

# Agrarfakten – Mechanisierung

## Mechanisierung der landwirtschaftlichen Produktion

Klaus Krombholz und Karlheinz Köller

24.05.2020 / 27.03.2024

### Veranlassung

Die Entwicklung von Landwirtschaft und Landtechnik beeinflussen sich gegenseitig. So hat sich mit zunehmender Mechanisierung in der Regel auch die Technologie der Produktionsprozesse verändert – sie wurde „mechanisierungsgerecht“. Mit der Automatisierung der landwirtschaftlichen Produktion setzt sich dieser Prozess entsprechend fort. Seit dem Übergang vom Sammler und Jäger zur Landbewirtschaftung und Viehhaltung wurden Arbeitskräfte für das Handwerk und später für die industrielle Produktion freigesetzt ([www.agrarfakten.de/natur-landwirtschaft-mensch](http://www.agrarfakten.de/natur-landwirtschaft-mensch)). Andererseits fanden Handwerk und Industrie ein zunehmendes Betätigungsfeld in der Bereitstellung von Geräten und Maschinen für die Landwirte.

### 1 Wann und wie begann die verstärkte Mechanisierung in der landwirtschaftlichen Produktion?

Obwohl die Produktion von Nahrungsmitteln eine Existenzgrundlage der menschlichen Gesellschaft ist, hat die Landwirtschaft in Mitteleuropa von Politik und Wissenschaft erst ab dem 18. Jahrhundert zunehmende Aufmerksamkeit erhalten, als man diesen Bereich als Mittel für die politische und ökonomische Stärkung in den feudalistischen Staaten entdeckte. Eine weitere Triebkraft war die zur gleichen Zeit zunächst in England beginnende Industrialisierung, für die die notwendigen Arbeitskräfte vor allem durch die Landwirtschaft freizusetzen waren. Der damit verbundene Übergang von der vorwiegenden Subsistenzwirtschaft zur Marktproduktion erforderte eine wesentliche Steigerung der Produktionsmenge und der Produktivität der Beschäftigten in der Landwirtschaft.

Die Anwendung geeigneter technischer Arbeitsmittel, mit denen zunehmend eine Mechanisierung der landwirtschaftlichen Produktionsprozesse erfolgte, begann Ende des 18. Jahrhunderts in England und in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts auch in Deutschland.

Die landwirtschaftliche Produktionstechnik entwickelte sich von den handgeführten über maschinengeführte Werkzeuge mit tierischem Zug/Antrieb zu den Werkzeugen mit Kraftantrieb bis zu den teilautomatisierten und digital vernetzten Lösungen, die gegenwärtig beginnen, die Charakteristik der landwirtschaftlichen Produktionstechnik zu verändern (Abb. 17.1).

Ein entscheidender Faktor dieser Entwicklung waren und sind die verfügbaren Antriebe und Zugmittel. Sie basierten zunächst ausschließlich auf der menschlichen Muskelkraft, die im weiteren Verlauf durch die Muskelkraft von Zugtieren verstärkt wurde. Während Wasser- und Windkraft für die landwirtschaftliche Produktionstechnik nur geringe Bedeutung hatten, stand mit der Dampfkraft ab Mitte des 19. Jahrhunderts erstmals ein Kraftantrieb zur Verfügung, der auch in der Landwirtschaft genutzt wurde, durch den relativ geringen Anwendungsumfang jedoch keine gravierenden Veränderungen bewirkte.



Abb.17.1: Anwendungszeiträume wichtiger Niveaustufen der landwirtschaftlichen Produktionstechnik aus Sicht der Zugmittel und Antriebstechnik in Deutschland (nach Krombholz 2018)

Ende des 19. Jahrhunderts folgten die Elektroantriebe, mit denen für die stationären Prozesse in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zunehmend die bisherigen Begrenzungen überwunden wurden. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts begann für die Antriebe auf der Basis von Verbrennungsmotoren mit ihrem beinahe unbegrenzten Leistungspotenzial ein Siegeszug. Sie haben vor allem die landwirtschaftliche Produktionstechnik im mobilen Bereich revolutioniert. Mit der Verfügbarkeit einer nächsten Entwicklungsstufe wurde die aktuelle Produktionstechnik aus vielerlei Gründen immer nur sehr allmählich abgelöst, so dass vor allem in Deutschland über lange Zeiträume die verschiedenen Niveaustufen der landwirtschaftlichen Produktionstechnik parallel in Anwendung waren und sind (Köller und Hensel 2019, Abb. 17.2).

