

# JAHRBUCH AGRARTECHNIK

YEARBOOK AGRICULTURAL ENGINEERING

---

Herausgeber/Editor:  
Prof. Dr. Ludger Frerichs





# JAHRBUCH AGRARTECHNIK

YEARBOOK AGRICULTURAL ENGINEERING

## Jahrbuch Agrartechnik / Yearbook Agricultural Engineering 2023

Band 35 / Volume 35

### Vorwort

Wie die Agrartechnik selbst befindet sich auch das *Jahrbuch Agrartechnik* im steten Wandel. So verschiebt sich mit der Zeit die Bedeutung einzelner Themenbereiche. Dem tragen wir jetzt mit einem neuen Oberkapitel Rechnung unter dem profunde Beiträge die aktuellen Entwicklungen der Energiesysteme und der Antriebstechnik beleuchten – ein Blick hinein lohnt sich sehr! Natürlich ist dieser Bereich nicht der einzige, indem es neues aus der Agrartechnik zu berichten gibt. Von daher freue ich mich, dass wir auch in diesem Jahr wieder die vielfältigen Entwicklungen in der Branche mit dem *Jahrbuch Agrartechnik* würdigen können. Die Autorinnen und Autoren des Jahrbuchs haben das alles wieder zusammengetragen. Ohne ihr nicht selbstverständliches, oft langjähriges Engagement wäre das Jahrbuch in dieser Form und diesem Umfang nicht umsetzbar – vielen herzlichen Dank dafür! Gleiches gilt für die Gutachter, die zur Wahrung der Qualität der Artikel einen wichtigen Beitrag leisten – ein herzliches Dankeschön.

Nun erscheint das *Jahrbuch Agrartechnik* in seiner 35. Fassung wie gewohnt auf der Homepage [www.jahrbuch-agrartechnik.de](http://www.jahrbuch-agrartechnik.de). Allen Leserinnen und Lesern eine gute Lektüre mit vielen positiven Eindrücken!

### Preface

Like agricultural engineering itself, the Yearbook Agricultural Engineering is constantly changing. The importance of individual subject areas shifts over time. We are now taking this into account with a new main chapter in which profound articles illustrate the current developments in energy systems and drive technology - it is well worth a look! Of course, this is not the only area in which there is news from agricultural engineering. I am therefore delighted that we are once again able to pay tribute to the diverse developments in the sector with this year's Yearbook Agricultural Engineering. The authors of the yearbook have once again brought it all together. Without their commitment, often over many years, the yearbook would not be possible in this form and scope - many thanks for that! The same applies to the reviewers, who make an important contribution to maintaining the quality of the articles - thank you very much.

The 35th edition of the Yearbook Agricultural Engineering will now be published as usual on the homepage [www.jahrbuch-agrartechnik.de](http://www.jahrbuch-agrartechnik.de). We wish all readers a good read with many positive impressions!



Prof. Dr. Ludger Frerichs

---

### Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

#### Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024.

Frerichs, Ludger (ed.): Yearbook Agricultural Engineering 2023. Braunschweig: Institute of Mobile Machines and Commercial Vehicles, 2024.

#### Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171517-0>

#### Link zum Beitrag / Link to Article

<http://www.jahrbuch-agrartechnik.de>



<b>Allgemeine Entwicklung</b>		<b>General Development</b>	
Landwirtschaftliche Rahmenbedingungen.....	7	Agricultural Environment.....	7
Technische Regelwerke.....	15	Technical Regulation.....	15
<b>Energie- und Antriebssysteme</b>		<b>Energy and Drive Systems</b>	
Energiesysteme.....	26	Power Systems.....	26
Antriebstechnik.....	42	Drive Technology.....	42
<b>Digitalisierung und Automatisierung</b>		<b>Digitization and Automation</b>	
Automatisierungs- und Robotersysteme.....	51	Automation and robotic systems.....	51
<b>Traktoren</b>		<b>Tractors</b>	
Gesamtentwicklung Traktoren.....	59	Agricultural Tractor Development.....	59
Motoren und Getriebe bei Traktoren.....	73	Tractor Engines and Transmission.....	73
Reifen / Reifen-Boden-Interaktion.....	86	Tyres / Tyre-Soil-Interaction.....	86
Fahrdynamik – Fahrsicherheit – Fahrerplatz.....	94	Ride Dynamics – Ride Safety – Driver's Place.....	94
<b>Bodenbearbeitungstechnik</b>		<b>Cultivation Technology</b>	
Bodenbearbeitungstechnik.....	111	Cultivation Technology.....	111
<b>Sätechnik</b>		<b>Seeding Technology</b>	
Sätechnik.....	125	Seeding Technology.....	125
<b>Pflanzenschutz-, Dünge- und Bewässerungstechnik</b>		<b>Plant Protection, Fertilizing and Irrigation</b>	
Pflanzenschutztechnik.....	136	Plant Protection.....	136
<b>Halmguterntetechnik</b>		<b>Crop Harvesting</b>	
Halmgutmähen und -werben.....	145	Mowing, Tedding and Raking.....	145
Halmgutbergung.....	154	Forage Harvesting.....	154
Halmgutkonservierung.....	166	Forage Preservation.....	166
<b>Körnererntetechnik</b>		<b>Grain Harvesting</b>	
Mähdrescher.....	173	Combine Harvester.....	173
<b>Technik für den Hackfruchtanbau</b>		<b>Root Crop Engineering</b>	
Zuckerrübenschnitttechnik.....	185	Sugar Beet Technology.....	185
Kartoffeltechnik.....	193	Potato Technology.....	193
<b>Technik für Sonderkulturen</b>		<b>Engineering for Intensive Crops</b>	
Gewächshaustechnik.....	207	Greenhouse Technology.....	207
<b>Technik in der Tierhaltung</b>		<b>Livestock Engineering</b>	
Technik in der Schweinehaltung.....	226	Technologies for Pig Husbandry.....	226
<b>Bioverfahrens- und Umwelttechnik</b>		<b>Bio- and Environmental Engineering</b>	
Möglichkeiten zur Emissionsvermeidung und -verminderung.....	238	Possibilities for reducing emissions.....	238
<b>Geschichte</b>		<b>History</b>	
Zukunft braucht Herkunft – warum sich Unterneh- men mit ihrer Geschichte befassen sollten.....	251	Future Needs Origin – Why We Must Engage with History.....	251
Frühe Mähdrescherentwicklung – Bonner Profes- soren und die Firma Claas.....	261	Early evolution of combine harvesters – professors at the university of Bonn and the Claas company .....	261



## **DLG-Agrifuture Insights: Regulierungen und geänderten Produktionsbedingungen begegnen**

Kerstin Hau, Erik Guttulröd

### **Kurzfassung**

Für landwirtschaftliche Betriebe gilt es, sich den Herausforderungen von zunehmenden Regulierungen, hohem Bürokratieaufwand und geänderten Produktionsbedingungen durch den Klimawandel zu stellen und Lösungen zu finden. Die wirtschaftliche Geschäftslage 2023 sahen die deutschen Ackerbauern etwas schlechter als im Jahr zuvor. Außerdem ist ihre Investitionsbereitschaft deutlich zurückgegangen. Die Schweinehalter schätzen ihre wirtschaftliche Lage hingegen aktuell besser ein als in den vergangenen Jahren und sind auch wieder bereit zu investieren. Im Ackerbau stehen die Ressourcenschonung und Energieeffizienz bei den Technikrends im Fokus. Innovationen erhoffen sich die Teilnehmer vor allem in den Bereichen Pflanzenzüchtung, Pflanzenschutz und Düngung. Beim Umwelt- und Klimaschutz werden zusätzliche Anpassungen an den Klimawandel durch angepasste Kulturen, effizientes Wassermanagement sowie eine Reduktion des Dieserverbrauchs angestrebt.

### **Schlüsselwörter**

Geschäftsklima, Investitionsbereitschaft, Innovationen, Umweltschutz, Klima

## **DLG-Agrifuture Insights: Countering regulations and changed production conditions**

Kerstin Hau, Erik Guttulröd

### **Abstract**

Agricultural businesses need to face the challenges of increasing regulations, high levels of bureaucracy and changing production conditions due to climate change and need to find solutions. German arable farmers saw the economic business situation in 2023 as slightly worse than in the previous year. In addition, their willingness to invest has declined significantly. On the other hand, pig farmers rate their economic situation currently better than in previous years and are willing to invest again. Resource conservation and energy efficiency are the focus of technology trends in arable farming. The participants are hoping for innovations in the areas of plant breeding, crop protection and fertilization. In terms of environmental and climate protection, additional adaptations to climate change are being sought through adapted crops, efficient water management and a reduction in diesel consumption.

### **Keywords**

Business climate, investment plans, favored innovation, environmental protection, climate

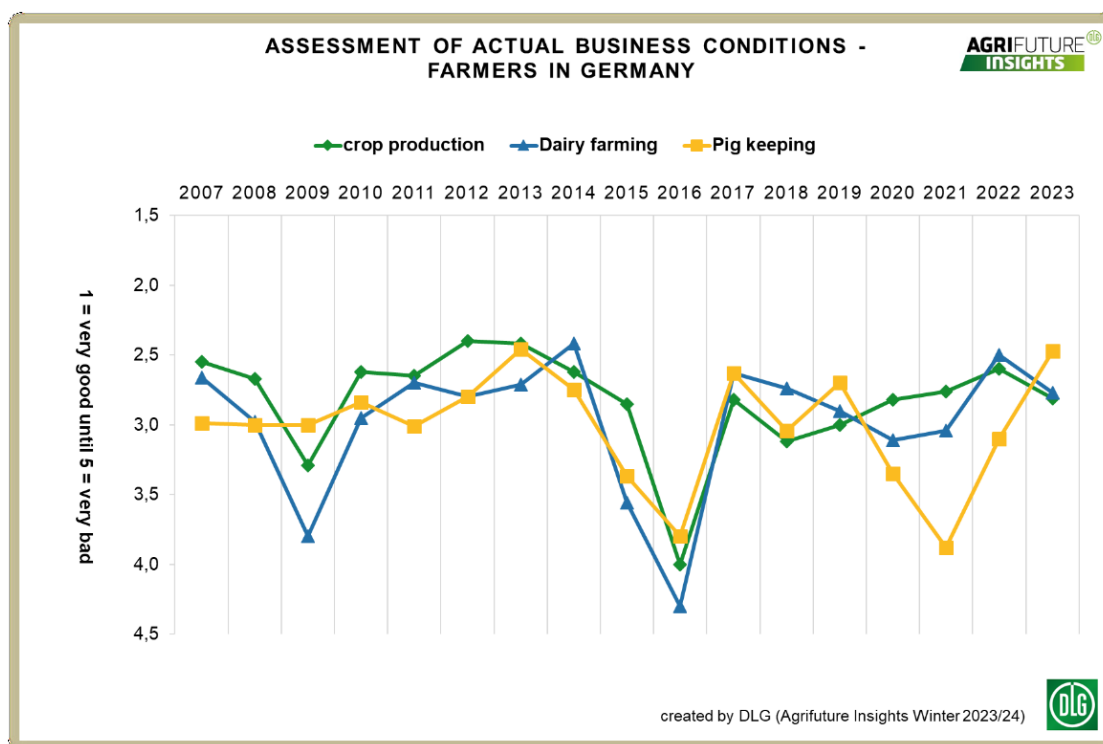
---

### Aktuelle Geschäftslage

Landwirtschaftliche Betriebe sind zunehmend mit Regulierungen und sehr hohen Kosten und Aufwand für Bürokratie konfrontiert. Es hat sich viel Frust angesammelt, der dazu führte, dass das Jahr 2023 in Deutschland mit großen Bauernprotesten endete. Deren letztllicher Auslöser die angekündigten geplanten Kürzungen im Bundeshaushalt für die Landwirtschaft waren.

Eine Lösung der derzeitigen Herausforderung innerhalb der Branche kann jedoch nur gemeinsam gelingen und somit ist sowohl die Landwirtschaft, als auch die Politik zur Kompromissbereitschaft aufgerufen. Diese Bereitschaft ist der Kern des demokratischen Prozesses, um nicht zuletzt auch den zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden. So sind die Herausforderungen innerhalb des Pflanzenbaus nicht unerheblich durch Wetterextreme gestiegen. Das Ziel seitens aller Beteiligten ist somit nachvollziehbar - Diversität und angepasste Produktion stellt einen Schlüssel für die wirtschaftliche und zugleich anpassungsfähige Landwirtschaft dar.

Die befragten Ackerbauern sehen ihre wirtschaftliche Lage und die zukünftige Geschäftsentwicklung etwas negativer als im Vorjahr (**Bild 1**). Gründe hierfür könnten daneben auch die im Vergleich zum Vorjahr gesunkenen Erzeugerpreise sein ebenso wie wetterbedingte Probleme bei der Herbstsaat für die Ernte 2024.



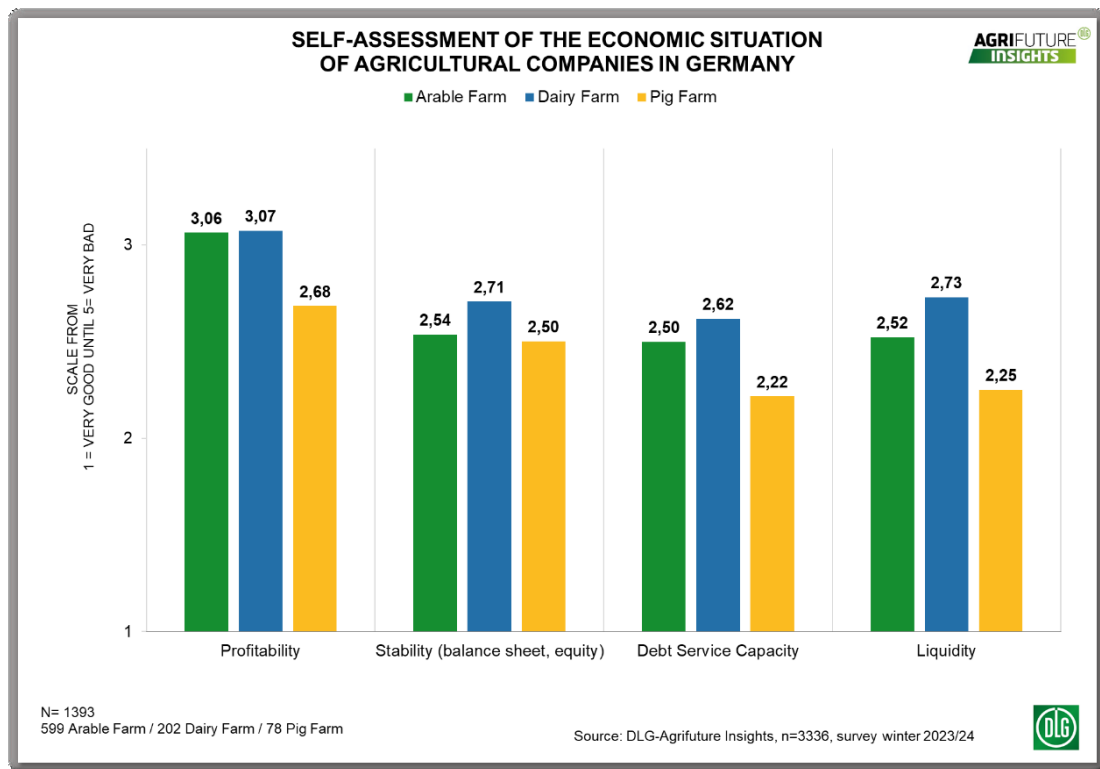
**Bild 1:** Beurteilung der aktuellen Geschäftslage - Landwirte in Deutschland [1].

**Figure 1:** Assessment of actual business conditions - farmers in Germany [1].

Schweinehalter sehen sich weiter mit der Ausbreitung der Afrikanischen Schweinepest in Deutschland und Europa konfrontiert. Vor diesem Hintergrund sind für die Betriebe die Einhal-

tung von Biosicherheit und Hygienemaßnahmen von entscheidender Bedeutung. Für alle Tierhalter sind einzuhaltende Vorgaben zum Tierwohl mit mangelnder Planungssicherheit und ohne Klarheit darüber, ob Mehrkosten durch die Wertschöpfungskette getragen werden, eine große Herausforderung. Darüber hinaus ist der Fachkräftemangel allseits präsent. Dennoch schätzten die befragten Betriebe über alle drei Betriebszweige hinweg ihre aktuelle Geschäftslage und die zukünftige Geschäftsentwicklung im mittleren bis guten (Schweinehalter) Bereich ein [1].

Bei den Milchviehaltern sind in vielen Fällen im vergangenen Jahr noch bestehende gute Futterkontrakte ausgelaufen. Kombiniert mit einer schwierigen Grundfutterlage und einem niedrigen Milchpreis, ergab sich für sie ein schlechtes wirtschaftliches Ergebnis für das letzte Jahr. Dementsprechend wurden die Rentabilität des Betriebes (Vorjahr (VJ): 2,6), die Stabilität (VJ: 2,2) und die Liquidität (VJ: 2,3) im letzten Jahr von den Teilnehmern noch besser eingestuft (**Bild 2**) [1; 2].



**Bild 2:** Selbsteinschätzung zur wirtschaftlichen Lage von Landwirtschaftsbetrieben in Deutschland [1].

**Figure 2:** Self-assessment of the economic situation of agricultural companies in Germany [1].

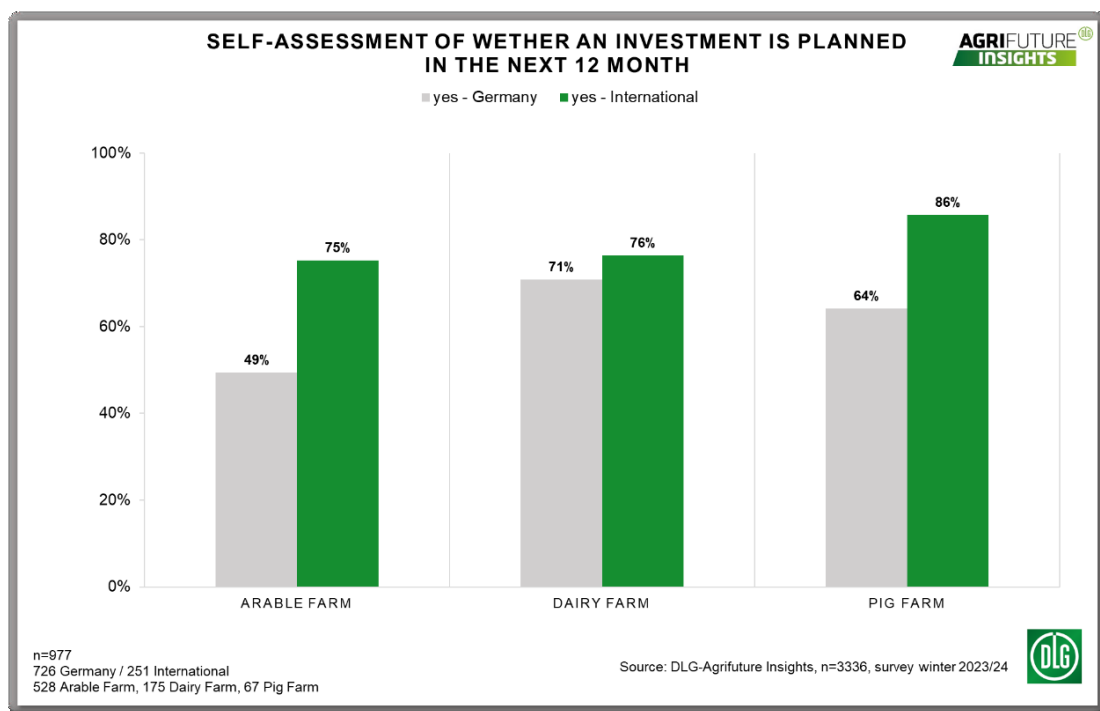
Beim Vergleich mit der Umfrage 2022/23 fällt auf, dass die Schweinehalter ihre Rentabilität in diesem Jahr deutlich besser sehen (VJ: 3,4). Auch die weiteren Kennzahlen sowie die allgemeine Geschäftslage und die zukünftige Geschäftsentwicklung wurden von den Schweinehaltern deutlich besser bewertet. Hier spiegelt sich wider, dass das letzte Wirtschaftsjahr das erfolgreichste der letzten 15-20 Jahre war, v.a. für die stark gebeutelte Ferkelerzeugung. Gleichzeitig antwortete ein Viertel der Schweinehalter auf die Frage, welche Maßnahmen Sie

ergreifen, um den Herausforderungen, mit denen schweinehaltende Betriebe konfrontiert sind, zu begegnen, mit dem Ausstieg aus der Schweinehaltung [1; 2].

*Investitionsneigung bei Ackerbauern rückläufig, Schweinehalter wollen investieren*

Gestiegene Zinsen und hohe Anschaffungskosten dürften sicher für Betriebsleiter ein wichtiger Faktor sein bei der Entscheidung, ob Investitionen getätigt werden. Fehlende Planungssicherheit und hohe bürokratische Hürden sind weitere Hemmschuhe.

Bei den Ackerbaubetrieben haben im letzten Jahr viele die Chance genutzt und die durch hohe Erzeugerpreise eingefahrenen Gewinne reinvestiert. Die Landtechnikindustrie konnte ein Rekordergebnis erzielen. Dies dürfte sicherlich einer der Gründe sein, warum in Deutschland in diesem Jahr mit 49 % der befragten Ackerbauern (**Bild 3**) weniger Betriebe Investitionen planen als noch im vorherigen Jahr (64%) [1; 2].



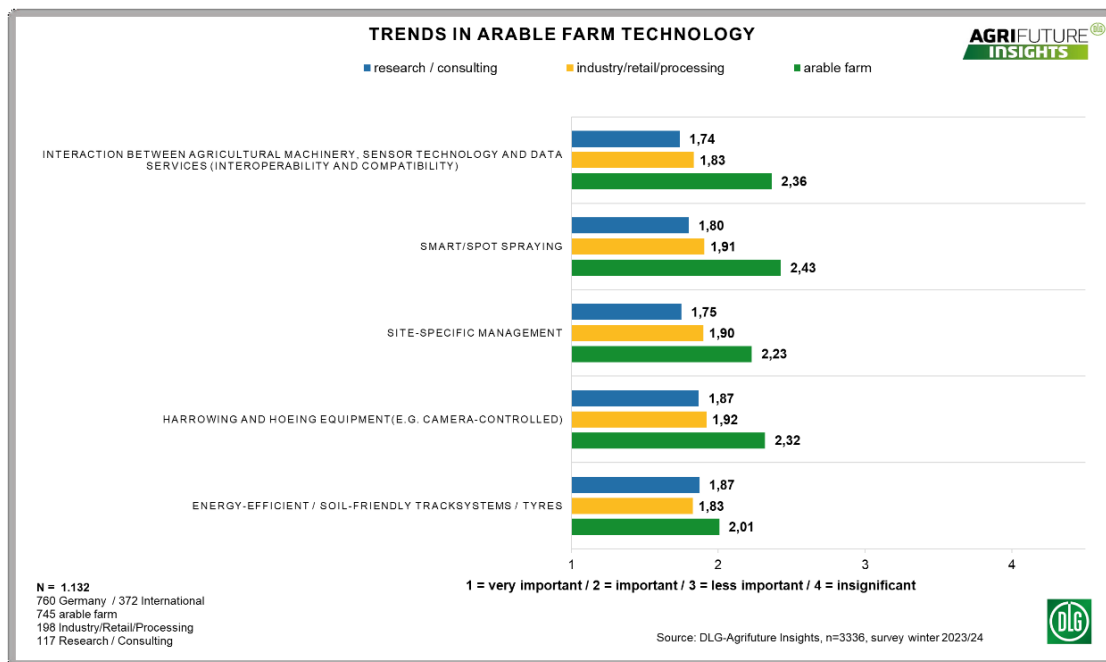
**Bild 3:** Selbsteinschätzung zur Investitionsbereitschaft im Jahr 2024 [1].

**Figure 3:** Self-assessment of whether an investment is planned in 2024 [1].

Positiver gestimmt sind hingegen die Schweinehalter. Bei ihnen ist im Vergleich zum Vorjahr eine Zunahme der Investitionsbereitschaft sowohl in Deutschland als auch international zu erkennen. Sie haben im letzten Jahr erstmals wieder Gewinne einfahren können, die sie reinvestieren können. Hinzu kommen aktuell positive Aussichten für die Schweinepreise in 2024 [1].

*Techniktrends im Ackerbau: Ressourcenschonung und Energieeffizienz im Fokus*

Für die befragten Ackerbauern ist wie in den vergangenen Jahren der Bereich der energieeffizienten und bodenschonenden Spur- und Reifensysteme einer der wichtigsten Techniktrends (**Bild 4**). Durch angepasste Fahrspurplanung und optimierten Reifendruck lassen sich die Traktion verbessern, der Schlupf minimieren und der Produktionsfaktor Boden schützen. Neben einer Ressourcenschonung können so auch Effizienzsteigerungen erreicht werden. Daneben werden auch Striegel- und Hacktechnik wieder als wichtig eingeschätzt, ebenso wie die teilflächenspezifische Bewirtschaftung [1].



**Bild 4:** Selbsteinschätzung zur zukünftigen Bedeutung von Techniktrends im Ackerbau [1].

**Figure 4:** Self-assessment of the importance of technology trends [1].

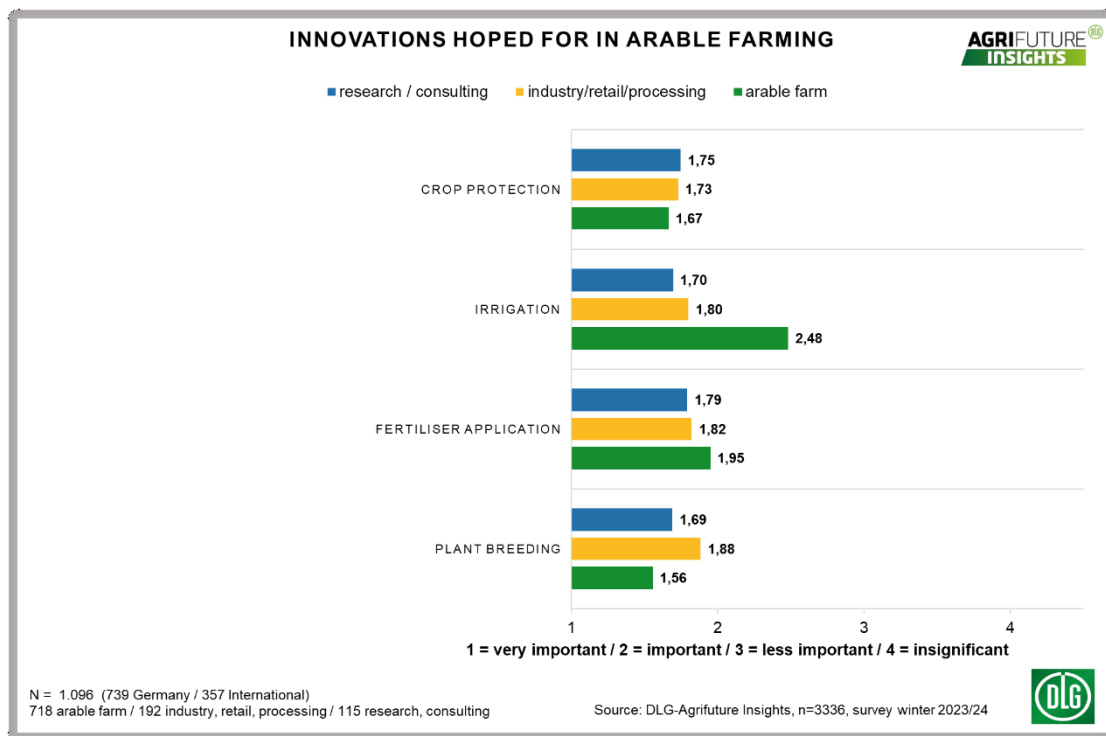
Das Smart-/Spot Spraying wurde von der Wissenschaft und Beratung als wichtig angesehen, die befragten Landwirte hingegen sahen diesen Bereich als weniger wichtig an. Obwohl hier Produkte in diesem Jahr Marktreife erlangen konnten, scheint der Übergang in die Praxis noch zu dauern [1].

*Erhoffte Innovationen im Ackerbau: stark reglementierte Bereiche im Fokus*

Die aktuellen Befragungsergebnisse zeigen wieder, dass die gesamte Branche die größten Hoffnungen bei Innovationen in Pflanzenzüchtung, Pflanzenschutz und Düngerapplikation (**Bild 5**) sieht – mithin genau den Bereichen, in denen die Politik aktuell und wohl auch in Zukunft besonders viel reglementiert bzw. reglementieren wird. Diese Eingriffe sind Gefahr und Gelegenheit zugleich. Sie führen zu einer notwendigen Anpassung und fördern die Innovationskraft, können letztere aber auch massiv einschränken, wenn ein Return on Invest aufgrund unsicherer Rahmenbedingungen gefährdet erscheint [1].

Sehr viel Hoffnung liegt auch auf der Züchtung, die aber nur einen Teil der Lösung darstellt, auch weil die Politik trotz steigenden Drucks aus der Branche bezüglich neuer Züchtungsmethoden wie CRISPR/Cas sehr zögerlich ist [1].

Überraschend war, dass die Landwirte der Verbesserung des Datenmanagements eine deutlich geringere Wichtigkeit zuordnen. Hier ist – wenn denn alles auch funktioniert – in der Praxis weiterhin sehr viel Aufklärung nötig.



**Bild 5:** Erhoffte Innovationen und Techniktrends im Ackerbau [1].

**Figure 5:** Innovations and technology trends hoped for in Arable Farming [1].

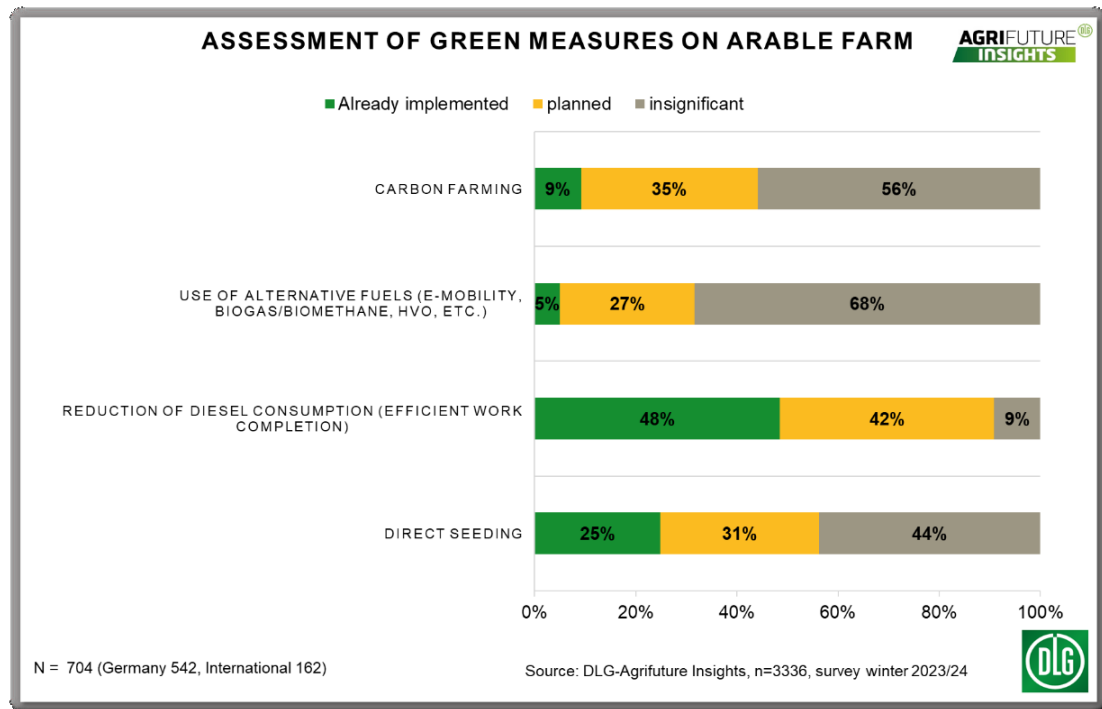
Interessant ist, dass die Bewässerung von der Wissenschaft und Beratung als deutlich wichtiger eingestuft wird als von den Landwirten. Vermutlich, weil eine Bewässerung bei den Hauptfeldfrüchten sich wirtschaftlich (noch) nicht rechnet [1].

#### *Umwelt- und Klimaschutz im Ackerbau: Anpassungen an Klimawandel und reduzierter Betriebsmitteleinsatz im Fokus*

Die letzten Jahre waren geprägt von Hitzerekorden und Starkwetterereignissen. Diese werden immer häufiger und führen zu Unsicherheiten bei den Erträgen und Qualitäten der Feldfrüchte. Dementsprechend planen rund 40 % der befragten Landwirte das Anbauspektrum durch angepasste Kulturen zu erweitern und ein effizientes Wassermanagement umzusetzen [1].

Klimaschutzmaßnahmen werden die Produktionskosten in Zukunft erhöhen. Gleichzeitig bieten bestimmte Maßnahmen wie eine Reduktion des Dieserverbrauchs durch eine effektive Arbeitserledigung und dem teilflächenspezifischen Betriebsmitteleinsatz die Möglichkeit, sowohl

etwas für den Umweltschutz zu tun, als auch den Betrieb ökonomisch zu entlasten. Rund 40 % der an der Umfrage teilnehmenden Betriebe plant Maßnahmen zur Energieeffizienz und den teilflächenspezifischen Betriebsmitteleinsatz (**Bild 6**). Hier dürfte insbesondere die Frage der Effizienz der eingesetzten Betriebsmittel im Fokus stehen angesichts hoher Kosten für Energie und Betriebsmittel. In diesem Zusammenhang stehen auch die geplanten Maßnahmen Direktsaat (31%) und Carbon Farming (35 %), die zu einer Verringerung des Dieseleinsatzes beitragen [1].



**Bild 6:** Selbsteinschätzung zu Umweltmaßnahmen im Ackerbau [1].

**Figure 6:** Assessment of green measures on arable farms [1].

Rund 70 % der Befragten schätzten den Einsatz alternativer Kraftstoffe als unbedeutend ein. Zum Zeitpunkt der Bekanntgabe der geplanten Streichungen bei Agrardieselsubventionen und KFZ-Steuerbefreiung durch den Bundestag hatten die allermeisten Teilnehmer bereits die Befragung abgeschlossen. Bleibt die Frage, ob alternative Kraftstoffe kein Thema waren oder ob es in der Praxis eher weniger wichtig ist und mangelnde Antriebsalternativen nur von den Verbänden als Argumentationsgrundlage genommen werden. Mitunter sind diese aus Sicht der Landwirte unbedeutend, da bisher keine praktikablen Lösungen in Aussicht sind [1].

### Zusammenfassung

Während die Ackerbauern ihre wirtschaftliche Lage in diesem Jahr etwas schlechter sehen und ihre Investitionsbereitschaft in Deutschland deutlich zurückgegangen ist, schätzen die Schweinehalter ihre wirtschaftliche Lage aktuell deutlich besser ein als in den vergangenen

Jahren und sind auch wieder bereit zu investieren. Als wichtig werden Techniktrends eingeschätzt, die zur Ressourcenschonung beitragen. Innovationen erhoffen sich die Teilnehmer vor allem in den Bereichen, in denen die meisten Reglementierungen herrschen. Beim Umwelt- und Klimaschutz stehen die Anpassungen an den Klimawandel durch angepasste Kulturen und effizientes Wassermanagement sowie die Reduktion des Dieserverbrauchs im Fokus.

### **Literatur**

- [1] N.N.: DLG-Agrifuture Insights - Auswertung der Studie Winter 2023/24. DLG e.V., URL: <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/agrifuture-insights-aktuell> - bei Erstellung des Beitrags noch unveröffentlicht.
- [2] N.N.: DLG-Agrifuture Insights - Auswertung der Studie Winter 2022/23. DLG e.V., URL: <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/agrifuture-insights-aktuell>, Zugriff am: 11.03.2024.

### **Autorendaten**

Kerstin Hau ist Projektleiterin des Fachzentrum Landwirtschaft bei der DLG e.V. in Frankfurt am Main.

Erik Guttulröd ist Stellvertretender Geschäftsführer und Bereichsleitung Betriebsführung und Nachhaltigkeit des Fachzentrum Landwirtschaft bei der DLG e.V. in Frankfurt am Main.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Hau, Kerstin; Guttulröd, Erik: DLG-Agrifuture Insights: Regulierungen und geänderten Produktionsbedingungen begegnen. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-8

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171522-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/landwirtschaftliche-rahmenbedingungen.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Interoperabilität in der Landtechnik**

Nicolas Hummel

### **Kurzfassung**

Die Verbindung mehrerer Landmaschinen zu einer Arbeitsmaschine hat eine nun mehr als 120-jährige Historie. Über die Normung der mechanischen Schnittstellen wurde diese über der Zeit spezifiziert und den Bedürfnissen der Nutzer folgend, stetig weiterentwickelt. Die gegenwärtige Aufgabe der Industrie besteht darin, verschiedenen proprietären Systemen den gegenseitigen Zugriff auf Prozessdaten zu ermöglichen. Besonders im Hinblick auf eine wachsende Automatisierung der landwirtschaftlichen Prozesse ist dies von hoher Bedeutung.

### **Schlüsselwörter**

Interoperabilität, Schnittstellen, Datenraum, Normung

## **Interoperability in agriculture**

Nicolas Hummel

### **Abstract**

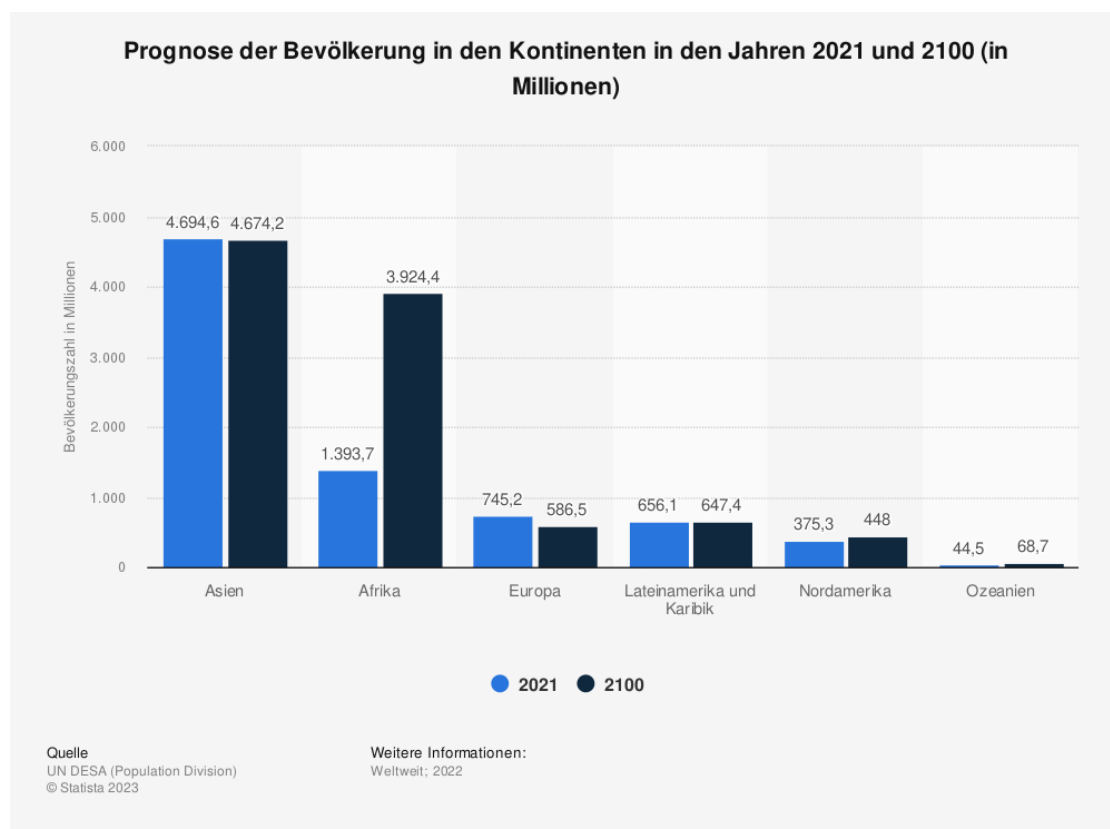
The connection of several agricultural machines to form a working machine has a history of more than 120 years. The standardization of mechanical interfaces has been specified over time and continuously developed to meet the needs of users. The current task of the industry is to enable various proprietary systems to access process data from each other. This is particularly important in view of the growing automation of agricultural processes.

### **Keywords**

Interoperability, interfaces, data space, standardization

## Einleitung

Die Weltbevölkerung wird zwischen den Jahren 2021 und 2100 von 7,9 auf über 10 Milliarden anwachsen. Während die Bevölkerung in Asien und Lateinamerika annähernd konstant bleibt, gleichen die Bevölkerungszuwächse in Nordamerika und Ozeanien den Verlust aus Europa aus (s. **Bild 1**). Die afrikanische Bevölkerung hingegen wird sich verdreifachen [1]. Zugleich sind die Auswirkungen des Klimawandels und der Erderwärmung in Afrika überproportional zu spüren. Dürre, Überschwemmungen, Waldbrände und Wüstenbildung beuteln besonders den Osten Afrikas [2]. Im Umkehrschluss bedeutet das wiederum, dass die Ernteausfälle in Afrika weltweit kompensiert und umverteilt werden müssen. Zudem sollen auch datengetriebene Technologien der Landwirtschaft vor Ort beim Aufbau von Frühwarnsystemen unterstützen und Ernteausfälle minimieren.



