saatguts böte darüber hinaus weitere verfahrenstechnische Vorteile in der Kulturführung über die gesamte Vegetationszeit. Dies betrifft z. B. die mechanische Unkrautbekämpfung, deren Werkzeuge gezielter gesteuert werden können, um selbst im pflanzennahen Bereich Unkraut zu bekämpfen. Auch die gezielte Applikation von wurzelverfügbaren Düngemitteln im Boden könnte mit der Kenntnis der Pflanzenstandorte realisiert werden.

Züchtungsforschung

Spot Farming bietet auch im Hinblick auf die Züchtungsforschung neue Chancen. In den derzeitigen Pflanzenbausystemen mit ihren bestandsdichten Monokulturen muss die Züchtung wesentlich mehr genetische Ressourcen in die Toleranz- und Resistenzeigenschaften zur Gesunderhaltung der Pflanzenbestände investieren, die sich i. d. R. negativ auf den Ertrag auswirken (HUTH 2002). Sinkt durch das Design des Pflanzenbausystems der phytosanitäre Druck auf die Kulturpflanze und können durch das Pflanzenbausystem natürliche Abwehrmechanismen der Kulturpflanze gestärkt werden, dann können genetische Ressourcen in der Züchtung zugunsten des Ertrags verlagert werden.

Teilflächenspezifische Bewirtschaftung

Die angestrebte kleinräumige, teilflächenspezifische Bewirtschaftung – bis hin zur Einzelpflanze – benötigt neue Maschinenkonzepte. Die derzeitige Gerätetechnik ist besonders auf Schlagkraft und Flächeneffizienz optimiert, um in den kurzen zur Verfügung stehenden Bearbeitungsfenstern, eine möglichst hohe Produktivität zu erreichen. Eine grundlegende Option zur weiteren Erhöhung der Schlagkraft liegt in der Nutzung von autonomen Systemen, die z. B. durch Nutzung elektronischer Deichseln die Schlagkraft herkömmlicher Verfahrenstechnik bei gleichem Personaleinsatz zukünftig vervielfachen kann (JAHNKE et al. 2013). Dies wäre allerdings im Wesentlichen eine Fortschreibung des derzeitigen Entwicklungspfades.

Autonome Maschinen

Eine andere Option liegt dagegen in kleineren autonomen Maschinen, die in Schwärmen arbeiten, verschiedene Prozesse verrichten und sich untereinander eigenständig koordinieren können. Die größenbedingte mangelnde Schlagkraft solcher Geräte könnte durch Anzahl, nahezu permanenter Einsatzbereitschaft, größerer Bearbeitungsfenster für leichtere Maschinen sowie durch die kleinräumig standortoptimierte Bewirtschaftungsweise eines Spot Farmings kompensiert werden. Dieser Ansatz bedarf einer kompletten Überprüfung der Prozess- und Verfahrenstechnik von der Bodenbearbeitung bis zur Ernte. Somit kann eruiert werden, wo der Einsatz solcher autonomen Technologien im Zusammenhang mit neuen Pflanzenbausystemen, wie beispielsweise dem Spot Farming, sinnvoll und machbar erscheint. Darüber hinaus können solche Systeme auch alternative Pflanzenschutzverfahren (z. B. Hacken, Stempeln, Abflammen, Heißschaumbehandlung etc.) durchführen und damit den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß reduzieren (SELLMANN et al. 2014, GUDE 2012, BOSCH 2015). Allerdings sind in diesem Zusammenhang noch viele Forschungsfragen zu klären, z. B. im Hinblick auf Energieversorgung, Logistik, Sicherheit, Recht, notwendige Sensortechnik, neue Managementsysteme, Netzinfrastruktur auf dem Land etc., bis neue Pflanzenbausysteme und die dazu passende Verfahrenstechnik marktfähig werden. Dennoch bieten die aktuellen technischen Entwicklungspfade die Möglichkeit, einen landschafts- und ertragsorientierten Pflanzenbau in den

Mittelpunkt zu stellen, der den eingangs skizzierten unterschiedlichen Anforderungen gegenüber einer nachhaltigen Intensivierung gerecht werden könnte.