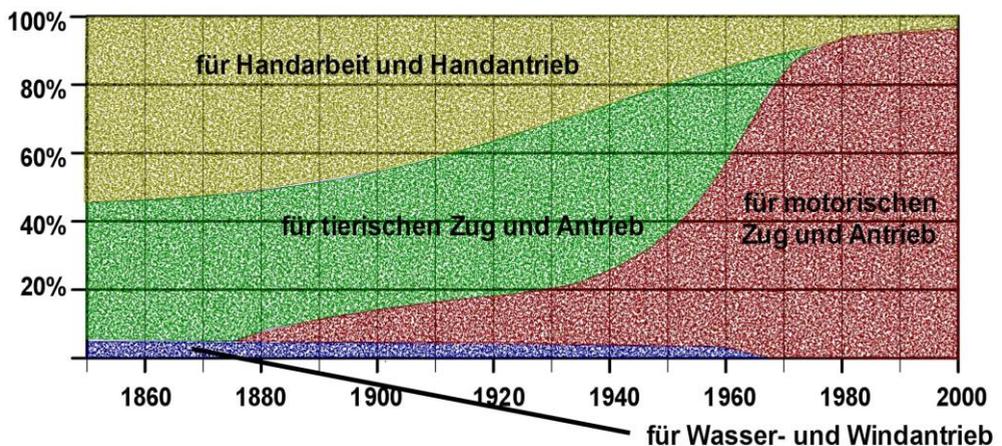


Abb. 17.2: Einschätzung des Anwendungsumfangs und der Anwendungszeiträume für die Antriebsarten der landtechnischen Arbeitsmittel in Deutschland (nach Krombholz 2018)

## 2 Was waren und sind die wesentlichen Effekte der Mechanisierung?

Mit dem Übergang von handgeführten zu maschinengeführten Werkzeugen wurde in der Regel eine wesentlich höhere und vor allem gleichbleibende Qualität in der Bearbeitung der landwirtschaftlichen Stoffe erreicht. Auf der Grundlage der motorischen Antriebe konnte auch

die Intensität der Bearbeitung erhöht und damit optimiert werden, was beispielsweise bei der energieintensiven Bodenbearbeitung die Bearbeitungstiefe betrifft. Gleichzeitig wurden völlig neue Funktionselemente und Bearbeitungsverfahren möglich, wodurch sich das Potenzial für die Steigerung der Arbeitsproduktivität weiter erhöhte.

Schon die Mechanisierung auf Basis der Muskelantriebe ermöglichte eine zunehmende Freisetzung von Arbeitskräften für die industrielle Entwicklung und die Versorgung einer wachsenden Bevölkerung. Ende des 19. Jahrhunderts, als der Anteil der Erwerbstätigen in der Landwirtschaft unter den Anteil der Erwerbstätigen in der Industrie gesunken war, wurde auch in Deutschland der Übergang von einem Agrarland zu einem Industrieland vollzogen (Seidl 2007).

Werden in der Entwicklung des Arbeitskraftbesatzes nach Abb. 17.3 die kriegsbedingten Unstetigkeiten vernachlässigt, dann hat sich die von einer Arbeitskraft bewirtschaftete Fläche im Verlauf des 20. Jahrhunderts auf etwa das 7fache entwickelt, was einer jährlichen Steigerung der Arbeitsproduktivität von etwa 2 % entspricht. Berücksichtigt man die in diesem Jahrhundert erreichte Entwicklung für die Erträge in der Pflanzenproduktion, dann liegt die auf das Produkt bezogene jährliche Steigerungsrate der Arbeitsproduktivität bei etwa 5 %. Im Ergebnis dieser Entwicklung ist der in der Landwirtschaft beschäftigte Anteil an den Erwerbstätigen in Deutschland auf unter 2 % gesunken.