**Bild 1:** Prognose der Bevölkerung in den Kontinenten in den Jahren 2021 und 2100 [3].

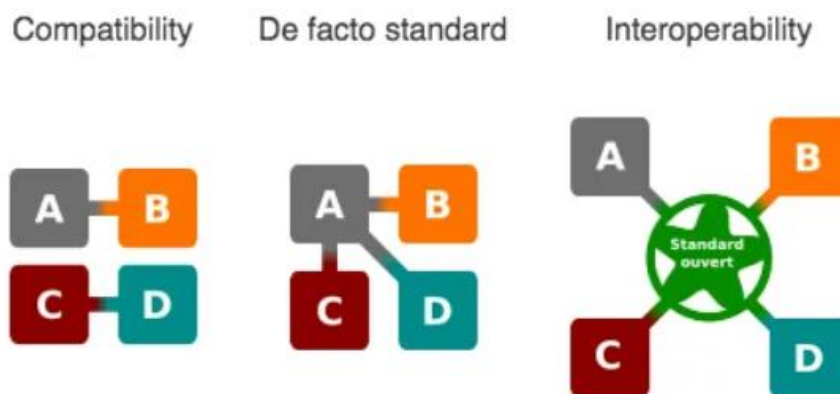
**Figure 1:** Forecast about the development of the population on each continent in the years 2021 and 2100 [3].

Zugleich ist besonders in den europäischen und nordamerikanischen Ländern ein Rückgang der Anzahl an Beschäftigten im landwirtschaftlichen Bereich zu beobachten. Ernährte eine in der Landwirtschaft angestellte Person im Jahr 1949 noch zehn Personen, so sind es mittlerweile 137. Diese Entwicklung ist nur durch den Einsatz Effizienterer Techniken und Digitalisierung möglich [4].

In Deutschland werden mit sinkender Tendenz rund die Hälfte der Gesamtfläche für die Landwirtschaft genutzt. Jedoch verringern der Siedlungs- und Straßenbau sowie die Zunahme von Waldflächen jährlich die Agrarnutzfläche. Zudem ist ein Rückgang der Anzahl von kleinstrukturierten Betrieben zu erkennen, während die Anzahl der Großbetriebe mit mehr als 200 Hektar Fläche zunehmen. Diese Entwicklung verdeutlicht den wirtschaftlichen Druck, dem die Landwirtschaft ausgesetzt ist [5]. Die Kombination aus der wachsenden Weltbevölkerung bei gleichzeitiger Verringerung der Anzahl an Arbeitskräfte im Landwirtschaftlichen Sektor und einer Reduzierung der Nutzflächen, erfordern neue Technologien für eine effizientere und effektivere Landwirtschaft. Blickt man auf die Entwicklung der Landtechnik zurück, dann ist unverkennbar die Intention zu erkennen, eine möglichst vielfältige Anbindung von Traktor und Anbaugerät zu ermöglichen. So wurden erst mechanische dann hydraulische und elektrische Schnittstellen zwischen Traktor und Anbaugerät definiert. In der heutigen Arbeitsmaschine bestehend aus Traktor und Anbaugerät kommt noch der Austausch von Daten hinzu. Der Austausch von realen Felddaten mit dem Planungsrechner oder einer Cloud wird ebenfalls an Bedeutung gewinnen. Somit wird die Daten-Interoperabilität entlang der gesamten Datenwertschöpfung umso wichtiger.

### Entwicklung und Normierung der mechanischen Schnittstellen

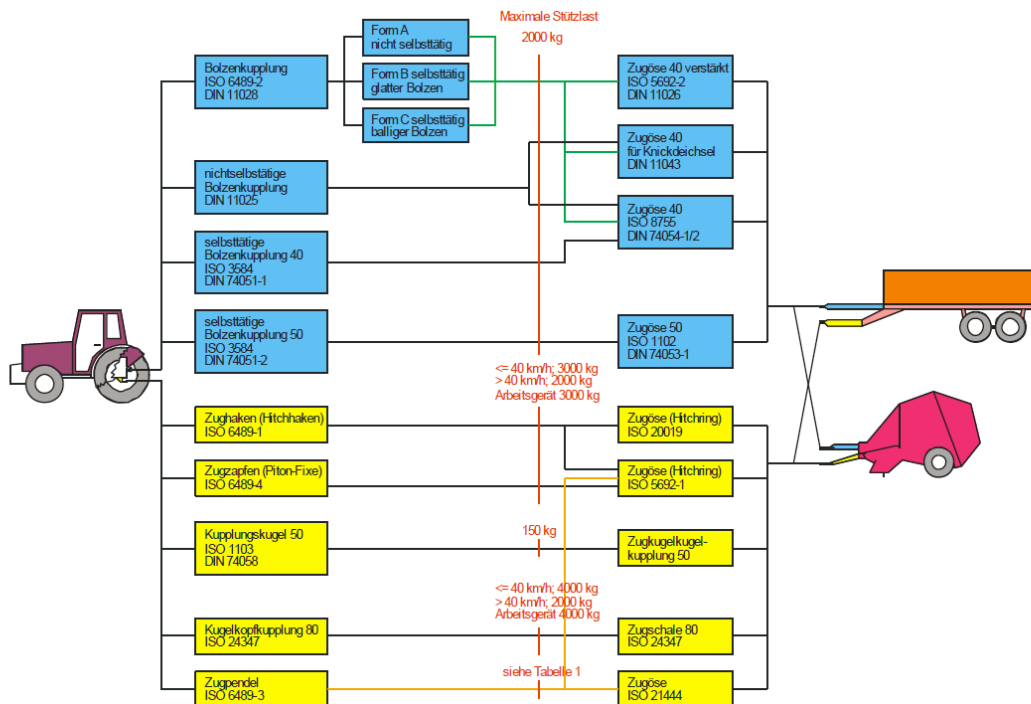
Historisch gesehen, steht die mechanische Anbindung der Arbeitsgeräte mit der Zugmaschine als erster Schritt von der Kompatibilität zwischen zwei Maschinen und Interoperabilität zwischen allen verfügbaren Geräten nach **Bild 2**.



**Bild 2:** Weg bis zur Interoperabilität [6].

**Figure 2:** Steps towards interoperability [6].

Aus den Landwirtschaftlichen Bedürfnisse zur Anbindung von Anhänger mit einer Zugmaschine entstehen Normen, die einen breiteren Einsatz der Maschinen untereinander ermöglichen. Demnach sind unter anderem in den Normenreihen ISO 6489 für das Zugfahrzeug und ISO 5692 (s. **Bild 3**) für das angehängte Gerät die Schnittstellen zueinander definiert.

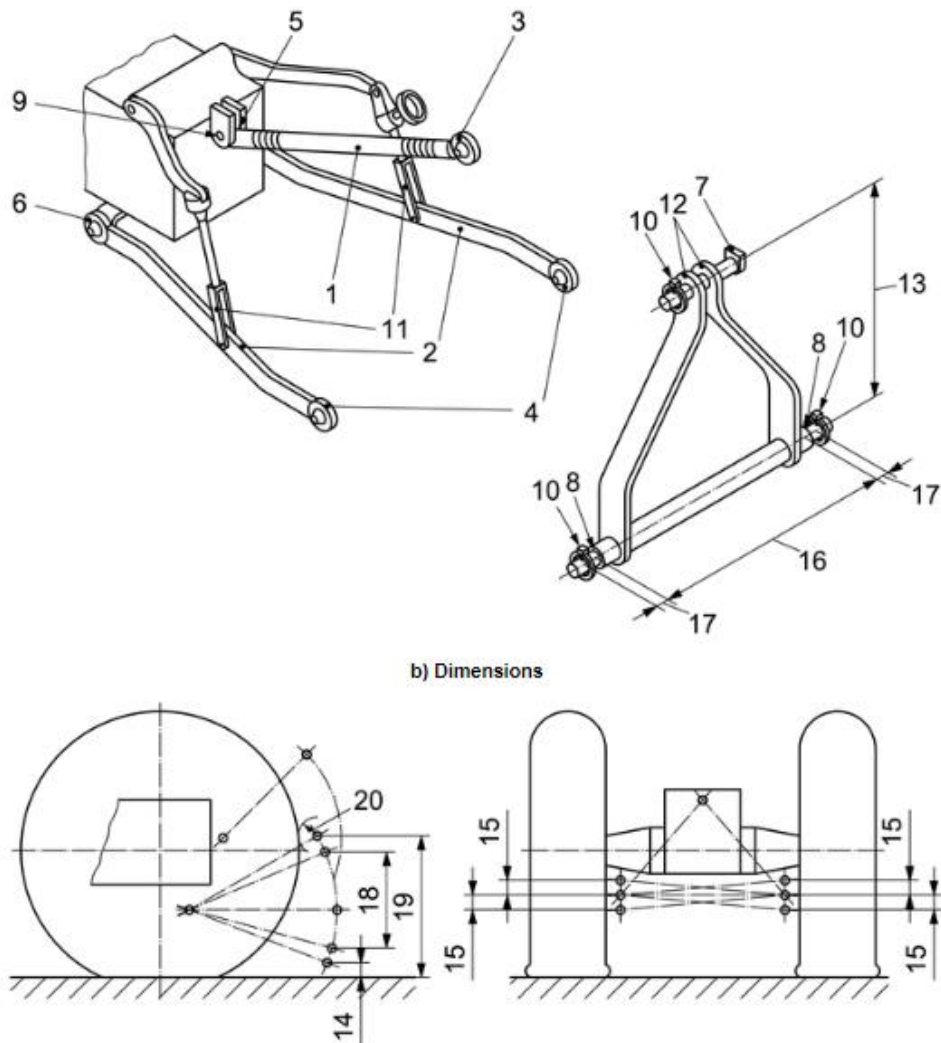


**Bild 3:** Normierte Anhängervorrichtungen für den Landwirtschaftlichen Betrieb [7].  
**Figure 3:** Standardized connection for the agricultural purpose [7].

Ein weiterer wichtiger Meilenstein in der Entwicklung von Anbindungen zwischen Traktor und Arbeitsgerät stellt der Übertrag von rotatorischen Kräften über eine Zapfwelle dar. Diese wurde erstmals 1908 durch die International Harvest Company patentiert und schon 1914 von Lanz verbaut [8]. Eine Normierung der Zapfwellen-Schnittstellen im Heck- und Frontanbau in den Normenreihen ISO 500 und ISO 8759 sichert eine Markenübergreifende Anbindung von Arbeitsgeräten mit Antriebsleistungsnutzung über eine Zapfwelle (z.B. Mähwerke und Pumpen).

Des Weiteren entsteht aus dem Bedarf die Arbeitshöhe der Geräte einzustellen in den 1930er Jahren die Dreipunktaufhängung. Die von Harry Ferguson entwickelte Technologie ermöglicht es, das Arbeitsgerät (z.B. ein Pflug) bei Bedarf anzuheben und verteilt zudem ein Teil des Gewichtes auf die Antriebsachse des Traktors. Der Dreipunktanbau ist als Heckhubwerk in der Normenserien ISO 730 definiert und dimensioniert (s. **Bild 4**).

Die Regelung der Höhe des Hubwerkes bringt eine weitere Standardisierung von Schnittstellen mit sich. 1983 löst die vollhydraulische Hubwerkregelung (SHR) die klassische mechanische Hubwerkregelung (MHR) ab. Diese erfordert zusätzlich zu den genannten Normierten mechanischen Schnittstellen auch noch eine hydraulische Verbindung, die im landtechnischen Bereich von der ISO 7241 Serie beschrieben wird. Als Stand der Technik der Hubwerkregelung gilt heutzutage die elektronische Hubwerkregelung (EHR). Diese ermöglicht eine zugkraft- oder lageabhängige Regelung sowie einen Mischbetrieb beider Regelungsarten.



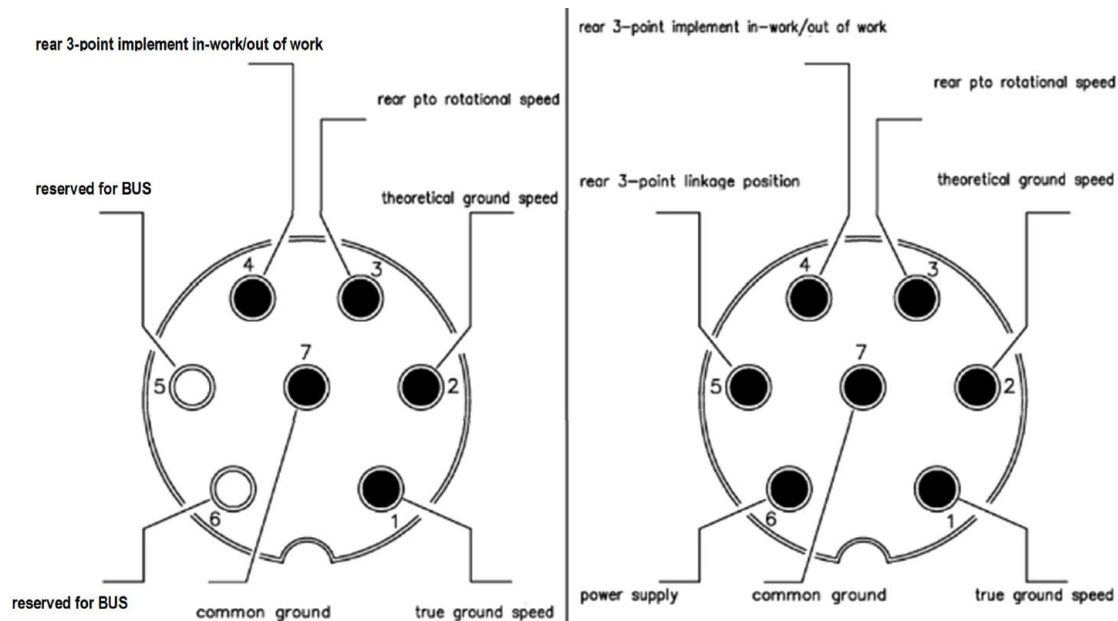
**Bild 4:** Komponenten und Abmessungen der Dreipunktaufhängung [9].  
**Figure 4:** Components and dimensions of three-point linkage [9].

Die Konstruktion der Kopplungspunkte des Traktors und des angehängten Geräts und der Kraftübertragung unter Berücksichtigung der Normenvorschriften sichert die Interoperabilität der mechanischen Schnittstellen. Die Normen beschreiben den Stand der Technik ohne welchen ein Produkt auf dem Markt keine Verkaufschance hätte. Die mechanischen Anbindungspunkte zwischen Traktor und angehängtem Gerät entsprechen demnach einem offenen, frei verfügbaren Standard nach **Bild 2**.

### Elektronische Schnittstellen

Die Erscheinung der EHR und die damit verbundenen Möglichkeiten den Landwirtschaftlichen Arbeitsprozess zu optimieren, erfordert die Entwicklung einer Kommunikationsschnittstelle zwischen Traktor und Anbaugerät. In den 1980er Jahren wurden in Deutschland mehrere elektronische Kontroll- und Regeleinheiten für den landwirtschaftlichen Betrieb entwickelt. Für

die Regelung der elektronisch gesteuerten Sähmaschinen und Pflanzenschutzspritzen wird die Fahrgeschwindigkeit benötigt. Nach ersten Nachrüstlösungen von Geschwindigkeitssensoren wurde die Schnittstelle zur Signalübertragung in der Norm DIN 9684 im Jahr 1988 entwickelt. Diese Schnittstelle beinhaltet die Radgeschwindigkeit, die Geschwindigkeit auf Radbasis, die Geschwindigkeit der Zapfwelle und den Zustand der Dreipunktaufhängung. Die ursprüngliche Norm DIN 9684 wurde ergänzt und im Jahr 1995 unter ISO 11786 veröffentlicht. **Bild 5** zeigt die Steckerbelegung in der DIN 9684 und in der ISO 11786.



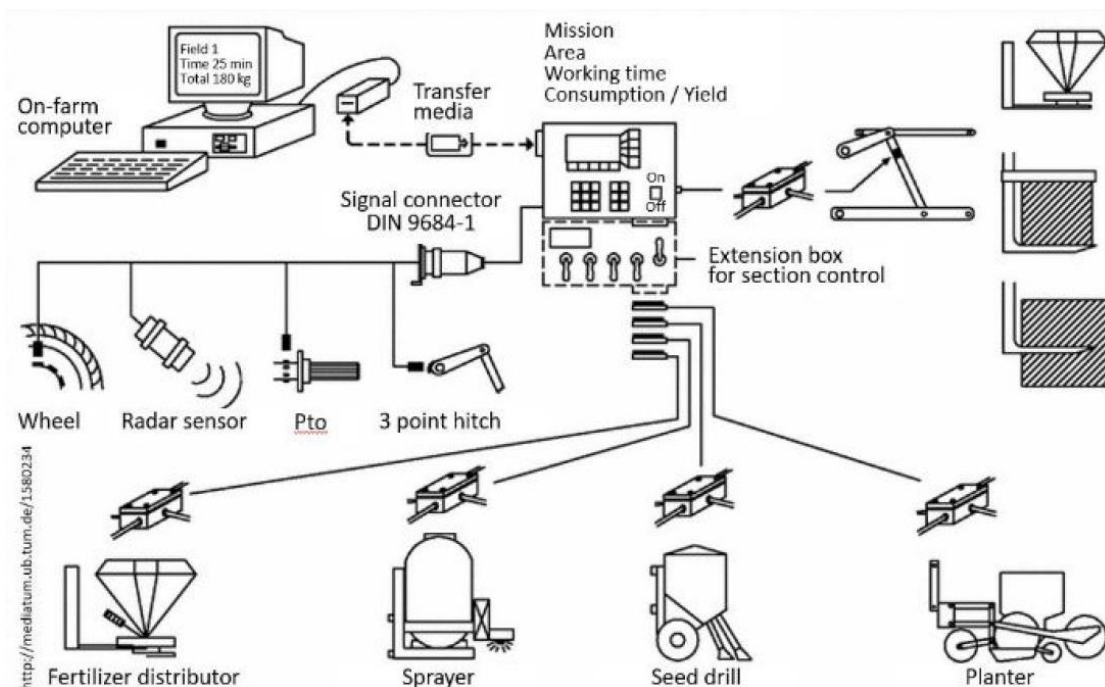
**Bild 5:** Steckerbelegung der DIN 9684 (links) und der ISO 11786 (rechts) [10].

**Figure 5:** Signal connector of DIN 9684 (left) and ISO 11786 (right) [10].

In diesem Zusammenhang sind ab diesem Zeitpunkt die Weitergabe von Informationen vom Traktor zum Anbaugerät möglich. So wird eine vorausgeplante Ausbringung von Saatgut, Dünger und Pflanzenschutzmittel in Echtzeit anhand der realen Parameter auf dem Acker angepasst.

Der Bedarf nach weiteren Funktionalitäten erfordert eine bidirektionale Kommunikation zwischen Traktor und Anbaugerät und läutet die Geburtsstunde des ISOBUS ein (zu Beginn noch Landwirtschaftliches Bus-System). Die Spezifikationen werden von nun an im ISO Technical Committee 23 Sub-Committee 19 (ISO/TC 23/SC 19) in der ISO 11786 für den Stecker und in der 14-teiligen ISO 11783-Serie für das Bussystem definiert. Dabei stellt die ISO-Norm 11783 zusammen mit den Conformance Tests der Agriculture Electronics Foundation e.V. (AEF) sicher, dass sich die im Feld befindlichen Traktoren und Geräte, Daten austauschen können und somit zufriedenstellend arbeiten können. Dabei hat der Käufer die Möglichkeit die Funktionalitäten und Kompatibilität verschiedener Landmaschinen in der AEF-ISOBUS-Datenbank zu prüfen.

Analog zu der erwähnten Normierung der mechanischen Kopplungspunkte, spielen auch die ISOBUS-Funktionalitäten der Maschinen eine wichtige Rolle in der Kaufentscheidung, so dass alle Hersteller eine möglichst breite Kompatibilität durch die Einhaltung der ISO 11783 und der AEF-Conformance Tests anstreben. Die volle Ausschöpfung des Potentials des kommunizierenden Systems Traktor-/angehängtes Gerät wird unter TIM (Tractor Implement Management) erreicht. Dabei werden aus den erforderlichen landwirtschaftlichen Prozessgrößen des Anbaugeräts (z.B. auszubringende Saatgut- oder Düngermenge) sicherheitskritische Größen des Traktors (z.B. Fahrzeuggeschwindigkeit oder Spurführung) gesteuert. Die TIM-Funktionalitäten sind zurzeit in der AEF Released International Guideline ISOBUS Automation Principles (AEF RIG 023) definiert. Dabei sind sowohl die Sicherheitsanforderungen, die Implementierung als auch die Authentifizierung und der Zertifikataustausch beschrieben (s. **Bild 6**).



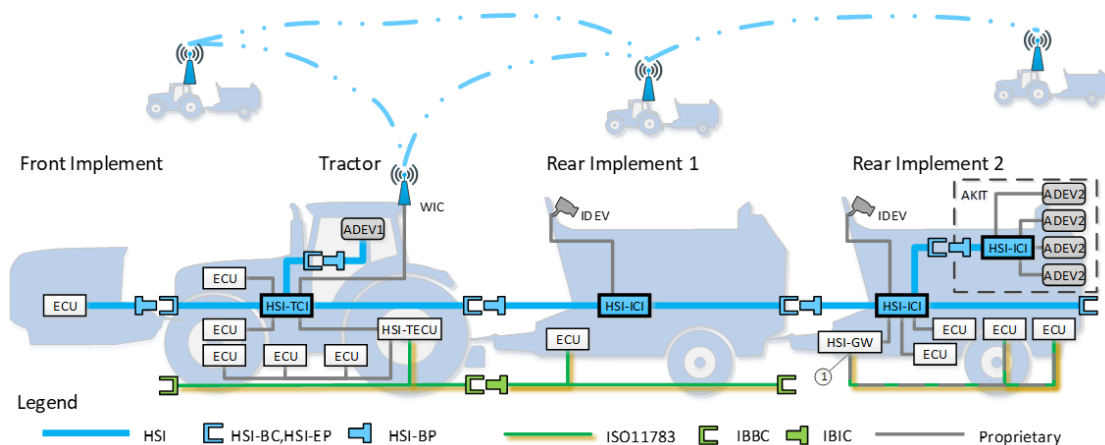
**Bild 6:** Regelung der landwirtschaftlichen Prozesse anhand der realen Acker-Daten [10].

**Figure 6:** Closed-loop control of agricultural processes [10].

### Daten Schnittstellen

Die Weiterentwicklung der Funktionalitäten der Landmaschinen in Richtung hochautomatisierten oder autonomen Geräte-Systeme (Kombination aus Zugmaschine und Arbeitsgerät) und damit verbundene Echtzeitfähigkeit erfordert neue technische Lösungen. In diesem Zusammenhang wird zurzeit industriübergreifend eine neue Kommunikationstechnologie entwickelt. Hierfür entwickeln parallel in ISO und in AEF die Landtechnik-, die Baumaschinen-, die Bergbau-, die Forstmaschinen- und die Nutzfahrzeug-Industrie ein neues Kommunikationsnetzwerk, das zukünftige Bedürfnisse dieser Branchen stillen soll. Das Netzwerk soll sowohl

auf der Ethernet-Technologie als auch auf drahtloser Kommunikation basieren und eine Übertragungsgeschwindigkeit von bis zu 1 Gbit/s pro Sekunde ermöglichen. Im Landtechnikbereich wird das neue Netzwerk High-Speed-ISOBUS genannt und auf ISO-Ebene in der Normenreihe ISO 23870 - Mobile machinery - High speed interconnect spezifiziert. Wie in **Bild 7** zu erkennen, soll das HSI-Netzwerk ergänzend zur aktuellen ISOBUS nach ISO 11783 implementiert werden und soll zudem über HSI-TECU eine Schnittstelle zum ISOBUS bieten. Diese greift die Informationen vom ISOBUS ab und legt diese auf den HSI ab. Von dort aus ist eine schnelle Ethernet-Kommunikation in der Maschine möglich, aber auch eine drahtlose Kommunikation mit anderen Geräten.



**Bild 7:** HSI-Architektur [11].

**Figure 7:** HSI-architecture [11].

Die Gründung der europäischen Dateninfrastruktur GAIA-X soll die Möglichkeiten der Systeme erweitern unter der Voraussetzung, dass sie über geeignete Schnittstellen miteinander kommunizieren können. Ziel ist dabei ein sicheres föderiertes Datenökosystem zu schaffen, um auf Open-source Basis Dienste und Daten auszutauschen. Dies soll neue Geschäftsmodelle erschließen und Innovationen durch Verknüpfung und Datenverarbeitung fördern [12]. Auf dieser Basis werden KI-Dienste für die Anwendung in der Landwirtschaft in Forschungsprojekten wie NaLamKI (Nachhaltige Landwirtschaft mit Künstlicher Intelligenz) [13] entwickelt. Die Nutzung der verfügbaren Daten dienen der Anpassung vorhandener KI-Methoden an landwirtschaftsspezifischen Anwendungen und das Training neuer KI-Modelle. In diesem Kontext können aggregierte Daten von z.B. Maschinen, Sensoren, Fernerkundung zu einer Optimierung von Bewässerung, Düngung und Schädlingsbekämpfung bei gleichzeitiger Ressourcen- und Umweltschonung genutzt werden.

Die Verbindung von "On-board" und "Off-board" Daten über z.B. herstellerspezifische Farm-Management und Informationssysteme (FMIS) stellt sich heutzutage jedoch noch als herausfordernd dar. Dennoch sind Industrie und Politik bemüht diese Lücke zu schließen. Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft hat im August 2023 eine Richtlinie zur Förderung der Interoperabilität in der Landwirtschaft veröffentlicht. Dabei sollen Projekte mit Fokus auf die Datenübertragung entlang der Wertschöpfungskette gefördert werden, aber auch

diejenigen, die die Kommunikation mit bestehenden Datenräume oder Lösungen zur Ressourcenschonung und zur Steigerung der Effizienz zum Ziel haben. Die Landtechnikhersteller arbeiten ebenso an einer Lösung. Dabei soll das Agriculture Interoperability Network (AgIN) über Konnektoren den Austausch von einer proprietären Lösung zur anderen ermöglichen [14]. Dabei sollen Schritt für Schritt verschiedene Use-Cases implementiert werden, zum Beispiel um eine Ortung von Maschinen unterschiedlicher Hersteller in einer Oberfläche zu ermöglichen [15]. Auch in der Normung wird der Bedarf nach Interoperabilität entlang der Wertschöpfungskette erkannt und die International Organization for Standardization (ISO) hat im Jahr 2023 das Smart Farming Coordination Committee (SFCC) gegründet. Dieses soll die technischen Komitees entlang der Lebensmittelwertschöpfungskette bei der Veröffentlichung sog. "Smart Farming Ready" Standards unterstützen. Dabei liegt der Fokus des SFCC auf die Förderung der Kommunikation zwischen zwei technischen Komitees, die Schnittstellen in der Wertschöpfung besitzen. So sollen Datenbrüche eliminiert werden.

### **Zusammenfassung**

Während in der Vergangenheit ein möglichst vielseitiges Arbeitsgerät durch seine mechanischen Schnittstellen definiert wurde, reicht dies heutzutage nicht mehr aus. Es ist essenziell, dass Geräte ohne viel Aufwand Daten On- und Offboard sicher austauschen können. Im Hinblick auf eine steigende Automatisierung der landwirtschaftlichen Prozesse, ist eine Lückenlose Datenverarbeitung und Weitergabe entlang der Wertschöpfungskette von hoher Wichtigkeit. Dabei müssen Systeme geschaffen werden, die eine Steigerung der Effizienz bei gleichzeitiger Ressourcenschonung erzielen und sie müssen dabei intuitiv bedienbar sein und einen Nutzemehrwert bieten. Die Initiativen aus Industrie, Forschung und Politik streben nach diesem Ziel, so dass die Landwirtschaft hoffentlich bald von einer fairen Datenökonomie profitieren kann.

### **Literatur**

- [1] Statista: Prognose der Bevölkerung in den Kontinenten in den Jahren 2021 und 2100. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/184686/umfrage/weltbevoelkerung-nach-kontinenten/>, Zugriff am: 12.01.2024.
- [2] Sueddeutsche Zeitung: Klimawandel zwingt 2,5 Millionen in Afrika zur Flucht. URL: <https://www.sueddeutsche.de/wissen/klima-klimawandel-zwingt-2-5-millionen-in-afrika-zur-flucht-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-220908-99-678145>, Zugriff am 25.03.2024.
- [3] Statista: Prognose der Bevölkerung in den Kontinenten in den Jahren 2021 und 2100. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/184686/umfrage/weltbevoelkerung-nach-kontinenten/>, Zugriff am 25.03.2024.
- [4] Statista: Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe und Bauernhöfe in Deutschland bis 2022. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36094/umfrage/landwirtschaft--anzahl-der-betriebe-in-deutschland/>, Zugriff am 25.03.2024.

- [5] Statista: Landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland in den Jahren 1949 bis 2023. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/206250/umfrage/landwirtschaftliche-nutzflaeche-in-deutschland/>, Zugriff am 25.03.2024.
- [6] Le Chevallier, F.: How to fix Interoperability in Healthcare. URL: <https://medium.com/lifen-engineering/how-to-fix-interoperability-in-healthcare-afda61a8785c>, Zugriff am 25.03.2024.
- [7] DLG-Ausschuss für Normen und Vorschriften: Anhängavorrichtungen an Traktoren. DLG-Merkblatt, Bd. 387, DLG e.V. Testzentrum Technik und Betriebsmittel (Hrsg.), 2013.
- [8] Nienhaus, C.; Stuhmann, H.: Verbindungseinrichtungen (Schnittstellen) zwischen Traktor und Arbeitsgerät (2019).
- [9] ISO: ISO 730:2009 Agricultural wheeled tractors – Rear-mounted three-point linkage. ISO 730:2009.
- [10] Oksanen, T.; Auernhammer, H.: The Open Hard-Wired Network Standard for Tractor-Implement Communication, 1987-2020. ASABE Distinguished Lecture, Bd. 42, American Society of Agricultural and Biological Engineers (Hrsg.), St. Joseph Februar 2021.
- [11] AEF e.V.: HSI - CAN-Tunneling. Agricultural Industry Electronics Foundation e.V., ISO/TC 127/SC3/JWG16 Meeting in Orlando 2023-03-06 2023.
- [12] GAIA-XURL: <https://gaia-x-hub.de/>.
- [13] NaLamKI: Nachhaltige Landwirtschaft mit Künstlicher Intelligenz. URL: <https://nalamki.de/>.
- [14] N.N.: AEF stellt auf der Agritechnica wegweisende Technologien für die Interoperabilität in der Landtechnik vor, 26.09.2023.
- [15] AEF e.V.: Executive Summary – Agricultural Interoperability Network. Agricultural Industry Electronics Foundation e.V., 2023.

### **Autorendaten**

M.Sc. Nicolas Hummel ist Referent für Digitalisierung in der Landtechnik beim VDMA-Landtechnik.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Hummel, Nicolas: Interoperabilität in der Landtechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-11

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171526-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/technische-regelwerke.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Energieerzeugung und –bereitstellung im landwirtschaftlichen Kontext**

Henning Eckel, Jens Grube, Wilfried Hartmann

### **Kurzfassung**

Deutschland hat sich das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2045 Netto-Treibhausgasneutralität zu erreichen. Dazu muss die Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraftstoffen vollständig auf erneuerbare Quellen umgestellt werden. Die Landwirtschaft spielt dabei eine wesentliche Rolle. Aktuell wird insbesondere die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen oder auch Agri-PV-Anlagen sowie der weitere Umgang mit Bioenergietechnologien diskutiert. Die verlässliche Energieversorgung für landwirtschaftliche Maschinen ist eine wesentliche Grundlage für eine krisenfeste Nahrungs- und Futtermittelversorgung. Für den notwendigen Umstieg von fossilem Dieselmotorkraftstoff auf erneuerbare Antriebsenergien gibt es für landwirtschaftliche Maschinen unterschiedliche Optionen. Dazu zählt der Einsatz verschiedener Biokraftstoffe oder synthetischer Kraftstoffe, sowie die Elektrifizierung von Antriebssystemen. Die Praxiseinführung dieser Optionen erfordert stabile Rahmenbedingungen, insbesondere hinsichtlich der Besteuerung von Energieträgern und sollte durch eine zielgruppenorientierte Kommunikationsstrategie begleitet werden.

### **Schlüsselwörter**

Erneuerbare Energien, Photovoltaik, Kraftstoff, Antriebssysteme

## **Energy production and supply in an agricultural context**

### **Abstract**

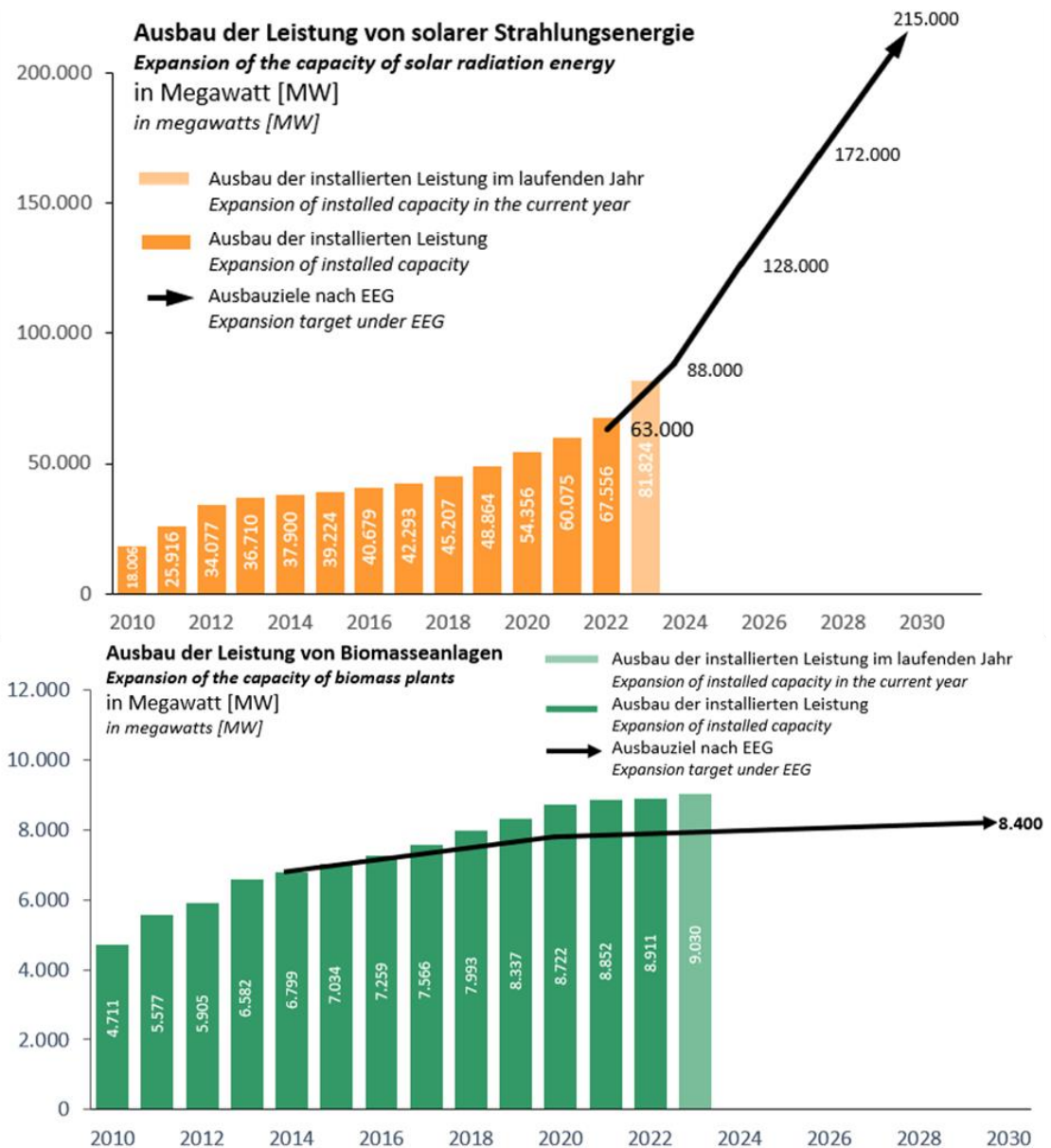
Germany has set itself the goal of achieving net greenhouse gas neutrality by 2045. To achieve this, the supply of electricity, heat and fuels must be completely converted to renewable sources. Agriculture plays a key role in this. In particular, the use of agricultural land for ground-mounted photovoltaic systems or agri-photovoltaic systems and the further use of bioenergy technologies are currently being discussed. A reliable energy supply for agricultural machinery is an essential basis for a crisis-proof food and animal feed supply. There are various options for agricultural machinery to make the necessary switch from fossil diesel fuel to renewable drive energies. This includes the use of various biofuels or synthetic fuels, as well as the electrification of drive systems. The practical introduction of these options requires stable framework conditions, particularly with regard to the taxation of energy sources, and should be accompanied by a target group-orientated communication strategy.

### **Keywords**

Renewable energies, photovoltaics, fuel, drive systems

**Einführung:**

Deutschland hat sich das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2030 65% weniger Treibhausgase gegenüber 1990 zu emittieren [1] und einen Anteil von Erneuerbaren Energien von mindestens 80% am Bruttostromverbrauch zu erreichen [2]. Bis 2045 soll Netto-Treibhausgasneutralität erreicht werden. Dazu ist ein starker Ausbau der Stromerzeugungskapazitäten notwendig. Dies ist zum einen durch den Ersatz aktuell mit fossilen Energieträgern betriebener Kraftwerke durch die Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Quellen, zum anderen durch den zusätzlichen Strombedarf durch die Elektrifizierung zahlreicher Anwendungen bedingt. Hier sind insbesondere industrielle Prozesse wie beispielsweise die Stahlerzeugung, die Elektrifizierung im Straßenverkehr und die Wärmebereitstellung durch elektrische Wärmepumpen zu nennen.



**Bild 1:** Ausbau und -ziele der Leistung von Photovoltaik- und Biomasseanlagen.

**Figure 1:** Expansion and targets for the output of photovoltaic and biomass systems.

Der Ausbaupfad des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) beschreibt eine Steigerung der installierten Leistung von Erneuerbare Energien Anlagen von aktuell 159 GW [3] auf 338 GW im Jahr 2030. Die Leistung von Photovoltaikanlagen soll auf 215 GW ausgebaut werden, während die Leistung von Bioenergieanlagen auf 8,4 GW beschränkt bleiben soll (Bild 1). Zusätzlich sollen bis 2030 30 GW an installierter Leistung von Windenergieanlagen auf See verfügbar sein [4]. Im Jahr 2023 sind bis einschließlich November insgesamt nochmal 16,2 GW an Kapazitäten für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen hinzugekommen. Davon entfallen 81 % auf Photovoltaikanlagen, 18 % auf Windenergieanlagen und nur 1 % auf Bioenergieanlagen [3].

Die Energiebereitstellung im landwirtschaftlichen Kontext nimmt eine dynamische Entwicklung, insbesondere im Bereich Photovoltaik. Landwirtschaftliche Betriebe haben einen erheblichen Anteil an den installierten Erzeugungskapazitäten. Bei Photovoltaikanlagen betrug der Anteil im Jahr 2019 16%, bei Biogasanlagen 74% [5], wobei bei letzterem kein wesentlicher Zubau zu verzeichnen ist. Der Ausbau der Bioenergie stockt derzeit auf Grund ungünstiger Rahmenbedingungen. Hier liegen die Ausbauziele unterhalb der aktuell installierten Leistung.

### **Photovoltaik auf landwirtschaftlichen Flächen**

Der im Jahr 2023 zu verzeichnende Zubau an Photovoltaikanlagen verteilt sich mit 9,1 GW auf bauliche Anlagen (Gebäude und Lärmschutzwände) und 4,0 GW auf Freiflächenanlagen [3]. Letzteres entspricht, eine installierte Leistung von  $1\text{MW}_{\text{peak}}$  pro Hektar vorausgesetzt, einer Fläche von 4.000 ha. Dabei sind sowohl landwirtschaftliche als auch andere Flächen wie Deponien, Konversionsflächen oder Parkplätze erfasst. Es werden in der Literatur aber auch Werte von bis zu  $2.2\text{ha}/\text{MW}_{\text{peak}}$  angegeben [6], was zu einem entsprechend höheren Flächenbedarf führt.