Schlussfolgerungen

Die hier dargestellten Aspekte eines neuen Produktionssystems zeigen die Richtung auf, wie eine zukünftige nachhaltige Intensivierung der Pflanzenproduktion konzipiert werden könnte. Grundsätzlich ist der Ansatz vielversprechend, zunächst die Kulturpflanze und die dem Anbau gegenüberstehenden Restriktionen in den Mittelpunkt zu setzen, um erst dann über technische Lösungsmöglichkeiten nachzudenken. Erste technische Ansätze, die dafür notwendig sind, befinden sich zum Teil in der Entwicklungsphase, wobei es bis zur tatsächlichen Marktreife noch einige Jahre dauern wird. Ein bloßes Fortschreiben des jetzigen Entwicklungspfades in der Pflanzenproduktion, das gegebenenfalls mit autonomer Technik und digitaler Vernetzung noch ein wenig weiter vorangetrieben werden kann, erscheint jedoch absehbar an seine Grenzen zu kommen.

Literatur

- Auernhammer, H. (2001): Precision Farming – Technische Möglichkeiten im Ackerbau. RHG Gespräche. Nachhaltige Landwirtschaft. URN: http://www.tec.wzw.tum.de/downloads/dig/auernhammer/2001/Precision_Farming-Ackerbau_Langfassung.pdf, Zugriff am 13.01.2017
- Balmann, A.; Schaft, F. (2008): Zukünftige ökonomische Herausforderungen der Agrarproduktion: Strukturwandel vor dem Hintergrund sich ändernder Märkte, Politiken und Technologien. Archiv Tierzucht 51, Sonderheft, S. 13–24
- Bosch (2015): Intelligenz auf dem Acker: Agrarroboter von Bosch beseitigt Unkraut automatisch und ohne Gift. https://www.deepfield-robotics.com/de/News-Detail_151008.html, Zugriff am 18.01.2017
- Claas (2016): Map overlay. <http://www.claas.de/produkte/easy/precision-farming/crop-sensor-isaria/map-overlay>, Zugriff am 4.11.2016.
- Christen, O. (2009): Nachhaltige Landwirtschaft. Von der Ideengeschichte zur praktischen Umsetzung. Christian-Albrechts-Universität Kiel, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. https://www.researchgate.net/profile/Olaf_Christen/publication/259574841_Nachhaltige_Landwirtschaft-von_der_Ideengeschichte_zur_praktischen_Umsetzung/links/0c96052cabe22ac4b90000-00.pdf, Zugriff am 05.09.2016
- Christen, O.; O'Halloran-Wietholtz, Z. (2002): Indikatoren für eine nachhaltige Landwirtschaft. ILU Bonn. https://www.researchgate.net/profile/Olaf_Christen/publication/259574761_Indikatoren_fur_eine_nachhaltige_Entwicklung_der_Landwirtschaft/links/0046352cac275b40b4000000.pdf, Zugriff am 04.11.2016
- Demmel, M.; Hahnenkamm, O.; Kormann, G.; Peterreins, M. (2000): Gleichstandsart bei Silomais – Ergebnisse aus zwei Versuchsjahren. Landtechnik 55(3), S. 210–211, <http://dx.doi.org/10.1515/lt.2000.1881>
- Dölger, D. und Gerwers, D. (2014): Sensorik im Pflanzenbau – Erfahrungsberichte aus der Praxis. Journal für Kulturpflanzen 66(2), S. 57–62, <http://dx.doi.org/10.5073/JfK.2014.02.04>
- Ehlert, D. (2010): Techniken für eine sensorgestützte mineralische Düngung. Technik im Ackerbau – schlagkräftig und effizient, Landtechnische Jahrestagung. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, S. 13–22
- Götz, S.; Bernhardt, H. (2010): Produktionsvergleich von Gleichstandsart und Normalsaat bei Silomais. Landtechnik 65(2), S. 107–110, <http://dx.doi.org/10.1515/lt.2010.604>
- Griepentrog, H.-W. (1999): Zur Bewertung der Flächenverteilung von Saatgut. Landtechnik 54(2), S. 78–79, <http://dx.doi.org/10.1515/lt.1999.2294>
- Gude, J. (2012): Wirksamkeit der Unkrautbekämpfung mittels Laser in Abhängigkeit verschiedener biologischer und technisch-physikalischer Parameter. Dissertation an Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