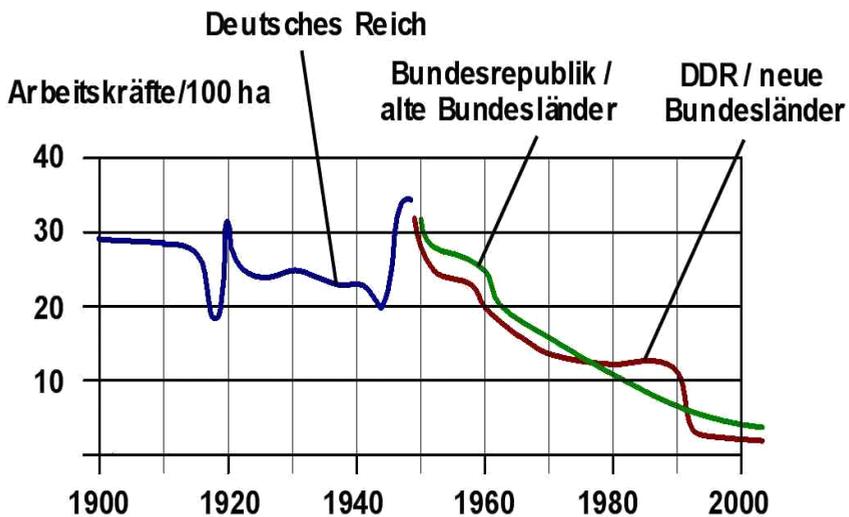


Abb. 17.3: Tendenz für die Entwicklung des auf 100 ha bezogenen Besatzes mit ständig beschäftigten Arbeitskräften in der Landwirtschaft Deutschlands (nach Krombholz 2018 a)<sup>1</sup>

Während in der Zeit der Produktionstechnik auf Basis Muskelantriebe das verfügbare Potenzial in der Regel nicht für eine optimale Bewirtschaftung ausreichte, konnte erst mit der motorisierten Produktionstechnik in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ein solches verfügbar gemacht werden, dass nunmehr die Stoffbearbeitung in günstigen agrotechnischen Zeitspannen ermöglichte.

<sup>1</sup> In den ausgewerteten Statistiken sind in der Regel die mitarbeitenden Kinder und Saisonkräfte, die vor allem in der 1. Hälfte des 20. Jahrhunderts wirksam waren, nicht enthalten

### **3 Was sind die wesentlichen Unterschiede in der industriellen und der landwirtschaftlichen Produktion?**

Mit der industriellen Entwicklung wurden die handwerklichen Produktionsmethoden in der Industrie in relativ kurzer Zeit durch effektive industrielle Produktionsmethoden abgelöst. Dieser Prozess wird heute in folgende Etappen gegliedert (Kromholz 2019):

- o Industrie 1.0 (Aufbau einer Industrieproduktion, vor allem auf der Grundlage von universellen Arbeits- und Werkzeugmaschinen mit Antrieb durch Dampfkraft),
- o Industrie 2.0 (Entwicklung zur Großserien- und Massenfertigung mit vorwiegend Einzweckmaschinen und Elektroantrieben),
- o Industrie 3.0 (Entstehen einer neuen Kategorie der Produktionstechnik auf Basis mikroelektronisch basierter Sensor- und Steuerungstechnik, die eine zunehmende flexible Automatisierung der Produktionsprozesse ermöglichte) und
- o Industrie 4.0 als eine Zielstellung für die Zukunft

In der Pflanzenproduktion, die bei den nachfolgenden Betrachtungen im Vordergrund steht, sind Ackerboden und Pflanzenbestand ein ortsfester Arbeitsgegenstand in freier Natur. Das Arbeitsmittel bzw. die Verarbeitungsmaschine sind in Bewegung. Die einzelnen Stufen der Stoffbearbeitung sind teilweise zeitlich sehr weit voneinander getrennt und verlaufen saisonbedingt jeweils nur über relativ kurze Zeitspannen. Die landwirtschaftlichen Stoffe haben in der Regel schwer zu definierende und stark variierende Bearbeitungseigenschaften. Hinzu kommen die wechselnden Boden- und Geländebedingungen sowie der Wettereinfluss. Unter diesen Bedingungen konnte die landwirtschaftliche Produktionstechnik nur sehr eingeschränkt für die ersten motorischen Antriebe erschlossen werden.