Vielerorts sind Diskussionen um die Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen zur Stromerzeugung entstanden, die bisher der Nahrungs- und Futtermittelerzeugung dienen. Die Abschätzung des Flächenbedarfs für die Realisierung der PV-Ausbauziele ergibt eine Spanne von 0,3 bis 4% der landwirtschaftlich genutzten Fläche [6]. Auf regionaler und insbesondere einzelbetrieblicher Ebene können sich deutlich stärkere Effekte ergeben, insbesondere dort, wo Betriebe auf Pachtflächen wirtschaften und so wesentliche Teile der bewirtschafteten Fläche verlieren könnten. Um Konflikte um die Flächennutzung zu entschärfen, werden zunehmend Agri-PV-Konzepte diskutiert, die eine Stromerzeugung mit einer landwirtschaftlichen Flächennutzung kombinieren. Hier kommen sowohl hochaufgeständerte Anlagen in Fragen, unter denen gewirtschaftet werden kann, als auch vertikal aufgeständerte Anlagen mit bifazialen Modulen, die beidseitig für die Stromerzeugung genutzt werden. In der DIN SPEC 91434 „Agri-Photovoltaik-Anlagen –Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung“ [7] werden Agri-PV-Anlagen nach zwei Kategorien eingeteilt: Agri-PV-Anlagen mit Aufständigung mit lichter Höhe von mindestens 2,10 m (Kategorie I) und Agri-PV-Anlagen mit einer bodennahen Aufständigung (Kategorie II). Der Verlust an landwirtschaftlich nutzbarer Fläche darf höchstens 10% (Kategorie I) bzw. 15% (Kategorie II) betragen. Für die landwirtschaftliche Hauptnutzung werden verschiedene Kriterien festgelegt, die neben technischen Vorgaben zur Aufstän-

derung, pflanzenbaulichen Anforderungen an Licht- und Wasserverfügbarkeit und Bodenschutzaspekten auch eine minimale Landnutzungseffizienz beschreiben. Der Ertrag der auf der Agri-PV Fläche angebauten Kultur darf nicht unterhalb von 66% eines Referenzertrags liegen.

Vorteilhaft aus Sicht landwirtschaftlicher Betriebe ist insbesondere, dass die Flächen weiterhin in landwirtschaftlicher Hand bleiben und nach der GAP-Direktzahlungen-Verordnung – förderfähig sind [8]. Auf die Festlegungen der DIN SPEC 91434 wird hier explizit Bezug genommen.

Offene Forschungsfragen betreffen insbesondere die Wirkung von Agri-PV-Anlagen auf die Erträge, auf den Wasserhaushalt, die Wirkung der Beschattung, die Bodenerosion oder auch Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz [9; 10]. Übersichten über Anlagenkonzepte bieten Publikationen des sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie sowie des Fraunhofer ISE [9; 11]. Erläuterungen zum Genehmigungsverfahren sind im TFZ-Leitfaden zu Agri-Photovoltaik zu finden [12], eine Übersicht über aktuelle Forschungsvorhaben auf der Website des Fraunhofer ISE [13].

### **Biogas in der Landwirtschaft**

Biogasanlagen spielen bei der Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraftstoffen aus erneuerbaren Quellen eine wichtige Rolle. Außerdem können mit der Vergärung von Gülle klimarelevante Methanemissionen vermieden und damit ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden [14]. Aufgrund der ungünstigen Rahmenbedingungen fand 2023 nur noch ein geringer Nettoanlagenzubau statt. Damit setzt sich der Trend der vorherigen Jahre fort [15]. Mit Stand August 2023 waren 9.900 Biogasanlagen in Betrieb, mit einer installierten elektrischen Leistung von 5.900 MW. Etwa 75% der Anlagen sind in landwirtschaftlicher Hand [5]. Viele der Anlagen stehen vor dem Ende ihrer 20-jährigen EEG-Vergütungsdauer. Damit stellt sich die Frage, wie ein weiterer Anlagenbetrieb gestaltet werden kann, oder ob eine Stilllegung erfolgen muss. Neben der Frage der Vergütung des erzeugten Stroms kommen auch weitere Anforderungen auf die Biogasanlagenbetreibenden zu, insbesondere die Nachhaltigkeitszertifizierung auf Basis der Erneuerbare Energien Richtlinie der EU (RED II, RED III) [16].

Weiterhin wird durch die Begrenzung des Einsatzes von Mais und Getreidekorn in Biogasanlagen die Frage einer Substratumstellung wichtiger. Eine Hilfestellung zur Substratumstellung, beispielsweise den Ersatz von Silomais durch Maisstroh, bietet der „Substratanpassungsrechner Biogas“ des KTBL [17], der im Rahmen des Projekts „Lignoflex“ entwickelt wurde [18]. Diskutiert wird auch eine Ertüchtigung von Biogasanlagen zur verstärkten Nutzung von Rest- und Abfallstoffen, um den flächenintensiven Einsatz von Anbaubiomasse in Biogasanlagen zu reduzieren.

Neben der Substratumstellung sind weitere Optionen für die Sicherung eines zukünftigen Anlagenbetriebs denkbar. Dazu zählt eine Flexibilisierung der Stromerzeugung, um gezielt in Zeiten einer geringen Strombereitstellung aus Photovoltaik- und Windenergieanlagen die Stromerzeugung steigern zu können. Eine weitere Option ist die Aufbereitung von Biogas zu Biometan, entweder zur Einspeisung in das Erdgasnetz oder zur Kraftstoffbereitstellung [19]. Für letztere Variante stellt derzeit der THG-Quotenhandel einen starken Anreiz dar. Hier können

zusätzlich zum Erlös aus dem Kraftstoffverkauf auch Einnahmen aus dem Verkauf der THG-Quote generiert werden. Damit können Inverkehrbringer von Kraftstoffen ihre Emissionsminderungsverpflichtungen erfüllen [20]. Die im Jahr 2023 neu entwickelte KTBL Webanwendung „Biogasrechner – Bestandsanlagen“ [21] und das KTBL Fachportal „Zukunft Biogas“ [22] bieten hier vertiefte Informationen und Hilfestellungen.

### **Energiebereitstellung für mobile Maschinen in der Landwirtschaft**

Der Kraftstoffbedarf der land- und Forstwirtschaft beträgt etwa 2,1 Mrd. Liter pro Jahr, davon sind etwa 88% der Landwirtschaft zuzuordnen [23]. Damit sind Treibhausgasemissionen von mindestens 3,8 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten verbunden [14]. Bis zum Zieljahr 2045, in dem Klimaneutralität in Deutschland erreicht werden soll [1], müssen diese Emissionen auf „null“ gesenkt werden.

Zur Aufrechterhaltung der Nahrungs- und Futtermittelerzeugung ist eine bedarfsgerechte Energiebereitstellung für mobile Maschinen eine entscheidende Voraussetzung. Hier sind je nach Einsatzzweck der Maschinen sehr unterschiedliche Anforderungen an die Energieträger und Antriebssysteme zu stellen. Die Leistungsanforderungen und Einsatzzeiten variieren stark zwischen hofnahen Einsätzen und schweren Feldarbeiten wie Pflügen oder Ernteverfahren. Es ist die Frage zu stellen, welche Kraftstoffmengen in welchen Anwendungen in der Landwirtschaft verwendet werden, um die richtigen Weichen in der Technologieentwicklung stellen zu können.

Das KTBL hat eine Arbeitsgruppe ins Leben gerufen, die sich dieser Thematik annimmt und im September 2023 ihre Ergebnisse vorgelegt hat, die im Folgenden kurz zusammengefasst wiedergegeben werden [23].

Auf Basis der KTBL-Produktionsverfahren [24] wurde eine Auswertung der in der Landwirtschaft verwendeten Kraftstoffmengen differenziert nach Einsatzzweck vorgenommen. Als Maßstab für die Analyse wurde der hektarbezogene Kraftstoffbedarf für die notwendigen Arbeitsvorgänge herangezogen. Diese wurden in drei Stufen (leicht < 5 l/ha, mittel 5-15 l/ha, schwer >15 l/ha) eingeordnet. Diese Werte wurden mit den Anbauflächen für die jeweilige Kultur aus der Agrarstatistik [25] verrechnet (**Tabelle 1**). Die so erfassten Kulturen decken etwa 90% der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland ab.

Außerdem wurde der Kraftstoffbedarf in der Tierhaltung, speziell der Fütterung in der Rinderhaltung, anhand typischer Haltungsverfahren analysiert. Bedingt durch die täglichen Laufzeiten der Futtermischwagen bzw. der Traktoren, die hier eingesetzt werden, ergibt sich ein Kraftstoffbedarf von durchschnittlich 38 l/Tierplatz und Jahr mit einer Spanne von 8-70 l/Tierplatz und Jahr. Insgesamt werden jährlich rund 418 Mio. Liter Kraftstoff für die Rinderfütterung benötigt. Dies entspricht 24% der gesamten in der Landwirtschaft eingesetzten Kraftstoffmenge.

**Bild 2** zeigt die Verteilung des Kraftstoffbedarfs auf leichte, mittlere und schwere Feldarbeiten sowie den Anteil der Tierhaltung am Gesamtbedarf.

**Tabelle 1:** Dieselbedarfsverteilung in der pflanzlichen Produktion.

**Table 1:** Diesel demand distribution in plant production.

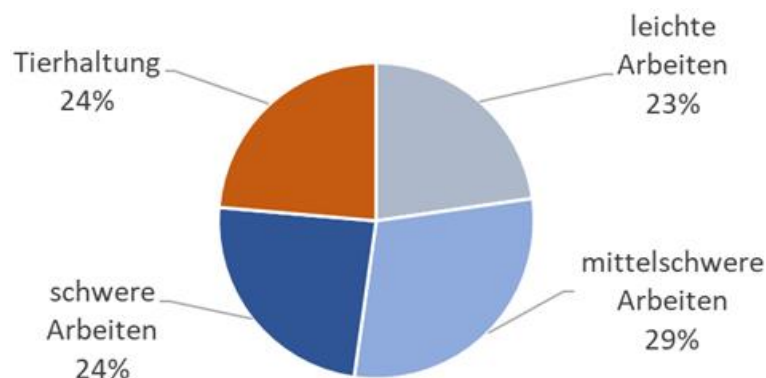
Einsatzgebiet 2021 - Pflanzenbau <i>Field of application 2021</i>	Anbau- fläche <i>cultivation area</i>	Spezifischer Dieselbedarf <i>specific diesel demand</i>	Verteilung des Dieselbedarfs <sup>2)</sup> <i>Distribution of diesel demand<sup>2)</sup></i>		
			leichte Arbeiten <i>light work</i> < 5 l/ha	mittelschwere Arbeiten <i>medium work</i> 5-15 l/ha	schwere Arbeiten <i>heavy work</i> > 15 l/ha
	1.000 ha	l/ha	%	%	%
Getreide <sup>1)</sup> inklusive Körnermais <i>Cereals<sup>1)</sup></i> <i>including grain maize</i>	6.064	78	16	37	47
Raps <i>rapeseed</i>	997	74	18	32	50
Silomais, Feldgras, Ackergras <i>Silage maize, field grass, arable grass</i>	2.543	138	14	33	53
Ackerkultuen gesamt <i>arable crops total</i>	9.604	-	15	35	49
Wiesen und Weiden <i>meadows and pastures</i>	4.482	108	55	45	-
Summe pflanzliche Erzeugung <i>total plant production</i>	14.086	-	30	39	32

1) Winterweizen stellvertretend für alle Getreidearten.

1) Winter wheat representing all cereals.

2) Abweichungen der Summenwerte durch Rundung sind möglich.

2) Deviations of the total values due to rounding are possible.



**Bild 2:** Verteilung des Kraftstoffbedarfs in der Landwirtschaft auf Feldarbeiten und Tierhaltung [23].

**Figure 2:** Distribution of fuel demand in agriculture between field work and livestock farming [23].

### **Energieträger für den Einsatz in mobilen Maschinen**

Standardkraftstoff ist derzeit fossiler Dieselmotorkraftstoff nach DIN EN 590 der Qualitäten B0 bis B7. Bei den Alternativen zum Dieselmotorkraftstoff muss insbesondere der Umfang der notwendigen Motoranpassung und die Verfügbarkeit des jeweiligen Energieträgers betrachtet werden. Eng damit verbunden ist die Frage der Kosten, die auf landwirtschaftliche Betriebe bei der Umstellung auf erneuerbare Antriebsenergien zukommen. **Tabelle 2** zeigt eine Übersicht über mögliche Alternativen zu fossilem Diesel.

Eine umfangreiche Bewertung, die auch Aspekte von Ressourcenverfügbarkeit, technischem Entwicklungsstand, Praktikabilität für den landwirtschaftlichen Betrieb und Kosten berücksichtigt, ist in [26; 27] dargestellt. Grundsätzlich stehen flüssige und gasförmige Energieträger für Verbrennungsmotoren oder Brennstoffzellen zur Verfügung, zudem batterieelektrische Antriebe. **Bild 3** zeigt eine Auswahl der betrachteten Kriterien. Sie lassen sich nach technischen, ökonomischen umweltbezogenen Kriterien gliedern. Dazu kommen Aspekte der Praktikabilität auf landwirtschaftlichen Betrieben. Dargestellt sind jeweils die Einschätzungen für die Jahre 2030 und 2045.

**Tabelle 2:** Übersicht über die betrachteten Kraftstoffe.

**Table 2:** Overview of the considered fuels.

<b>Kraftstoff</b> <i>Fuel</i>	<b>Rohstoff</b> <i>Raw material</i>	<b>Herstellungsprozess</b> <i>Production process</i>
Pflanzenölkraftstoff  <i>vegetable oil fuel</i>	Ölsaaten, meist Rapssaat  <i>Oil seeds, mostly rapeseed</i>	Pressung, Filtration Koppelprodukt: Presskuchen  <i>Pressing, Filtration</i> <i>Co-product: press cake</i>
Biodiesel  <i>biodiesel</i>	Pflanzenöle oder Altspeiseöle/-fette  <i>Vegetable oils or used cooking oils/fats</i>	Reaktion von Triglyceriden mit Methanol  <i>Reaction of triglycerides</i>
HVO (hydrierte Pflanzenöle) „HVO-Diesel“  <i>HVO (hydrogenated vegetable oils)</i>	Pflanzenöle oder Altspeiseöle/-fette/ Tierische Fette, Wasserstoff  <i>Vegetable oils or used cooking oils/fats /animal fats, hydrogen</i>	Katalytische Beaufschlagung der Öle/Fette mit Wasserstoff  <i>Catalytic treatment of oils/fats with hydrogen</i>
Flüssige Fischer-Tropsch-Kraftstoffe (PtL, Power-to-Liquid) „FT-Diesel“  <i>Liquid Fischer-Tropsch-fuels (PtL, Power-to-Liquid) "FT Diesel"</i>	Wasser, Strom aus erneuerbaren Quellen, CO <sub>2</sub>  <i>Water, electricity from renewable sources, CO<sub>2</sub></i>	Wasserstoffgewinnung, CO <sub>2</sub> -Bereitstellung, Synthesegasherstellung, Kraftstoffsynthese  <i>Hydrogen production, CO<sub>2</sub> supply, synthesis gas production, fuel synthesis</i>
CNG (erneuerbar)  <i>CNG (renewable)</i>	Biomasse (Anbaubiomasse oder Rest- und Abfallbiomasse)  <i>Biomass (arable biomass or residual and waste biomass)</i>	Vergärung (Biogasanlage), CO <sub>2</sub> Abtrennung, Verdichtung  <i>Fermentation (biogas plant), CO<sub>2</sub> separation, compression</i>
LNG (erneuerbar)  <i>LNG (renewable)</i>	Biomasse (Anbaubiomasse oder Rest- und Abfallbiomasse)  <i>Biomass (cultivated biomass or residual and waste biomass)</i>	Vergärung (Biogasanlage), CO <sub>2</sub> Abtrennung, Verdichtung, Verflüssigung  <i>Fermentation (biogas plant), CO<sub>2</sub> separation, compression, liquefaction</i>
Wasserstoff (erneuerbar)  <i>Hydrogen (renewable)</i>	Wasser, Strom aus erneuerbaren Quellen  <i>Water, electricity from renewable sources</i>	Elektrolyse, Verdichtung  <i>Electrolysis, compression</i>



Criterion	Combustion engine with: Vegetable oil fuel				Combustion engine with: Biodiesel generally <sup>1)</sup>				Combustion engine with: HVO FT (PtL)				Combustion engine with: CH <sub>4</sub> (CNG)				Combustion engine with: CH <sub>4</sub> (LNG)				Electric motor with: H <sub>2</sub> (FC)				Power (battery)		
	Rapeseed																							EE-Power	Not assessable		
Chem. and phys. Properties of the energy source red: very unfavourable; dark green: very favourable																											
Raw material potential/potential for electrical energy red: very limited; green: not limited																											
Availability of a technology for the provision of energy sources red: not available; green: available																											
Availability of energy source on the market red: no offer available; green: large offer available																											
Energy efficiency Provision of energy sources red: low; green: high																											
Drive system efficiency red: low; green: high																											
Infrastructure for refuelling or charging (on the farm and in public) red: not available; green: available across the board																											
Refuelling or charging red: slow, small amount of energy; green: fast, large amount of energy																											
Energy storage capacity red: low; green: high																											
Availability of machines on the market red: no offer available; green: large offer available																											
Investment and operating costs red: high; green: low																											
Regional value creation and self-sufficiency red: not feasible; green: feasible																											

Figure 3: Assessment of drive systems in the 2030 perspective and 2045 (from left to right in the table cell in each case) [23].

Abgeleitet aus den obigen Bewertungskriterien lässt sich eine zusammenfassende Einschätzung der betrachteten Antriebssysteme hinsichtlich ihrer Eignung für den landwirtschaftlichen Einsatz ableiten. **Bild 4** zeigt das Ergebnis dieser Abschätzung in Abhängigkeit des Einsatzzweckes und gliedert nach leichten und Intervallarbeiten, mittelschweren Arbeiten und schweren Arbeiten. Die Abgrenzung erfolgt nach dem Dieselbedarf pro Hektar für die entsprechenden Arbeitsvorgänge. Für die Bewertung wurden nur Energieträger betrachtet, die aus erneuerbaren Ressourcen hergestellt werden können. Außerdem wurde die Annahme getroffen, dass im Jahr 2030 heute bereits etablierte Antriebstechniken dominieren. Batterieelektrische Systeme werden aufgrund ihres guten Wirkungsgrads, wo technisch sinnvoll, als prioritäre Option betrachtet. Der erwartete Anteil einer Technologie am Maschinenpark ist nicht Teil der Bewertung. Betrachtet wird nur die erwartete Verfügbarkeit eines Antriebssystems.

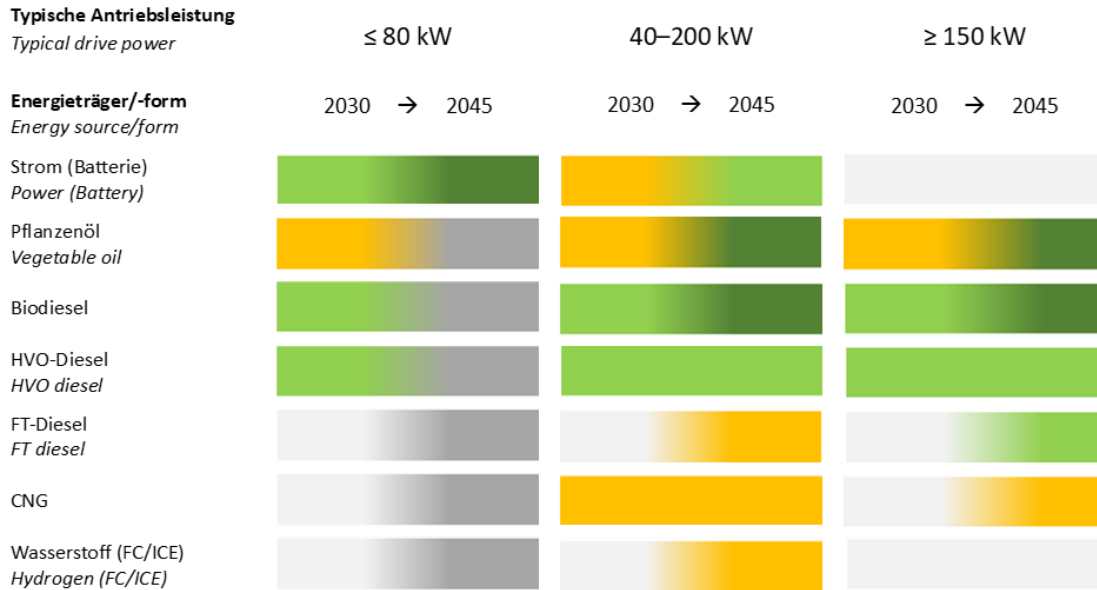
Eine Elektrifizierung für Maschinen, die für leichte oder Intervallarbeiten eingesetzt werden, ist anteilig bereits bis 2030 möglich. Bis zum Jahr 2045 ließe sich durch die Elektrifizierung im kleinen Leistungsbereich und für Intervallarbeiten, bedingt durch den günstigen Wirkungsgrad, der Energiebedarf für die mobilen Maschinen in der Landwirtschaft von aktuell etwa 66 PJ auf 45-52 PJ verringern und dadurch bis zu 1 Mrd. Liter Kraftstoff ersetzen. In der mittleren Leistungsklasse wird für einige landwirtschaftliche Einsatzzwecke eine Elektrifizierung möglich sein, die Weiterentwicklung der Batterietechnik lässt hier eine Ausweitung der Einsatzmöglichkeiten erwarten.

Pflanzenölkraftstoffe und Biodiesel sind besonders geeignet, da sie neben einer hohen Energiedichte auch den Vorteil einer regionalen Bereitstellungsmöglichkeit bieten. Damit können positive Wertschöpfungseffekte ausgelöst werden und es kann ein Beitrag zur Versorgungssicherheit für die landwirtschaftliche Produktion und gleichzeitig zur Futtermittelbereitstellung geleistet werden.

Fischer-Tropsch-Diesel und HVO-Diesel sind sehr gut geeignete Energieträger für Bestandsmaschinen, da sie ohne wesentliche Änderungen am Motor und kraftstoffführendem System eingesetzt werden können. Aufgrund der auch zukünftig zu erwartenden begrenzten Verfügbarkeit und der erwarteten hohen Kosten sollten Neufahrzeuge mit anderen Kraftstoffen betrieben werden, um die Konkurrenz um diese Kraftstoffe zu entschärfen. HVO-Diesel darf seit kurzem als Reinkraftstoff an Tankstellen vertrieben werden, Fischer-Tropsch-Kraftstoffe sind aktuell nicht verfügbar.

**2030 → 2045**

<p><b>Leichte Arbeiten</b>                  (Hofarbeiten, Ladearbeiten, Säen, Pflanzenschutz, autonome Arbeiten)  <b>Light work</b>                  (yard work, loading work, sowing, plant protection, autonomous work)</p>	<p><b>Mittelschwere Arbeiten</b>                  (Pflege, Düngung, Graswerbung, leichte Bodenbearbeitung)  <b>Medium work</b>                  (Maintenance, fertilisation, grass cultivation, light tillage)</p>	<p><b>Schwere Arbeiten</b>                  (schwere Bodenbearbeitung, Mähdrusch, Häckseln)  <b>Heavy work</b>                  (heavy tillage, combine harvesting, chopping)</p>
---	--	---



**Legende:**  
**Legend:**

- Bevorzugt und umsetzbar:** Verfügbar, geeignet, kostengünstig, ressourceneffizient, regionale Energieträger  
***Preferred and feasible:** Available, suitable, cost-effective, resource-efficient, regional energy sources*
- Umsetzbar:** Verfügbar, geeignet  
***Feasible:** Available, suitable*
- Teilweise umsetzbar:** Verfügbar (optimistisches Szenario), geeignet  
***Partially feasible:** Available (optimistic scenario), suitable*
- Umsetzbar:** Bessere Alternativen vorhanden  
***Feasible:** Better alternatives available*
- Nicht verfügbar**  
***Not available***

**Bild 4:** Perspektive 2030/2045 möglicher Energieträger in der landwirtschaftlichen Anwendung [24].  
**Figure 4:** Perspective 2030/2045 for possible energy sources in agricultural use [24].

Der Einsatz von gasförmigen Kraftstoffen, insbesondere CNG ist für den mittleren Leistungsbereich ebenfalls eine Option, unter der Voraussetzung, dass eine Biogasanlage mit Betankungsmöglichkeit oder eine CNG-Tankstelle in räumlicher Nähe zum landwirtschaftlichen Betrieb verfügbar ist. LNG bietet den Vorteil einer höheren Energiedichte, hier müssen aber, insbesondere bei Maschinen mit längeren Standzeiten, Probleme mit Methanverlusten aus den Kraftstofftanks gelöst werden.

Wasserstoff als Energieträger für landwirtschaftliche Maschinen ist aus heutiger Sicht aufgrund des hohen Aufwands und der offenen Fragen zur Nutzung von Brennstoffzellen unter anspruchsvollen Bedingungen noch keine bevorzugte Option.

Für die Einführung der oben beschriebenen Alternativen zu fossilem Diesel in die landwirtschaftliche Praxis sind stabile rechtliche Rahmenbedingungen wichtig, die langfristige Planungssicherheit ermöglichen. Dazu zählen insbesondere die Besteuerung und CO<sub>2</sub>-Bepreisung von Kraftstoffen. Auch eine Investitionsförderung zur Unterstützung beim Umstieg auf die derzeit noch teureren alternativen Antriebssysteme ist ein wichtiger Aspekt. Eine zielgruppenorientierte Kommunikationsstrategie, die sich an Landwirte, die Landmaschinenindustrie, Werkstätten, den Kraftstoffhandel sowie Bildungseinrichtungen richtet, sollte zur Begleitung des Umstiegs implementiert werden.

### **Zusammenfassung**

Die Landwirtschaft spielt eine wesentliche Rolle bei der Bereitstellung von Erneuerbaren Energien in Form von Strom, Wärme und Kraftstoffen. Aktuell wird insbesondere die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen oder auch Agri-PV-Anlagen diskutiert. Hingegen stockt der Ausbau von Bioenergieanlagen aktuell aufgrund ungünstiger Rahmenbedingungen.

Für den aus Gründen des Klima- und Ressourcenschutzes notwendigen Umstieg von fossilem Dieselmotorkraftstoff auf erneuerbare Antriebsenergien gibt es für landwirtschaftliche Maschinen unterschiedliche Optionen. Dazu zählen Biokraftstoffe und verschiedene paraffinische Kraftstoffe wie hydrierte Pflanzenöle (HVO) oder synthetische Kraftstoffe, die aus erneuerbarem Strom gewonnen werden. Außerdem sind gasförmige Kraftstoffe wie Biomethan aus Biogasanlagen oder synthetisches Methan mögliche Alternativen. Eine wesentliche Komponente einer Umstiegsstrategie ist die Elektrifizierung von Maschinen im kleinen Leistungsbereich und solchen, die für Intervallarbeiten eingesetzt werden. Hier sind zwischen den Maschineneinsätzen ausreichend Ladezeiten realisierbar. Für den Einsatz in landwirtschaftlichen Maschinen im mittleren oder hohen Leistungsbereich, bieten sich insbesondere Biokraftstoffe an, da diese in der Landwirtschaft erzeugt werden können und neben einer gleichzeitigen Bereitstellung von Futtermitteln auch positive regionale Wertschöpfungseffekte aufweisen.

Die Praxiseinführung dieser Optionen erfordert stabile Rahmenbedingungen, insbesondere hinsichtlich der Besteuerung von Energieträgern und sollte durch eine zielgruppenorientierte Kommunikationsstrategie begleitet werden.

## Literatur

- [1] KSG: Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist – KSG (2019), S. 1-10.
- [2] EEG: Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (erneuerbare-Energien-Gesetz) – EEG 2023 (2014), S. 1-128.
- [3] N.N.: Statistiken ausgewählter erneuerbarer Energieträger zur Stromerzeugung – November 2023. Bundesnetzagentur (Hrsg.), 2023.
- [4] WindSeeG: Gesetz zur Entwicklung und Förderung der Windenergie auf See (Windenergie-auf-See-Gesetz) – WindSeeG.
- [5] AEE: Erneuerbare Energien in Bürgerhand. Verteilung der Eigentümer an der bundesweiten installierten Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbare-Energie-Anlagen 2019, Agentur für Erneuerbare Energien e. V. (Hrsg.), 2020.
- [6] Böhm, J.; Tietz, A.: Abschätzung des zukünftigen Flächenbedarfs von Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Thünen Working Paper 204, Johann Heinrich von Thünen-Institut (Hrsg.), Braunschweig 2022.
- [7] N.N.: Agri-Photovoltaik-Anlagen – Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung. DIN SPEC 91434, 2021.
- [8] GAPDZV: Verordnung zur Durchführung der GAP-Direktzahlungen (GAP-Direktzahlungen-Verordnung) – GAPDZV (2022).
- [9] Gerhards, C.; Schubert, L.; Lenz, C.; Wittmann, F.; Richter, D.; Volz, B.; Pommer, R.: Agri-PV - Kombination von Landwirtschaft und Photovoltaik. Schriftenreihe, Heft 1, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden 2022.
- [10] Schaft, J.; Grieb, M.; Fritz, M.: Agri-Photovoltaik – Stand und offene Fragen. Berichte aus dem TFZ, Bd. 73, Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing 2021.
- [11] Fraunhofer ISE: Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfaden für Deutschland, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, 2023.
- [12] Fritz, M.; Stöppler, M.; Grieb, M.: TFZ-Leitfaden 1 - Agri-Photovoltaik – Planung und Genehmigung. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.), Straubing 2023.
- [13] Fraunhofer ISE: Agri-Photovoltaik am Fraunhofer ISE – Forschungsprojekte. Fraunhofer ISE, URL: <https://agri-pv.org/de/unser-beitrag/forschungsprojekte/>, Zugriff am: 11.03.2024.
- [14] UBA: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2022 – Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2020. Climate Change, 24/2022, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2022.

- [15] Fachverband Biogas e. V.: Biogas Branchenzahlen 2022 und Prognose der Branchenentwicklung 2023. Fachverband Biogas e. V., URL: [www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE\\_Branchenzahlen](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen), Zugriff am: 08.01.20223.
- [16] Moosmann, D.; Oehmichen, K.; Majer, S.; Rensberg, N.: Leitfaden zur Treibhausgasbilanzierung von Energie aus Biogas und Biomethan für die Nachhaltigkeitszertifizierung unter der RED II. Ergebnisse aus dem Verbundvorhaben ZertGas, DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (Hrsg.), Leipzig 2021.
- [17] KTBL: Substratanpassungsrechner Biogas. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) | Darmstadt, URL: [www.ktbl.de/webanwendungen/substratanpassungsrechner-biogas](http://www.ktbl.de/webanwendungen/substratanpassungsrechner-biogas), Zugriff am: 09.01.2024.
- [18] N.N.: Schlussbericht zum Verbundvorhaben. Technisch-betriebswirtschaftliche Evaluation und Validierung eines Prognosemodells zur Abbaukinetik von lignocellulosereichen Einsatzstoffen für die Flexibilisierung des Biogasprozesses in der Praxis (LIGNOFLEX), Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft; FNR, 2023.
- [19] Gökgöz, F.; Liebetrau, J.; Nelles, M.: Kombinierte Bereitstellung von Strom und Kraftstoff an Biogasanlagen - Wirtschaftlichkeit von Anschlussszenarien. Landtechnik 75 (2020) H. 3, S. 141–160.
- [20] KTBL: Hintergründe zum Treibhausgasquotenhandel beim Verkauf von Biomethan als Kraftstoff (Option Biomethan und Tankstelle). Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (Hrsg.), Darmstadt 2023.
- [21] KTBL: Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas - Bestandsanlagen. URL: [www.ktbl.de/webanwendungen/wirtschaftlichkeitsrechner-biogas-bestandsanlagen](http://www.ktbl.de/webanwendungen/wirtschaftlichkeitsrechner-biogas-bestandsanlagen), Zugriff am: 09.01.2024.
- [22] KTBL: Zukunft Biogas – Ein Fachportal zur Post-EEG-Thematik für landwirtschaftliche Biogasanlagen. URL: <https://www.zukunftbiogas.de/>, Zugriff am: 11.03.2024.
- [23] KTBL: Verwendung erneuerbarer Antriebsenergien in landwirtschaftlichen Maschinen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (Hrsg.), Darmstadt 2023.
- [24] KTBL: Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) | Darmstadt, URL: <https://www.ktbl.de/webanwendungen/leistungs-kostenrechnung-pflanzenbau/>, Zugriff am: 09.01.2024.
- [25] BMEL: Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten 2021. 65. Auflage, 2021, ISBN: 978-3-8308-1427-6.
- [26] KTBL (Hrsg.): Alternative Antriebssysteme für Landmaschinen. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) 2020, ISBN: 978-3-945088-73-9.

- [27] Schröder, J.; Naumann, K. (Hrsg.): Monitoring erneuerbarer Energien im Verkehr. DBFZ Report, Bd. 44, 1. Auflage, Leipzig: Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ) 2022.

### **Autorendaten**

Henning Eckel, Dr. Jens Grube und Dr. Wilfried Hartmann sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. in Darmstadt.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Ecker, Henning; Grube, Jens; Hartmann, Wilfried: Energieerzeugung und –bereitstellung im landwirtschaftlichen Kontext. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-16

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171528-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/energiesysteme.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Antriebssysteme mobiler Maschinen**

Philipp Winkelhahn, Felix Gerdes, Lennart Buck, Lukas Reuter, Igor Cruz

### **Kurzfassung**

2023 zeigten Maschinen- und Komponentenhersteller vor allem technische Systeme, die domänenübergreifend den Aspekt Energieeffizienz im Fokus haben. Daran schließen sich Lösungen an, die das Handling der technisch aufwendigeren Maschinen weiterhin gewährleisten sollen. Die 2023 entstandenen wissenschaftlichen Arbeiten decken sich thematisch vollständig mit den Motivationsaspekten der Maschinenhersteller.

### **Schlüsselwörter**

Alternative Energieträger, Elektrifizierung, Energieeffizienz, Funktionserweiterungen, Komplexität, Handhabung

## **Drive systems for mobile machines**

Philipp Winkelhahn, Felix Gerdes, Lennart Buck, Lukas Reuter, Igor Cruz

### **Abstract**

In 2023, machine and component manufacturers primarily showcased technical systems that focus on energy efficiency across all domains. This is followed by solutions designed to ensure the continued handling of technically more complex machines. The scientific papers produced in 2023 are fully in line with the motivational aspects of the machine manufacturers.

### **Keywords**

alternative energy sources, electrification, energy efficiency, functional expansions, complexity, handling

## **Ausgeführte technische Innovationen**

Auf der Weltleitmesse für Landtechnik, der Agritechnica 2023, wurden unter dem Leitthema „Green Productivity“ vielversprechende antriebstechnische Innovationen sowohl auf Gesamtmaschinen- als auch auf Komponentenebene präsentiert. Nachfolgend dargestellt ist eine Auswahl dieser Entwicklungen.

Landtechnikhersteller stellen sich der enormen Herausforderung, auch in der landwirtschaftlichen Außenwirtschaft alternative Lösungen für den fossilen Dieselkraftstoff zu erarbeiten. New Holland präsentierte hierzu den T7.270 Methane Power LNG und erweiterte damit sein Produktportfolio alternativ angetriebener Traktoren [1]. Mit dem Biomethan betriebenen Traktor bietet New Holland nun auch alternative Antriebskonzepte in höheren Leistungsklassen an. Anders als der bereits auf dem Markt verfügbare T6.180 Methane Power CNG und der auf der Agritechnica vorgestellte T7.270 Methane Power CNG (**Bild 1**) wird der T7.270 Methane Power LNG mit verflüssigtem Biogas betankt. Die speziell dafür entwickelten Kryo-Tanks verfügen über eine ausreichend große Kapazität, sodass die Maschine in Bezug auf Reichweite und Leistungsfähigkeit mit dieselbetriebenen Maschinen konkurrieren kann und somit auch bei hohem Leistungsbedarf einen gesamten Arbeitstag ohne zusätzlichen Tankvorgang überdauert.



**Bild 1:** New Holland T7.270 Methane Power CNG [1].

**Figure 1:** New Holland T7.270 Methane Power CNG [1].

Die AGCO GmbH begegnet dem Thema mit einer Weiterentwicklung des Fendt e100, welcher im Eco-Modus eine Dauerleistung von 50 kW und im Dynamic-Modus 55 kW oder kurzzeitig von 66 kW bereitstellt [2]. Mit einer Akkukapazität von 100 kWh sollen im Teillastbereich beispielsweise mit einem Einkreiselschwader eine Einsatzzeit von vier bis sechs Stunden erzielt werden. Über einen mit Methanol betriebenen Brennstoffzellen Range-Extender mit einer Kapazität von ca. 100 kWh kann die Einsatzdauer nahezu verdoppelt werden. Die Brennstoffzelle versorgt den Traktor über die AEF-Stromschnittstelle mit bis zu 15 kWh. Stationär wird der Traktor über eine CCS2-Steckdose aufgeladen, sodass die Batterie bei einer Ladeleistung von 22 kW in ca. 5 h vollgeladen ist.

Case IH präsentierte mit dem Farmall 75C Electric (**Bild 2**) seinen ersten vollelektrischen Traktor mit automatisierten Funktionen [3]. An Bord ist eine 110 kWh Batterie, die dank einer DC-Schnellladefunktion in weniger als einer Stunde von 10 auf 80 Prozent aufgeladen werden kann. Der vollelektrische Antriebsstrang liefert eine Leistung von 55 kW. Es können 48 kW an

der Zapfwelle abgerufen werden und ein Drehmoment von 320 Nm. Der Traktor erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h. Case IH hebt den wirtschaftlichen Vorteil des Farmall 75C Electric hervor, da sich die Betriebskosten des elektrischen Traktors zum vergleichbaren Dieseltraktor halbieren sollen. Einen weiteren Vorteil sieht das Unternehmen in der Lärmmin- derung. Der Traktor arbeitet 90 % leiser als dieselbetriebene Vorgängermodelle.



**Bild 2:** Case Farmall 75C Electric [3].  
**Figure 2:** Case Farmall 75C Electric [3].

Mit dem Hybrid CVT (**Bild 3**) stellte Steyr einen Prototyp vor, dessen Ziel es ist, die Effizienz für den Betrieb sowohl auf dem Feld als auch auf der Straße zu erhöhen [4]. Der Traktor basiert auf der Steyr 6175 Impuls CVT Plattform. Die Kombination aus hydro-mechanischem CVT- Antrieb an der Hinterachse und einem Hybridmodul an der Vorderachse ermöglicht eine Leistungsübertragung von bis zu 194 kW. Mit dem E-CVT erfolgt der Antrieb hybrid-elektrisch mit bis zu 75 kW. Mit der zusätzlichen elektrischen Antriebsleistung können Zapfwellenlasten ausgeglichen und konstante Fahrgeschwindigkeit über den elektrischen Antrieb realisiert werden. Weitere Funktionen wie ein „E-Shuttling“ reduzieren die Dauer für einen Richtungswechsel um 41 % und „E-Steering“ beschleunigt die Räder an der Vorderachse während der Kurvenfahrt. Ein „E-Boost“ liefert zusätzliche elektrische Leistung im Bedarfsfall. Durch „E-Torque Vectoring“ kann das Drehmoment auf Vorder- oder Hinterräder variabel und bedarfsgesteuert verteilt werden.

Auf Komponentenebene wurden auf der Agritechnica sowohl mechanische, hydraulische und elektrische Innovationen vorgestellt, die die Themen Energieeffizienz und Funktionserweiterung mittels Sensorik bedienen. Bondioli & Pavesi erhielt für ihre sensorisch überwachten Zapfwellen „SFT PRO E.D.I.“ (**Bild 4**) die Systems & Components Trophy [5]. Die Zapfwellenbaureihe soll neue Möglichkeiten hinsichtlich der Maschinensteuerung, Wartung und Sicherheit eröffnen. Das Sensorsystem erfasst hierfür Drehmoment, Drehzahl, Axialkraft, Grad der Überlappung beider Gelenkwellenhälften, Beugungswinkel und Temperaturen und stellt diese Informationen entweder kabelgebunden oder kabellos zur Verfügung. Hierbei wird unterschieden zwischen einer elektrisch extern versorgten sowie einer mittels Generator selbst versorgenden Variante.



**Bild 3:** Steyr Hybrid CVT [4].

**Figure 3:** Steyr Hybrid CVT [4].



**Bild 4:** Bondioli & Pavesi SFT PRO E.D.I. [5].

**Figure 4:** Bondioli & Pavesi SFT PRO E.D.I. [5].

Die Andreas Lupold Hydrotechnik GmbH stellte ein universelles, digitalhydraulisches Regelsystem für Axialkolbenpumpen vor (**Bild 5**), mit dem die Verstellcharakteristika eng auf die Anwendung abgestimmt werden können [6]. Der Aufbau des digitalhydraulischen Pumpenreglers ist charakterisiert durch zwei leakagefreie Sitzventile, die hochfrequent geschaltet werden und somit die Dosierung des Ölflusses ermöglichen. Prinzipbedingte Verluste eines mechanischen Kolbens liegen somit nicht vor. Den Wechsel zwischen verschiedenen Reglertypen wie Druck-, Volumenstrom- oder Leistungsregler übernimmt die elektronische Steuerung im Betrieb nach Kriterien der maximalen Effizienz des Gesamtsystems. Ein mechanischer Austausch des Reglers bzw. Komponenten für eine Anpassung von Regelgrößen ist somit nicht erforderlich. Die Ventiltechnik wurde im gezeigten aktuellen Stand industrialisiert und mit einer sehr kompakten Elektronik als Interface kombiniert.