- Huth, W. (2002): Die bodenbürtigen Viren von Weizen und Roggen in Europa - ein zunehmendes aber durch ackerbau-liche Maßnahmen und Anbau resistenter Sorten lösbares Problem. *Gesunde Pflanzen* 54(2), S. 51-57
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2011): IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Jahnke, B.; Noack, P. O.; Happich, G. (2013): Verbesserung der Sicherheit von elektronischen Deichseln für Landma-schinen. *Landtechnik* 68(3), S. 155-159, <http://dx.doi.org/10.15150/lt.2013.219>
- Köller, K.; Gall, C. (2013): Sätechnik, Jahrbuch der Agrartechnik, http://digisrv-1.biblio.etc.tu-bs.de:8080/docportal/servlets/MCRFileNodeServlet/DocPortal_derivate_00033853/jahrbuchagrartechnik2013_saetechnik.pdf, Zugriff am 05.11.2016
- Mitscherlich, E. H. (1922): Das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 1(2), pp. 49-84, <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.19220010202>
- Lorenz, S. (2005): Natur und Politik der Biolebensmittelwahl: kulturelle Orientierungen im Konsumalltag. URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168-ssoar-53695>, Zugriff am 18.08.2016
- Scheiber, M.; Kleinhenz, B.; Federle, C.; Röhrig, M.; Feldhaus, J.; Schmitz, M.; Golla, B.; Hartmann, B. (2014): Pesticide Application Manager (PAM): Entscheidungsunterstützung im Pflanzenschutz auf Basis von Gelände-, Maschinen-, Hersteller und Behördendaten. *Julius Kühn Archiv* (447), Tagungsband 59. Deutsche Pflanzenschutztagung, 23-26. September, Freiburg, S. 623
- Sellmann, F.; Bangert, W.; Grzonka, S.; Hänsel, M.; Hau, S.; Kielhorn, A.; Michaels, A.; Möller, K.; Rahe, F.; Strothmann, W.; Trautz, D.; Ruckelshausen, A. (2014): RemoteFarming. 1: Human-machine interaction for a field-robot-based weed control application in organic farming. 4th International Conference on Machine Control & Guidance, March 19-20, pp. 36-42
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2016): Umweltgutachten 2016 - Impulse für eine integrative Umwelt-politik. Hausdruck, Mai 2016. http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutach-ten/2016_Umweltgutachten_HD.pdf?__blob=publicationFile, Zugriff am 04.11.2016
- Taube, F.; Balmann, A.; Bauhus, J.; Birner, R.; Bokelmann, W.; Christen, O.; Gaulty, M.; Grethe, H.; Holm-Müller, K.; Horst, W.; Knierim, U.; Latacz-Lohmann, U.; Nieberg, H.; Qaim, M.; Spiller, A.; Täuber, S.; Weingarten, P.; Wiesler, F. (2003): Novellierung der Düngeverordnung: Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen. *Berichte über die Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, Sonderheft* 219
- Wolters, V.; Isselstein, J.; Stützel, H.; Ordon, F.; von Haaren, C.; Schlecht, E.; Wesseler, J.; Birner, R.; von Lützwow, M.; Brüggemann, N.; Diekkrüger, B.; Fangmeier, A.; Flessa, H.; Kage, H.; Kaupenjohann, M.; Kögel-Knabner, I.; Mosandl, R.; Seppelt, R. (2014): Nachhaltige ressourceneffiziente Erhöhung der Flächenproduktivität: Zukunfts-optionen der Deutschen Agrarökosystemforschung. Grundsatzpapier der DFG Senatskommission für Agraröko-systemforschung. *Journal für Kulturpflanzen* 7, S. 225-236
- Zhang, N.; Wang, M.; Wang, N. (2002): Precision agriculture - a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture* 36, pp. 113-132

Autoren

Dr. Jens Karl Wegener ist Institutsleiter, **Lisa-Marie Urso** und **Dr. Dieter von Hörsten** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Julius Kühn-Institut, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, E-Mail: jens-karl.wegener@julius-kuehn.de.

Till-Fabian Minßen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Technische Universität Braunschweig, Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig

Cord-Christian Gaus ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Betriebswirtschaft, Thünen Institut, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Danksagung

Dieses Forschungsprojekt wird durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms „Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft“ gefördert.