Erst die Produktionstechnik auf der Basis motorischer Antriebe mit Verbrennungsmotor und die Entwicklung von landwirtschaftlichen Großbetrieben ermöglichten es beispielsweise im Osten Deutschlands ab Mitte der 1960er-Jahre Überlegungen zur Anwendung industriemäßiger Produktionsmethoden in der Landwirtschaft anzustellen. Angestrebt wurde dabei eine Produktionstechnik, die auf kompletten Maschinensystemen basierte, die in ihren einzelnen Elementen technologisch aufeinander abgestimmt waren und damit einen durchgängigen fließenden Prozessablauf ermöglichten. Im mobilen Bereich umfasste das den Prozess von der Bodenbearbeitung über Bestellung, Düngung und Pflanzenpflege bis zur Ernte, Konservierung und Einlagerung der Ernteprodukte bei voller Integration der Transport- und Umschlagprozesse.

Eine solche Systembetrachtung für die Produktionstechnik ist ab den 1990er-Jahren, oftmals zulasten einer überdurchschnittlichen Leistungssteigerung einzelner Elemente des Gesamtprozesses, vernachlässigt worden mit der Konsequenz, dass der durchgängige Charakter der Prozessabläufe wieder verloren ging und das installierte Potenzial, vor allem bei den teilweise stark überdimensionierten Einzellösungen, in der Praxis nicht effektiv ausgeschöpft wurde. Im Gegensatz dazu haben sich in den kontinuierlich über das Jahr verlaufenden stationären Prozessen, insbesondere der Tierproduktion, industriemäßige Methoden zunehmend etabliert.

### **4 Gibt es in der Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktion analoge Etappen wie für die industrielle Entwicklung?**

In Abb. 17.4 wird der Versuch unternommen, die Entwicklung der landwirtschaftlichen Mechanisierung in Analogie zur industriellen Produktion in markante Phasen/Etappen zu gliedern. Dabei sollte man von einer Phase mit den Merkmalen einer höheren Niveaustufe nur

dann sprechen, wenn wesentliche Defekte der vorangegangenen Phase überwunden wurden. Unter diesem Aspekt erfolgte in der Phase, die man als Landwirtschaft 1.0 einordnen könnte, die Ablösung von vorwiegend Handarbeit durch Zugtiere und der zunehmende Einsatz landtechnischer Arbeitsmittel zur Mechanisierung einzelner Prozessstufen, wobei die handwerkliche Herstellung der Landtechnik immer mehr durch eine industrielle Herstellung ersetzt wurde.

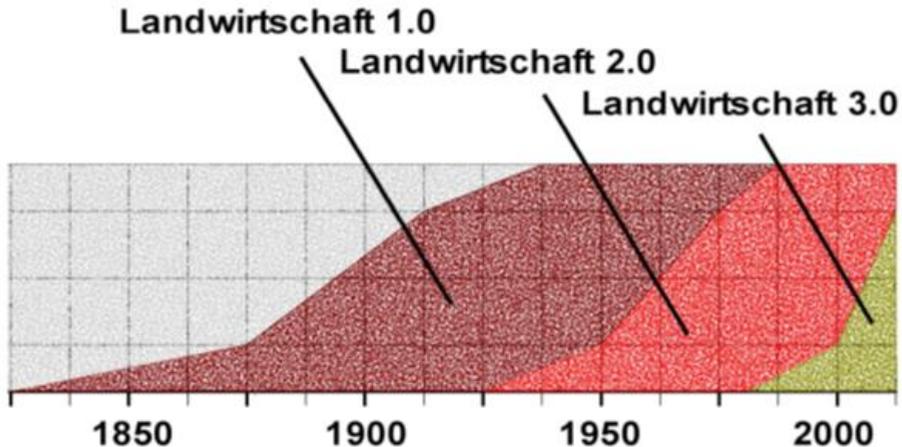


Abb. 17.4: Mögliche zeitliche Einordnung der Entwicklungsphasen der landwirtschaftlichen Produktionstechnik gemäß Landwirtschaft 1.0 bis 3.0 (nach Krombholz 2019)

Die begrenzten Möglichkeiten dieser Muskelantriebe waren auch der entscheidende Defekt von Landwirtschaft 1.0, weil mit Zug- und Antriebskräften bestimmte Schwellen der technologischen Leistung nicht überschritten werden konnten.