**Bild 5:** Digitalhydraulisches Regelsystem für Axialkolbenpumpen [6].

**Figure 5:** Digital hydraulic control system for axial piston pumps [6].

Um der Elektrifizierung mobiler Maschinen Rechnung zu tragen, zeigte Zuidberg eine neue E-Zapfwelle [7]. Dieses elektrisch angetriebene Zapfwellensystem bewahrt die standardisierte mechanische Zapfwellen-Schnittstelle, sodass heutige Anbaugeräte mit elektrischer Leistung betrieben werden können, dabei aber kein eigener elektrischer Antrieb vorgesehen sein muss. Die E-Zapfwelle wird an den elektrischen Antriebsstrang des Trägerfahrzeugs angeschlossen und die Drehrichtung sowie die Drehzahl der Zapfwelle über einen am Übersetzungsgetriebe montierten Elektromotor eingestellt. Das Spannungsniveau liegt bei 700 Volt DC. Die Getriebeübersetzung von 2,7 wurde vor dem Hintergrund des Wirkungsgradoptimums des Elektromotors gewählt. Wie bei elektrischen rotatorischen Systemen üblich, erfährt die E-Zapfwelle eine kontinuierliche Überwachung von Drehmoment und Drehzahl.

#### *Wissenschaftliche Arbeiten*

Neben den auf der Agritechnica 2023 gezeigten technischen Umsetzungen sind zudem einige interessante wissenschaftliche Ausarbeitungen rund um das Thema Antriebsstränge mobiler Maschinen entstanden. Dem Thema Inbetriebnahme hydraulischer Systeme widmete sich Alt in seiner Dissertation „Service-Oriented Architecture for Automated Commissioning of Fluid Power Systems“ [8]. Die Inbetriebnahme solcher Systeme ist heutzutage komplex und bedarf einer Vielzahl manueller Anpassungen durch Fachpersonal. Dies ist eine Folge der mangelnden Wandlungsfähigkeit der Maschinen, die aus den heute starr und streng hierarchisch aufgebauten Steuerungs- und Automatisierungsstrukturen sowie der hohen Heterogenität und Inkompatibilität der Teilsysteme untereinander resultiert. Ziel seiner Arbeit war es, durch Anwendung der Prinzipien serviceorientierter Architekturen die Flexibilität und Interoperabilität von fluidtechnischen Produktionssystemen zu erhöhen und damit eine selbstorganisierte und weitgehend automatisierte Inbetriebnahme zu ermöglichen. Wesentliche Stichworte, die im Zusammenhang mit seiner Arbeit stehen, sind Industrie 4.0-Komponenten, Verwaltungsschichten und Kommunikationsschnittstellen.

Einen Beitrag zum Thema Test-Arbeitsabläufe im Rahmen des modellbasierten Systems Engineering liefert die Dissertation von Zhang mit dem Titel „Development of hierarchical testing workflows to support virtual verification of technical systems“ [9]. In der Arbeit wird das genannte Entwicklungsvorgehen als ein vielversprechender Ansatz für die Effizienzsteigerung von Systementwicklungsprozessen dargestellt, dem es jedoch an Methoden zum Aufbau von strukturierten, wiederverwendbaren und effizienten Workflows mangelt, um diese in Systemmodelle integrieren zu können und somit den virtuellen Verifizierungsprozess zu unterstützen. Das Ziel der Arbeit war die Entwicklung von über Hierarchieebenen des Systems hinweg ausführbaren virtuellen Test-Workflows, die es erlauben, modellierte Lösungsarchitekturen auf spezifische Anforderungen zu testen und dabei die Datenkonsistenz zwischen den hierarchischen Ebenen des Systems zu gewährleisten.

Mit der Potentialbewertung effizienzsteigernder Technologien in landwirtschaftlichen Verfahrensketten beschäftigte sich Meiners in seiner Doktorarbeit [10]. Es wurde aufgezeigt, dass am Markt verfügbare Technologien, die zur Steigerung von Maschinen- und Prozesseffizienz beitragen, im Vorfeld von Investitionsentscheidungen bisher nur begrenzt einer betriebsindividuellen Bewertung unterzogen werden können und die Komplexität landwirtschaftlicher Verfahrensketten umfassende Ansätze sowohl für den Einsatz als auch die Bewertung effizienzsteigernder Technologien und Maßnahmen begünstigt und fordert.

Einen Exkurs zur Ökoeffizienzbewertung diesel-, batterieelektrischer und wasserstoffbetriebener schwerer Nutzfahrzeuge erarbeitete Wolff in seiner Arbeit „Eco-Efficiency Assessment of Zero-Emission Heavy-Duty Vehicle Concepts“ [11]. Dazu wurden eine Lebenszykluskostenrechnung mit einer Lebenszyklusanalyse kombiniert. Im Rahmen einer cradle-to-grave Systemgrenze berechnen diese Modelle die Kosten und Umweltauswirkungen der Fahrzeuge. Die Ergebnisse zeigten auf, dass batterieelektrische und wasserstoffbetriebene Fahrzeuge den Status quo-Dieselfahrzeugen in beiden Zielsetzungen überlegen sind.

Mit der Bedienung komplexer Maschinen in diesem Fall eines Forwarders befasste sich Geiger in seiner Ausarbeitung „Assistenzsystem für einen teilautomatisierten Ladeprozess bei Forwardern“ [12]. Die hohen Anforderungen an den Maschinenbediener können vor allem ungeübte Bediener während ihrer Lernphase nicht erfüllen und weisen dadurch eine sehr geringe Produktivität im Betrieb der Maschine auf. In der Arbeit wurde daher zur Unterstützung dieser Bedienergruppe ein Assistenzsystem für einen teilautomatisierten Ladeprozess entwickelt, da dieser durch den größten Zeitanteil und Komplexitätsgrad der Arbeitstätigkeit ein hohes Potential zur Effizienzsteigerung aufweist. Hierzu wurden mittels Methoden aus dem Bereich des maschinellen Sehens die zu ladenden Stämme erkannt und anschließend die Stammposition als Input für die Automatisierung bestimmt. Mit Hilfe der entwickelten Kranspitzensteuerung führte das Assistenzsystem die Bewegung des Krans zum Stamm hin aus. Dabei wurde ein Hydrauliksystem mit einem hydraulischen Transformator berücksichtigt, durch welches eine Energieregeneration möglich war.

Zwei weitere interessante Exkurse im Zusammenhang mit der Fahrzeugbedienung bzw. -nutzung aus dem Bereich der schweren Nutzfahrzeuge stammen von Schölkopf und seiner Dissertation mit dem Titel „Entwicklung und Evaluation einer adaptiven Mensch-Maschine-Schnittstelle für Nutzfahrzeuge“ [13] sowie von Hauenstein mit dem Arbeitstitel „Kooperative

Längsführung für Nutzfahrzeuge" [14]. Lkw-Fahrerarbeitsplätze verfügen über eine Vielzahl an Fahrzeugfunktionen, wodurch deren Bedienung für den Nutzer beanspruchend ist und eine hohe Variantenvielfalt im Herstellungsprozess vorherrscht. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, wurde im Rahmen der erstgenannten Arbeit eine digitale und adaptive Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Bedienung von Fahrzeugfunktionen im Nutzfahrzeug entwickelt und evaluiert. Die zweite Arbeit nutzte zur Steigerung der Energieeffizienz die Verknüpfung der energieeffizienten Fahrweisen mit den Bereichen der kollektiven Perzeption und der kooperativen Manöverabstimmung. Die Wirksamkeit des erarbeiteten Verfahrens wurde sowohl simulativ als auch mit einem Versuchsträger am Testgelände untersucht.

Im Bereich der Antriebstechnik wirkt sich das tribologische Verhalten einzelner Maschinenelemente entscheidend auf die Zuverlässigkeit und Effizienz von mechanischen Systemen aus. Dabei spielt die Schmierung tribologischer Kontakte wie beispielsweise in Wälzlagern zwischen Wälzkörper und Laufbahn eine besondere Rolle. Die vollständige Trennung der Kontaktflächen durch einen Schmierfilm minimiert Reibung und Verschleiß, sodass sich ein zuverlässiger und energieeffizienter Betrieb einstellt. Versagt der Schmierfilm, ist mit vorzeitigen Lagerausfällen zu rechnen. Hier setzt die Dissertation mit dem Titel „Einflüsse durch Grundöl und Verdicker auf den Schmierfilmaufbau in fettgeschmierten Wälzkontakten" von Fischer an [15]. Ziel der Arbeit ist die zuverlässige Modellierung des Schmierfilmaufbaus unter Berücksichtigung der Zusammensetzung des Schmierfettes als Stoffgemisch aus Grundöl und Verdicker. Dazu wurden zunächst die Einflüsse auf den Schmierfilmaufbau durch das Grundöl und den Verdicker getrennt voneinander identifiziert und anschließend für die untersuchten Schmierfette Modelle zur Berechnung der Schmierfilmdicke in fettgeschmierten Wälzkontakten abgeleitet.

## **Zusammenfassung**

Für den Berichtszeitraum 2023 kann zusammenfassend formuliert werden, dass zurzeit vor allem serienmäßig neue Energieträger Einzug in mobilen Maschinen halten. Die Antriebstechnologiearten verschmelzen kontinuierlich, sodass die Themen Handhabung und Beherrschung domänenübergreifender Systeme als Herausforderung in den Entwicklungsabteilungen und in der betrieblichen Nutzung angesehen werden kann.

## **Literatur**

- [1] N.N.: New Holland präsentiert T7.270 Methane Power CNG als neue Traktorgeneration mit alternativem Antrieb. New Holland Agriculture a brand of CNH Industrial N.V., URL: <https://agriculture.newholland.com/de-de/europe/die-new-holland-welt/news/2023/new-holland-prasentiert-t7-270-methane-power-cng>, Zugriff am: 08.03.2024.
- [2] N.N.: Fendt e100 V Vario: Zukunft der Landwirtschaft. AGCO GmbH, URL: <https://www.fendt.com/de/landmaschinen/traktoren/fendt-e100-v-vario>, Zugriff am: 08.03.2024.

- [3] N.N.: Farmall Electric Tractor. CNH Industrial America LLC, URL: <https://www.caseih.com/en-us/unitedstates/products/tractors/farmall-series/farmall-electric-tractor>, Zugriff am: 08.03.2024.
- [4] N.N.: STEYR Hybrid Drivetrain Konzept - Entwicklung durch Innovation. CNH Industrial Österreich GmbH, URL: <https://www.steyr-traktoren.com/de-de/landwirtschaft/unsere-innovationen/hybrid-drivetrain-konzept>, Zugriff am: 08.03.2024.
- [5] N.N.: SFT PRO E.D.I.. Bondioli & Pavesi S.p.A., URL: <https://www.sftpro-bondioli-pavesi.com/sftproedi>, Zugriff am: 08.03.2024.
- [6] Schell, M.: Messeauftritt der Andreas Lupold Hydrotechnik GmbH auf der Agritechnica 2023, Hannover 2023.
- [7] N.N.: Neue E-Zapfwelle von Zuidberg. Zuidberg Group of Companies, URL: <https://www.zuidberg.com/de-de/news/items/20231128>, Zugriff am; 08.03.2024.
- [8] Alt, R.: Service-Oriented Architecture for Automated Commissioning of Fluid Power Systems. Dissertation, RWTH Aachen University, 2023.
- [9] Zhang, Y.: Development of hierarchical testing workflows to support virtual verification of technical systems. Dissertation, RWTH Aachen University, 2023.
- [10] Meiners, A.: Potentialbewertung effizienzsteigernder Technologien bei Landmaschinen in Verfahrensketten mit Körnerfruchternte. Dissertation, Universität Hohenheim, 2023.
- [11] Wolff, S. P.: Eco-Efficiency Assessment of Zero-Emission Heavy-Duty Vehicle Concepts. Dissertation, Technische Universität München, 2023.
- [12] Geiger, C.: Assistenzsystem für einen teilautomatisierten Ladeprozess bei Forwardern. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, 2023.
- [13] Schölkopf, L.: Entwicklung und Evaluation einer adaptiven Mensch-Maschine-Schnittstelle für Nutzfahrzeuge. Dissertation, Technische Universität München, 2023.
- [14] Hauenstein, J.: Kooperative Längsführung für Nutzfahrzeuge. Dissertation, Technische Universität München, 2023.
- [15] Fischer, D.: Einflüsse durch Grundöl und Verdicker auf den Schmierfilmaufbau in fettgeschmierten Wälzkontakten. Dissertation, RWTH Aachen University, 2023.

### **Autorendaten**

Dipl.-Ing. Philipp Winkelhahn, M. Sc. Felix Gerdes, M. Sc. Lennart Buck, M. Sc. Lukas Reuter, M. Eng. Igor Cruz sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge der TU Braunschweig.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Winkelhahn, Philipp; Gerdes, Felix; Buck, Lennart; Reuter, Lukas; Cruz, Igor: Antriebssysteme mobiler Maschinen. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-9

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171527-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/antriebstechnik.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Maschinenseitige Sicht auf die Cloudbasierte Landwirtschaft mit 5G-Nutzung**

Lars Gerloff, Jan Schattenberg, Sören Walther

### **Kurzfassung**

Cloud-Anwendungen zur Datenauswertung unabhängig von der IT-Ausstattung der landwirtschaftlichen Maschine ermöglichen eine schnelle Rückmeldung im laufenden Arbeitsprozess. Cloud-Lösungen zu erweitern, ist zudem einfacher und umfangreicher möglich, weil keine Hardwareanpassungen an der landwirtschaftlichen Maschine notwendig sind. Die Integration von verfügbaren IT-Geräten in Form von Smartphones in die Prozesskette erscheint daher logisch. Zudem kann die Landmaschine von Beginn an vernetzt entwickelt werden, wofür die Systemarchitektur neuartiger landwirtschaftlicher Maschinen um Schnittstellen und Kommunikationsstandards erweitert werden muss, was simultan mit der umfassenden Automatisierung hin zur Feldrobotik geschehen kann. Ein Konzept für die Systemarchitektur von Feldrobotik mit ersten technischen Lösungsansätzen aus dem Forschungsprojekt 5G Smart Farming werden in diesem Artikel beschrieben.

### **Schlüsselwörter**

Vernetzte Landwirtschaft, Cloud-Dienste, Feldrobotik, Entwicklungstrends, IoT, 5G

## **Machine-side approach to cloud-based agriculture with 5G utilization**

Lars Gerloff, Jan Schattenberg, Sören Walther

### **Abstract**

Cloud applications for analysing data independently of the IT equipment of the agricultural machine enable rapid feedback during the ongoing work process. Extending cloud solutions is also easier and more comprehensive because no hardware adaptations to the agricultural machine are necessary. The integration of commonly available IT devices in the form of smartphones into the process chain therefore seems logical. In addition, the agricultural machine can be developed networked from the outset, for which the system architecture of new types of agricultural machines must be expanded to include interfaces and communication standards, which can be done simultaneously with the comprehensive automation towards field robotics. A concept for the system architecture of field robotics with initial technical solution approaches from the 5G Smart Farming research project are described in this article.

### **Keywords**

Networked agriculture, cloud services, field robotics, development trends, IoT, 5G

---

### **Einstieg: Feldnahe Datenauswertung durch Cloud-Dienste**

Die Anforderungen an die Reaktionsfähigkeit und Anpassungsfähigkeit in der Landwirtschaft nehmen durch dynamischere Umwelteinflüsse, erweiterte Umweltauflagen und den steigenden Kostendruck stetig zu. Einerseits kann diesen Anforderungen durch eine höhere Leistungsfähigkeit der landwirtschaftlichen Maschine begegnet werden, andererseits müssen die für den optimalen Arbeitsprozess notwendigen Daten vollständig und rechtzeitig vorliegen. Hierzu zählt auch die Generierung von Daten der Arbeitsprozessqualität, die ein großes Potential für die Optimierung der Prozessparameter bieten. Deren Live-Auswertung stellt bei komplexen Auswertungsalgorithmen ein reales Problem dar.

Die Rechenleistung auf den Maschinen zu installieren und somit auf dem Feld vorzuhalten, erzeugt dabei mehr Nachteile als Vorteile. Hochleistungsrechner sind empfindliche Geräte, die in der rauen landwirtschaftlichen Umgebung zusätzlichen Schutz gegen Staub, Erschütterungen und Temperatureinflüsse benötigen. Zusätzlich müssen die Trägerfahrzeuge für die Hardware vorbereitet werden, was die Anbringung und die Stromversorgung einschließen. Dieser Aspekt wird schwieriger, je kleiner die Maschinen werden. Ein Feldhäcksler wird hierfür größere Kapazitäten mitbringen als ein Feldroboter wie zum Beispiel der Orio von Naïo Technologies oder noch kleinere Geräte wie der Naïo Oz oder der Xaver von AGCO Fendt. Weiterhin ist die dauerhafte Auslastung des Hochleistungsrechners durch Daten einer einzelnen Maschine nicht gegeben, da die meisten Informationen nur sporadisch und vor allem saisonal ausgewertet werden müssen.

Die ersten Landtechnikhersteller bieten funktions- und qualitätsüberwachende Anwendungen an, die auf Cloud-Diensten aufgebaut sind. Die Funktionsüberwachung ist in der Regel an der Maschine oder dem Anbaugerät selbst installiert und verfolgt das Ziel, die ordnungsgemäße Funktionsweise sicherzustellen. Dazu gehören unter anderem die Erkennung von Verschleiß und Beschädigungen am Gerät. Nach diesem Prinzip hat die Firma LEMKEN ein kamerabasiertes Überwachungssystem von Grubberscharen entwickelt, das dem Fahrer eine Rückmeldung über den Zustand der Grubberschare, von Materialverschleiß bis Scharverlust, im ausgehobenen Zustand des Grubbers gibt. Über den Ort der Datenverarbeitung wurde nicht berichtet. Da es sich um eine ISOBUS-Terminallösung handelt, wird von einer lokalen Verarbeitung auf der Maschine ausgegangen [1].

Aufgrund der Größe des zuvor genannten Gespanns und der Häufigkeit der Kameraauswertung, stets im ausgehobenen Zustand im Vorgewende, ist die lokale Lösung möglich. Wird die Auswertungsfrequenz geringer, ergibt die Ausstattung der Feldmaschine mit einer Datenauswertungseinheit aus Kostengründen keinen Sinn. So hat die Firma CLAAS eine App-Anwendung zur Qualitätsprüfung des Kornbruches für die Maissilageernte entwickelt [2]. Der Anwender entnimmt aus dem frisch gehäckselten Mais eine Probe und breitet diese auf einem standardisiertem Testbrett aus. Mit dem Smartphone muss ein Foto von der Probe gemacht werden, das anschließend auf entfernte Server hochgeladen und ausgewertet wird. Anschließend erhält der Anwender den CORN SILAGE PROCESSING SCORE (CSPS) zurück. Der CSPS ist eine Kennzahl für die Kornbruchqualität in der Silage [3]. Die Ergebnisse können direkt für die Anpassung der Maschinenparameter genutzt werden.

Bei der Verwendung kleinerer bodengebundener Maschinen und unbemannter Flugdrohnen wird die Unterbringung und die Versorgung von zusätzlichen Recheneinheiten herausfordernder oder gar unmöglich. Zudem sind die Informationen der Auswertung auf der Maschine von abnehmendem Nutzen, sobald der Anwender nicht mehr vor Ort anwesend ist. Durch eine Cloud-Verfügbarkeit der Informationen, können diese nun auch per App auf dem Smartphone zur Bewertung und Entscheidungsfindung genutzt werden. Somit liegen eindeutige Vorteile in der verteilten und vernetzten Nutzung von unbemannten Maschinen und Hochleistungsrechnern. Die kleineren aber dafür spezialisierteren Feldroboter verändern somit die Struktur der Datenverarbeitung, weil Aufgaben auf unterschiedliche Instanzen verteilt werden müssen.

Dies hat Folgen für die Systemstrukturen mobiler Maschinen, egal ob sie in der sequenziellen Sense-Model-Plan-Act Architektur (SMPA-Architektur) implementiert wurden, in der verhaltensbasierten Architektur aufgebaut wurden oder eine hybride Mischvariante bilden. Bevor die Einwirkung einer verteilten Datenverarbeitung erläutert wird, wird kurz auf die Architekturen eingegangen.

Die SMPA-Architektur bearbeitet sequenziell die vier Phasen (Sensing, Modelling, Planning, Acting), ohne eine zwischenzeitliche Rückführung von Ergebnissen zu ermöglichen. Hier müssen die einzelnen Funktionen klar in die vier Phasen eingeteilt werden, was sich als schwierig herausstellt. Allgemeiner wird diese Betrachtung in den verhaltensbasierten Architekturen, die alle implementierten Verhalten parallel durchführen können, wenn dies erforderlich ist. Hier existieren somit nur Sensordaten, die den einzelnen Verhalten zugeführt werden und hier in Aktionen überführt werden. Verhaltensbasierte Architekturen sind jedoch eher in reaktiven Systemen zu finden, da sich eine Aktionsdurchführung über einen längeren Zeithorizont als schwierig realisierbar herausgestellt hat. Somit werden die beiden reinen Ansätze oftmals zu hybriden Strukturen gemischt [4].

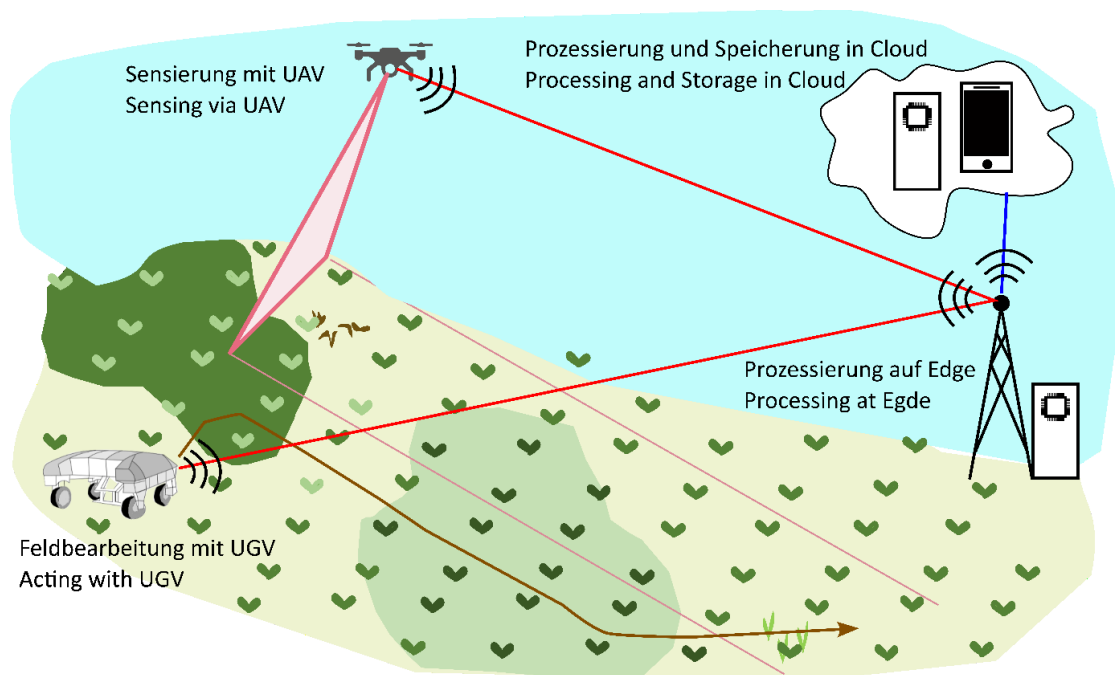
Die orts- und maschinenverschiedene Datenerhebung, Datenauswertung und Aktionsdurchführung stellen neue Herausforderungen an ohnehin immer umfangreichere Systeme. Kommunikationsprotokolle und Übertragungswege müssen an den möglichen Übertragungsraten und Datendurchsätzen gemessen werden, um die Anforderungen jeder Anwendung einzuhalten.

### **Einblick: 5G Smart-Farming**

An diese Herausforderungen knüpft das Forschungsprojekt 5G Smart Country an [5]. Dieses gliedert sich in die Anwendungsräume 5G Smart Forest für die Forstwirtschaft und 5G Smart Farming für die Landwirtschaft auf, wobei genauer auf die Aktivitäten im Bereich der Landwirtschaft eingegangen wird. Das Hauptziel des Teilbereiches besteht in der Effizienzsteigerung der Landwirtschaft unter der Nutzung datenbasierter Anwendungen. Hierbei werden Aspekte der Nachhaltigkeit und Transparenz berücksichtigt, um die gesellschaftliche Akzeptanz zu stärken. Zur Erreichung des Projektziels wird der Fokus auf die Kommunikation - an dieser Stelle sind damit die Datenflüsse, Protokolle und genutzten Webtechnologien gemeint - zwischen den Maschinen gelegt, wodurch der Aufwand für den Aufbau und die Einrichtung dieser

Maschinen erheblich verringert werden sollte. Die Auswahl der Standards erfolgte auf Basis der Verfügbarkeit und der Eigenschaften.

Eine DJI M30T wurde als unbemannte Flugdrohne (UAV) in dem Projekt genutzt, weil sie werksseitig alle notwendigen Module für die Feldüberwachung integriert und zudem eine hohe Flugsicherheit und -stabilität aufweist. Als Schnittstellen zur 5G Smart Farming Infrastruktur werden die handelsübliche DJI RC Plus Fernsteuerung und ein Payload SDK verwendet. Realisiert wird die Datenanbindung über einen Raspberry Pi 4, welcher mit einem zusätzlichen 5G-Modem ausgestattet ist. Zunächst galt es, eine geeignete Maschine für die Feldbearbeitung (UGV) zu finden. Zentral ist hierbei eine möglichst frei programmierbare Softwareschnittstelle für die umfassende Möglichkeit zur Vernetzung der Maschine. Außerdem muss die Maschine mit einem universalen Geräteträger ausgestattet sein, um verschiedene Prozessschritte abbilden zu können. Hierfür wird ein großer Bauraum unter dem Roboter benötigt. Letztlich konnte nach Abwägung aller Vor- und Nachteile mit dem Naïo Dino [6] ein guter Kompromiss gefunden werden, wobei anzumerken ist, dass die Fahrgeschwindigkeit batterieelektrischer Feldroboter mit wenigen km/h im Allgemeinen relativ niedrig ist. Die Infrastruktur zur Vernetzung der Maschine wird nachgerüstet, um Maschinendaten versenden und neue Arbeitsaufträge erhalten zu können. Die Verwendung der Maschinen wird in **Bild 1** schematisch gezeigt.

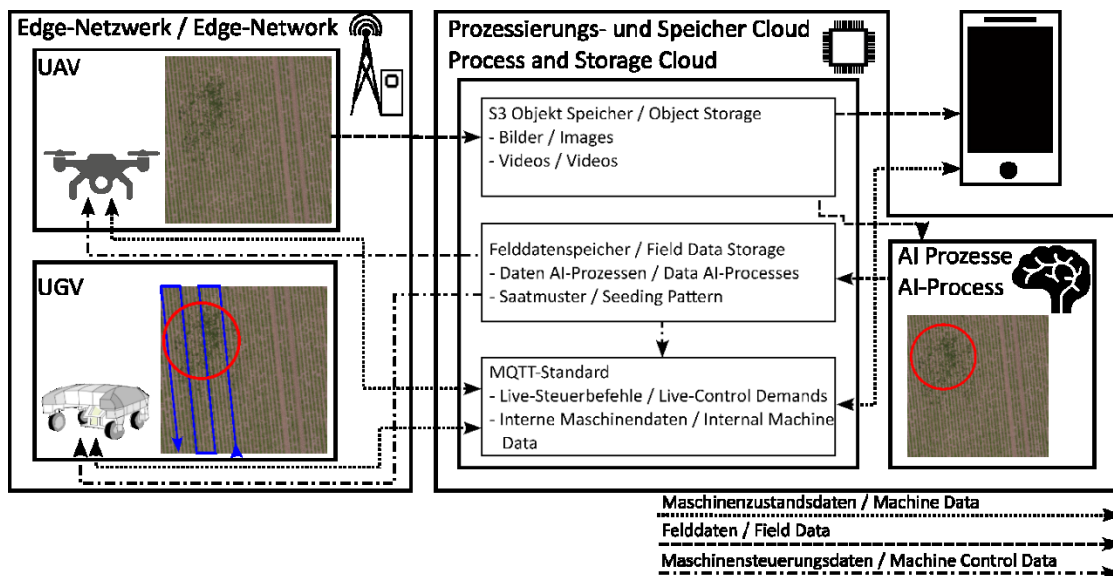


**Bild 1:** Maschinenkonstellation 5G Smart Farming  
**Figure 1:** Machine constellation 5G Smart Farming

Die Systemarchitektur basiert zumindest im maschinennahen Bereich auf einem ROS2-System. ROS steht für Robot Operating System, eine Middleware zur vereinfachten Kombination von Sensorik, Aktorik und Algorithmik im Robotik Bereich, welche sich in Version 2 zudem

durch eine verbesserte Nutzbarkeit für Mehrmaschinenanwendungen und eine zuverlässigere Datenübertragung auszeichnet. Der Maschinenzugriff erfolgt herstellerspezifisch, beispielsweise bei der Drohne über das DJI Payload-SDK bzw. beim Feldroboter mittels CAN-Bus. Für die Datenübertragung ist ein ROS2-Netzwerk implementiert. Dazu existieren Publish- und Subscribe-Topics auf dem UAV respektive dem UGV.

Eine Besonderheit des vorgestellten Systems liegt in der Ausgestaltung der Edge/Cloud. Hierbei wird unterschieden zwischen dem Edge-Netzwerk am Feldrand und der zentralen Process-and-Storage-Cloud. Ersteres steht für den Datenaustausch innerhalb des ROS2-Netzwerks maschinennah zur Verfügung. Ein weiterer Transfer zur zentralen Process-and-Storage-Cloud erfolgt dann mittels geeigneter Protokolle. Für Maschinendaten und Steuerbefehle kommt das MQTT-Protokoll [7] zum Einsatz, während umfangreiche Bilddaten auf S3-Objekt-Speicher abgelegt werden; beides Techniken aus der Webtechnologie. Über einen Access-Token-Ansatz werden weiterführende Aspekte wie die Datensicherheit betrachtet [8]. In der zentralen Process-and-Storage-Cloud erfolgt die Speicherung und Auswertung der Daten, unter anderem die KI-gestützte Analyse von Drohnenaufnahmen hinsichtlich Unkrautnestern und Wildtieren. Diese Informationen werden dem Landwirt per Webapp zur Verfügung gestellt und dienen der weiteren Missionsplanung. In **Bild 2** wird die Funktions- und Übertragungsstruktur beschrieben, die hinter der Maschinenkonstellation steht.

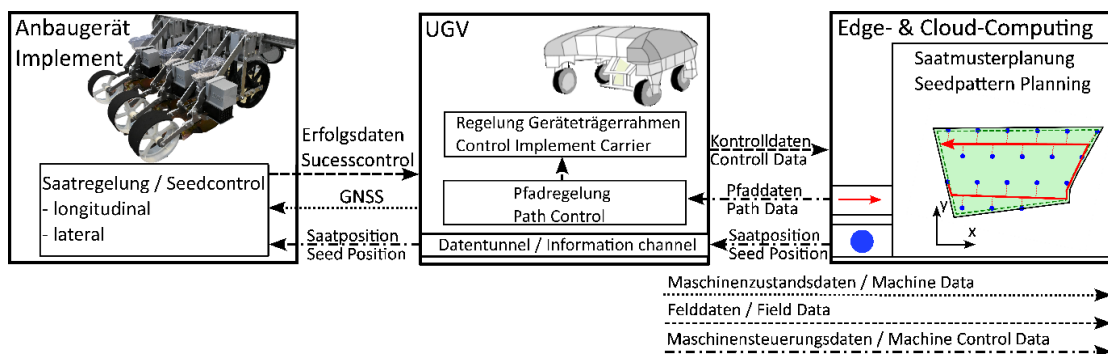


**Bild 2:** Konzept der Funktions- und Übertragungsstruktur im Use Case Unkrautbekämpfung  
**Figure 2:** Concept of the function and transmission structure for the use case weed control

### Entwicklungsansatz unter Berücksichtigung der Maschineneigenschaften

Zentralgeplante Missionen werden auf der Edge- & Cloud Infrastruktur erstellt und anschließend auf den Feldroboter transferiert. Die Edge- & Cloud nutzt zur Planung verschiedene Da-

tenquellen, die in ihr zusammenkommen. Die vertikale Positionierung des Geräteträgerrahmens wird durch das UGV eingeleitet, weil hier die Kopplung zwischen Pfadregelung und Werkzeugeingriff erfolgt. Das Anbaugerät regelt anschließend erforderliche lokale Eingriffe wie die Positionierung einzelner Module. Geschlossen ist der Datenkreislauf durch den Informationsrückfluss der Erfolgskontrolle vom Anbaugerät zur Cloud. Da diese somit wieder zentral zur Verfügung stehen, können sie als Basis für die Missionsplanung prozesstechnisch nachgelagerte Arbeitsschritte genutzt werden. Das **Bild 3** zeigt den Feldroboter als UGV im Fokus, wobei linker Hand das modulare Anbaugerät und rechter Hand die Cloud-Anbindung dargestellt sind.



**Bild 3:** Konzept der Funktions- und Übertragungsstruktur im Use Case Unkrautbekämpfung  
**Figure 3:** Concept of the function and transmission structure for the use case weed control

Die besonderen Vorteile der in diesem Forschungsprojekt realisierten Systemarchitektur zeigen sich bei der Integration neuer Anbaugeräte. Während sich aktuell verfügbare Feldroboter vor allem auf die mechanische Unkrautbekämpfung fokussieren, wird im Rahmen des Projekts 5G Smart Farming auch ein neuartiges Säaggregat für die Umsetzung des Spot Farming Ansatzes [9] betrachtet. Dessen Vorteile liegen in einer mechanischen Einzelkornsaat, welche ohne zusätzliche Pneumatik auskommt und zudem georeferenziert erfolgt. Für die Umsetzung flexibler Saatmuster im Rahmen neuer Pflanzenbausysteme ist es allerdings von größerer Relevanz, dass die Saatkornablage sowohl in Fahrtrichtung (longitudinal) als auch in Querrichtung (lateral) beeinflusst werden kann. Der Informationsrückfluss an die Cloud beinhaltet die Geokoordinaten der erfolgten Aussaat, die für nachfolgende Arbeitsprozesse in der Pflanzenpflege genutzt werden können.

Die modulare Vorgehensweise bietet eine Vielzahl von Vorteilen. So besteht die Möglichkeit, mit mehreren Partnern an den einzelnen Komponenten zu entwickeln, während das System in seiner Gesamtheit bereits nach einem Iterationsschritt der Entwicklung konsistente Datenflüsse ermöglicht. Auf diese Weise und aufgrund des Cloud-Ansatzes können Algorithmen zur Datenauswertung und Missionsplanung weiterentwickelt werden, ohne dass auf den Maschinen direkt etwas geändert werden muss. Eine Skalierbarkeit der Rechenleistung ist ebenso gegeben, wie eine unabhängige Austauschbarkeit von einzelnen Maschinen wie UAV oder UGV. Herausfordernd andererseits ist es, eine Vielzahl verschiedener und herstellereinspezifischer Schnittstellen zu nutzen und für den eigenen Anwendungsfall anzupassen.

## Zusammenfassung

Dieser Artikel diskutiert Möglichkeiten zur Vernetzung von bestehender und zukünftiger Landtechnik. In beiden Fällen zeichnet sich eine größere Rolle von Cloud-Anwendungen zur Datenauswertung und Speicherung ab, weil ihre Flexibilität und Performance derer lokaler Lösungen übersteigen. Diese Vernetzung erfordert einen umfangreichen Datenaustausch für den geeignete Standards und Technologien ausgewählt werden müssen.

Auf dieser Erkenntnis aufbauend wurde eine Systemarchitektur konzipiert, die unbemannte Feldrobotik mit Edge- & Cloud Rechen- und Speichereinrichtungen vernetzt. Diese Integration entfernter Infrastruktur hat Auswirkungen auf die IT-Ausstattung der Feldrobotik, die sich damit wie IoT-Geräte verhalten, bis hin zu den Anbaugeräten, die eine eigene Intelligenz zur Beeinflussung des Arbeitsprozesses beinhalten können. Die Entwicklung der einzelnen Aggregate und Anwendungen können unabhängig voneinander und somit parallel erfolgen. Diese Entwicklung findet aktuell statt und erste praktische Erprobungen werden zeitnah angestrebt.

## Literatur

- [1] N.N.: Kamera überwacht Verschleiß von Grubberscharen. URL: <https://lemken.com/de/de/lemken-aktuelles/landtechnik-news/detail/kamera-ueberwacht-verschleiss-von-grubberscharen>, Zugriff am: 11.01.2024.
- [2] Belau, S.; Neitemeier, D.; Witte, J.; Töniges, T.; Ehlert, Y.; Amsbeck, L.: App based chop quality estimation for silage maize harvest quality optimization. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK AgEng 2023 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations, VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, DOI: 10.51202/9783181024270, S. 321-326.
- [3] David R. Mertens: Particle Size, Fragmentation Index, and Effective Fiber: Tools for Evaluating the Physical Attributes of Corn Silages. 2005.
- [4] Hertzberg, J.; Lingemann, K.; Nüchter, A.: Mobile Roboter – Eine Einführung aus Sicht der Informatik. eXamen.press, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg 2012, ISBN: 978-3-642-01725-4.
- [5] Böhm, T.: 5G Smart Country – 5G Pionierprojekt im ländlichen Raum. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Fakultät II – Department für Informatik, Abt. Wirtschaftsinformatik / VLBA, URL: <https://5g-smart-country.de/>, Zugriff am: 23.01.2024.
- [6] N.N.: Farmrobotik für die Unkrautbekämpfung. URL: <https://www.dlg.org/de/mitgliedschaft/newsletter-archiv/2022/33/farmrobotik-fuer-die-unkrautbekaempfung>, Zugriff am: 15.01.2024.
- [7] N.N.: MQTT - The Standard for IoT Messaging. URL: <https://mqtt.org/>, Zugriff am: 23.01.2024.
- [8] N.N.: Keycloak. URL: <https://www.keycloak.org/>, Zugriff am: 23.01.2024.

- [9] Wegener, J. K.; Urso, L.-M.; Hörsten, D. von; Hegewald, H.; Minßen, T.-F.; Schattenberg, J.; Gaus, C.-C.; Witte, T. de; Nieberg, H.; Isermeyer, F.; Frerichs, L.; Backhaus, G. F.: Spot farming – an alternative for future plant production (2019).

### **Autorendaten**

M. Sc. Lars Gerloff und M. Sc. Sören Walther sind Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für mobile Maschine und Nutzfahrzeuge der TU Braunschweig.

Dr.-Ing. Jan Schattenberg ist Stellvertretender Institutsleiter des Instituts für mobile Maschine und Nutzfahrzeuge der TU Braunschweig.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Gerloff, Lars; Schattenberg, Jan; Walther, Sören: Maschinenseitige Sicht auf die Cloudbasierte Landwirtschaft mit 5G-Nutzung. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-8

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171530-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/automatisierung.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## Gesamtentwicklung Traktoren

Roger Stirnimann

### Kurzfassung

In Deutschland wurden 2023 fast genau gleich viele Traktoren neu zugelassen wie im Vorjahr. Alternative Antriebskonzepte waren wiederum viel diskutierte Themen und es wurden verschiedene Prototypen/Studien vorgestellt. Batterieelektrische Traktoren im unteren Leistungsbereich erreichen nach und nach die Serienreife. Zur Anwendung kommt derzeit hauptsächlich das "conversion design" mit zentralem E-Motor und klassischer Getriebe-Hinterachse-Einheit. Fendt stellte die komplett neue 4-Zylinder-Baureihe 600 Vario vor und schiebt den 4-/6-Zylinder-Übergang damit weiter nach oben. Weitere Highlights waren die schweren Zugtraktoren von Case IH und Claas (Quadtrac 715 resp. XERION 12er-Serie) sowie die neuen Großtraktoren von Massey Ferguson und Valtra (9S resp. S-Serie).

### Schlüsselwörter

Traktorenmarkt, Traktortechnik, Traktortrends, alternative Antriebskonzepte, Batterieelektrik

## Agricultural Tractor Development

Roger Stirnimann

### Abstract

In Germany, almost exactly the same number of new tractors were registered in 2023 as in the previous year. Alternative drive concepts were again a much-discussed topic and various prototypes/studies were presented. Battery-electric tractors in the lower power range are gradually reaching series maturity. Currently, the "conversion design" with a central electric motor and classic transmission / rear axle unit is mainly used. Fendt presented the completely new 4-cylinder 600 Vario series and is pushing the 4-/6-cylinder transition further upwards. Other highlights included the heavy-duty tractors from Case IH and Claas (Quadtrac 715 and XERION 12 series respectively) and the new large tractors from Massey Ferguson and Valtra (9S and S series respectively).

### Keywords

Tractor market, tractor technology, tractor trends, alternative drive concepts, battery electrics

## Marktsituation

Die an dieser Stelle über Jahre hinweg aufgeführten Umsatz- und Produktionszahlen der deutschen Traktorenhersteller (ohne Claas) werden vom VDMA nicht mehr zur Verfügung gestellt und **Tabelle 1** beinhaltet für 2023 deshalb nur noch die Neuzulassungen [1]. Mit 30.336 Traktoren lag diese Zahl um nur sechs Einheiten höher als 2022. Damit gibt es wiederum eine kleine Abweichung zu den Zahlen des Kraftfahrt-Bundesamtes (2023: 30.345; 2022: 30.344), auf welchen die Marktanteile in Tabelle 2 (2020 - 2023) und in [2] basieren.