Dieses Problem konnte durch die Motorisierung des mobilen Bereiches auf der Basis von Zug- und Antriebsfahrzeugen mit Verbrennungsmotor gelöst werden, so dass die darauf basierende Produktionstechnik auch eine nächsthöhere Niveaustufe charakterisiert, die man somit als Landwirtschaft 2.0 bezeichnen könnte. In dieser Phase wurden vor allem folgende Veränderungen vollzogen:

- Für die Entwicklung und Herstellung von Landtechnik wurde ein zunehmend wissenschaftliches Fundament und ein effektives industrielles Potenzial geschaffen.
- Die Motorisierung des mobilen Bereiches auf der Basis von Zug- und Antriebsfahrzeugen mit Verbrennungsmotor veränderte die Prozesse der Pflanzenproduktion grundlegend. Neben der Erhöhung der Leistungsparameter wurden neue und verbesserte Funktionselemente für die Stoffverarbeitung möglich und es veränderten sich die Produktionsverfahren. Dazu gehört unter anderem eine umfassende Kombination von Arbeitsprozessen und deren Verlagerung aus dem stationären in den mobilen Bereich.
- Die Betriebs- und Flächenstruktur wurde zunehmend an die wachsenden technologischen Leistungen der mobilen und stationären Produktionstechnik angepasst ([www.agrarfakten.de/biodiversitat](http://www.agrarfakten.de/biodiversitat)).

In Verbindung mit dieser Entwicklung hat sich die energetische Ausstattung der Landwirtschaft gravierend erhöht (Abb. 17.5).

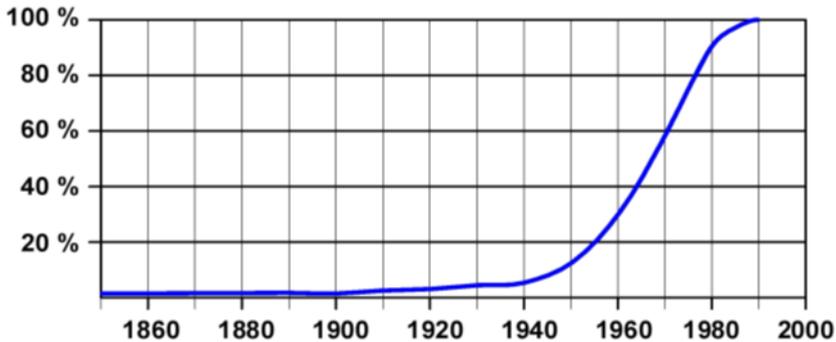


Abb. 17.5: Tendenz für die Entwicklung des Potenzials der Muskel- und Kraftantriebe in PS/100 ha landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland (nach Krombholz 2018; Stand 1990 in der Bundesrepublik = 100 %)

Als eine neue Qualität der landwirtschaftlichen Produktionstechnik, für die eine Einordnung als Landwirtschaft 3.0 gelten könnte, ist die ab den 1990er-Jahren einsetzende Entwicklung in Richtung „precision agriculture“ zu sehen. Unter Nutzung des aktuellen Standes der Informationstechnik und des Internets erfolgt dabei eine zunehmende Anwendung sensor- und computergestützter Steuerungen zur Optimierung der Prozessabläufe sowohl im stationären wie auch im mobilen Bereich, bei gleichzeitiger Anwendung umwelt- bzw. tierverträglicher Verfahren in der Pflanzen- und Tierproduktion ([www.agrarfakten.de/umweltvertraeglichkeit](http://www.agrarfakten.de/umweltvertraeglichkeit)). Verbunden wird das mit dem optimierten Einsatz von Dünge-, Futter- und Pflanzenschutzmitteln bei zunehmender Vernetzung der Teilnehmer komplexer Prozesse. Bei einer standort- und teilflächenspezifischen Bewirtschaftung wird diese teilweise bis auf eine selektive Behandlung von Einzelpflanzen ausgerichtet. Bei DLG (2018) werden diese Instrumentarien als „precision farming“, „smart farming“ und beides integrierend als „digital farming“ bezeichnet.

## 5 Was sind wesentliche Defekte der derzeitigen Produktionstechnik?

Im Rahmen von Landwirtschaft 2.0 entstanden mit Ausnahme der Grenzen im Straßentransport beinahe unbegrenzte Möglichkeiten für die mobilen und stationären Kraftantriebe, die wichtige Voraussetzungen für die Steigerung der technologischen Leistung der Prozesse und der Arbeitsproduktivität boten und bieten. Dabei sind für die Einhaltung der Anforderungen des Straßentransports zunehmende Aufwendungen erforderlich. Ein Ergebnis ist die vorzugsweise quantitative Fortsetzung wesentlicher Entwicklungen aus der Zeit von Landwirtschaft 2.0, die unter anderem in dem Anwachsen von Masse und Energieausstattung der mobilen landtechnischen Arbeitsmittel ihren Ausdruck finden (Abb. 17.6). Leistungsfähige, große Maschinen, die auf großen Feldern arbeiten, waren und sind Ausdruck einer modernen Landwirtschaft. Allerdings ist nicht zu übersehen, dass diese Produktionstechnik zunehmend auch ein neues Defektpotenzial entwickelt.

Die für diese Produktionstechnik arbeitswirtschaftlich optimierten Produktionsbedingungen erfordern ein analoges Wachsen der Betriebsgrößen und der Felder/Schläge. Das erweist sich aus der Sicht des Erhalts der Wachstumsbedingungen auf den Feldern und in der gesamten Kulturlandschaft, die nach Aussagen von Gaus et al. (2017) unter anderem durch Schadverdichtungen des Ackerbodens und die rückläufige Biodiversität beeinträchtigt sind, immer mehr als kontraproduktiv ([www.agrarfakten.de/biodiversitat](http://www.agrarfakten.de/biodiversitat)).

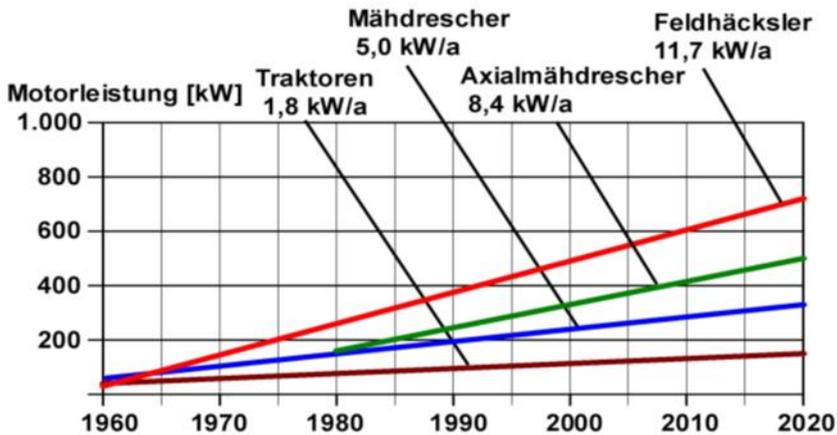


Abb.17.6: Steigerung der Motorleistung in kW/Jahr für ausgewählte landtechnische Arbeitsmittel des mobilen Bereiches mit den durchschnittlichen jährlichen Steigerungsraten (nach Herlitzius 2017)

Am Beispiel von drei Traktor-Pflug-Aggregaten zeigt Krombholz (2020) den großen Einfluss der sehr differenzierten Einsatzbedingungen in der Pflanzenproduktion auf den Ausnutzungsgrad der Produktionstechnik. In gleichem Maße wird die höhere Energieeffizienz der Großtechnik nur dann wirksam, wenn das installierte Potenzial auch optimal ausgenutzt werden kann, was in der Praxis in der Regel nicht der Fall ist. Mit solchen Erkenntnissen scheint die Fortsetzung der Entwicklung auf der Basis des „Wachstumsgesetzes der Landtechnik“ (Herlitzius 2017) kein langfristig tragfähiger Lösungsansatz zu sein.