**Tabelle 1:** Traktorengeschäft in Deutschland (Stückzahlen), ohne Geländefahrzeuge [1].

**Table 1:** Tractor business in Germany (units), without terrain vehicles [1].

Jahr/Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Produktion Production	47.893	43.487	46.966	48.587	49.569	50.368	60.426	63.180	n.a.
Neuzulassungen Newly registered	32.220	28.248	33.695	27.670	28.979	32.039	34.472	30.360	30.336
Exporte Exports	37.866	34.828	37.814	37.814	39.266	40.289	49.824	52.330	n.a.
Besitzumschreib. Changing owner	102.988	103.165	106.294	107.299	108.386	116.544	123.509	n.a.	n.a.

**Tabelle 2** beinhaltet die traditionelle Zeitreihe mit den Marktanteilen. Fendt konnte stark zulegen und John Deere auf den zweiten Platz verweisen. Deutz-Fahr behauptete sich mit einem leichten Plus auf Platz 3. Änderungen in der Rangfolge gab es wiederum bei den Marken Claas, Kubota und Case IH / Steyr auf den Plätzen vier bis sechs. New Holland und Massey Ferguson erreichten ähnliche Marktanteile wie im Vorjahr, Valtra konnte erneut zulegen. Detaillierte Zahlen zu den Zulassungen in Deutschland nach Herstellern, Konzernen und Best-Seller-Modellen gab es wiederum in der Zeitschrift "Profi" [2]. Eine umfangreiche Übersicht über Marktzahlen (2022) aus 23 europäischen Ländern wurde in [3] veröffentlicht. Einschätzungen zu den internationalen Landmaschinenmärkten gab es in [4].

## Übersichten, Trends, Tests

### Übersichten

Alternative Antriebskonzepte und Kraftstoffe waren 2023 erneut viel diskutierte Themen. Mit [5] erschien ein umfangreiches Dokument zur Verwendung erneuerbarer Antriebsenergien in landwirtschaftlichen Maschinen. Neben der Darstellung der technischen Entwicklung gibt es darin auch Energiebedarfs-, Verfügbarkeits- und Kostenschätzungen. In [6] wurde über den Abschluss des Projektes H2@AgTech berichtet, welches zum Ziel hatte, die Potenziale von Wasserstoff als Energieträger im Bereich der Landtechnik/Landwirtschaft aufzuzeigen. Wasserstoff war auch Thema in anderen Beiträgen, in [7] beispielsweise wurde über eine Pilotanlage berichtet, in welcher aus Biogas statt Strom grüner Wasserstoff produziert wird.

**Tabelle 2:** Marktanteile der Top 20 in Deutschland (basierend auf Stückzahlen in % der Gesamtzulassungen. Zahlen 2023 nach [2]).

**Table 2:** Market shares of the top 20 in Germany (based on unit sales in % of total registrations, figures 2023 according to [2]).

Jahr/Year	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fendt	17,3	17,1	17,0	16,0	17,1	19,5	19,7	21,5	16,7	17,5	20,2
John Deere	21,3	19,4	19,5	18,2	18,4	23,4	21,4	17,5	17,9	21,2	19,5
Deutz-Fahr	10,5	9,6	10,0	9,5	8,9	6,1	8,1	8,4	8,0	7,8	8,2
Claas	8,0	7,7	8,3	7,1	6,5	7,3	6,8	6,4	6,3	6,5	6,9
Kubota	5,0	5,0	6,0	7,0	8,1	4,8	7,2	6,9	7,0	6,3	6,5
Case IH, Steyr	7,7	10,0	7,7	8,3	6,5	8,4	6,7	7,1	6,8	7,0	5,9
New Holland	7,0	8,0	7,3	6,9	6,2	6,9	4,7	6,3	6,1	5,3	5,2
Massey Ferguson	4,2	4,3	3,8	4,0	4,5	3,5	3,8	4,0	3,7	4,3	4,5
Valtra	2,1	2,0	2,4	2,5	3,0	3,1	3,5	3,2	3,0	3,7	4,5
Solis*	-	-	-	-	-	-	-	2,1	4,7	4,6	4,3
Kukje/Branson	1,0	1,1	1,0	1,4	1,8	1,6	2,1	2,8	2,7	2,6	1,8
Iseki	2,8	2,5	2,9	3,0	2,9	3,0	2,8	2,0	2,5	1,8	1,8
Escorts Ltd.*	-	-	-	-	-	-	-	0,7	1,2	1,4	1,2
S+L+H	1,9	1,8	1,4	2,1	1,9	1,0	1,4	1,8	1,7	1,3	1,2
Kioti*	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,8	0,9	1,1
Mercedes-Benz	1,4	1,2	1,2	1,6	1,2	1,5	1,3	0,9	0,9	1,0	1,0
McCormick/Landini*	-	-	-	-	-	-	-	0,6	1,0	0,8	0,7
Carraro *	-	-	-	-	-	-	-	1,0	0,8	0,6	0,7
TYM*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
Lindner*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Sonstige	-	-	-	-	-	-	-	5,5	6,7	5,4	3,7
<b>Total</b>								<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

\* Leere Felder: Zahlen nicht erfasst oder in „Sonstige“ enthalten oder Hersteller noch nicht auf dem Markt

Unter dem Titel "Weg von fossilen Treibstoffen – Landtechnik als Enabler klimafreundlicher Antriebe im Agribusiness" veröffentlichte der VDMA ein Positionspapier zu alternativen Kraftstoffen [8]. In [9] gab es einen Beitrag über E-Fuels, in [10] einen Überblick über alternative Antriebskonzepte und Kraftstoffe allgemein.

Mit [11] wurde eine umfangreiche Übersicht zum aktuellen Stand der Elektrifizierung bei Traktoren und Geräten veröffentlicht. In [12] gab es einen Beitrag über ein Berechnungsmodell für einfache Umsturzhaken, als möglicher Ersatz für praktische ROPS-Tests.

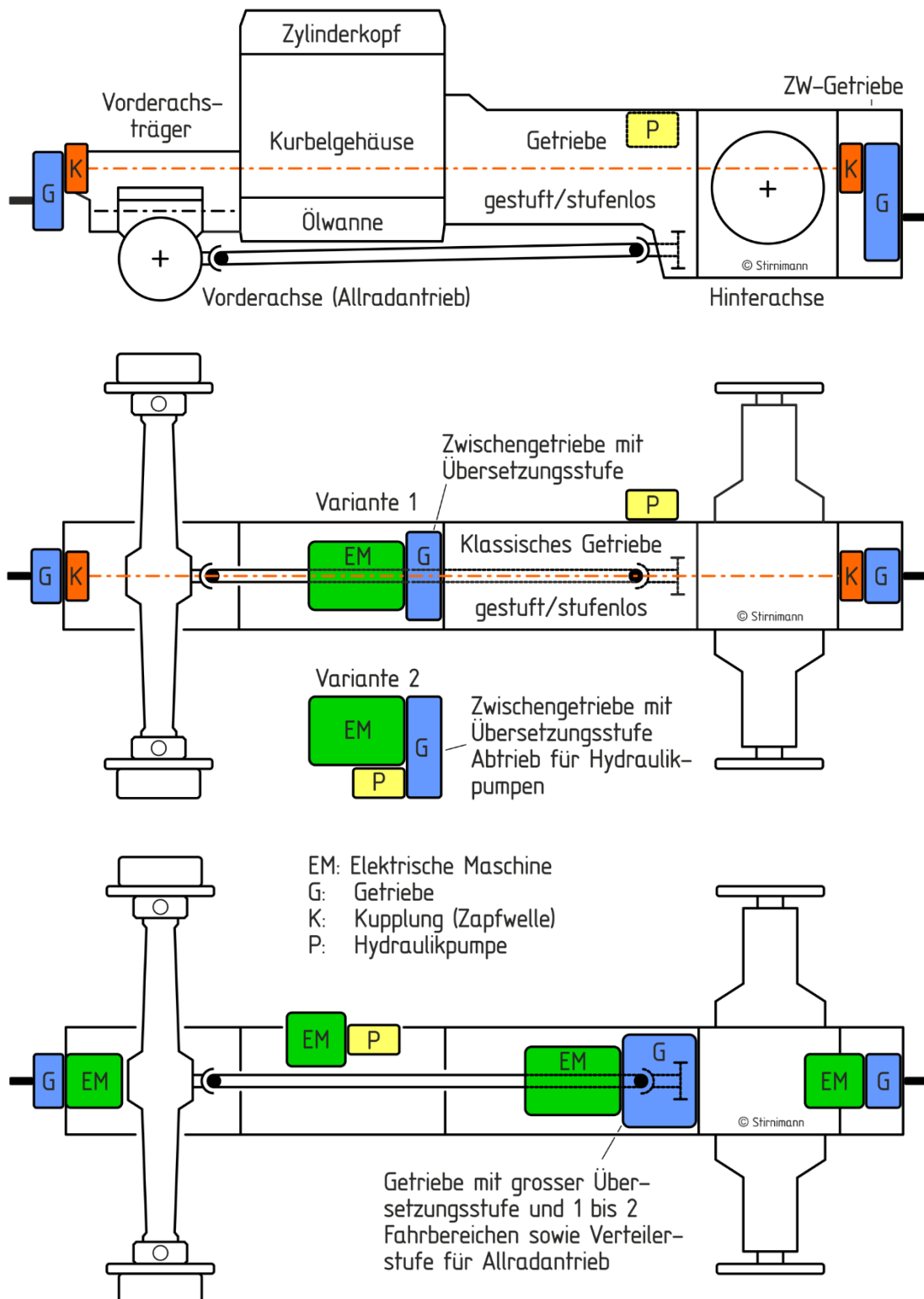
### Trends

Im Vorfeld der Agritechnica wurden wieder zahlreiche Innovationen für den Wettbewerb "Agritechnica Innovation Award" angemeldet. Eine Berichterstattung über die wichtigsten Traktorinnovationen und die allgemeinen Trends gab es in [13].

CNH präsentierte mit dem Steyr Hybrid CVT ein modulares Hybridkonzept für mittlere und große Standardtraktoren. Der vorgestellte Prototyp basiert auf einem Serienmodell der 6-Zylinder-Einstiegsklasse (Baureihe "Impuls", Leistung 132 kW / 180 PS, Radstand < 2,8 Meter), der Dieselmotor leistet hier aber 191 kW / 260 PS. Vom Original übernommen wird das bekannte hydrostatisch-mechanische Stufenlosgetriebe. Komplett neu ist hingegen der Vorderachsträger mit gefederter Einzerradaufhängung und zwei integrierten E-Maschinen. Der Generator wird vom Dieselmotor angetrieben und gibt die erzeugte elektrische Leistung (bis 75 kW) über die Leistungselektronik an den E-Motor an der Vorderachse weiter. In Kombination mit einem elektrostatischen Energiespeicher (SuperCaps) ergibt sich eine seriell-parallele Hybridstruktur, die zahlreichen Funktionen ermöglicht, die bei Traktoren neu sind. Hierzu zählen der variable, aktiv gesteuerte Vorlauf der Vorderachse (E-Steering), die elektrische Boost-Funktion zum schnellen Beschleunigen beim Transport (E-Boost) und der Ausgleich von Lastspitzen (E-Torque-Filling). Weitere Informationen zu diesem Konzept gab es in [14].

Beim DLG-Wettbewerb „AgriFuture Concept Winner 2023“ [15] reichte Fendt eine Studie einer mobilen Brennstoffzelle als "Range Extender" ein, die aus grünem Methanol Strom erzeugen und die Batterie des Fendt e107 V Vario laufend nachladen kann. Da Methanol bei Umgebungsbedingungen flüssig ist, muss es - im Gegensatz zu Wasserstoff - weder unter Druck gesetzt noch gekühlt werden. Die Brennstoffzelle weist eine Leistung von 15 kW auf und kann aus einer 60-l-Tankfüllung Methanol rund 100 kWh elektrische Energie erzeugen. Bei tiefer/mittlerer Auslastung lässt sich die Einsatzzeit des batterieelektrischen Traktors e107 V Vario somit verdoppeln. Angebaut wird das Brennstoffzellenmodul am Front- oder Heckkraftheber, die elektrische Verbindung erfolgt über einen AEF-Stecker. Direkt-Methanol-Brennstoffzellen (DMFC) kamen bisher in Kleinanlagen mit Leistungen bis 5 kW und vor allem im portablen Bereich zur Anwendung [16].

Batterieelektrische Traktoren mit Dauerleistungen bis ca. 55 kW kommen nach und nach auf den Markt. In **Bild 1** sind zwei aktuelle Konzepte schematisch dargestellt. Ausgangspunkt ist die Seitenansicht eines klassischen Antriebs-/Rumpfkonzepes in Blockbauweise (oben). Bei der mittleren Darstellung handelt es sich um eine Obenansicht von E-Traktoren, die auf dem "conversion design" basieren. Der Dieselmotor wird hier durch einen E-Motor ersetzt, der über ein Zwischengetriebe (Übersetzungsverhältnis ca. 2:1) an eine bestehende "Transaxle" (Getriebe-Hinterachse-Einheit) angeflanscht wird. Die Variante 1 entspricht dem Konzept von Fendt beim e107 V Vario (Dauer-/Peakleistung 55/66 kW, Batteriekapazität 100 kWh), die Variante 2 den Schwestermodellen Case IH Farmall 75 C Electric und New Holland T4 Electric (Dauer-/Peakleistung 55/89 kW, Batteriekapazität 110 kWh). Bei den CNH-Modellen weist das Zwischengetriebe eine zusätzlich Abtriebswelle für Hydraulikpumpen auf.



**Bild 1:** Designs für E-Traktoren im Vergleich zu einem klassischen Antriebskonzept.  
**Figure 1:** E-tractor designs compared to a classic drive/chassis concept.

Die Darstellung ganz unten repräsentiert den Aufbau des von Grund auf neu entwickelten Rigitrac SKE 40 (Dauer-/Peakleistung Fahrtrieb 40/64 kW, Batteriekapazität 50 kWh). Der E-Motor für den Fahrtrieb ist über ein Getriebe mit einer größeren Übersetzungsstufe und einer Abtriebsstufe für den Allradantrieb an die Hinterachse angeflanscht. Für ein weiteres E-Traktormodell mit rund 80 kW Fahrtriebsleistung lassen sich in diesem Getriebe auch zwei schaltbare Fahrbereiche integrieren. Für die Front- und die Heckzapfwelle sowie für den Antrieb der Arbeitshydraulikpumpe kommen weitere E-Motoren dazu. Bei diesem Konzept kann auf ein klassisches "Schaltgetriebe" (gestuft oder stufenlos) und auf eine Verstellpumpe für die Arbeitshydraulik verzichtet werden. Die Zapfwellen sind stufenlos, bieten einen Sanftanlauf sowie eine Drehrichtungsumkehr. Die Batterien sind bei den gezeigten Konzepten unter der Haube anstelle des Dieselmotors und/oder zwischen den Achsen angeordnet. Die Ladeleistungen mit Wechselstrom (AC) liegen bei 22 kW, diejenigen mit Gleichstrom (DC) zwischen 80 und 100 kW.

Die Firma Tadás präsentierte zur Agritechnica eine E-Traktor-Studie mit 100 kW Leistung auf der Basis eines Systemtraktors von Systra. Zur Anwendung kommen hier fünf E-Motoren, je einer für die Vorder- und Hinterachse, je einer für die Front- und Heckzapfwelle sowie einer für die Arbeitshydraulikpumpe. Den gleichen Ansatz verfolgte bereits Rigitrac beim Prototyp SKE 50 (Vorstellung 2018). Auch das Start-up-Unternehmen Onox stellte einen E-Traktor-Prototyp vor (Fahrtriebsleistung 50 kW). Neben einer fest verbauten 20 kWh-Batterie ist eine Wechselbatterie mit 30 kWh vorgesehen. An der TU München wurde mit dem TUMtrac eine E-Fahrzeugplattform entwickelt, um neue Batterie- und Antriebskonzepte zu entwickeln. Ein Batteriewechselsystem soll es auch hier als Option geben [17].

Nach Krone/Lemken und AgXeed präsentierte auch Kuhn ein autonomes Trägerfahrzeug ("Karl"). Autonome Traktor-Prototypen wurden u.a. von Kubota mit dem MR 1000A Agri Robo KVT (Basis: M5112) [18] und von Claas mit dem XERION 12.590 gezeigt [19].

Mit "ErgoSteer" führt Fendt bei der neuen Baureihe 600 Vario eine Joy-Stick-Lenkung in der linken Armlehne ein – zusätzlich zum Lenkrad. Durch eine Selbstzentrierung ist ein exaktes Geradeausfahren jederzeit möglich, die Lenkempfindlichkeit kann im Traktorterminal individuell eingestellt werden. ErgoSteer lässt sich bei allen Traktoren mit FendtONE nachrüsten.

Aufgrund der weltweit zunehmenden Bedeutung von Stummelachsen – u. a. getrieben durch die mechanische Unkrautbekämpfung – passt Fendt mit „VarioFlex Duals“ das in Übersee bewährte System mit 3-Meter-Stummelachse und Duo-Radnabe auf eine zulassungsfähige Außenbreite von 2,55 Meter für Europa an. Die Nutzung von Radgewichten und der integrierten Reifendruckverstellanlage VarioGrip ist weiterhin möglich.

John Deere konnte im Frühjahr 2023 die Produktion von zwei Millionen Traktoren im Werk Mannheim feiern, das Jubiläumsmodell war ein 6R 250, **Bild 2** [20]. Die Marke von einer Million Traktoren wurde 1993 mit einem 6400er überschritten, hierfür waren über 70 Produktionsjahre erforderlich. Auch Lindner konnte 2023 mit "75 Jahre Traktorenproduktion" ein Jubiläum feiern.

### Tests

In [21] und [22] wurden die Ergebnisse eines Vergleichstests mit Traktoren in der 300-PS-Klasse veröffentlicht (Claas Axion 870, Deutz-Fahr 8280, John Deere 6R 250, Massey Ferguson 8S.285, McCormick X8.631, New Holland T7.300 und Valtra Q285).



**Bild 2:** Jubiläumsmodelle John Deere 6R 250 und 6400 mit Lanz Bulldog [20].

**Figure 2:** Anniversary models John Deere 6R 250 and 6400 with Lanz Bulldog [20].

### Traktortechnik nach Herstellern

Nachfolgend werden ausgewählte Neu- und Weiterentwicklungen (Serienfahrzeuge) vorgestellt, wie immer ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

**Fendt** stellte die komplett neue Baureihe 600 Vario vor (vier Modelle: 614/616/618/620). Mit Maximalleistungen bis 165 kW / 224 PS (ECE R120), einem maximal zulässigen Gesamtgewicht von 13,5 t (bei 50 km/h), einem Radstand von 2,72 m und Hinterreifen bis 1,95 m Durchmesser definiert Fendt die 4-Zylinder-Topklasse neu (**Tabelle 3**). Angetrieben werden die 600er-Modelle vom neuen 4-Zylinder-Aggregat mit 5,0 l Hubraum aus der neuen CORE-Baureihe (siehe Kapitel "Motoren und Getriebe bei Traktoren"). Das Mehrleistungskonzept "DynamicPerformance" mit bis zu 11 kW / 15 PS Zusatzleistung wird hier erstmals für alle Modelle angeboten (bei den Baureihen 200, 300 und 700 Gen7 bisher nur für die Topmodelle).

Mit den neuen 600er zieht Fendt auch das VarioDrive-Konzept mit verspannungsfreiem und bis 25 km/h permanent eingeschaltetem Allradantrieb weiter nach unten. Das TA150 genannte Getriebe arbeitet wie bei Fendt üblich mit hydrostatischen Maschinen in Schrägachsen-Bauweise. Auch andere Ausstattungen wie VarioGrip, die flachdichtenden Hydraulikkupplungen und der Anhängerbremsen-Assistent wurden von den größeren Baureihen übernommen. Weitere Informationen dazu gab es in [23].

Den Serienanlauf für das batterieelektrische Traktormodell e107 V Vario (Schmalspur) kündigte Fendt für das vierte Quartal 2024 an, bedient werden sollen damit vorerst nur die

---

Pilotmärkte Deutschland, Niederlande und Norwegen. Für das auf der Agritechnica ausgestellte Modell in Standardausführung gibt es noch keinen Markteinführungstermin.

Bei **John Deere** konzentrierte man sich im Berichtsjahr auf Verbesserungen bei aktuellen Modellen. Zum Modelljahr 2024 erhalten alle Traktoren der Baureihen 6R (6-Zylinder), 7R, 8R und 9R serienmäßig das größere Bedien- und Anzeigeterminal "G5Plus CommandCenterTM" mit schnellerem Prozessor. Bei den 7R-Modellen gibt es neu ein Lenksystem mit Selbstzentrierung, die Funktion lässt sich im CommandCenterTM aktivieren. An den Vorderachsen werden zwei zusätzliche Bremsscheiben und größere Lenkzylinder verbaut.

**Tabelle 3:** Fendt Vario 620 im Vergleich zu anderen Traktormodellen in der 4-Zylinder-Topklasse.

**Table 3:** Fendt Vario 620 compared to other tractor models in the 4-cylinder top class.

Tabelle: R. Stirnimann		Fendt 620	Massey Ferguson 6S180 D-VT	Deutz-Fahr 6170.4 TTV (MY 2024)	Kubota M7-173
<b>Anzahl Zylinder / Hubraum</b>	# / l	4 / 5.0	4 / 4.9	4 / 4.0	4 / 6.1
<b>Maximalleistung ohne Boost <sup>1)</sup></b>	kW/PS	154 / 209	132 / 180	126 / 171	125 / 170
<b>Maximalleistung mit Boost <sup>1)</sup></b>	kW/PS	165 / 224	147 / 200	-	129 / 175
<b>Radstand</b>	m	2.72	2.67	2.54	2.72
<b>Max. Reifendurchmesser hinten</b>	m	1.95	1.85	1.85	1.85
<b>Max. zul. Gesamtgewicht <sup>2)</sup></b>	t	13.5	12.5	12.5	11.5
<b>Leergewicht <sup>3)</sup></b>	t	7.75	7.75	7.75	7.25
<b>Nutzlast</b>	t	5.75	4.75	4.75	4.25
<b>Verhältnis Nutzlast/Leergewicht</b>	-	0.74	0.61	0.61	0.59
<b>Verhältnis Masse/Leistung</b> (mit Boost, wenn vorhanden)	kg/kW	50.0	51.0	61.5	56.2
	kg/PS	34.6	38.8	45.3	41.4

<sup>1)</sup> Bruttoleistungen nach ECE-R120; <sup>2)</sup> bis 50 km/h; <sup>3)</sup> Leergewichte mit Vollausrüstung und vollen Tanks, Schätzung des Autors

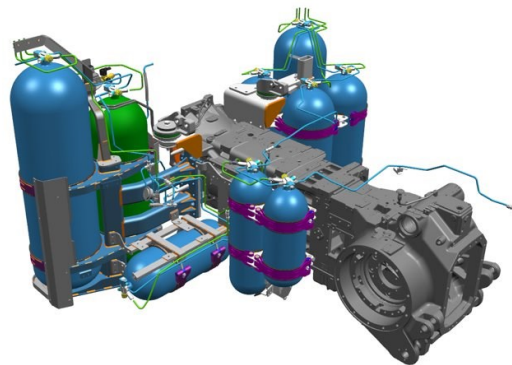
Nach der Vorstellung der Serie 6 mit 6-fach-Lastschaltgetrieben im letzten Jahr stellte **Deutz-Fahr** zur Agritechnica neue Versionen mit Stufenlosgetrieben vor (4-Zylinder 6160.4 / 6170.4 TTV und 6-Zylinder 6160 / 6170 / 6180 TTV). Die bisherigen "Transaxles" mit Eccom-Getrieben und SDF-eigener Hinterachse werden hier durch die TERRAMATIC-Einheiten TMT16 und TMT18 abgelöst. Im hydrostatischen Zweig kommt die Einheit A40CT von Bosch-Rexroth zur Anwendung (Pumpe und Motor in Schrägscheibenbauweise, 45/45 cm<sup>3</sup>). Die Modelle 6160.4, 6170.4, 6160 und 6170 TTV weisen neu ein maximal zulässiges Gesamtgewicht von 12,5 t auf (siehe 6170.4 in Tabelle 3), der 6180 TTV mit dem TMT18 ein solches von 13,5 t (mit gefederter/gebremster Vorderachse gültig bis 50 km/h).

Von **CNH** gab es weitere Informationen zu den schon im letzten Jahrbuch erwähnten batterieelektrischen Modellen Case IH Farmall 75 C Electric und New Holland T4 Electric Power, insbesondere zu den Autonomie- und Sicherheitsfunktionen. Die am Kabinendach und vorne in der Motorhaube montierten Kamerasysteme sollen eine auf das Kabinenterminal übertragbare 360-Grad-Traktorrundumsicht, eine Erkennung von Heckanbaugeräten für das

vereinfachte Ankuppeln sowie eine automatische Zapfwellenabschaltung für den Fall, dass Personen der Gelenkwelle zu nahekommen, ermöglichen. Daneben soll es die Funktionen „Route Mode“ (Traktor folgt einer festgelegten Fahrabfolge, beispielsweise in Obstplantagen), „Invisible Bucket“ (verbesserte Übersicht bei Frontladerarbeiten) und „Follow-Me“ geben. Mit Letzterer kann der Traktor einer Person folgen, ergänzend dazu ist eine Gestensteuerung vorgesehen, dank welcher dieser auch über Handzeichen Fahrhinweisungen entgegennehmen kann.

Zusätzliche Informationen gab es auch zum Traktor New Holland T7.270 Methane Power LNG. In den beiden vakuum-isolierten LNG-Tanks sollen rund 200 kg Methan mitgeführt werden können, was im Vergleich zu den 32 kg in den am Traktorrumpf angebrachten CNG-Druckbehältern des T6.180 Methane Power über sechs Mal mehr ist. Der Boil-off-Gas-Problem bei LNG tritt New Holland mit einem „Cryo-Cooler“ entgegen, der das Methan ständig unter minus 162 Grad Celsius und somit in flüssigem Zustand hält. Die für den elektrisch angetriebenen Kühler erforderliche Energie kommt aus einer Batterie, die entweder über eine externe Stromquelle oder den integrierten IC-Generator geladen werden kann (Betrieb mit Boil-off-Gas). Die Markteinführung ist für Ende 2025 vorgesehen.

Auf der Agritechnica präsentierte New Holland mit dem T7.270 Methane Power CNG zudem ein weiteres Modell mit CNG-Behälter, bei dem sich durch eine optimierte Anordnung rund 115 kg Methan mitführen lassen, **Bild 3**. Mit einem "Range Extender" für den Frontanbau sollen weitere 100 kg möglich sein.



**Bild 3:** Größere CNG-Behälter mit optimierter Anordnung beim T7.270 CNG (Quelle: New Holland).

**Figure 3:** Larger CNG tanks with optimised arrangement on the T7.270 CNG (Source: New Holland).

Mit den Modellen Case IH Optum 340, New Holland T7.340 und Steyr Terrus 6340 schiebt CNH die Leistung seiner kompakten Großtraktoren-Baureihen auf 250 kW / 340 PS hoch, bei gleichen Abmessungen und Leergewichten. Diese Maximalleistung steht wie bei den darunter liegenden Modellen unter allen Einsatzbedingungen zur Verfügung (kein Boost).

Case IH stellte mit dem Quadtrac 715 zudem ein neues Knicklenker-Flaggschiff mit einer Brutto-Maximalleistung von 572 kW / 778 PS vor (6-Zylinder-Motor FPT Cursor 16 TST mit 15,9 l Hubraum und 2-stufiger Turboaufladung). Die Raupenlaufwerke wurden zur besseren Kraftübertragung um 10 cm verlängert und der Durchmesser des Antriebsrades auf über 100

cm vergrößert. Neu können diese auch mit der Laufwerksfederung PowerFlex geordert werden. Weitere Information dazu gab es in [24].

Steyr legte mit der neuen Baureihe "Plus" (fünf Modelle mit max. Leistungen zwischen 59-86 kW / 80-117 PS) im unteren Leistungsbereich nach und löst damit die Baureihe "Kompakt" ab.

Highlight bei **Claas** war die Vorstellung der neuen XERION-Modelle 12.590 und 12.650 (Brutto-Maximalleistung bis 480 kW / 653 PS), **Bild 4**. Das im letzten Jahr bei den bisherigen XERION-Modellen eingeführte ZF-Stufenlosgetriebe Eccom 5.5 wird auch hier verwendet, wegen den höheren Drehmomenten beinhaltet das Pumpenverteilergetriebe aber noch eine „Hochtreiberstufe“. Damit können die Getriebeeingangsmomente heruntergesetzt und die Motorleistungen mit höheren Drehzahlen übertragen werden. Für die 12er-Baureihe im eigenen Haus komplett neu entwickelt wurden Triangel-Raupenlaufwerke mit form-schlüssigem Antrieb, weil auch diese Modelle mit Achsschenkel- und nicht mit der in dieser Leistungsklasse üblichen Knicklenkung ausgestattet sind. Die Boogie-Aufhängung der Zwischenrollen ist in eine separate Schwinge integriert, die über Gummielemente gedämpft wird. In Europa werden die 12er-Modelle ausschließlich mit Raupenlaufwerken angeboten, für Märkte mit weniger strikten Breitenvorgaben gibt es die Traktoren auch mit Radfahrwerken. Montieren lassen sich hier u.a. Zwillingsreifen der Dimension 800/70R42 (Außendurchmesser 2,15 m). Bei der Hydraulik sind bis zu drei Pumpen mit einer Gesamtfördermenge von 537 l/min bei 200 bar möglich. Weitere Informationen dazu gab es in [25].



**Bild 4:** Neue XERION 12er-Serie von Claas in Rad- und Raupenausführung [26].

**Figure 4:** New XERION 12 series from Claas in wheeled and tracked versions [26].

Im unteren Leistungsbereich stellte Claas die neuen Baureihen Elios 200, Elios 300 und Axos 200 vor (Leistungen bis 76 kW /103 PS), die zusammen mit Carraro entwickelt wurden.

Auch bei **Massey Ferguson** und **Valtra** lagen die großen Neuheiten im oberen Leistungsbereich. MF löst mit sechs neuen 9S-Modellen die bisherige Großtraktoren-Baureihe 8700S ab und stattet diese mit der von den 8S-Reihe her bekannten Kabine aus. Beim Antriebsstrang kommt die neueste Generation des AGCO-Power-Motors mit 8.4 l Hubraum (84 LXTN-D5, siehe Kapitel "Motoren und Getriebe bei Traktoren") und das bekannte Stufenlosgetriebe ML260 zur Anwendung. Die Brutto-Leistungen reichen von 210 bis 313 kW (285 bis 425 PS), das Top-Modell erreicht die Maximalleistung unter allen Bedingungen, die darunterliegenden mit einem Boost bis 22 kW / 30 PS.

---

Mit dem gleichen Antriebsstrang arbeitet die neue S-Serie von Valtra, **Bild 5**. Gebaut wird die 6. Generation nicht mehr in Beauvais/Frankreich, sondern in Suolahti/Finnland. Damit kann die S-Serie jetzt auch mit den Ab-Werk-Optionen aus dem "Unlimited Studio" ausgestattet werden. Ein weiteres Differenzierungsmerkmal ist die von der Q-Serie her bekannte Kabine, die sich wahlweise mit der Rückfahreinrichtung "TwinTrac" bestellen lässt. Valtra führte überdies die neue Funktion "SmartTurn" ein, die am Vorgewende neben U-Turns und Beet-Modus (für gezogene Geräte) neu auch Y- und K-Turns ermöglicht (geeignet für 3-Punkt-Geräte). In Kombination mit "Auto U-Pilot" soll das Fahren auf dem Feld damit fast vollständig automatisiert werden können.



**Bild 5:** Neue S-Serie Valtra, die in Finnland gebaut wird [27].

**Figure 5:** New S Series Valtra to be built in Finland [27].

**ARGO** präsentierte auf der Agritechnica eine größere Kabine für die Baureihen McCormick X7.6 und X8. Die Baureihen X5 (70-84 kW / 95-114 PS) und X6.4 (100-114 kW / 136-155 PS) werden mit 3-fach- resp. 6-fach-Lastschaltgetrieben aus eigener Entwicklung angeboten, bei welchen neu auch die vier synchronisierten Gänge automatisch geschaltet werden können. Der X5-Getriebebaukasten sowie das P6-Drive-Getriebe für die Baureihe X6.4 sind im Kapitel "Motoren und Getriebe bei Traktoren" in Form von Getriebeplänen dargestellt.

### **Besondere Bauarten**

Mercedes-Benz Special Trucks stellte auf der Agritechnica das neue Bediensystem Uni-Touch für die Unimog-Geräteträgermodelle U219 bis U535 vor. Dieses beinhaltet eine neue Mittelkonsole, ein Touchscreen und eine flexible Positionierung des Joysticks [28].

### **Traktor und Gerät**

In [29] wurde über die Entwicklung einer Methode zur Erkennung der Pflugfurche durch autonome Fahrzeuge beim Onland-Pflügen unter Verwendung eines 3D-LiDAR-Sensors berichtet. Der Ansatz soll auch auf den Einsatz von anderen Bodenbearbeitungsgeräten mit ähnlichen Merkmalen übertragen werden können. Aus China gab es einen Bericht über die Entwicklung einer Testeinrichtung für elektrohydraulische Kraftheberregelungen beim Pflügen (Lage- und Zugkraftregelung) [30].

## Zusammenfassung

Alternative Antriebskonzepte waren wiederum viel diskutierte Themen und es wurden verschiedene Prototypen/Studien vorgestellt. Batterieelektrische Traktoren im unteren Leistungsbereich erreichen nach und nach die Serienreife. Zur Anwendung kommt derzeit hauptsächlich das "conversion design" mit zentralem E-Motor und klassischer Getriebe-Hinterachse-Einheit. Fendt stellte die komplett neue 4-Zylinder-Baureihe 600 Vario vor und schiebt den 4-/6-Zylinder-Übergang weiter nach oben. Weitere Highlights waren die schweren Zugtraktoren von Case IH und Claas (Quadtrac 715 resp. XERION 12er-Serie) sowie die neuen Großtraktoren von Massey Ferguson und Valtra (9S resp. S-Serie).

## Literatur

- [1] N.N.: Informationen des VDMA Landtechnik, Frankfurt/M. Stand: Februar 2024.
- [2] Bensing, T.: Schlepperzulassungen 2023: +1. Profi 37 (2024) H. 3, S. 84-86.
- [3] Schulze Ising, A.: Jahresbilanz im Minus. Eilbote 71 (2023) H. 11, S. 6-17.
- [4] Batisweiler, C.: Superzahlen - aber Gegenwind aus Ost. Eilbote 71 (2023) H. 32, S. 8-10.
- [5] Eckel, H.; Remmele, E.; Frerichs, L.; Hipp, J.; Müller-Langer, F.; Schröder, J.: Verwendung erneuerbarer Antriebsenergien in landwirtschaftlichen Maschinen. KTBL 2023. URL: [https://www.ktbl.de/fileadmin/user\\_upload/Artikel/Energie/Antriebsenergien/12643\\_Antriebssysteme.pdf](https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Artikel/Energie/Antriebsenergien/12643_Antriebssysteme.pdf), Zugriff am 30.01.2024.
- [6] Kälble, G.: Projektabschluss: Gehört H2 die Zukunft? Eilbote 71 (2023), H. 7, S. 8-11.
- [7] Kälble, G.: Grüner Wasserstoff direkt vom Bauernhof. Eilbote 71 (2023), H. 24, S. 8-11.
- [8] Erhard, T.; Schmitt, M.: Weg von fossilen Treibstoffen - Landtechnik als Enabler klimafreundlicher Antriebe im Agribusiness. VDMA-Positionspapier 2023. URL: [https://www.vdma.org/documents/34570/4887668/LT\\_Positionspapier\\_Alternative\\_Antriebe\\_und\\_Kraftstoffe\\_2023-09.pdf/8a45c138-db83-481a-9b1f-f8eba5435b2a?t=1695292560169](https://www.vdma.org/documents/34570/4887668/LT_Positionspapier_Alternative_Antriebe_und_Kraftstoffe_2023-09.pdf/8a45c138-db83-481a-9b1f-f8eba5435b2a?t=1695292560169), Zugriff am 30.01.2024.
- [9] Neumann, H.: E-Fuels: Hoffnungsträger oder Feigenblatt? Top Agrar 52 (2023) H. 7, S. 110-113.
- [10] Stirnimann, R.: Traktorantriebe werden in Zukunft vielfältiger. Eilbote 71 (2023) H. 45-45, S. 16-21.
- [11] Mocera, F.; Somà, A.; Martelli, S.; Martini, V. Trends and Future Perspective of Electrification in Agricultural Tractor-Implement Applications. *Energies* 2023, 16, 6601. <https://doi.org/10.3390/en16186601>.
- [12] Lim, R.-G.; Kim, W.-S.; Do, Y.-W.; Siddique, M.A.A.; Kim, Y.-J.: Performance Evaluation of a Virtual Test Model of the Frame-Type ROPS for Agricultural Tractors Using FEA. *Agriculture* 2023, 13, 2004. <https://doi.org/10.3390/agriculture13102004>.

- [13] Stirnimann, R.: Trends bei Traktoren. DLG-Pressemeldung 2023.  
URL: [https://www.agritechnica.com/de/presse/aktuelle-meldungen#!/news/trends-bei-traktoren\\_2023](https://www.agritechnica.com/de/presse/aktuelle-meldungen#!/news/trends-bei-traktoren_2023), Zugriff am 30.01.2024.
- [14] Bensing, T.: Silber für ein spannendes Konzept. Profi 35 (2023) H. 12, S. 120-122.
- [15] N.N.: Range Extender e100 Vario. URL: <https://www.agritechnica.com/de/awards/agrifuture-concept-winner/shortlist-2023>, Zugriff am 31.01.2024.
- [16] Klell, M.; Eichlseder, H.; Trattner, A.: Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Wiesbaden: Springer Fachmedien GmbH 2018, ISBN: 978-3-658-20446-4.
- [17] Götz, K.: The Tractor Development Platform. URL: <https://www.mos.ed.tum.de/ftm/labs/electric-vehicle/tumtrac-forschungstraktor/>, Zugriff am 31.01.2024.
- [18] N.N.: Kubotas Agri Robo KVT: Autonom arbeitender Traktor der Zukunft. URL: <https://kdg.kubota-eu.com/blog/news/kubotas-agri-roboter-kvt-autonom-arbeitender-traktor-der-zukunft/#agriculture>, Zugriff am 31.01.2024.
- [19] N.N.: Innovation Lab: CLAAS zeigt auf Agritechnica 2023 nachhaltige und autonome Technik für die Landwirtschaft von Morgen und Übermorgen. URL: <https://www.claas-gruppe.com/presse/medien/pressemitteilungen/innovation-lab--claas-zeigt-auf-agritechnica-2023-nachhaltige-und-autonome-technik-fuer-die-landwirtschaft-von-morgen-und-uebermorgen/2836964>, Zugriff am 31.01.2024.
- [20] N.N.: 2 Millionen John Deere Traktoren aus Mannheim. URL: <https://www.deere.de/de/unser-unternehmen/news-und-medien/pressemitteilungen/2023/2-millionen-john-deere-traktoren-aus-mannheim.html>, Zugriff am 31.01.2024.
- [21] Wilmer, H.: Die 300-PS-Klasse im Vergleich. Profi 35 (2023) H. 12, S. 18-27.
- [22] Wilmer, H.: 300-PS-Klasse, Teil 2. Profi 36 (2024) H. 1, S. 14-21.
- [23] Wilmer, H.: 4 Zylinder, 224 PS, 1 Fahrbereich. Profi 35 (2023) H. 11, S. 32-35.
- [24] Bensing, T.: Zieht gut aus. Profi 35 (2023) H. 10, S. 30-32.
- [25] Wilmer, H.: Zug-Maschine. Profi 35 (2023) H. 8, S. 26-29.
- [26] N.N.: Tractor of the Year 2024, Farm Machine 2024 und AE50: Neue Xerion der 12er Serie von Claas dreifach ausgezeichnet. URL: <https://www.claas-gruppe.com/presse/medien/pressemitteilungen/tractor-of-the-year-2024--farm-machine-2024-und-ae50---neue-xerion-12er-serie-von-claas-dreifach-ausgezeichnet/2845172>, Zugriff am 31.01.2024.
- [27] Valtra bringt die 6. Generation der S-Serie auf den Markt. Entwickelt und gebaut in Finnland. Pressemitteilung. URL: <https://www.valtra.de/news/groesste-beste-finnland.html>, Zugriff am 31.01.2024.
- [28] Keppler, S.: Bedienung auf neuem Level. Lohnunternehmen 77 (2024) H. 2, S. 36-37.
- [29] Goetz, K.T.; Soitinaho, R.; Oksanen, T.: Ploughing furrow recognition for onland ploughing using a 3D-LiDAR sensor. Computers and Electronics in Agriculture 210 (2023), Dokument 107941, ISSN 0168-1699.
-

- [30] Sun, X.; Song, Y.; Wang, Y.; Qian, J.; Lu, Z.; Wang, T.: Design and Test of a Tractor Electro-Hydraulic-Suspension Tillage-Depth and Loading-Control System Test Bench. Agriculture 2023, 13, 1884. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101884>.