## 6 Erfordert der Schritt in Richtung Landwirtschaft 4.0 einen Paradigmenwechsel?

Mit der Darstellung der Defekte und ihrer Überwindung in der bisherigen Entwicklung der Landwirtschaft sollte der Erkenntnisprozess zur Formulierung der Zielstellungen für einen nächsten Entwicklungsschritt etwas angeregt werden, nachdem der Eindruck besteht, dass die aktuellen Überlegungen in einigen Punkten vielleicht etwas zu kurz greifen.

Für die Fahrzeuge und Träger der Arbeitsmittel/Werkzeuge der Pflanzenproduktion ist in Analogie zu den Straßenfahrzeugen der Schritt zum autonomen Fahren naheliegend und auch bereits in Arbeit. Allerdings dürften nach Gaus et al. (2017) mit einer „autonomen Großtechnik“ die genannten Defekte nicht zu überwinden sein.

Auf der Grundlage einer „autonomen Kleintechnik“ werden von Gaus et al. (2017) und Sanchez u. Altherr (2019) einige Insellösungen vorgestellt, die sich erfolgversprechend auf den Feldern bewegen können. Die Tragfähigkeit einer solchen und/oder anderer Entwicklungsrichtungen wird jedoch nur dann gegeben sein, wenn der Gesamtprozess mit einer von den aktuellen Defekten freien Produktionstechnik abgesichert werden kann.

Für „Industrie 4.0“ wird unter anderem der Anspruch formuliert, auch eine Einzelfertigung mit der Qualität und der Produktivität einer Großserienfertigung zu realisieren (Dlugosch 2017). Auf die Bedingungen der Landwirtschaft angewendet, könnte das bedeuten, dass die künftige Produktionstechnik eine Bewirtschaftung auch von kleinen Feldern bei sehr unterschiedlichen Standortbedingungen mit der notwendigen Produktivität und Qualität ermöglichen sollte.

In Verbindung mit den Veränderungen an der Produktionstechnik werden Veränderungen auch bei den landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen und Produktionsverfahren nicht nur möglich, sondern auch zwingend notwendig.

## Literatur

DLG, 2018: Digitale Landwirtschaft – Ein Positionspapier der DLG.

<https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/technik/digitalisierung-arbeitswirtschaft-und-prozesstechnik/digitale-landwirtschaft/>

DLUGOSCH, G., 2017: Vernetzung führt zur übergreifenden Kooperation. VDI-Nachrichten, 2017, Nr. 20.

GAUS, C.-C., MINBEN, T.-F., URSO, L.-M., de WITTE, T. und WEGENER, J., 2017: Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen. Abschlußbericht zu einem Forschungsprojekt des Bundesprogramms ökologischer Landbau und anderer Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

[https://orgprints.org/id/eprint/32438/1/32437\\_14NA004\\_011\\_012\\_thuenen\\_institut\\_de\\_Witte\\_Landmaschinen\\_Pflanzenbau.pdf](https://orgprints.org/id/eprint/32438/1/32437_14NA004_011_012_thuenen_institut_de_Witte_Landmaschinen_Pflanzenbau.pdf)

HERLITZIUS, T., 2017: Technology roadmap for developments driven by enhanced connectivity. Technische Universität Dresden, Vortrag Januar 2017.

KÖLLER, K. und HENSEL, O. (Hrsg.), 2019: Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion. 1. Auflage, Bd. 5198. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

KROMBHOLZ, K., 2018: Zur Entwicklung von Technologie, Technik und Produktivität in der Landwirtschaft Deutschlands. Förderverein des Deutschen Landwirtschaftsmuseums. Universität Hohenheim, ISBN 987-3-9817225-5-0.

KROMBHOLZ, K., 2019: Gedanken zur Vorgeschichte von Landwirtschaft 4.0. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2019, S. 1-17. Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig.

KROMBHOLZ, K., 2020: Zur Entwicklung des Energiebedarfs für das Pflügen.

[EM Pflügen KK 20200506.pdf \(205666\)](#)

SANCHEZ, J. und ALTHERR, A., 2019: Effizienzsteigerung durch autonome Systeme bei Landmaschinen. John Deere Forum Mannheim, 22. Oktober 2019. Veranstaltung des VDI-Landesverband Baden Württemberg.3

SEIDL, A., 2007: Deutsche Agrargeschichte. DLG-Verlag, Frankfurt/Main 2007. ISBN 978-3-7690-0655-1.