### **Autorendaten**

Dipl.-Ing. agr. FH, Dipl.-Ing. Wirtschaft FH, Executive MBA Roger Stirnimann ist Agrartechnik-Dozent an der Berner Fachhochschule.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Stirnimann, Roger: Gesamtentwicklung Traktoren. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-14

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171532-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/gesamtentwicklung-traktoren.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Motoren und Getriebe bei Traktoren**

Roger Stirnimann, Karl Theodor Renius, Christian Birkmann

### **Kurzfassung**

Im Berichtsjahr wurden wieder mehrere neue Dieselmotoren vorgestellt, darunter auch 4-Zylinder in der 5-l-Hubraumklasse. Der Trend zu Verbrennungsmotoren für alternative Kraftstoffe hält weiter an und auffallend viele Hersteller stellten auf der Agritechnica Prototypen für Wasserstoff aus. Weichai Lovol präsentierte den Traktor P 7240 (180 kW) mit einem in China produzierten CVT-Getriebe, das auf Entwicklungen von VDS basiert. ZF stellte verschiedene Konzepte zur Elektrifizierung von Traktoren vor, darunter auch eine E-Hinterachse. ARGO brachte in den letzten zwei Jahren neue Lastschaltgetriebe auf den Markt, die anhand von Getriebeplänen besprochen werden. Aus einem anderen Beitrag wird ein Diagramm mit äquivalenten Motorschleppmomenten wiedergegeben. Die Methoden des „Model Based Systems Engineering“ (MBSE) gewinnen in der Landtechnik an Bedeutung. Sie ermöglichen die Erstellung von "digitalen Zwillingen" der physischen Produkte und damit kürzere Entwicklungszyklen.

### **Schlüsselwörter**

Dieselmotor, alternative Kraftstoffe, Motorschleppmoment, Elektrifizierung, Lastschaltgetriebe

## **Tractor Engines and Transmissions**

Roger Stirnimann, Karl Theodor Renius, Christian Birkmann

### **Abstract**

Several new diesel engines were presented again in the reporting year, including 4-cylinder engines in the 5 litre displacement class. The trend towards combustion engines for alternative fuels continues and a striking number of manufacturers exhibited prototypes for hydrogen at Agritechnica. Weichai Lovol presented the P 7240 tractor (180 kW) with a CVT transmission produced in China and based on developments from VDS. ZF presented various concepts for the electrification of tractors, including a rear axle with electric drive technology. ARGO has introduced new powershift transmissions in the past two years, which are discussed using transmission diagrams. Equivalent engine drag torques are reported from another publication by a diagram. The methods of "Model Based Systems Engineering" (MBSE) are becoming increasingly important in agricultural engineering. They enable the creation of "digital twins" of physical products and therefore shorter development cycles.

### **Keywords**

Diesel engine, alternative fuels, engine drag torque, electrification, powershift transmission

---

## Verbrennungsmotoren

Nach zwei etwas "ruhigeren" Jahren wurden 2023 wieder mehrere neue Dieselmotoren vorgestellt. Parallel dazu setzte sich der Trend zu Verbrennungsmotoren für alternative Kraftstoffe fort. In Tabelle 1 sind solche Kraftstoffe mit einigen Grunddaten aufgelistet (Auswahl).

**Tabelle 1:** Übersicht über alternative Kraftstoffe mit Diesel als Referenz [1].

**Table 1:** Overview of alternative fuels with diesel as a reference [1].

Kraftstoff / Kurzbezeichnung		Druckniveau	Temperatur	Dichte	Heizwerte	
		[bar]	[° C]	[kg/l]	[MJ/kg]	[MJ/l]
Diesel	B0/B7	1	15	0.83	43	35.7
Rapsöl	R100	1	15	0.92	37	34.0
Fettsäuremethylester	FAME/B100	1	15	0.88	37	32.6
Hydriertes Pflanzenöl	HVO	1	15	0.78	44	34.3
Komprimiertes Methan	CNG	200	0	0.16	47	7.5
Flüssiges Methan	LNG	1	-162	0.42	47	19.7
Komprimierter Wasserstoff	CGH2	350	0	0.026	120	3.1
		700	0	0.042	120	5.0
Flüssiger Wasserstoff	LH2	1	-253	0.071	120	8.5

Die bei Umgebungsbedingungen flüssigen Alternativen (für dieselmotorische Verbrennung) weisen volumetrische Energiedichten (MJ/l) auf, die nahe bei Diesel liegen. HVO hat zudem ähnliche chemische Eigenschaften, weshalb an Motoren kaum Anpassungen erforderlich sind. Viele Hersteller haben ihre Aggregate für die Verwendung von HVO freigegeben.

Methan und Wasserstoff sind gasförmig und müssen entweder verdichtet oder verflüssigt werden, was neben angepasster Motortechnik auch spezielle Tank- und Druckbehälterkonzepte erfordert. Die auf das Volumen bezogenen Energiedichten sind im Vergleich zu Diesel aber dennoch wesentlich geringer.

Zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden in [2] Batterie-basierte Antriebe, Brennstoffzellen und H<sub>2</sub>-Verbrennungsmotoren verglichen. Für Letztere beschreibt der Beitrag aus Sicht von Borg Warner nötige technische Anpassungen und berechnet für ein leichtes Nutzfahrzeug (3,5 t) die Gesamtbetriebskosten (TCO) unter Annahme von 6 € je kg H<sub>2</sub>. Die Energiekosten je km unterscheiden sich danach für die drei Varianten nur wenig (bei leichten Vorteilen für die Brennstoffzelle). Für große Reichweiten bzw. Betriebsdauern (z. B. von Fern-Lkw, Traktoren, Baumaschinen) schneidet der H<sub>2</sub>-Verbrennungsmotor wegen der hier niedrigsten spezifischen Fahrzeug-Herstellkosten am günstigsten ab.

Wahrscheinlich stellten deswegen viele namhafte Motorenhersteller H<sub>2</sub>-Verbrennungsmotoren (H<sub>2</sub>-ICE) auf der Agritechnica aus. Mit dem B6.7H präsentierte Cummins einen 6-Zylinder (6,7 l Hubraum), der ebenfalls auf dem im letzten Jahrbuch erwähnten Fuel-Agnostic-Konzept aufbaut (einheitlicher Grundmotor, unterschiedliche Zylinderkopfmodule für Diesel, Methan und Wasserstoff). FPT stellte die H<sub>2</sub>-Version des XC13 (6 Zylinder, 12,9 l Hubraum) aus, auch aus einem Baukasten mit einheitlichem Grundmotor und verschiedenen Zylinderkopfmodulen.

Daneben gab es H2-ICE-Prototypen u.a. von Kubota (4 Zylinder, 3,8 l Hubraum), Liebherr (H964, 4 Zylinder, 9 l Hubraum, Direkteinspritzung, 2-stufige Turboaufladung mit Zwischenkühlung) und MAN (H4576, 6 Zylinder, 16,8 l Hubraum, Direkteinspritzung). Dieser Motor basiert auf dem bekannten D3876 mit 15,3 l Hubraum und weist rund 80% Gleichteile auf. Wegen der geringeren Leistungsdichte von H2-ICE wurde beim H4576 die Bohrung und somit der Hubraum vergrößert (Leistung in beiden Motoren 368 kW) [3]. Zur Verminderung der bei H2-ICE auftretenden NOX-Emissionen setzen die Hersteller auf AGR und H2-SCR-Katalysatoren.

In [4] werden Entwicklungsansätze von Liebherr für H2-ICE diskutiert (6-Zylinder mit 13,5 l Hubraum mit Saugrohreinspritzung und 4-Zylinder mit 9,0 l Hubraum mit Direkteinspritzung). Als Vorteile von H2-Verbrennungsmotoren werden u.a. genannt: Unempfindlich gegen Vibrationen, CO<sub>2</sub>- und NOX-Emissionen nahezu null, geringe Ansprüche an die Reinheit von H<sub>2</sub> und Luft sowie vergleichbare Schnittstelle wie beim Dieselmotor.

### **Klassische Dieselmotoren**

Die Deutz AG präsentierte mit den neuen 4-Zylinder-Motoren TCD 3.9 und TCD 4.0 (beide 3,94 l Hubraum) Anfang 2023 eine erste gemeinsame Entwicklung aus der Ende 2020 angekündigten Kooperation mit John Deere. Die Motoren arbeiten mit DOC/DPF/SCR (keine AGR) und erreichen in der Ausführung "TCD 4.0 Performance" Leistungen bis 130 kW. Längerfristig sollen damit die bekannten Deutz-Aggregate mit 3,6 und 4 l Hubraum abgelöst werden. Bei John Deere läuft dieser Motor unter der Bezeichnung JD4.

Auf der Agritechnica zeigte Deutz den bereits 2021 vorgestellten 4-Zylinder-Motor TCD 5.2 mit 5,2 l Hubraum, der nun serienreif sei (komplette Eigenentwicklung mit den Abgasnachbehandlungssystemen DOC/DPF/SCR, ohne AGR). Traktor-Einbaubeispiele für die Motoren TCD 3.9, TCD 4.0 und TCD 5.2 sind noch nicht bekannt. Aus einer weiteren Kooperation mit Daimler Truck stellte Deutz zudem einen 6-Zylinder-Motor mit 7,7 l Hubraum vor. In [5] gab es ein Interview mit Hintergrundinformationen zu den verschiedenen Kooperationen von Deutz.

Auch andere Hersteller bieten zunehmend 4-Zylinder-Motoren in der 5-l-Hubraumklasse an, Tabelle 2. Das dürfte dazu führen, dass der 4-/6-Zylinder-Übergang bei Traktoren weiter nach oben geschoben wird. AGCO Power ist mit dem 4,9-l-Aggregat in dieser Klasse schon länger vertreten und baut das Angebot mit dem CORE50 mit 5 l Hubraum weiter aus (DOC/DPF/SCR,

**Tabelle 2:** Übersicht mit 4-Zylinder-Motoren, die mehr als 4,5 l Hubraum aufweisen (Auswahl)  
**Table 2:** Overview of 4-cylinder engines with more than 4.5 litre displacement (selection)

Hersteller	Bezeichnung	Hubraum [l]	Traktor-Einbaubeispiele	P <sub>max</sub> [kW/PS]
AGCO Power	49HD	4.9	MF 6S / Valtra N	148/201
AGCO Power	CORE50	5.0	Fendt 600 Vario	165/224
Deutz	TCD 5.2	5.2	noch kein Beispiel	-
Kubota	V5009	5.0	noch kein Beispiel	-
Kubota	V6108	6.1	Kubota M6 / M7	129/175

keine AGR). Erste Anwendung ist in der neuen Baureihe 600 von Fendt. Im Topmodell 620 mit einer Maximalleistung von 165 kW (224 PS) wird die 200-PS-Marke bei einem 4-Zylinder-Traktormotor erstmals deutlich überschritten - bei sogar nur 1900 min<sup>-1</sup> Nenndrehzahl.

Überarbeitet hat AGCO Power den 6-Zylinder-Motor mit 8,4 l Hubraum, der als Typ 84 LXTN in den neuen Großtraktoren-Baureihen von Massey Ferguson und Valtra (9S resp. S-Serie) verbaut wird. Die zweistufige Turboaufladung (mit Zwischenkühlung) des Vorgängers wurde durch eine einstufige Version mit eWastegate ersetzt, die AGR fällt ebenfalls weg.

FPT stellte mit dem Cursor 16 TST eine neue Version des 6-Zylinder-Aggregats mit 15,9 l Hubraum vor. TST steht für zweistufig Turboaufladung (Two Stage Turbo) inklusive Zwischenkühlung. Die erste Serienanwendung ist im Knicklenker Case IH Quadtrac 715 (Maximalleistung 572 kW), der Common-Rail-Einspritzdruck liegt bei 2500 bar. FPT-typisch gibt es keine AGR, auf einen DPF wird ebenfalls verzichtet (möglich wegen den "milderen" Abgasgrenzwerten in der Leistungsklasse > 560 kW). Eine zweistufige Turboaufladung gab es bisher schon beim Cursor 13 TST im Case IH Quadtrac 645 (12,7 l Hubraum, Maximalleistung 514 kW).

Der in den neuen XERION-Modellen 12.590 und 12.650 verbaute Motor OM 473 von Mercedes-Benz arbeitet ebenfalls mit zwei in Serie geschalteten Turbinen, die zweite wandelt die dem Abgasstrom entnommene Energie aber in mechanische um, die dem Schwungrad zugeführt wird (Turbocompound). Aus dem LKW-Bereich ist bekannt, dass sich der Kraftstoffverbrauch hiermit insbesondere bei hohen Lasten um einige Prozente senken lässt.

John Deere präsentierte auf der Agritechnica einen 6-Zylinder-Konzeptmotor mit 9 l Hubraum für den Betrieb mit Ethanol. Dieser arbeitet nach dem Otto-Verfahren und soll die bisherigen Lösungen für erneuerbare Dieselmotoren (z.B. Pflanzenöl und HVO) ergänzen. Als Grund für diese Entwicklung wird u.a. die weltweite Verfügbarkeit von Ethanol genannt.

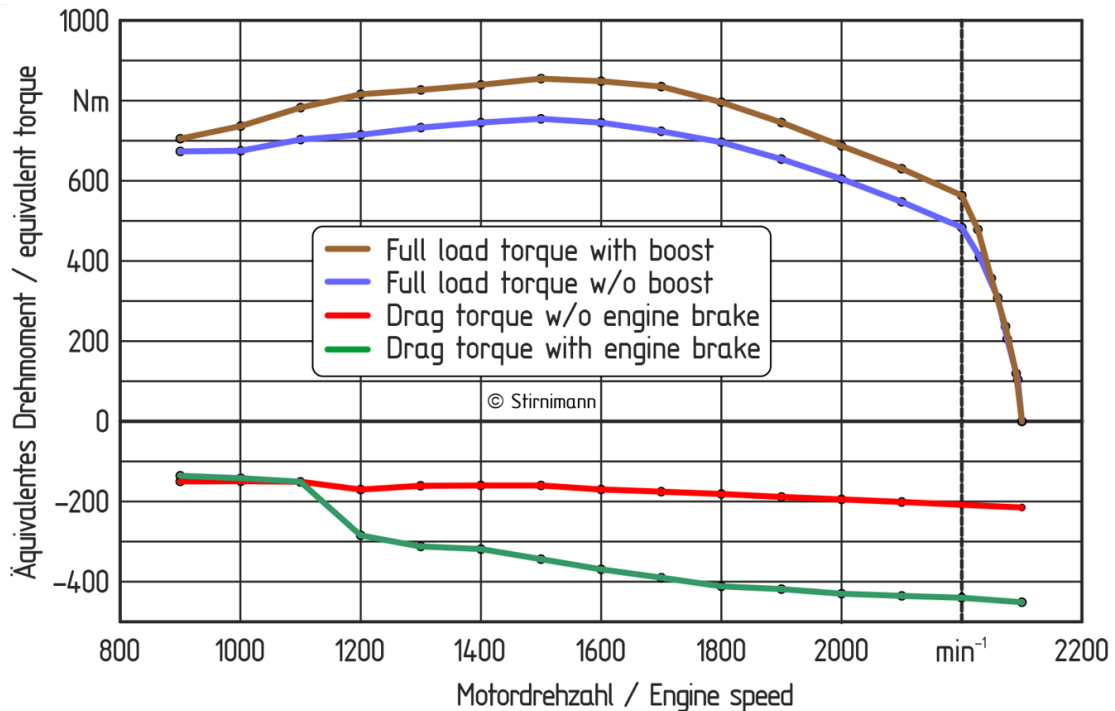
Bei schnellem Verzögern (insbesondere bei Traktoren mit stufenlosen Getrieben) und bei Talfahrten reicht das Motorschleppmoment (Motor wird über Antriebsstrang angetrieben, Einspritzmenge null) von Traktoren bei höheren Geschwindigkeiten oft nicht aus. Zur Verhinderung von Motorüberdrehen und zur Verschleißminderung an den Betriebsbremsen werden deshalb zunehmend Systeme zur Erhöhung der Motorschleppmomente eingesetzt.

An der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften in Zollikofen wurden daher im Rahmen von Studierendenarbeiten [6; 7] die äquivalenten Motorschleppmomente von aktuellen Traktoren untersucht, Bild 1. Die rote Kurve zeigt das eigentliche Motorschleppmoment, welches u.a. durch die innere Reibung, Strömungsverluste und die Differenz zwischen der Verdichtungsarbeit im zweiten Takt und der Expansionsarbeit im dritten Takt zustande kommt. Mit zunehmender Motordrehzahl steigt die Kurve leicht an, was ein typischer Verlauf ist. Die grüne Kurve stellt das Motorschleppmoment bei zusätzlich betätigter Motorbremse (Stauklappe im Abgastrakt) dar. Aktiviert wird diese erst ab einer Motordrehzahl von 1100 min<sup>-1</sup>. Bei Nenndrehzahl (2200 min<sup>-1</sup>) liegt das äquivalente Schleppmoment dann fast auf gleichem Niveau wie das Vollastdrehmoment ohne Boost.

Gemessen wurden die Werte mit einem Drehmomentsensor von MANNER am Heckzapfwellenstummel, der Antrieb erfolgte von hinten über die Frontzapfwelle eines zweiten Traktors.

---

Hieraus konnten die Schleppmomente berechnet werden (ohne Berücksichtigung von Verlusten). Durch die tatsächlich vorhandenen Verluste entstehen gewisse Fehler (die Volllastdrehmomente des Motors sind in Wirklichkeit etwas höher, die Schleppmomente etwas geringer). Die gezeigten Tendenzen werden aber nur unwesentlich beeinflusst.

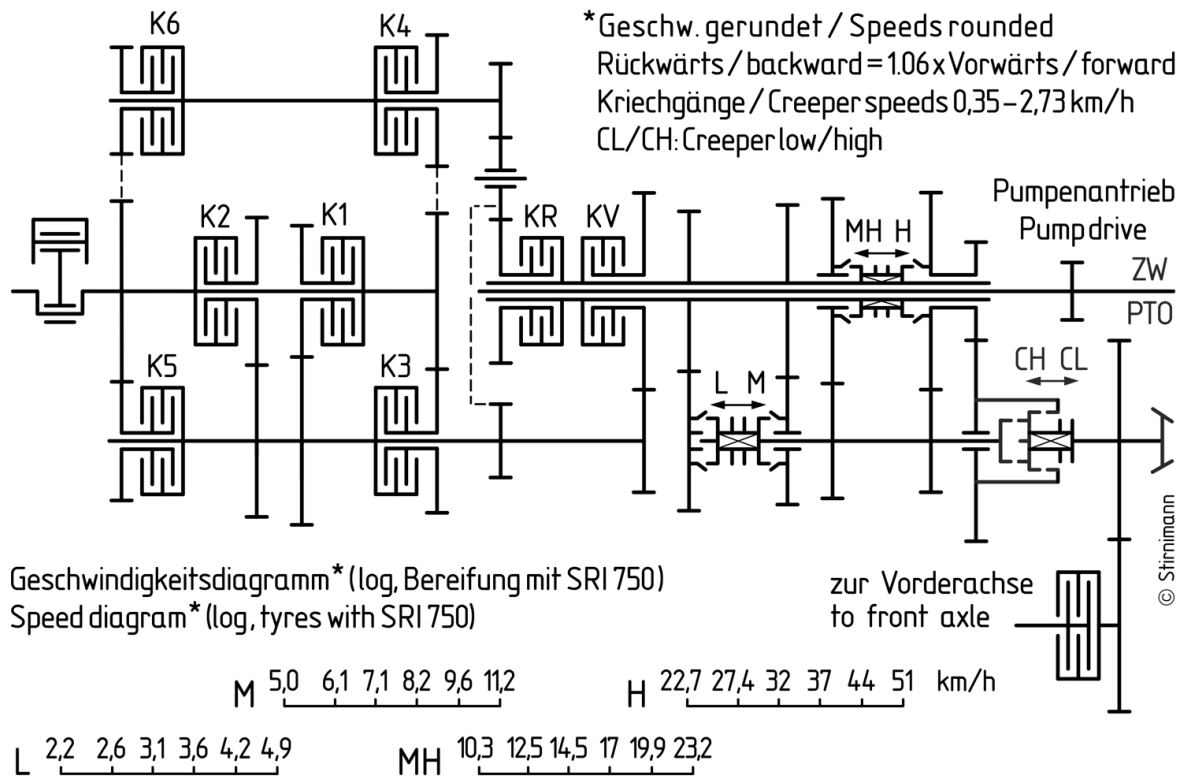


**Bild 1:** Äquivalente Volllastdrehmomente (mit/ohne Boost) und äquivalente Schleppmomente (mit/ohne Motorbremse) des Traktors New Holland T7.225 (Zapfwellenmessungen).

**Figure 1:** Equivalent full load torques (with/without boost) and equivalent drag torques (with/without engine brake) of the New Holland T7.225 tractor (PTO measurements).

### Stufengetriebe

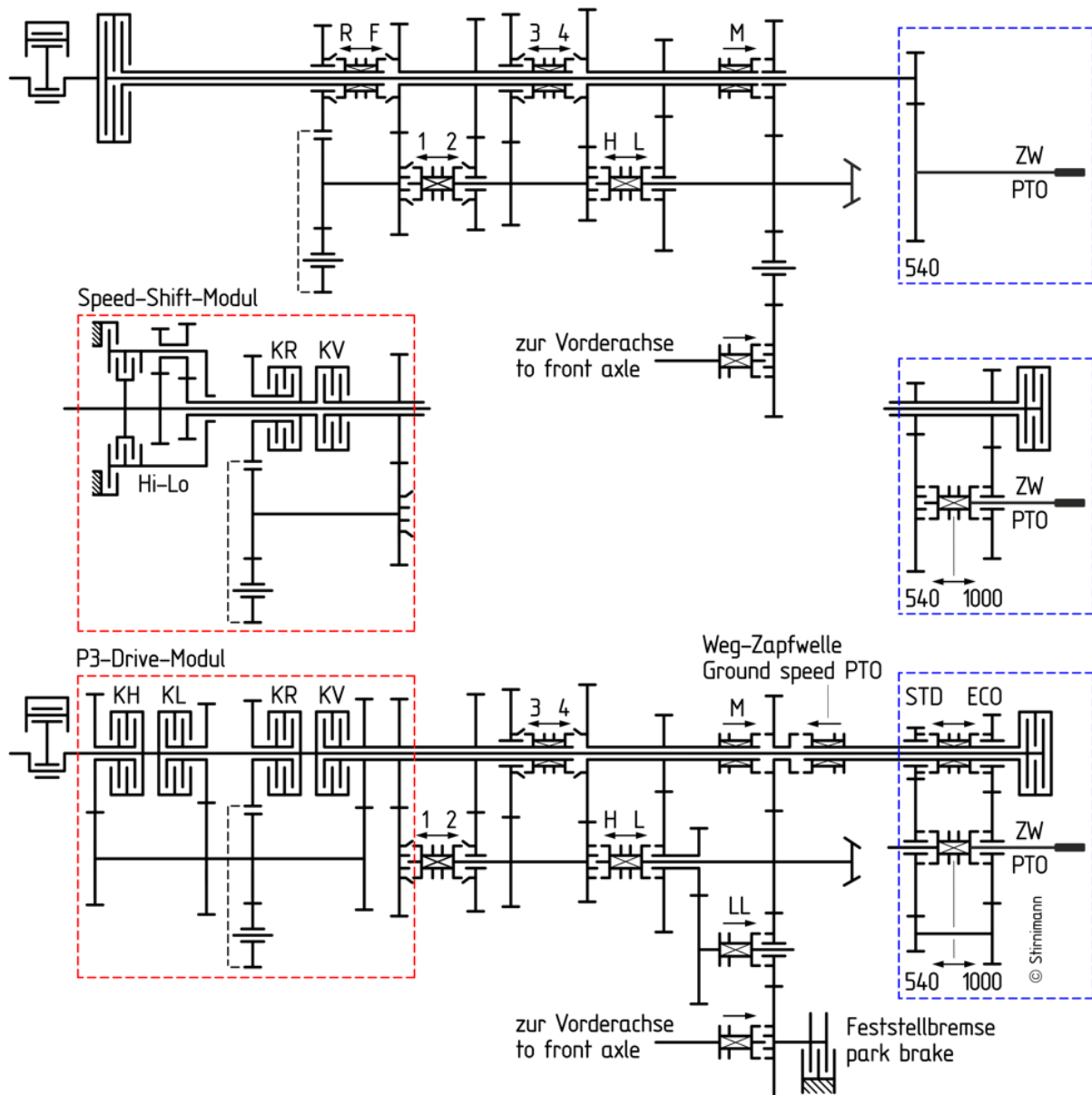
ARGO stellte mit dem P6-Drive Ende 2022 ein neues 6-fach-Lastschaltgetriebe aus eigener Entwicklung und Produktion für die Baureihen McCormick X6.4 und Landini 6 RS vor, Bild 2. Das Lastschaltmodul mit sechs Lamellenkupplungen wird hier mit einem lastschaltbaren Wendegetriebe und einem synchronisierten 4-Gang-Getriebe kombiniert, woraus sich 24/24 Gänge ergeben (V/R). Mit der optionalen Kriechgang-Schaltstufe kann die Gangzahl auf 40/40 erhöht werden. Neben den Lastschaltstufen lassen sich auch die vier synchronisierten Gänge automatisch schalten. Bei der Heckzapfwelle sind bis zu vier Drehzahlen (540/540ECO/1000/1000ECO) möglich, als weitere Option gibt es eine Wegzapfwelle (in Bild 2 nicht eingezeichnet).



**Bild 2:** Neues P6-Drive-Getriebe von ARGO für die Baureihen McCormick X6.4 und Landini 6 RS.  
**Figure 2:** New P6-Drive transmission from ARGO for the McCormick X6.4 and Landini 6 RS series.

Einen sehr breiten Getriebebaukasten bietet ARGO für die Baureihen McCormick X5 und Landini 5 an. Die zehn Varianten reichen vom sehr einfachen 12/12-Getriebe mit synchronisierter Wendeschaltung und 1-fach-Zapfwelle mit Betätigung über eine klassische Doppelkupplung bis zur Top-Variante mit insgesamt 48/16 Gängen (V/R), 3-fach-Lastschaltung, lastschaltbarer Wendeschaltung, Kriechgang, Wegzapfwelle und 4-fach-Motorzapfwelle.

In Bild 3 sind diese beiden Varianten dargestellt (ganz oben und unten). Dazwischen ist das 2-fach-Lastschaltmodul Speed-Shift mit dem lastschaltbaren Wendegetriebe sowie das Heckzapfwellengetriebe mit zwei Drehzahlen eingezeichnet. Die zwei Lastschaltstufen werden hier mit einem Planetengetriebe realisiert. Bei geschlossener Kupplung wird die Motordrehzahl 1:1 zum Wendegetriebe weitergeleitet, bei geschlossener Bremse (Kupplung offen) kommt es zu einer Übersetzung ins Schnelle. Beim 3-fach-Lastschaltmodul P3-Drive gibt es anstelle des Planetengetriebes zwei zusätzliche Lamellenkupplungen. In der mittleren Stufe gelangt die Leistung vom Motor direkt über die geschlossene Wendegetriebe-Kupplung KV zum 4-Gang-Synchrongetriebe. Bei den Lastschaltstufen 1 und 3 fließt die Leistung bei geschlossener Kupplungen KL resp. KH über die Vorgelegewelle zur Hohlwelle des Synchrongetriebes - bei offener Kupplung KV. Für die Rückwärtsfahrt steht damit nur die mittlere Lastschaltstufe zur Verfügung.

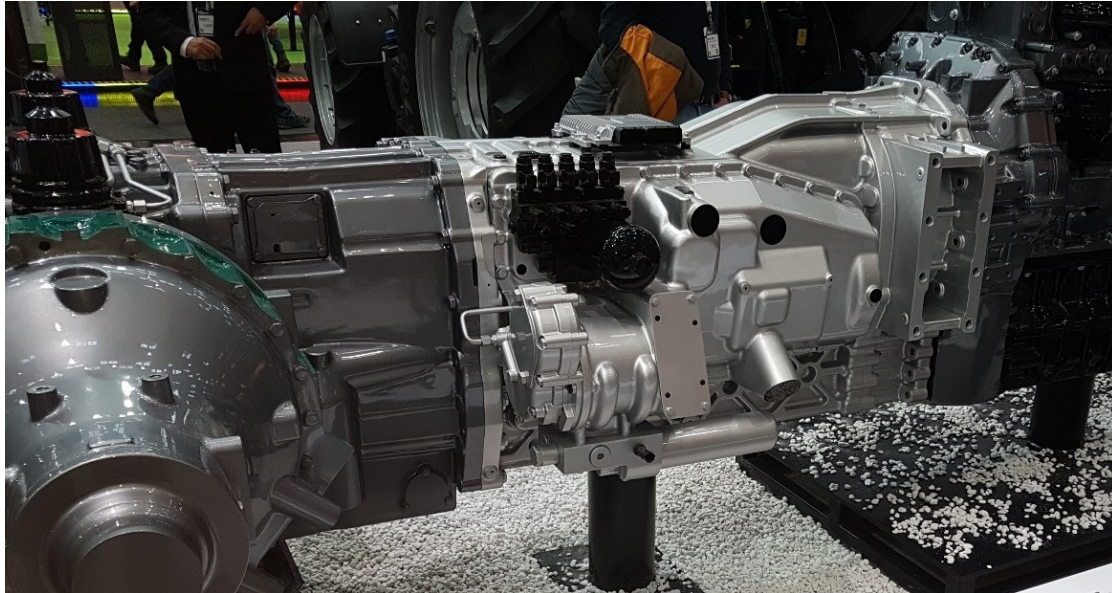


**Bild 3:** Getriebebaukasten für Baureihen McCormick X5 und Landini 5.  
**Figure 3:** Modular gearbox system for McCormick X5 und Landini 5 series.

### Stufenlosgetriebe

Auf der Agritechnica 2023 stand mit dem Lovol P 7240 (ca. 180 kW) erstmalig ein chinesischer Traktor mit einem in China produzierten hydrostatisch-leistungsverzweigten Getriebe, Bild 4. Der P 7240 (max. 40 km/h) ist das mittlere Modell einer Baureihe aus drei Typen des chinesischen Staatskonzerns Weichai Lovol, Hauptsitz in Weifang/Shandong. Weichai Power liefert das stufenlose Getriebe, das auf Entwicklungen von VDS Getriebe GmbH (Österreich) basiert. Nach Informationen aus China wurden erste Traktoren mit diesem Getriebe bereits ab Oktober

2021 in kleiner Stückzahl hergestellt. Die Entwicklung sei aber nicht ganz abgeschlossen, weshalb ein endgültiger Getriebepplan noch nicht verfügbar ist. Bekannt ist aus China, dass es sich um eine eingangsgekoppelte Struktur mit Summierung durch ein Standard-Planetengetriebe mit Fahrbereichen handelt und dass man Schrägscheiben-Axialkolbenmaschinen von Linde verwendet (Linde Hydraulics gehört mehrheitlich zum Weichai-Konzern).



**Bild 4:** Stufenloses hydrostatisch-leistungsverzweigtes Getriebe aus chinesischer Produktion auf der Agritechnica für Traktoren der Baureihe Lovol 7000. (Foto: Stirnimann)

**Figure 4:** Chinese hydrostatic power split CVT at Agritechnica for Lovol tractor models 7000.

Solche Strukturen mit Planetengetriebe als Summierer sind sehr übersichtlich, verlangen aber zusätzliche mechanische Fahrbereiche. Um nichtsynchrone Umschaltungen zu verbessern, wird in [8] für eine ebenfalls primär gekoppelte Struktur vorgeschlagen, zwei zusätzliche Lamellenkupplungen als „Brückenelemente“ zu integrieren (Getriebepplan) und in die Gesamtsteuerung einzubeziehen. Die mit einem detaillierten Modell erfolgte Optimierung zeigt erstaunliches Verbesserungspotenzial auf - erhöht allerdings auch wieder den konstruktiven Aufwand. In einem weiteren interessanten Beitrag [9] wird ein System vorgeschlagen (Strukturbild) und eingehend modelliert, bei dem elektrische Komponenten integriert werden können.

### **Elektrische Antriebstechnik**

Die derzeitige Kombination von E-Maschinen mit kompletten, vorhandenen Antriebssträngen (mit dann eigentlich zu vielen Fahrbereichen) wird von Experten als Übergangslösung angesehen. Schon zwei Fahrbereiche, wie in [10] für Pkw <100 kW und Lkw als vorteilhaft aufgezeigt, könnten auch bei kleinen Traktoren genügen. Ein dafür mögliches Zweiganggetriebe wurde 2019 in [11] mit Bild 5.56 vorgeschlagen. Die Struktur mit Stufenplanet und kostengünstiger Schaltung (2 Außenbremsen) wurde jetzt in [12] als Lösung auch für elektrische Fahrantriebe von Pkw <100 kW und Lkw genannt und eine interessante Umschaltung vorgestellt.

ZF präsentierte auf der Agritechnica mit der Einheit eTMG11 ein hydrostatisch-mechanisches Leistungsverzweigungsgetriebe mit elektrischem Zentralmotor für batterieelektrische Traktoren und Kommunalfahrzeuge [13].

Vorgestellt wurde zudem eine Entwicklungsstudie für eine hochintegrierte, elektrifizierte Traktorhinterachse inklusive Antriebstechnik für das untere Leistungssegment bis 100 kW [14]. Ziel dieser Studie ist es, die elektrische Antriebstechnik sehr kompakt in der Hinterachse unterzubringen, so dass viel Bauraum für die mit geringer Energiedichte ausgestatteten, elektrischen Energiespeicher (Batterien) zur Verfügung steht. Im Vergleich zum eTMG11 mit elektrischem Zentralantrieb, leistungsverzweigtem Getriebe und klassischer Hinterachse kann der Bau- raumbedarf in Fahrzeuginnenrichtung um 1575 mm verkürzt werden.

Der neu konzipierte Fahrtriebstrang (Getriebeplan in [14]) besteht aus einer quer eingebauten, ölgekühlten, permanent-erregten Synchron-E-Maschine, die mit der Sonnenradwelle eines Differentialgetriebes, bestehend aus zwei gekoppelten Planetengetrieben und einer Kupplung als Differentialsperre, verbunden ist. Der Abtrieb vom Differentialgetriebe zu den Radantrieben erfolgt über die Stegwelle des ersten Planetengetriebes und die Hohlradwelle des zweiten Planetengetriebes. Als Radantriebe dienen außenliegende Planetensätze. Somit verfügt das Konzept über einen direkten Fahrbereich und soll sowohl hohe Zugkräfte im unteren Geschwindigkeitsbereich als auch 50 km/h Höchstgeschwindigkeit in beide Fahrrichtungen ermöglichen. Außenliegende, trockenere Scheibenbremsen dienen zum Bremsen, wenn durch die E-Maschine nicht rekuperiert werden kann. Für das Design der E-Maschine, des Differentialgetriebes und der Bremsen bediente man sich ZF-interner Komponenten aus dem Automobil-, dem Nutzfahrzeug- und dem Off-Highway-Bereich.

Der Vorderradantrieb erfolgt klassisch über Kegel- und Stirnräder sowie eine Allradkupplung, so dass übliche Vorderachsen verwendet werden können. Eine zweite, ölgekühlte Synchron-E-Maschine wird für den Antrieb der Zapfwelle und der Hydraulikpumpen eingesetzt, ebenfalls ohne veränderliche Getriebeübersetzung. Für langsame Zapfwellendrehzahlen müssen die Hydraulikpumpen so dimensioniert sein, dass ausreichende Volumenströme zur Verfügung stehen. Dieser zweite Antrieb kann stillgesetzt werden, wenn weder Hydraulik- noch Zapfwellenleistung benötigt werden.

### **Entwicklungswerkzeuge und konstruktive Grundlagen**

Die Entwicklung der Antriebstechnik für Traktoren fokussiert sich weiterhin auf Energieeffizienzsteigerungen, inklusive der Analyse und Auswahl alternativer Antriebstechnologien, um die künftigen Anforderungen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion zu erfüllen. Die Vor- und Nachteile jeder Technologie müssen im Kontext der Einsatzdauer und der Lastzyklen bewertet werden und können die konventionelle Antriebstechnik nicht 1:1 ersetzen - u.a. wegen der schon aufgezeigten geringen Energiedichten, siehe Tabelle 1.

In [15] werden aktuell bestehende Referenzeinsatzzyklen vorgestellt und erwähnt, dass die meist synthetischen Zyklen keine ausreichend realen Traktoranwendungen abbilden, die aber

zur vergleichenden Analyse neuer Antriebstechnologien nötig sind. Als Lösungsansätze werden eine Methode zur Entwicklung neuer „real-world farming cycles“ (RWFC) sowie ein exemplarischer Zyklus vorgestellt, der möglichst viele Arbeitspunkte des Antriebstrangs im Leerlauf, im Teillast- und im Vollastbetrieb abbildet. In [16] erfolgt ein Vergleich verschiedener Antriebstechnologien (paralleler und serieller Hybridantrieb, vollelektrischer Antrieb, Brennstoffzellenantrieb, Erdgasantrieb, Wasserstoffmotor) bezogen auf konventionelle Traktor-antriebstränge. Die Analyse geschieht anhand von Simulationsmodellen, zur Nachbildung der Triebstrangkomponenten und mit Hilfe von selbst ermittelten, ebenfalls möglichst repräsentativen, realen Einsatzzyklen für Feld- und Straßenarbeit. Die Ergebnisse bekräftigen die in der Tendenz zu erwartenden Vor- und Nachteile der jeweiligen Technologien in Bezug auf Energieeffizienz und Einsatzzeiten.

Neben dem Vergleich der Antriebstrangtechnologien wird in [16] auch auf die Methoden des „Model Based Systems Engineering“ (MBSE) zurückgegriffen. Dieser in der Landtechnik noch wenig verbreitete Entwicklungsansatz beschreibt die formalisierte Anwendung von Modellen zur Unterstützung von Systemanforderungs-, Design-, Analyse-, Verifikations- und Validierungsaktivitäten über den kompletten Entwicklungsprozess [17]. Das heißt, es entsteht ein „digitaler Zwilling“ des physischen Produkts. Langfristig verspricht man sich kürzere Entwicklungszyklen durch einen schnelleren Datenaustausch zwischen einzelnen Entwicklungsdomänen [18]. Dies bedeutet zum Beispiel, dass Geometriemodelle und -daten mit Fahrdynamik- oder Triebstrangmodellen verknüpft sind oder dass die Entwicklung der einzelnen mechanischen Triebstrangfunktionen in direkter Datenverknüpfung mit der Steuerungssoftware- und der User-Interface-Softwareentwicklung stehen kann.

Wie die Methoden des MBSE für die Entwicklung von mechatronischen Antriebstechniksystemen eingesetzt werden können, wurde unter anderem auf der diesjährigen „Drive Train and Systems Engineering Conference“ (DSEC) in Aachen thematisiert. Einen allgemeinen Überblick der Herausforderungen und Erfahrungen während der Einführung von MBSE in beispielhafte Industrieprojekte gibt [19]. In [20] wird die Umsetzung von MBSE für die Entwicklung eines elektrifizierten Antriebstrangs anhand der Modellierung einer E-Maschine erläutert.

Für hydraulisch angesteuerte Lamellenkupplungen von Lastschaltungen sind Simulationsmodelle inzwischen ein bedeutendes Entwicklungswerkzeug, insbesondere für hohen Schaltkomfort bei geringem Lasteinbruch. Gute Ergebnisse verlangen den Einbezug des gesamten Antriebsstranges und weiterer Traktordaten. Über ein solches Modell wird in [21] für einen Traktor mit 105 kW berichtet. Sein 32/32-Gang-Getriebe besteht aus einem zentralen Doppelkupplungsgetriebe mit 8 lastschaltbaren Grundgängen, 4 nachgeordneten formschlüssig geschalteten Fahrbereichen und einem Power Reverser im Eingangsbereich. Der Steuerdruck der Aktorik wird bis 20 bar moduliert. Zentrale Komponente des Modells ist das Doppelkupplungsgetriebe, wobei auch das Verhalten der Synchronisationen einbezogen wird. Fernziel des erreichten Echtzeitmodells sind zeit- und kostensparende Hardware-in-the-loop-Testläufe.

## Zusammenfassung

Im Berichtsjahr wurden wieder mehrere neue Dieselmotoren vorgestellt, darunter auch 4-Zylinder in der 5-l-Hubraumklasse. Der Trend zu Verbrennungsmotoren für alternative Kraftstoffe hält weiter an und auffallend viele Hersteller stellten auf der Agritechnica Prototypen für Wasserstoff aus. Weichai Lovol präsentierte den Traktor P 7240 (180 kW) mit einem in China produzierten CVT-Getriebe, das auf Entwicklungen von VDS basiert. ZF stellte verschiedene Konzepte zur Elektrifizierung von Traktoren vor, darunter auch eine E-Hinterachse. ARGO brachte in den letzten zwei Jahren neue Lastschaltgetriebe auf den Markt, die anhand von Getriebeplänen besprochen werden. Aus einem anderen Beitrag wird ein Diagramm mit äquivalenten Motorschleppmomenten wiedergegeben. Die Methoden des „Model Based Systems Engineering“ (MBSE) gewinnen in der Landtechnik an Bedeutung. Sie ermöglichen die Erstellung von "digitalen Zwillingen" der physischen Produkte und damit kürzere Entwicklungszyklen.

## Literatur

- [1] Stirnimann, R.: Traktorantriebe werden in Zukunft vielfältiger. Eilbote 71 (2023) H. 45-45, S. 16-21.
- [2] Dober, G.; Piok, W.F.; Meissonier, G.; Hoffmann, G.: Wasserstoff-Einblassysteme – Ein smarterer Weg zu CO<sub>2</sub>-freien Antrieben. MTZ 84 (2023) H. 1, S. 28-35.
- [3] N.N.: MAN Engines stellt wegweisenden Wasserstoffverbrennungsmotor für Offroad-Anwendungen vor. URL: <https://press.mantruckandbus.com/corporate/de/man-engines-stellt-wegweisenden-wasserstoffverbrennungsmotor-fuer-offroad-anwendungen-vor/>, Zugriff am 22.01.2024.
- [4] Wolfe, M.: Liebherr goes all in on hydrogen fuel. SAE Tech Briefs, Special Report Conexpo-Con/AGG 2023, S. 10-11.
- [5] Pawelzik, B.: Flexibel für die Verbrennerzukunft ausgerichtet. Eilbote 71 (2023) H. 25, S. 14-15.
- [6] Pochon, J.: Comparaison entre 4 procédés de mesure de taux de freinage des tracteurs agricoles. Semesterarbeit (2021), unveröffentlicht. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen.
- [7] Ramer, M.: Ermittlung von Schleppmomenten bei Traktoren. Semesterarbeit (2023), unveröffentlicht. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen.
- [8] Shu, Z.; Wang, J.; Yang, Y.; Wang, G.; Fu, S.: Optimization of Shifting Quality of Hydrostatic Power-Split Transmission with Single Standard Planetary Gear Set. Agriculture 13 (2023), H. 8 (Man.1685), 18 Seiten. Open access.
- [9] Zhu, Z.; Yang, Y.; Wang, D.; Cai, Y.; Lai, L.: Energy Saving Performance of Agricultural Tractor Equipped with Mechanic-Electronic-Hydraulic Powertrain System. Agriculture 12 (2022) H. 3 (Man. 436), 22 Seiten. Open access.
- [10] Höhn, B.-R.; Zhang, Y.: Wie viele Getriebegänge für E-Antriebe in Fahrzeugen? Konstruktion 74 (2022) H. 5, S. 70-74.

- [11] Renius, K.T.: Fundamentals of Tractor Design. Cham/Schweiz: Springer 2019.
- [12] Höhn, B.-R.; Zhang, Y.: How many speed ratios for electric cars? One example. AGMA Technical Paper. Oct. 2023. Alexandria, Virginia 22314, USA: AGMA, American Gear Manufacturers Association.
- [13] N.N.: The Future of Farming: Intelligente in innovative Systemlösungen von ZF auf der Agritechnica 2023: URL: [https://press.zf.com/press/de/releases/release\\_63436.html](https://press.zf.com/press/de/releases/release_63436.html), Zugriff am 28.01.2024.
- [14] Willems, S.; Himmelsbach, R.; Igl, S.: Electric powertrain solutions for tractors - An introduction to a highly integrated electric axle drive system. VDI-Berichte Nr. 2427 (2023), ISBN: 978-3-18-092427-4, S.295-300.
- [15] Mattetti, M.; Angelucci, L.: The development of a reference working cycles for agricultural tractors. VDI-Berichte Nr. 2427 (2023), ISBN: 978-3-18-092427-4, S.15-20.
- [16] Lajunen, A.: Numerical simulation of alternative powertrains and fuels in agricultural tractors. VDI-Berichte Nr. 2427 (2023), ISBN: 978-3-18-092427-4, S.29-38.
- [17] N. N: Was ist MBSE (Modellbasiertes Systems Engineering)? – Mit MBSE den Überblick behalten. Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik. URL: <https://www.ipk.fraunhofer.de/de/kompetenzen-und-loesungen/digital-engineering/modellbasiertes-systems-engineering/was-ist-model-based-systems-engineering.html>, Zugriff am: 02.01.2023.
- [18] Maier, M.: Smart Energy – A System of Systems Engineering Perspective. Drivetrain and Systems Engineering Conference, Aachen, 21.-22. März, 2023, Conference Proceedings, S.57-58.
- [19] Kleiner, S.: Successful Planning, Development and Application of MBSE. Drivetrain and Systems Engineering Conference, Aachen, 21.-22. März, 2023, Conference Proceedings, S.40-45.
- [20] Hoepfner, G.; Mennicken, M.; Berges, J.; Jacobs, G.; Berroth, J.: Towards a Modular Structure for Solution Concepts in MBSE System Models. Drivetrain and Systems Engineering Conference, Aachen, 21.-22. März, 2023, Conference Proceedings, S.47-56.
- [21] Han, G.; Ahn, D.-V.; Kwon, D.; Kim, H.S.; Park, Y.J.; Lee, J.W.: Development of a Real-Time Tractor Model for Gear Shift Performance Verification. Agriculture 13 (2023) H. 11 (Man. 2133), 24 Seiten.

### **Autorendaten**

Dipl.-Ing. agr. FH, Dipl.-Ing. Wirtschaft FH, Executive MBA Roger Stirnimann ist Agrartechnik-Dozent an der Berner Fachhochschule.

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Karl-Theodor Renius ist Professor im Ruhestand am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität München.

Dr.-Ing. Christian Birkmann ist Systemingenieur für elektronische Maschinenoptimierungssysteme in der Vorentwicklung für Traktoren bei CLAAS am Standort Paderborn.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Wissenschaftliches Review / Scientific Review**

Erfolgreiches Review am 20.02.2024

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Stirnimann, Roger; Renius, Karl Theodor; Birkmann, Christian: Motoren und Getriebe bei Traktoren. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-13

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171533-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/motor-getriebe.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Reifen / Reifen-Boden-Interaktion**

Stefan Böttinger

### **Kurzfassung**

Das Angebot an Reifen mit VF- und IF-Technologie sowie mit speziellem Profil für die Straßenfahrt wird größer. Die Vorhersage des Traktionsverhaltens wird an vielen Stellen mit unterschiedlichen Methoden untersucht. Eine Anpassung der seit vielen Jahren verwendeten Modelle an die aktuelle Reifentechnologien ist notwendig.

### **Schlüsselwörter**

Traktorreifen, Reifendruckregelanlagen, Bodenverdichtung, Traktion,

## **Tyre / Tyre-Soil Interaction**

Stefan Böttinger

### **Abstract**

The range of tyres with VF and IF technology and with a special tread pattern for road use is growing. The prediction of traction behaviour is being investigated in many places using various methods. It is necessary to adapt the models that have been used for many years to current tyre technologies.

### **Keywords**

Tractor tyres, pressure control systems, soil compaction, traction

## **Markt**

Die Übernahme von Trelleborg Wheel Systems TWS durch die Yokohama Rubber Company wurde genehmigt. Damit gehören nun u.a. die Marken Alliance, Trelleborg und Mitas zu Yokohama [1].

In einem Rückblick auf die Sima 2022 wird betont, dass einige große Reifenhersteller nicht auf der Messe vertreten waren. Von Trelleborg wurde das ATMS (Adaptive Tire Management System) vorgestellt und mit einer Bronzemedaille prämiert. Durch Sensoren unter der Lauffläche werden die Reifenparameter Last, Fülldruck und Temperatur dynamisch erfasst. Der Fahrer des Traktors kann kontinuierlich über den optimalen Reifenfülldruck und eine angepasste Ballastierung informiert werden. Mit einer Reifendruckregelanlage können die Luftdrücke der Reifen im Einsatz entsprechende angepasst werden. Nur wenige der ausgestellten Maschinen waren mit Reifendruckregelanlagen ausgestattet. Die Themen Bodendruck und Kraftstoffverbrauch waren im Wesentlichen durch IF- und VF-Reifen abgedeckt [2],

Auf der Agritechnica 2023 stellte New Holland für ihre T7-Traktorenbaureihe ein vergleichbares System vor. Das Intelligent Central Tire Inflation System CTIS erfasst die Einfederung der Hinterräder über spezielle, in der Felge verbaute Sensoren und schließt mit Hilfe des Reifenluftdrucks auf die Last. Die Berechnung der Last auf den Vorderrädern erfolgt aus vorhandenen Daten u.a. der Vorderachsfederung, des Antriebsmomentes und der Fahrgeschwindigkeit. Mit der Reifendruckregelanlage wird der Fülldruck angepasst. Für die Ballastierung werden Empfehlungen gegeben [3].

Alliance stellte auf der Agritechnica den Reifen 373 VibroFarm vor. Neben der VF-Technologie besitzt der Reifen die sogenannte Stratified Layer Technology SLT. Unterschiedlich geformte Profilstollenschichten sollen auch bei größerer Abnutzung eine gute Traktion auf dem Feld gewährleisten. Durch eine zentrale, breite Mittelrippe des Profils soll der Reifen auch gute Straßeneigenschaften aufweisen, **Bild 1**.

Mit dem TM1 Eco Power stellte Trelleborg einen Traktorreifen speziell für die Straße und für harte Oberflächen vor. Durch das spezielle Profil soll sich gegenüber einem Standardreifen ein um bis zu 47 % geringerer Rollwiderstand und eine sanftere Fahrt ergeben. Die Gestaltung der Stollen sollen auch eine gute Traktion auf festem landwirtschaftlichem Untergrund sicherstellen, Bild 1.

Michelin ergänzte seine CrossGrip-Reihe um die Größe 480/80 R34. Mit der M&S-Kennzeichnung ist der witterungsunabhängige Einsatz dieses speziell für Straße, Gras und Schnee gedachten Reifens möglich, Bild 1.

## **Experimentelle Untersuchungen**

In einem umfassenden Artikel werden die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Last, Reifenfülldruck, Aufstandsfläche, Kontaktflächendruck und Druckzwiebeln vermittelt. Die Vorteile von Reifendruckverstellanlagen werden hervorgehoben. Am Beispiel von Bodendruckmessungen mit Bolling-Sonden in 20, 40 und 60 cm Tiefe werden die Auswirkungen dargestellt [4].

---



**Bild 1:** Neu vorgestellte Reifen: Alliance 373 VibroFarm, Trelleborg TM1 Eco Power, Michelin Cross-Grip (von links nach rechts); [Quellen: Hersteller]

**Figure 1:** New presented tyres: Alliance 373 VibroFarm, Trelleborg TM1 Eco Power, Michelin CrossGrip (left to right); [Sources: manufacturer]

### *Reifenuntersuchung*

Verschiedene Testeinrichtungen sowie experimentelle Untersuchungen zum Zugkraft-Schlupf-Verhalten von Reifen wurden 2023 vorgestellt. Ein statisches und ein dynamisches Testverfahren für das Zugkraftverhalten eines Traktors mit stufenlosem Getriebe wurden miteinander verglichen. Die Zugmaschine war mit vier Radkraftaufnehmern ausgestattet und wurde über einen weiteren Traktor abgebremst. Beim dynamischen Verfahren wurde das Bremsfahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit betrieben und das Zugfahrzeug erhöhte kontinuierlich seine Geschwindigkeit bis zu 50 % Schlupf und reduzierte sie dann bis auf 0 % Schlupf. Beim statischen Verfahren wurde beim Zugfahrzeug die Motorenndrehzahl eingestellt und eine konstante Fahrgeschwindigkeit von 3 bzw. 5 km/h gewählt. Das Bremsfahrzeug reduzierte schrittweise diese Geschwindigkeit bis maximal 50 % Schlupf am Zugfahrzeug auftrat. Diese Studie zeigt, wie sich die Testverfahren auf das Fahrzeugverhalten und die gesammelten Daten auswirken. Das stationäre Verfahren ermöglichte eine bessere Genauigkeit der Ergebnisse und eine einfachere Möglichkeit, verschiedene Testparameter festzulegen und zu kontrollieren [5].

Bei der Agrarsystemtechnik der Technischen Universität Dresden wurde ein neuer Reifenprüfstand aufgebaut, mit dem die Effizienz und die Bodenwirkung von Rädern und Raupen ermittelt werden können. Neben dem Zugkraft-Schlupf-Verhalten und dem statischen Rollwiderstand wird die Reifeneinfederung und die Seitenwandausformung sowie die Druckverteilung unter den Stollen des Fahrwerks auf festem Untergrund ermittelt. Mit einem ebenfalls an der TU Dresden entwickelten Simulationsmodell lässt sich daraus die Druckverteilung im Boden berechnen [6; 7].

Die Einfederung eines Reifens lässt sich mittels kostengünstiger Time-of-Flight-Sensoren ermitteln. Daraus kann die Länge der Kontaktfläche zwischen Reifen und Boden abgeleitet werden. Die dazu geplante Versuchseinrichtung wurde vorgestellt [8].

Der Nokian Soil King VF hat dank längerer Stollenspitzen ein speziell für die Straßenfahrt geeignetes Mittelprofil. An der Reifenschulter sind die Stollen wie bei AS-Reifen ausgebildet. Im Vergleich mit VF- und IF-Reifen anderer Hersteller konnte die DLG eine bessere, nicht näher angegebene Zugleistung ermitteln. Im Feld trat ein geringerer Kraftstoffverbrauch von 6,7 % und auf der Straße von 2,6 - 4,9 % bei geringerem Schlupf auf [9].

#### *Bodencharakterisierung zur Traktionsvorhersage*

Die in den 1970er und 1980er Jahren erstellten Brixius-Gleichungen werden zur Vorhersage der Traktion von Reifen eingesetzt. Es scheint, dass mit ihnen die heutigen Reifentechnologien, Reifengrößen und Luftdrücken nicht exakt abgebildet werden. Deshalb wurden Untersuchungen zur Fähigkeit der Brixius-Gleichungen zur Vorhersage der Triebkraft bei Änderung des Luftdrucks, der Ballastierung und des Bodenzustands durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Gleichungen diese Änderungen nicht vollständig berücksichtigen [10].

Das Bekker-Wong-Modell der Reifen-Boden-Interaktion ist im Bereich der Bodenmechanik stark verbreitet. Für dieses Modell wird der Boden mit einem Bevameter charakterisiert. Dazu werden vor Ort nicht standardisierte Plattensenkungs- und Scherspannungstests durchgeführt. Untersuchungen zum Zugkraft-Schlupf-Verhalten auf Basis von Bevameter-Tests zeigen, dass auch mit diesen Modellen das Verhalten nicht ausreichend genau vorhergesagt wird [11]. Die systematische Untersuchung der Versuchsvorbereitungen, des Schermechanismus, der Scherkontaktfläche und der Einfluss der Schergeschwindigkeit zeigten sehr große Einflüsse auf die Ergebnisse zum Teil einer größeren Größenordnung auf. Es wird erwartet, dass die Ergebnisse erhebliche Auswirkungen auf die Vorhersage der Zugkraft von Fahrzeugen unter Verwendung des Bekker-Wong-Modells haben werden [12]. Der Einfluss unterschiedlich großer und geformter Platten für den Druck-Einsinkversuch wurde anhand zweier unterschiedlicher künstlicher Böden untersucht. Daraus konnte ein Skalierungsgesetz zur Anwendung bei der Simulation von Reifen-Boden-Interaktion auf weichen und dichten Böden abgeleitet werden [13].

Für die Beschreibung der Tragfähigkeit von Böden aus dem Druck-Einsinkversuch wurden die seit längerem bestehenden Gleichungen nur mit begrenztem Erfolg verbessert. Es wird über die theoretische und praktische Entwicklung einer neuen dimensionslosen Tragfähigkeitszahl auf Basis des Druck-Einsinkbeziehung berichtet, die die Bodenverformung in einer allgemeinen Form beschreibt [14]. Die Hintergründe zur Scherfestigkeit von Böden und zu ihrer Messmethoden werden in einem weiteren Beitrag berichtet. Im Gegensatz zu Methoden aus dem Bauingenieurwesen wurden für die Terramechanik ein direkter Schertest entwickelt. Ergebnisse dieser Messmethode zur Scherfestigkeit von Lehmsandböden werden vorgestellt [15].

Wenn aus Laborversuchen das Druck-Einsink-Verhalten eines Bodens in Abhängigkeit der Bodenfeuchte bekannt ist, dann muss auf dem Feld nur die Bodenfeuchte bestimmt werden. Hierzu wurde ein Spektrometer verwendet, da die Farbe des Bodens in Abhängigkeit der

Feuchte sich verändert. Damit kann bei bekannter Belastung durch ein Fahrzeug dessen Einsinkverhalten vorhergesagt werden [16]. Ähnlich kann bei der Bestimmung der Scherfestigkeit in Abhängigkeit der Bodenfeuchte vorgegangen werden. Allerdings liegt zur Ermittlung der Bodenfeuchte aus der Bodenfarbe kein homogener Boden vor Ort vor. Dieser ist mit vielen Fremdkörpern wie Steine und Pflanzenreste bedeckt [17]. Böden können auch mit Hilfe von Penetrometern und mit Boden-Leitfähigkeitsmessungen charakterisiert werden. In einem Reviewbeitrag werden die Möglichkeiten und Grenzen dieser Messverfahren aufgezeigt [18].

Die Reifenaufstandsfläche kann dreidimensional mit photogrammetrischen Verfahren bestimmt werden. In dem Bekker-Modell können diese für die Bestimmung der Triebkräfte mitverwendet werden. Durch die Belastung des Bodens können über das Messverfahren auch Risse und horizontale Deformationen erkannt werden. Diese korrelieren bei dem verwendeten Boden mit gemessenen und den berechneten Triebkräften [19]. Über zwei Stereokameras vor und hinter einem angetriebenen Reifen auf weichem Boden kann die Spurtiefe sowie Bug- und Heckwinkel der Aufstandsfläche berechnet werden. Es wurde nachgewiesen, dass diese Messungen und Berechnungen exakt und wiederholbar sind [20].

### **Simulation der Reifen-Boden-Interaktion**

Die Diskrete-Element-Methode DEM wird vermehrt für die Simulation der Reifen-Boden-Interaktion verwendet. In den Programmpaketen sind auch Material-Datenbanken hinterlegt. Mit dem am besten geeigneten Material für die Modellierung von trockenem Sand werden immer noch größere Abweichungen ermittelt [21], weshalb Arbeiten zur Erweiterung dieser Datenbanken nötig sind.

DEM wurde zur Erstellung eines Boden-Reifen-Interaktionsmodells genutzt. Mit ihm kann der maximale Bodendruck simuliert und die Spannungsverteilung in der Bodenoberschicht berechnet und visualisiert werden. Die Simulationsergebnisse wurden mit den Daten aus einem Feldversuch, bei dem der Bodendruck in 0,1 m Tiefe in sandigem Lehmboden gemessen wurde, validiert. Nur für mehrmalige Überfahrten ist das Modell nicht ausreichend genau [22].

Der Schlupf bei der Reifen-Boden Interaktion beeinflusst die Belastung des Fahrantriebs. Es wurde der Antriebsstrang eines Traktors modelliert, der dessen Einsatz beim Pflügen simuliert und mit Praxismessungen überprüft. Es ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung der simulierten und gemessenen Lastkollektive. Das Modell ist somit geeignet zur Unterstützung der Auslegung der Komponenten des Fahrantriebs [23].

Die Modellierung und Leistungsvorhersage von Reifen auf nassen, plastischen, kohäsiven Böden ist eine Herausforderung. Im Gegensatz zu trockenen Böden ist die Scherfestigkeit in nassen Böden geringer, insbesondere, wenn der Boden vollständig gesättigt ist. Verschiedene Modellierungen für stark verformbaren gesättigten Ton und von Reifen wurden untersucht und verglichen, um mit ihnen die Zugleistung vorherzusagen [24].

## Zusammenfassung

Das Angebot an Reifen mit VF- und IF-Technologie sowie mit speziellem Straßenprofil nimmt zu. Zur Erfassung der Reifeneigenschaften wurde an der TU Dresden ein neuer Prüfstand vorgestellt. Die Vorhersage des Zugkraft-Schlupf-Verhaltens wird an einigen Forschungseinrichtungen untersucht. Es zeigt sich, dass mit den Brixius-Gleichungen und dem Bekker-Wong-Modell die Reifen-Boden-Interaktion mit den aktuellen Reifentechnologien nicht exakt bestimmt werden können.

## Literatur

- [1] N.N.: Wettbewerbshüter erteilen Freigabe zur Trelleborg-Wheel Systems-Übernahme. eilbote 71 (2023) H. 13, S. 20.
- [2] Flebbe, W.: Wichtige Player fehlten auf der Messe in Paris. eilbote 71 (2023) H. 14, S. 8-11.
- [3] N.N.: Intelligent CTIS for New Holland T7 Tractor – Agritechnica Neuheit (2023).
- [4] Stirnimann, R.: Ursachen und Wirkung erkennen – Reifen- und Raupentechnik. Lohnunternehmen 76 (2023) H. 8, S. 40-47.
- [5] Angelucci, L.; Mattetti, M.; Pinet, F.; Vertua, A.: Traction test methods to assess the energy efficiency of agricultural tractors and tires. In: LAND.TECHNIK AgEng 2023 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations: November 10th - 11th 2023, Hannover, VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, DOI: 10.51202/9783181024270, S. 263-268.
- [6] Rudolph, W.: Messungen für die Fahrwerke der Zukunft. eilbote 71 (2023) H. 25, S. 8-11.
- [7] Herlitzius, T.; Döll, H.; Lindner, M.; Stirnimann, R.; Gfeller, S.: Tyre testing methodology to evaluate contact pressure distribution and simulation of the resulting soil compaction risk. In: LAND.TECHNIK AgEng 2023 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations: November 10th - 11th 2023, Hannover, VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, DOI: 10.51202/9783181024270, S. 247-254.
- [8] Mauldin, C. M.; Crane, C. D.; Schueller, J. K.: General Model for Tire Deflection. ASABE Paper 2301224, 2023, URL: <https://doi.org/10.13031/aim.202301245>.
- [9] Tauber, H.-J.; Peters, D.: Landwirtschaftsreifen für Traktoren – Effizienzbetrachtung im Premiumsegment. DLG-Prüfbericht 7271. URL: <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/7271.pdf>, Zugriff am: 26.02.2024.
- [10] Hamm, A. R.; Kordestani, A.; Steward, B. L.; Birrell, S. J.: Modelling Tire Tractive Performance at Lower Inflation Pressures. ASABE Paper 2300141, 2023.
- [11] Arévalo-Montaña, C. A.; Böttinger, S.: Tractive effort prediction based on dynamic soil parameters. In: LAND.TECHNIK AgEng 2023 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations: November 10th - 11th 2023, Hannover, VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, DOI: 10.51202/9783181024270, S. 234-244.

- [12] Kruger, R.; Els, P. S.; Hamersma, H. A.: Experimental investigation of factors affecting the characterisation of soil strength properties using a Bevameter in-situ plate sinkage and shear test apparatus. *Journal of Terramechanics* 109 (2023), S. 45-62.
- [13] Jjagwe, P.; Tekeste, M. Z.; Alkhalifa, N.; Way, T. R.: Modeling tire-soil compression resistance on artificial soil using the scaling law of pressure-soil sinkage relationship. *Journal of Terramechanics* 108 (2023), S. 7-19.
- [14] Salman, N. D.; Pillinger, G.; Sitkei, G.; Kiss, P.: Load bearing capacity of finite half space agricultural homogeneous soil. *Journal of Terramechanics* 107 (2023), S. 35-46.
- [15] El Hariri, A.; Elawad Eltayeb Ahmed, A.; Kiss, P.: Review on soil shear strength with loam sand soil results using direct shear test. *Journal of Terramechanics* 107 (2023), S. 47-59.
- [16] Ahmed, A. E. E.; Pillinger, G.; Kiss, P.: Moisture content impacts on soil load-bearing capacity and its spectral behaviour. 16th European-African Regional Conference of the ISTVS (2023), 11.-13.10.2023, Lublin, Polen. In: Pytka, J.; Tomilo, P.; Martelli, M. (Hrsg.): *Proceedings of the 16th European-African Regional Conference of the ISTVS, Lublin 2023*, S. 94-99.
- [17] Hariri, A. E.; Kiss, P.: Soil shear strength values obtained from its color. 16th European-African Regional Conference of the ISTVS (2023), 11.-13.10.2023, Lublin, Polen. In: Pytka, J.; Tomilo, P.; Martelli, M. (Hrsg.): *Proceedings of the 16th European-African Regional Conference of the ISTVS, Lublin 2023*, S. 249-256.
- [18] Kumar, V.; Bector; Vishal: Recent Trends in Measurement of Soil Penetration Resistance and Electrical Conductivity of Agricultural Soil and Its Management under Presicions Agriculture. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 53 (2023) H. 2, S. 12-20.
- [19] Śliczniak, T.; Pytka, J.; Gardyński, Leszek Czajka, Aleksander; Tarkowski, S.: Determination of the tractive forces of a tractor based on the reconstruction of tire-soil contact surface obtained by means of photogrammetry. 16th European-African Regional Conference of the ISTVS (2023), 11.-13.10.2023, Lublin, Polen. In: Pytka, J.; Tomilo, P.; Martelli, M. (Hrsg.): *Proceedings of the 16th European-African Regional Conference of the ISTVS, Lublin 2023*, S. 114-120.
- [20] White, H.; Sandu, C.; Mukherjee, J.; L’Afflitto, A.; Gorsich, D.; Cole; Michael: Real-time measurement of tire sinkage using stereo cameras. 16th European-African Regional Conference of the ISTVS (2023), 11.-13.10.2023, Lublin, Polen. In: Pytka, J.; Tomilo, P.; Martelli, M. (Hrsg.): *Proceedings of the 16th European-African Regional Conference of the ISTVS, Lublin 2023*, S. 181-185.
- [21] Jelinek, B.; Card, A.; Mason, G. L.; James, T.; Grebner, K.; Skorupa, T.; Priddy, J. D.: Tractive performance of rigid wheel in granular media using coarse-scale DEM models. 16th European-African Regional Conference of the ISTVS (2023), 11.-13.10.2023, Lublin, Polen. In: Pytka, J.; Tomilo, P.; Martelli, M. (Hrsg.): *Proceedings of the 16th European-African Regional Conference of the ISTVS, Lublin 2023*, S. 39-43.
-

- [22] Acquah, K.; Chen, Y.: Discrete element modelling of soil pressure under varying number of tire passes. *Journal of Terramechanics* 107 (2023), S. 23-33.
- [23] Shao, X.; Yang, Z.; Mowafy, S.; Zheng, B.; Song, Z.; Luo, Z.; Guo, W.: Load characteristics analysis of tractor drivetrain under field plowing operation considering tire-soil interaction. *Soil and Tillage Research* 227 (2023), Aufsatz 105620.
- [24] Varsha S. Swamy, Rashna Pandit, Alba Yerro, Corina Sandu, Denise M. Rizzo, Katherine Sebeck, David Gorsich: Numerical modeling of a tire on undrained saturated clay using FEM, ALE, and SPH. 16th European-African Regional Conference of the ISTVS (2023), 11.-13.10.2023, Lublin, Polen. In: Pytka, J.; Tomilo, P.; Martelli, M. (Hrsg.): *Proceedings of the 16th European-African Regional Conference of the ISTVS, Lublin 2023*, S. 115–113.

### **Autorendaten**

Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger ist Leiter des Fachgebiets Grundlagen der Agrartechnik am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim in Stuttgart.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Böttinger, Stefan: Reifen / Reifen-Boden-Interaktion. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2023*. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-8

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171535-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/reifen-boden.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Fahrndynamik - Fahrsicherheit - Fahrerplatz**

Tobias Richard Rosenthal, Daniel Christian Wiest, Henning Jürgen Meyer

### **Kurzfassung**

Optimierungen von Fahrndynamik und Fahrsicherheit von Traktoren besitzen weiterhin einen hohen Stellenwert in der landwirtschaftlichen Forschung. Die Untersuchungen im Bereich der Fahrndynamik zielen vorwiegend auf eine Steigerung der Energieeffizienz ab. Doch auch die Vorhersage von Traktionswerten für autonome Fahrzeuge ist ein aufstrebender Forschungsbereich. Das autonome Fahren spielt auch für die Forschung im Bereich der Fahrsicherheit eine Rolle. Hier finden Untersuchungen zur Vermeidung von Unfällen im Straßenverkehr statt sowie Möglichkeiten zur Spurerkennung. Forschungsgegenstand bleiben auch klassische Ansätze wie die Erkennung des Überrollens und deren Verhütung. Die Erkennung und Reduzierung von Vibration ist ebenfalls Gegenstand der Forschung, um den Fahrkomfort und die Sicherheit zu erhöhen. Gleiches gilt für die Optimierung der Fahrzeugkabine durch ein neues Design oder die Integration neuer Technik.

### **Schlüsselwörter**

Fahrndynamik, Fahrsicherheit, Fahrkomfort, Fahrassistenzsysteme

## **Ride Dynamics - Ride Safety - Driver's Place**

Tobias Richard Rosenthal, Daniel Christian Wiest, Henning Jürgen Meyer

### **Abstract**

Optimizing the driving dynamics and driving safety of tractors continues to be a high priority in agricultural research. Investigations in the field of driving dynamics are primarily aimed at increasing energy efficiency. Predicting traction values for autonomous vehicles is also an up-and-coming area of research. Autonomous driving also plays a role in research into driving safety. Investigations are being carried out into the avoidance of road accidents, as well as possibilities for lane detection. Classic approaches such as rollover detection and prevention also remain a subject of research. The detection and reduction of vibration is also the subject of research in order to increase driving comfort. As is the optimization of the vehicle cabin through a new design or the integration of new technology.

### **Keywords**

ride dynamics, ride safety, ride comfort, driver assistance systems

## **Fahrdynamik**

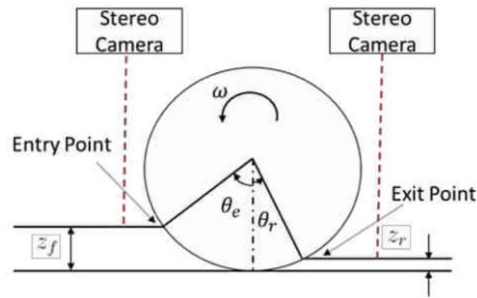
Die Steigerung der Energieeffizienz, die Einflüsse moderner Reifen sowie die Vorhersage von Traktionswerten für autonome Fahrzeuge sind die Treiber der aktuellen Forschung im Bereich der Fahrdynamik. Für ein besseres Systemverständnis untersuchen Angelucci et al. [1] zwei verschiedene Prüfverfahren zur Ermittlung des Triebkraftbeiwertes, des Laufwerkwirkungsgrades und der Power Delivery Efficiency (dem Verhältnis der Motorausgangsleistung zur Zugleistung) auf dem Feld in Bezug zur Reproduzierbarkeit, Variabilität und Wiederholgenauigkeit. Die Intention ist der kombinierte Test von Traktoren und Reifen, die meist nur getrennt getestet werden, um die Einflüsse der Traktor-Reifen-Kombination beurteilen zu können. Es wird zudem ein Augenmerk auf die Nutzung von Traktoren mit stufenlosem Getriebe (CVT-Getriebe) und VF-Reifen (Very High Flexion Reifen) gelegt [1].

Das Rampenverfahren zeigt in den Verläufen des Triebkraftbeiwertes, des Laufwerkwirkungsgrades und der Power Delivery Efficiency über den Schlupf Änderungen durch Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge. Zudem treten bei diesem Verfahren unkontrollierte variable Übersetzungsverhältnisse des Getriebes auf. Bei dem stationären Verfahren sind diese Beeinflussung durch Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge in den Verläufen des Triebkraftbeiwertes und des Laufwerkwirkungsgrades nicht zu erkennen. Die Getriebedrehzahl wird bei diesem Prüfverfahren konstant gehalten. Die unterschiedlichen Verläufe der Power Delivery Efficiency über den Schlupf bei dem stationären Verfahren werden auf die unterschiedlichen Wirkungsgrade des Getriebes bei den beiden untersuchten Geschwindigkeiten zurückgeführt [1].

Durch die Möglichkeit moderne Reifen mit sehr geringem Luftdruck bei hohen Belastungen fahren zu können, bedarf es der Überprüfung bereits geleisteter Forschungsarbeiten auf ihre Gültigkeit für den Einsatz mit solchen Reifen. Hamm et al. [2] untersuchen aus diesem Grund die Gleichungen zur Vorhersage der Traktion nach Brixus. Es zeigt sich, dass die Gleichungen die Änderung des Reifendrucks zur Vorhersage der Triebkraft nicht vollständig abbilden [2].

Die Vorhersage der benötigten Leistung spielt für autonomen Fahrzeuge eine große Rolle. Im Gelände oder auf dem Feld stellt sich dies jedoch als besondere Herausforderung heraus. Verschiedene Forschungsarbeiten betrachten die Spurtiefe oder das Spurprofil, um Rückschlüsse auf die Traktionswerte zu erhalten. Pytka et al. [3] führen Versuche zur Bestimmung der Zugkraft und des Rollwiderstandes über die Reifenspür im Boden durch, die mittels Photogrammetrie aufgenommen wird. Die Zugkraft und der Rollwiderstand werden aus den 3D-Rekonstruktionen der Reifen-Boden-Grenzfläche mit dem Bekker-Modell berechnet. Die berechneten und gemessenen Zugkraft- und Rollwiderstandswerte zeigen gute bis sehr gute Übereinstimmung, jedoch gibt es Einschränkungen. Die Ermittlung der Gesamttraktion eines Traktors ist infolge der unterschiedlich großen Reifen und Achslasten problematisch [3].

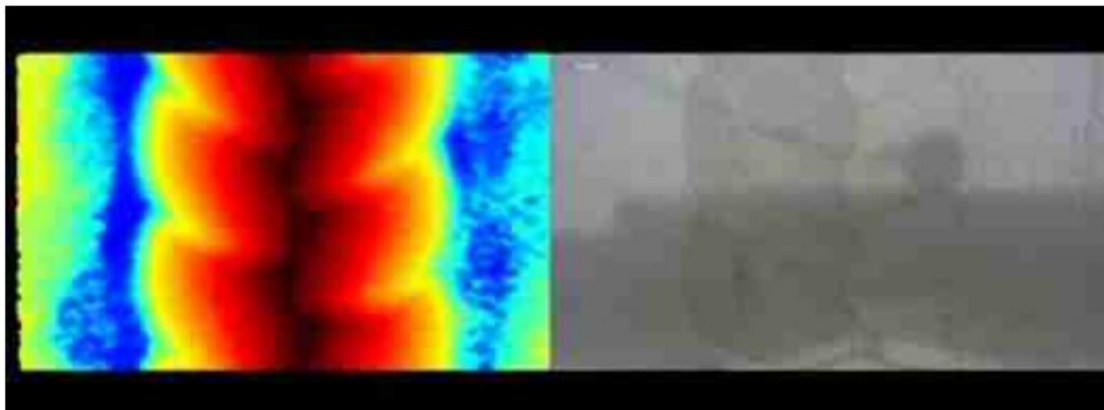
White et al. [4] ermitteln über zwei Stereokameras in Echtzeit die Spurtiefe, eines Ackerschlepperreifens auf feinem, trockenem Sand, am Einzelradprüfstand in der Bodenrinne. Eine Stereokamera ist vor und eine hinter dem Einzelrad wie in **Bild 1** positioniert [4].



**Bild 1:** Schematischer Kameraaufbau [4].

**Figure 1:** Diagram of camera setup [4].

Die vordere Kamera nimmt den unverformten Boden vor dem Reifen und die hintere Kamera das Tiefenprofil der Reifenspurnach der Überfahrt auf. Zudem wird über die Spurtiefe der Einlauf-Radwinkel ermittelt, da der Boden als unelastisch betrachtet wird, beträgt der Auslauf-Radwinkel null Grad. Mehrere Tiefenbilder werden zur Ermittlung Spurtiefe genutzt. Diese werden gemittelt und verglichen, da die Spurtiefe starken Schwankungen unterliegt. In **Bild 2** ist ein so ermitteltes, RGB-eingefärbtes Tiefenprofil der Reifenspurnach dargestellt [4].



**Bild 2:** RGB-eingefärbtes Tiefenprofil der Reifenspurnach [4].

**Figure 2:** Colored depth values and the RGB image of the corresponding rut [4].

Es sind Tests für verschiedene Schlupfwerte bei konstanter Normalkraft durchgeführt und die über die Stereokameras ermittelten Spurtiefen mittels 3D-Scanner überprüft worden. Die Werte konvergieren zu einer echten Spurtiefe, jedoch sind Unterschiede in den Maximalwerten vorhanden [4].

Neben den Traktionswerten kann die Spurtiefe auch Rückschlüsse auf die Bodenverdichtung geben. Poteko et al. [5] untersuchen verschiedene Messverfahren und Sensoren zur fortlaufenden Messung der Spurtiefe von Traktoren, um Rückschlüsse auf die Bodenverdichtung ziehen zu können. In den Feldversuchen wird zudem der Einfluss des Reifendrucks, der Fahr-

geschwindigkeit und der Bodenfeuchte auf die Spurtiefe untersucht. Als Verfahren ist die Laufzeitmessung von hochfrequenten Schallimpulsen und Photogrammetrie zur Messung der Spurtiefe untersucht worden. In der ersten Messkampagne sind kostengünstige Ultraschallsensoren und eine Action-Kamera zum Einsatz gekommen. Die Messungen mit den eingesetzten Ultraschallsensoren zeigen eine deutliche Abweichung zur Referenzmethode (Messlatte und Gliedermaß), jedoch decken sich die über die Referenzmethode ermittelten Zusammenhänge zwischen dem Reifendruck und der Spurtiefe sowie der Bodenfeuchte und der Spurtiefe. Die von der eingesetzten Kamera aufgenommenen Bilder konnten nur in drei Varianten mit je sechs Messreihen zur Ermittlung der Spurtiefe genutzt werden, da die Überlappung der Bilder in den übrigen Varianten nicht ausreichte. Es zeigen sich auch hier große Unterschiede zum Referenzverfahren und die Ergebnisse sind nicht konsistent. Auch die in der zweiten Messkampagne eingesetzten Ultraschallsensoren haben eine erhebliche Abweichung der Messwerte im Vergleich zu den Referenzwerten gezeigt. Die Bilddaten in der zweiten Messkampagne werden über eine Kamera aufgenommen, die an einem unbemannten Luftfahrzeug angebracht ist. Die aus den Bilddaten ermittelten Spurtiefen sind stark von dem Berechnungsverfahren abhängig. Auch hier zeigen sich starke Abweichungen [5].

Infolge der teilweise hohen Verlustleistungen im Rad-Boden-Kontakt sind Steigerung der Effizienz mittels aktiver Momentenverteilung im Antriebstrang von Traktoren ein wiederkehrender Ansatz. Wiest [6] entwickelt eine Methodik, die das Potential einer Effizienzsteigerung durch eine aktive stufenlose Momenten- und Drehzahlverteilung zwischen den Achsen bei einem allradgetriebenen Standardtraktor mit Verbrennungskraftmaschine und mechanisch angetriebener Hinterachse bereits in der Konzeptionsphase bewertbar macht. Durch die aktive stufenlose Momenten- und Drehzahlverteilung kann Gleichlauf eingeregelt werden, was einen höheren Laufwerkwirkungsgrad oder eine höhere Zugkraft bei gleicher Leistung zur Folge hat. Die Effizienz von Traktoren kann anhand der Kriterien Flächenleistung oder Energieaufwand beurteilt werden [6].

Durch die aktive stufenlose Momenten- und Drehzahlverteilung zwischen den Achsen wird die Verspannung der Antriebsachsen mit dem Boden verhindert, was sich positiv auf die Boden- und Pflanzenschonung auswirkt und den Reifenverschleiß verringert. Zudem sinken die Bauteilbelastung und es muss vom Motor nicht zusätzlich die Verlustleistung der Blindleistungsflüsse bereitgestellt werden. Darüber hinaus können höhere Brems- und Seitenkräfte von den Rädern auf den Boden übertragen werden. Der Allradantrieb kann in vielen Bereichen aktiviert bleiben, bei denen er bei einem konventionellen Allradantrieb bereits deaktiviert wäre, was eine vorteilhafte Zugkraftentwicklung wie auch eine höhere Fahr- und Bremssicherheit zur Folge hat. Der Vorgehensplan der entwickelten Methodik gliedert sich in sechs sequenzielle Teilschritte, die über Iterationsschleifen mehrfach durchlaufbar sind. Beginnend mit einer Zielformulierung folgt eine Einsatzanalyse und die Festlegung der zu verfolgenden Effizienzstrategie. Auf deren Basis erfolgt die Ermittlung des Ausgleichsbedarfs und anschließend die Konzepterstellung und Bewertung [6].

Auch Zhang et al. [7] beschäftigen sich mit der Effizienzsteigerung durch eine aktive Momentenverteilung. Sie untersuchen an einem elektrisch angetrieben Kleintraktor, mit Einzelradantrieb der Hinterachse, unterschiedliche Regelungsmethoden zur aktiven Momentenverteilung von linker zu rechter Fahrzeugseite beim Pflügen. Ziel ist es, den Laufwerkwirkungsgrad und somit die Energieeffizienz zu verbessern. Am Forschungstraktor lassen sich drei Strategien umsetzen: eine gleichmäßige Verteilung des Drehmomentes von linker zu rechter Fahrzeugseite wie bei einem konventionellen Hinterradantrieb mit offenem Differential, eine zur statischen Radlast proportionale Verteilung des Drehmomentes und eine aktive Steuerung des Drehmoments bei der die Schlupfwerte der Antriebsräder in Echtzeit gelöst und eine Gleitregime-Regelung zur Steuerung des Motordrehmoments eingesetzt wird. Hierfür werden die dynamischen Radlasten unter Berücksichtigung des Reifen-Boden-Kontaktes und den Geländeunebenheiten mit einbezogen. Beim Pflügen können durch die aktive Steuerung des Drehmoments die Schlupfwerte von linker und rechter Fahrzeugseite gleich gehalten werden, was die Energieeffizienz im Vergleich zu den anderen beiden untersuchten Regelungsmethoden steigert [7].

Die Steigerung der Energieeffizienz beim Pflügen ist auch bei Wang et al. [8] der Ansatz. Sie untersuchen an einem elektrisch angetriebenen Traktor mit verschiebbarer Traktionsbatterie eine Energieeffizienzsteigerung beim Pflügen mit konstanter Bearbeitungsqualität. Es soll ein Schlupfwert von 20 % der Hinterachse und eine konstante Bearbeitungstiefe gehalten werden. Die Zugkraftschwankungen sollen über eine Geschwindigkeitsanpassung und die Verschiebung der Traktionsbatterie kompensiert werden. Wang et al. erstellen ein Simulationsmodell, um die Regelstrategie auszuwählen und testen diese anschließend an einem Versuchstraktor. Die Feldversuche zeigen, dass durch die ausgewählte Regelstrategie eine Energieeffizienzsteigerung und eine konstante Bearbeitungstiefe erreicht wird. Der Laufwerkswirkungsgrad konnte im Vergleich zu einer Zugkraftregelung über die Bearbeitungstiefe um über 22 % gesteigert werden [8].

Eine Steigerung der Energieeffizienz bei der Bodenbearbeitung streben auch Kazenwadel et al. [9] an, die dafür Algorithmen zur Vorhersage des energieeffizientesten Betriebspunktes untersuchen. Die Algorithmen betrachten Betriebspunkte innerhalb definierter Grenzen für Arbeitsqualität und Arbeitsgeschwindigkeit und ermitteln die energieeffizienteste Arbeitsgeschwindigkeit. Beide Algorithmen zeigten in Feldtests eine Steigerung der Energieeffizienz im Vergleich zum menschlichen Referenzfahrer [9].

Zur Steigerung der Produktivität untersuchen Schaub und Schütte [10] die Getriebesteuerung von kleinen und mittelgroßen Standardtraktoren mit stufenlosem Getriebe (CVT-Getriebe) bei Frontladeranwendungen. Über eine reine Softwareanpassungen soll im neuen Frontlader-Fahrmodus eine schnelle Abbremsung bei Ladearbeiten gewährleistet sowie durchdrehende Räder und des Abwürgens des Motors beim Eingraben in das Haufwerk verhindert werden. Eine direkte Steuerung der Schubkraft durch den Bediener soll ebenfalls gegeben sein. Hierzu wurde die Charakteristik von Radlader-Antriebssträngen analysiert und die Steuerung des CVT-Getriebes an die Eigenschaften angepasst, die bei einem Radlader mit Drehmomentwandler ermittelt wurden. In Fahrversuchen zeigten sich bei den Versuchstraktoren in

den Fahrmanövern Verbesserungen in die angestrebte Richtung. Die Produktivität kann durch eine kürzere Dauer der einzelnen Ladezyklen infolge der direkteren Reaktion auf die Fahrerbefehle und die bessere Manövrierfähigkeit gesteigert werden [10].

Fahrdynamikmodelle können nicht nur zur Verbesserung der Fahrdynamikeigenschaften oder zur Steigerung der Effizienz genutzt werden, sondern auch für die strukturelle Optimierung des Antriebsstrangs. Shao et al. [11] erstellen für einen zentral angetriebenen Allradtraktor mit Gruppenschaltgetriebe ein Simulationsmodell, was den Antriebsstrang, die Reifen-Boden-Interaktion und die Traktordynamik beinhaltet. Durch die Wechselwirkung zwischen Reifen und Boden unter schwerer Last beim Pflügen besteht das Risiko eines Ermüdungsbruchs der Getriebeeingangswelle. Das Simulationsmodell soll Anhaltspunkte für die strukturelle Optimierung des Antriebsstrangs bieten. Zur Verifikation des Simulationsmodell werden Feldversuche durchgeführt [11].

### **Fahrsicherheit**

Nicht nur fahrdynamische Aspekte bieten einen Ansatz für Optimierungen. Auch die Verhütung von Unfällen im Straßenverkehr besitzt weiterhin Verbesserungspotential, da sich Unfälle zwischen Traktoren und anderen am Verkehr teilnehmenden Personen oder Fahrzeugen durch eine besondere schwere auszeichnen. Zu dieser Erkenntnis kommen Borrack et al. [12] in einem für die Unfallforschung der Versicherer formulierten Forschungsberichts. Hierfür sind die amtlichen Unfallstatistiken der Jahre 2005 bis 2021 in Deutschland betrachtet und ausgewertet worden. Dabei zeigt sich über den betrachteten Zeitraum ein geringer Anteil von landwirtschaftlichen Zugmaschinen am Gesamtunfallgeschehen (min.: 0,56 % - max.: 0,71 %), jedoch ist der Anteil mit tödlichen Folgen weitaus höher (min.: 1,29 % - max.: 2,63 %) [12].

In dieser Studie umfasst der Begriff landwirtschaftliche Zugmaschinen neben Traktoren ebenfalls Mähdrescher, Hoflader und Lastkraftwagen, wobei Traktoren mit 93 % den mit Abstand größten Anteil ausmachen. Es zeigt sich, dass vor allem drei Arten von Unfällen auftreten, die mit 80 % den größten Anteil ausmachen. Zu diesen gehören die Kollision mit einbiegenden oder kreuzenden Fahrzeugen, mit vorausfahrenden oder wartenden Fahrzeugen und mit entgegenkommenden Fahrzeugen [12].

Neben der reinen Analyse der amtlichen Unfallstatistik beschäftigen sich Borrack et al. [12] ebenfalls mit Maßnahmen zur Verhütung von Unfällen. Hierbei schlagen die Autoren als langfristige Maßnahme unter anderem die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation (V2V) vor, wodurch sich bis zu 70 % der Unfälle vermeiden ließen [12]. Diesen Umstand greifen Witte et al. [13] in ihrer Forschung auf und beschäftigen sich mit einer Möglichkeit zur markenunabhängigen Lösung für die Kommunikation zwischen Landmaschinen und anderen Fahrzeugen. Hierbei kooperieren die Agricultural Industry Electronics Foundation und das Projekt "LAND-NETZ", um die Anzahl an tödlichen Unfällen zu minimieren. Dabei sollen die für ein kooperatives intelligentes Verkehrssystem (C-ITS) notwendigen Daten aus dem ISOBUS von Traktoren ermittelt werden. Dies ist insbesondere wichtig, da durch die Feldarbeit unter Umständen die Sicherheitssensorik verschmutzt oder defekt sein kann. Zusätzlich ermöglicht dies eine markenunabhängige Integration in alle landwirtschaftlichen Fahrzeuge [13].

---

In einem ersten Versuch ist eine Unfallsituation simuliert worden. Dabei sendete ein liegengebliebenes Fahrzeug eine Decentralized Environmental Notification Message (DENM), die die Informationen über eine aktive Warnblinkanlage und eine Geschwindigkeit von 0 km/h enthielt. Die DENM ist von einer sich nähernden Zugmaschine ab einer Entfernung von 500 m detektiert worden, was der fahrzeugführenden Person ermöglichte, die Geschwindigkeit bereits zu reduzieren, bevor das liegengebliebene Fahrzeug überhaupt in Sichtweite gewesen ist [13].

Die Einführung von C-ITS ermöglicht weiterhin eine einfachere Integration des autonomen Fahrens in landwirtschaftliche Maschinen. Hierfür ist die reine Kommunikation zwischen Fahrzeugen nicht ausreichend, sondern es muss weiterhin eine Personenerkennung insbesondere auf Feldern bei schlechten Sichtverhältnissen integriert werden. Mit dieser beschäftigen sich Krause et al. [14], die ein Testfeld aufgebaut haben, auf welchem unterschiedliche Bedingungen (Bodenbearbeitung, Mähen, Ernten) simuliert und so Algorithmen zur Personenerkennung aus Bilddaten erprobt werden können. Dabei kommen vor allem künstliche Intelligenzen (KI) zum Einsatz [14].

Neben der Personenerkennung spielt auch die Navigation beim autonomen Fahren eine besondere Rolle. Für gewöhnlich erfolgt die Navigation über ein Real-Time Kinematic Global Navigation Satellite System (RTK-GNSS). Jedoch kann die Signalübertragung nicht an allen Standorten gewährleistet werden. Aus diesem Grund haben Saha et al. [15] sich mit einem bildgestützten Straßenerkennungssystem in Echtzeit beschäftigt, mit dem Sie eine maximale seitliche Positionsabweichung von 0,2 m bei unbefestigten Straßen und von 0,4 m bei befestigten Straßen erreichen [15].

Da sich Traktoren, die meiste Zeit abseits von Feldwegen oder befestigten Straßen bewegen, ist zusätzlich die Möglichkeit des autonomen Fahrens innerhalb von Feldern essenziell. Hierfür liefern Blume und Neumann [16] einen Ansatz, der auf RTK-GNSS beruht und eine Kombination aus KI und Bildauswertung verwendet. Ihre Forschung zielt auf den Aufbau eines Assistenzsystems für die fahrende Person ab, das die Lenkung übernimmt, sodass sich die fahrzeugführende Person um die Überwachung der Anbaugeräte kümmern kann. Umgesetzt werden soll das Assistenzsystem mit Hilfe einer KI, die durch selbstüberwachtes Lernen aus aufgenommenen Kamerabildern und den dazu dazugehörigen GNSS-Daten die Fahrgasse erkennt und verfolgen kann. Damit dies präzise funktioniert, ist insbesondere die genaue Kameraposition zur Fahrspur während der Aufnahme entscheidend. Hierfür ist ein Transformationsbaum erstellt worden, der die relative Kameraposition zur GNSS-Position des Traktors herstellt. Mit Hilfe dieses Transformationsbaumes und einer weiteren Umwandlung von 3D-Pfadpunkten in 2D-Pixelkoordinaten, lassen sich die gefahrene Fahrspur in die aufgenommenen Bilder einbetten und so eine automatische Annotation herstellen. Auf diese Weise wurden 5300 Testdatensätze generiert und automatisch gelabelt. Beim anschließenden Training inklusive Validierung zeigte sich, dass eine Vorhersagegenauigkeit von ca. 78% erreicht werden kann [16].

Aber neben modernen Forschungsansätzen, die sich mit einer Erhöhung der Fahrsicherheit durch autonomes Fahren beschäftigen, spielen weiterhin klassische Ansätze wie die Bestimmung des Überrollwinkels und entsprechende Verhütungsmaßnahmen eine entscheidende

---

Rolle. Die Verhinderung des Überrollens ist besonders in unwegsamen oder bergigen Regionen wichtig. So zeigte eine im Jahr 2021 angelegte Studie, dass in Italien im Schnitt pro Jahr mehr als 100 fatale Unfälle durch Überrollen entstehen [17]. Diesen Umstand greifen Carabin et al. [18] auf und entwickeln ein vereinfachtes mathematisches Modell, um das Stabilitätsverhalten eines allradangetriebenen Traktors zu simulieren und im Anschluss auf einem Prüfstand zu verifizieren.

Der Prüfstand der Freien Universität Bozen ermöglicht die Einstellung der Neigung bis zu  $55^\circ$  und zusätzlich die Drehung der Auflagefläche zwischen  $-175^\circ$  und  $175^\circ$ . Weiterhin lassen sich Traktoren mit einer Grundfläche von ca. 6 m x 4 m und einem Gewicht von bis zu 10 Tonnen testen, siehe **Bild 3**.

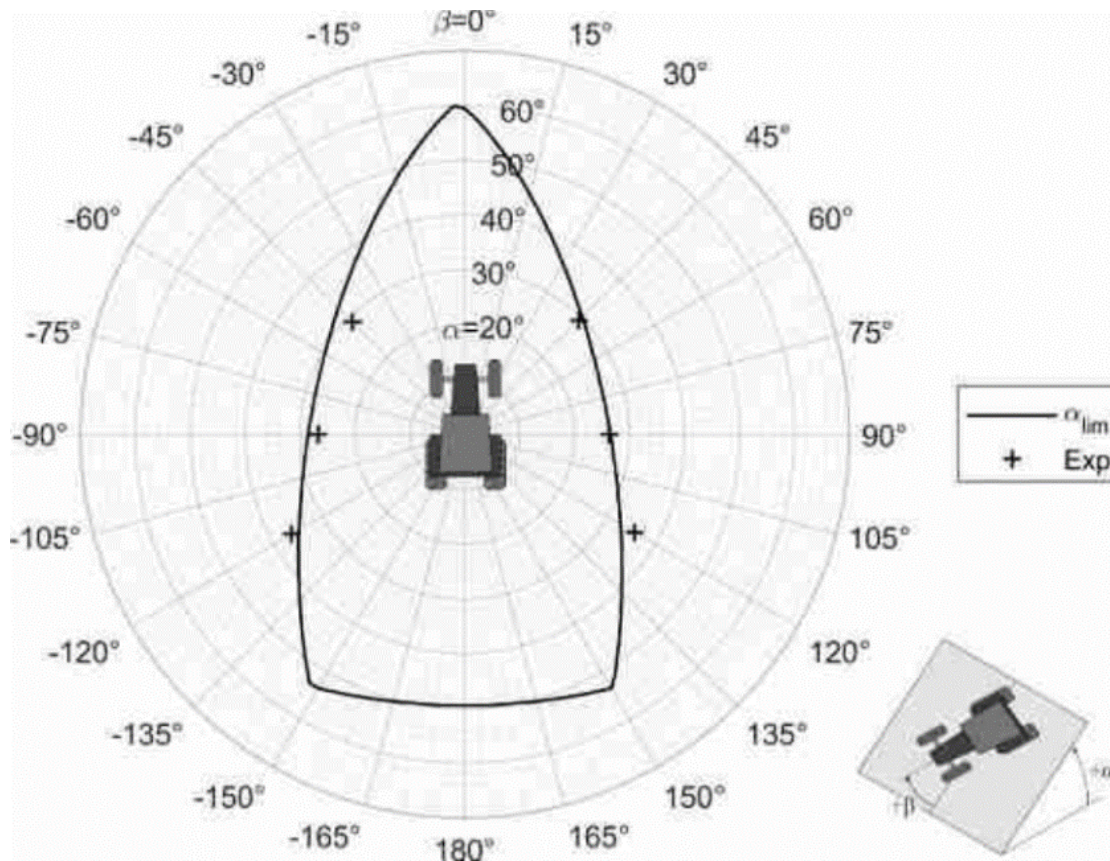


**Bild 3:** Prüfstand zur Überprüfung der Traktorstabilität [18].

**Figure 3:** Test stand for checking tractor stability [18].

Mit Hilfe dieses Prüfstands ist das mathematische Modell zum Stabilitätsverhalten des Traktors des Typs New Holland TN75V überprüft worden. Dabei zeigte sich, eine gute Übereinstimmung zwischen mathematischem Modell und dem Versuch am realen Fahrzeug, siehe **Bild 4**. Es ist ersichtlich, dass die seitliche Überrollstabilität am geringsten ist und es schon bei ca.  $27^\circ$  Neigung zu einem Überrollen kommt [18].

Um Überrollen zu verhindern, bildet der Einsatz eines automatischen aktiven Lenkimpulses bei Detektion eines kritischen Neigungswinkels einen Ansatz. Der automatische Lenkimpuls kann dabei durch einen Regler beeinflusst werden. Um zwei verschiedene Regelstrategien zu untersuchen, arbeiten He et al. [19] mit einem 15 PS starken Kleintraktor, den sie in einem Testfeld über verschiedenförmige Hindernisse fahren lassen. Dabei zeigt sich, dass der aufgebauete Gleitregimeregler einem PID-Regler überlegen ist und bessere Stabilitätsergebnisse liefert [19].



**Bild 4:** Grafische Darstellung der Überrollstabilität des Traktors New Holland TN75V in Abhängigkeit der Neigung ( $\alpha$ ) und der Orientierung ( $\beta$ ) [18].

**Figure 4:** Graphic illustration of the rollover stability of the New Holland TN75V tractor as a function of slope ( $\alpha$ ) and orientation ( $\beta$ ) [18].

Doch nicht nur kritische Geländeneigungen können zu einem Überschlag eines Traktors führen. Ein Überschlag kann ebenfalls durch holprige Feldwege ausgelöst werden, die zu einem Aufschwingen eines Traktors führen. Sollten die Schwingungen zu groß werden, können einzelne Räder kurzzeitig den Bodenkontakt verlieren, was bei erneuter Kontaktaufnahme zwischen Reifen und Boden einen Stoß verursacht, der zu Instabilitäten und im schlimmsten Fall zu Umstürzen führt. Um dies zu verhindern, werden bei größeren Traktoren in den USA und Europa Achsfederungen eingesetzt, was jedoch bei vielen kleineren Traktoren in Japan nicht erfolgt. Aus diesem Grund stellen Watanabe et al. [20] eine mathematische Simulation auf, die einen Vergleich zwischen einem Traktor ohne Achsfederung, mit einfacher Vorderachsfederung und mit semi-aktiver Vorderachsfederung bei Anregung mit einer sinusförmigen Straßenfunktion liefert. Es zeigt sich hierbei, dass die semi-aktive Achsfederung, die Schwingung signifikant reduzieren kann [20].

## **Fahrerplatz**

In aktuellen Veröffentlichungen werden jedoch nicht nur die Auswirkungen von Schwingungen auf die Stabilität des Traktors überprüft, sondern auch deren Auswirkungen auf den menschlichen Körper. So haben Singh et al. [21 - 23] im Jahr 2023 drei unterschiedliche Veröffentlichungen auf einem Versuchstraktor mit 55 PS durchgeführt und dabei Vibrationsauswirkungen auf den menschlichen Körper untersucht.

In einer Studie wird der Fahrkomfort während der Bodenbearbeitung auf Basis der Overall Vibration Value (OVV) bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten, Bearbeitungstiefen und Zugkräften ermittelt, wofür die Beschleunigung an drei Messpunkten bestimmt worden ist (Fußraum, Sitzschale und Rückenlehne). Dabei zeigt sich, dass die detektierten Vibrationen über den Grenzwerten der ISO 2631-1 (1997) liegen. Zusätzlich sind aufgezeichneten Daten genutzt worden, um verschiedenen Arten des maschinellen Lernens zu trainieren und den Fahrkomfort vorherzusagen. Weiterhin ist eine Varianzanalyse durchgeführt worden, die ermittelt, dass die Fahrgeschwindigkeit den größten Einfluss auf Vibrationen und damit auf die OVV hat [21].

Das Ergebnis, dass die Fahrgeschwindigkeit den größten Einfluss auf die Vibrationen hat, bestätigt auch die zweite Veröffentlichung von Singh et al. [22], in der die Seat Effectiv Amplitude Transmissibility (SEAT) bei Variation der oben genannten Fahrparameter ermittelt worden ist. Hierfür sitzen Beschleunigungssensoren an Sitzschale und Fußraum, die mit einem Schwingungsmessgerät verbunden sind. Die so ermittelten Daten werden mittels ESP 8266 cloudbasiert in Echtzeit ausgewertet und visualisiert. Dies ermöglicht es, die fahrzeugführende Person auf Überschreitungen von Grenzwerten hinzuweisen, sodass Maßnahmen zur Schwingungsreduktion getroffen werden können [22].

In der dritten Veröffentlichung von Singh et al. [23] sind die Ergebnisse bzgl. des größten Einflusses der Fahrgeschwindigkeit erneut bestätigt worden. Darüber hinaus ist die SEAT bestimmt und mittels Power Spectral Density Resonanzfrequenzen ermittelt worden, die im Bereich von 4 - 7 Hz und 8 - 12 Hz liegen [23].

Mit ähnlichen Frequenzen von 3 und 7 Hz arbeitet auch die Simulation von Zhang und Guo [24], die sich mit der Untersuchung der Lendenwirbelsäule bei unterschiedlichen Winkeln der Rücklehne beschäftigt. Dabei ist festgestellt worden, dass die Belastungen bei einem Winkel zwischen Sitz und Rückenlehne von 95° - 100° am geringsten sind [24].

Während sich die oben genannten Simulationen meist nur auf die Simulationen der Interaktion zwischen Mensch und Sitz beschränken, beschäftigen sich Hoffmann et al. [25] mit der Integration von Fahrzeugsitz inklusive Mensch in die Gesamtfahrzeugsimulation. Die dafür entwickelte Methode basiert auf der Erstellung einer Substruktur in der Finite-Elemente (FE)-Software Abaqus, die im Anschluss in die Mehrkörpersimulationssoftware SIMPACK überführt wird. Dabei muss das Verhalten der Substruktur in SIMPACK mit Hilfe eines Vergleichs von Eigenmoden und der modalen Dämpfungsfaktoren validiert werden. Die anschließende Bestimmung der Sitzübertragungsfunktion in SIMPACK zeigt eine gute Übereinstimmung mit der von Abaqus. Eine abschließende Gesamtfahrzeugsimulation liefert ebenfalls gute Ergebnisse,

sodass dieses Vorgehen als Grundlage für weitere Noise Vibration Harshness (NVH)- und Fahrkomfortsimulationen dienen kann [25].

Im Bereich der Auswertung von Ganzkörperschwingungen stellt das Institut für Arbeitsschutz der deutschen Unfallversicherer (IFA) eine neue Software vor, mit der aufgenommene Schwingungen umfassend ausgewertet werden können [26].

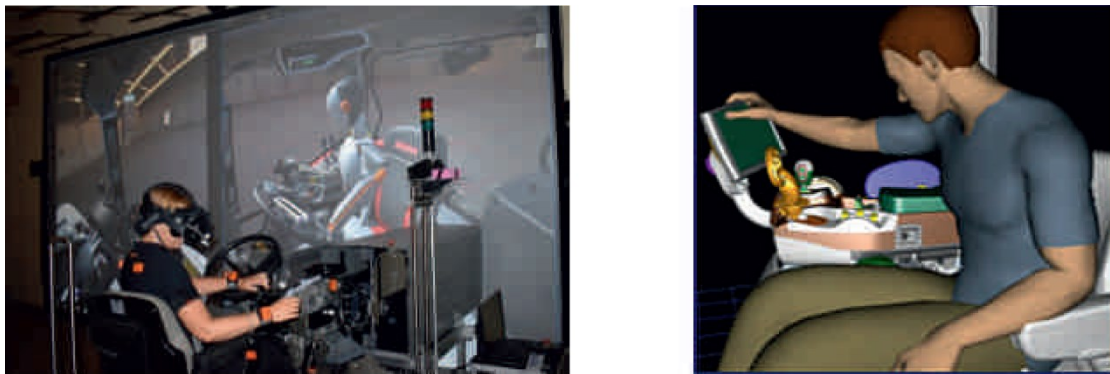
Doch nicht nur die Simulation und Auswertung von Schwingungen sind Gegenstand der Forschung, sondern auch deren wirksame Reduktion. Hierfür liefert Wolf von John Deere [27] innerhalb der R6-Serie einen semiaktiven hydropneumatischen Ansatz der Kabinenfederung. Dieser Ansatz besteht aus zwei Gummi-Isolatoren im vorderen Teil der Kabine und im hinteren Teil aus zwei Zylindern mit Druckspeicher. Weiterhin ist die Kabine mit einem Panhardstab ausgestattet, um seitliche Kabinenbewegungen einzuschränken. Besondere Herausforderungen bilden hierbei das Spannungsfeld zwischen einer weichen Fahrzeugkabinenfederung, um sekundären Fahrkomfort im Bereich 10 - 20 Hz zu gewährleisten und einer möglichst starren Kabinenfederung, um im Bereich 0 - 10 Hz Fahrkomfort zu erreichen. Zusätzlich haben Anbaugeräte einen signifikanten Einfluss auf die Eigenfrequenzen des Traktors und verschieben diese in den Bereich von 1 Hz, was zu einer rechnerischen, statischen Einfederung von ca. 250 mm der Kabinenfederung führt. Dies umzusetzen, führt allerdings zu einem Unwohlsein der fahrzeugführenden Person, weswegen ein maximaler Federweg von 100 mm vorgesehen wird, der durch das semi-aktive System ausreichend ist. Ein weiterer Vorteil eines semi-aktiven Systems liegt in der Abmilderung von Fahrmanövern, wie abrupten Bremsungen [27].

Neben der Federung der Fahrzeugkabine steht auch der Aufbau landwirtschaftlichen Fahrzeugkabinen im Fokus neuer Entwicklungen. Das Konsortium Fahrerkabine 4.0 - OnField beschäftigt sich dabei mit der Integration anderer Hofprozesse durch digitale Vernetzung in die Fahrzeugkabine. Ein neues Kabinenkonzept für Erntemaschinen stellen Lehr et al. [28] vor. Dieses Konzept sieht einen Wechsel zwischen Arbeits-, Entspannungs- und Büromodus durch Rotation des Sitzes vor. Ermöglicht wird dies durch das Entfernen der Lenksäule und hinzufügen zweier Multifunktionsarmlehnen. Je nach Betriebsmodus erhält die fahrzeugführende Person über Head-up-Display dem Betriebsmodus entsprechende Inhalte angezeigt. Zur Validierung des Konzepts ist eine Demonstratorkabine aufgebaut worden, die die Steuerungs- und Bedienbefehle der nutzenden Person mittels CAN-Bus und Mikrocontroller an den Landwirtschaftssimulator 19 übergibt. Aufgrund der eingegebenen Befehle liefert der Landwirtschaftssimulator 19 Ausgangsdaten die von einem Matlab/Simulink-Simulationsmodell eingelesen und verarbeitet werden. So lassen sich mit Hilfe eines neuronalen Netzes unter anderem Ernteverluste abschätzen. Insgesamt entsteht so eine realitätsnahe Umgebung [28].

Einen vergleichbaren Ansatz liefert Campanella [29], die mit Virtual-Reality-Tools aktiv in den Produktentstehungsprozess eingreifen will, um eine Senkung der Kosten sowie Entwicklungs- und Produktionszeiten zu erreichen. Die dafür entwickelte Methode besteht aus drei Phasen. Die erste Phase umfasst die Erfassung von physiologischen und physischen Daten von nutzenden Personen während der Interaktion mit einem Traktor mittels verschiedener Sensoren und Eye-Tracking. In der zweiten Phase wird basierend auf den Erkenntnissen der ersten Phase ein digitaler Zwilling mit Hilfe des Programms Jack erstellt, sodass diese in virtuelle

Maschinenlayouts integriert und damit Größenverhältnisse überprüft werden können. Die abschließende dritte Phase nutzt das Bewegungserfassungssystem Xsens, um die Bewegungen eines realen Nutzers zu erfassen und in der virtuellen Umgebung darzustellen, vgl. **Bild 5** [29].

Auch bei der Optimierung der Traktorbeleuchtung kommen VR-Technologien zum Einsatz. Di Vetta und Ladinger [30] optimieren die Beleuchtung eines Steyr Terrus durch den Einsatz von Raytracing, um so das reale Lichtverhalten nachzubilden. Hierfür werden innerhalb eines CAD-Modells dem Traktor alle Materialien und Texturen genau zugeordnet, sodass die Simulation das reale Verhalten abbilden kann. In einem ersten Schritt ist die Anzahl der Scheinwerfer von 18 auf 12 reduziert worden, bis sich bei 16 Schweinwerfern das Optimum einstellte, bei dem das Traktorumfeld ausreichend beleuchtet wurde und die fahrzeugführende Person nicht geblendet wird. Validiert wurde dies mit einem realen Modell [30].



**Bild 5:** Beispiel eines realen Menschen (links) und dessen digitaler Zwilling (rechts) [29].

**Figure 5:** Example of a real person (left) and their digital twin (right) [29].

Doch nicht nur die Beleuchtung eines Traktors ist für ein effektives Arbeiten entscheidend, auch die Integration von Anbaugeräten unterschiedlicher Hersteller ist essenziell. An einer einfachen Integration der damit einhergehenden unterschiedlichen Bedienungsmöglichkeiten innerhalb der Fahrzeugkabine arbeiten Hülle et al. [31] aus dem Projekt "Adaptive Schnittstellensysteme in landwirtschaftlichen Traktoren 2.0" (aISA 2.0). Ziel ist die Entwicklung eines modularen Auxcontrollers auf ISOBUS-Basis, der in die Armlehnen verschiedener Hersteller integriert werden kann und so eine einfache Integration der Funktionspalette unterschiedlicher Anbaugeräte ermöglicht [31].

Auf die Integration einer Recheneinheit in verschiedene Landmaschinen setzt auch die Firma TTControl GmbH, die die Recheneinheit Fusion entwickelt hat. Diese besitzt unterschiedliche Datenschnittstellen, die je nach Anwendungsfall zum Einsatz kommen. Die Recheneinheit ist vor allem für den Einsatz von künstlicher Intelligenz als Edge-System oder Internet-of-Things (IoT)-Anwendungen gedacht, sodass hiermit der Einsatz von Smart-Farming unterstützt werden kann. Weiterhin lassen sich damit auch Arbeits-, Sicherheits-, Komfort- und Assistenzfunktionen umsetzen und Over-the-Air-Softwareupdates durchführen [32].

Den Aspekt Fahrkomfort und Muskelermüdung während der Traktorfahrt greifen Zhang et al. [33] auf. Hierfür wird die mittels SolidWorks aufgebaute Traktorkabine eines Dongfanghong LX804 in die Software The AnyBody Modeling System importiert, in der zuvor ein Ganzkörpermodell des menschlichen Bewegungsapparats mit den Standardwerten von chinesischen Männern aufgebaut worden ist. Mit Hilfe dieses Modells lässt sich die Muskelaktivität der Beinmuskulatur bei der Kupplungsbetätigung simulieren, nachdem das Modell zuvor durch elektromyographische Messung validiert worden ist. Es zeigte sich ein relativer Fehler im Bereich von 4 % - 16 % [33].

Das aufgebaute Modell ist in einer zweiten Studie genutzt worden, um die Position des Kupplungspedals und dessen Federsteifigkeit zu optimieren und damit eine geringe Ermüdung der Muskulatur und Belastung der Gelenke zu erreichen. Es zeigte sich, dass die Belastung am geringsten ist, wenn der Abstand zwischen Seat Index Point (SIP) und Anbringungspunkt der Kupplung in horizontaler Richtung 72 - 76 cm und in vertikaler Richtung 36 - 40 cm beträgt. Die Federsteifigkeit sollte dabei im Bereich 14 - 22 Nm/rad liegen [34].

Doch nicht nur der Fahrkomfort und die damit verbundene Erhöhung der Sicherheit während des Betriebs ist gegenwärtig Forschungsgegenstand. Irumva et al. [35] untersuchen auch eine Möglichkeit zum Schutz der fahrzeugführenden Person während des Ein- bzw. Aussteigens. Hierfür ist ein System unter Einsatz eines neuronalen Netzes entwickelt worden, dass die ein- bzw. aussteigende Person in Echtzeit warnt, wenn ein risikoreiches Verhalten in der Kabinenkameraaufnahme erkannt wird [35].

## **Zusammenfassung**

In den Bereichen Fahrndynamik, Fahrsicherheit und Fahrerplatz werden gegenwärtig unterschiedliche Forschungsansätze diskutiert. Die Forschungsberichte innerhalb der Fahrndynamik beschäftigen sich mit der Effizienzsteigerung, der Vorhersage von Traktionswerten für das autonome Fahren, sowie die Ableitung von Traktionswerten moderner Reifen auf Basis der Spurtiefe und oder des Spurprofils. Auch innerhalb der Forschung zur Fahrsicherheit gewinnt das autonome Fahren an Bedeutung. Hierbei werden unter anderem Ansätze zur Spurerkennung und Verhütung von Unfällen im Straßenverkehr auf Grundlage von Kooperativen Intelligenten Verkehrssystemen untersucht. Doch auch klassische Untersuchungen zur Überrollstabilität und dessen Verhinderung durch den Einsatz von Reglern werden betrachtet. Im Bereich des Fahrerplatzes ist weiterhin die Erkennung von Vibrationen und deren Reduktion Gegenstand von Forschungen. Dabei werden neben simulativen Modellen auch weiterhin reale Messungen vorgenommen. Auch die Optimierung der Kabine mit Hilfe moderne Techniken wie KI oder VR werden zunehmend untersucht, da trotz eines fortschreitenden Automatisierungsgrades die fahrzeugführende Person bisher nicht ersetzt werden kann.

## **Literatur**

- [1] Angelucci, L.; Mattetti, M.; Pinet, F.; Vertura, A.: Traction test methods to assess the energy efficiency of agricultural tractors and tires. In: VDI-Berichte 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, S. 263-268.

- [2] Hamm, A. R.; Kordestani, A.; Steward, B. L.; Birrell, S. J.: Modelling Tire Tractive Performance at Lower Inflation Pressures – 2023 ASABE Annual International Meeting. ASABE Paper No. 2300141, St. Joseph, MI: ASABE 2023, DOI: 10.13031/aim.202300141.
- [3] Pytka, J.; Śliczniak, T.; Gardyński, L.; Czajka, A.; Tarkowski, S.: Determination of the tractive forces of a tractor based on the reconstruction of tire – soil contact surface obtained by means of photogrammetry. 16th European-African Regional Conference of the ISTVS (2023), S. 3507.
- [4] White, H.; Sandu, C.; Mukherjee, J.; L'Afflitto, A.; Gorsich, D.; Cole, M.: Real-time measurement of tire sinkage using stereo cameras. 16th European-African Regional Conference of the ISTVS (2023), S. 6630.
- [5] Poteko, J.; Volk, L.; Noack, P. O.: Vergleichende Untersuchung von Messverfahren zur Bestimmung der Spurtiefe von Traktoren. Landtechnik 78 (2023) H. 1, S. 10-23.
- [6] Wiest, D. C.: Untersuchungen zur Effizienzsteigerung allradgetriebener Standardtraktoren durch aktive Momenten- und Drehzahlverteilung im Antriebsstrang. Berlin: Technische Universität Berlin 2023, DOI: 18204.
- [7] Sheng-li Zhang; Chang-kai Wen; Wen Ren; Zhen-hao Luo; Bin Xie; Zhong-xiang Zhu; Zhong-ju Chen: A joint control method considering travel speed and slip for reducing energy consumption of rear wheel independent drive electric tractor in ploughing. Energy 263 (2023), S. 126008.
- [8] Qi Wang; Xudong Wang; Wei Wang; Yuling Song; Yongjie Cui: Joint control method based on speed and slip rate switching in plowing operation of wheeled electric tractor equipped with sliding battery pack. Computers and Electronics in Agriculture 215 (2023), S. 108426.
- [9] Kazenwadel, B.; Becker, S.; Michiels, L.; Geimer, M.: Data-driven algorithms for predicting energy-efficient operating points in agricultural soil tillage. In: VDI-Berichte 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, S. 519–527.
- [10] Schaub, C.; Schütte, R.: Performance optimization of CVT standard tractors in front loading application. In: VDI-Berichte 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, S. 21-28.
- [11] Xuedong Shao; Zihan Yang; Samir Mowafy; Bowen Zheng; Zhenghe Song; Zhenhao Luo; Weijie Guo: Load characteristics analysis of tractor drivetrain under field plowing operation considering tire-soil interaction. Soil and Tillage Research 227 (2023), S. 105620.
- [12] Borrack, M.; Unger, D.; Behl, T.; Hegerfeld, R.; Kühn, M.: Unfallrisiko von Traktoren. Unfallforschung der Versicherer (Hrsg.), 21.07.2023.
- [13] Witte, J.; Striller, B.; Hecker, A.; Holfeld, J.; Pohle, M.; Wolniak, N.; Nothdurf, T.: Adapting and enhancing V2X communication to agricultural machinery to address road safety via C-ITS. In: VDI-Berichte 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, S. 371-378.
- [14] Krause, J. C.; Iqbal, N.; Niemeyer, M.; Thy, B.; Plagge, L.; Hollmeier, H.; Ruckelshausen, A.; Röttgermann, S.; Tauber, A.; Herbers, J.; Menke, S.; Hertzberg, J.:

- AI-TEST-FIELD – A Test Environment for the Automated Evaluation of Methods for Robust and Reliable Environment Perception. In: VDI-Berichte 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, S. 547-554.
- [15] SAHA, S.; MORITA, T.; NOGUCHI, N.: A vision-based road detection system for the navigation of an agricultural autonomous tractor. *Engineering in Agriculture, Environment and Food* 16 (2023) H. 2, S. 43-52.
- [16] Blume, T.; Neumann, L.: Self-supervised learning for an agriculture driver assistant system. In: VDI-Berichte 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, S. 471–476.
- [17] Facchinetti, D.; Santoro, S.; Galli, L. E.; Pessina, D.: Agricultural Tractor Roll-Over Related Fatalities in Italy: Results from a 12 Years Analysis. *Sustainability* 13 (2021) H. 8.
- [18] Carabin, G.; Becce, L.; Mandler, A.; Mazzetto, F.: Integrated Determination of Tractor Centre of Gravity and Lateral Rollover Angle. Opatija. In: University of Zagreb, Faculty of Agriculture Department of Agricultural Engineering (Hrsg.): *Actual Tasks on Agricultural Engineering, 2023*, S. 23-32.
- [19] Zhizhu He; Zhansheng Song; Longlong Wang; Xu Zhou; Junxiao Gao; Kangda Wang; Minli Yang; Zhen Li: Fasting the stabilization response for prevention of tractor rollover using active steering: Controller parameter optimization and real-vehicle dynamic tests. *Computers and Electronics in Agriculture* 204 (2023), S. 107525.
- [20] Watanabe, M.; Kazama, K.; Sakai, K.: Development of nonlinear bouncing tractor model with semi-active axle suspension system – 2023 ASABE Annual International Meeting. ASABE Paper No. 2300048, St. Joseph, MI: ASABE 2023, DOI: 10.13031/aim.202300048.
- [21] Amandeep Singh; Naser Nawayseh; Harwinder Singh; Yash Kumar Dhahi; Siby Samuel: Internet of agriculture: Analyzing and predicting tractor ride comfort through supervised machine learning. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 125 (2023), S. 106720.
- [22] Amandeep Singh; Naser Nawayseh; Yash Kumar Dhahi; Siby Samuel; Harwinder Singh: Transforming farming with intelligence: Smart vibration monitoring and alert system. *Journal of Engineering Research* (2023).
- [23] Amandeep Singh; Siby Samuel; Yash Kumar Dhahi; Harwinder Singh: Whole-body vibration: Characterization of seat-to-head transmissibility for agricultural tractor drivers during loader operation. *Smart Agricultural Technology* 4 (2023), S. 100164.
- [24] Chi Zhang; Li-Xin Guo: Analysis of lumbar spine injury with different back inclinations under whole-body vibration: A finite element study based on whole human body models. *International Journal of Industrial Ergonomics* 95 (2023), S. 103447.
- [25] Hofmann, J.; Lu, Y.-Y.; Veeraraghavan, A. R.; Enns, G. C.: Interaktion Mensch – Sitz – Fahrzeug: Methodik zur Integration des Menschen in die Gesamtfahrzeugsimulation. In: 9. VDI-Fachtagung Humanschwingungen 2023 : Vibrations- und Schwingungseinwirkungen auf den Menschen : 09. und 10. Mai 2023, Würzburg, VDI-
-

- Berichte BV000016148 2411, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2023, ISBN: 9783180924113, S. 23-34.
- [26] Ulrich, M.; Freitag, C.; Hermanns-Truxius, I.: Entwicklung einer Software zur Auswertung von Ganzkörpervibrationen. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (2023) H. 06.
- [27] Wolf, G.: Ride Comfort on Tractors. In: 9. VDI-Fachtagung Humanschwingungen 2023 : Vibrations- und Schwingungseinwirkungen auf den Menschen : 09. und 10. Mai 2023, Würzburg, VDI-Berichte BV000016148 2411, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2023, ISBN: 9783180924113, S. 3-9.
- [28] Lehr, P.; Metzger, S.; Geimer, M.; Budde, L.: Validierungsumgebung für ein neues Kabinenkonzept am Beispiel eines Mähdreschers. ATZheavy duty 16 (2023) H. 1, S. 34-37.
- [29] Campanella, C.: User experience evaluation, based on Ergonomics and Virtual Reality tools on CNHi agricultural tractors. In: VDI-Berichte 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, S. 363-370.
- [30] Di Vetta, G. S.; Ladinger, J.: Work light modularity, research for real 360° visibility, focus on hidden areas to increase safety and performance for the customer. In: VDI-Berichte 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, S. 357-362.
- [31] Hülle, B.-G.; Böttinger, S.; Racs, M.; Schempp, T.: Design and development of adaptive control elements on agricultural tractors based on ISOBUS communications. In: VDI-Berichte 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, S. 275-282.
- [32] Purkrabek, A.: Steuerungstechnik mit künstlicher Intelligenz für die softwarezentrierte Landmaschine. ATZheavy duty 16 (2023) H. 2, S. 20-25.
- [33] Wenjie Zhang; Qichao Wang; Zheng Xu; Yujun Shang; Hongmei Xu: Development of a tractor operator-operation environment coupled biomechanical model and analysis of lower limb muscle fatigue. International Journal of Industrial Ergonomics 93 (2023), S. 103407.
- [34] Wenjie Zhang; Hao Yang; Yalin Li; Yabing Zhao; Hongmei Xu: An optimization model of tractor clutch pedal design parameters based on lower limb biomechanical characteristics. International Journal of Industrial Ergonomics 98 (2023), S. 103519.
- [35] Irumva, T.; Mwanguzi, H.; Pitla, S. K.; Lowndes, B.; Yoder, A. M.; Siu, K.-C.: Agricultural Machinery Operator Monitoring System (Ag-OMS): A Machine Learning Approach for Real-Time Operator Safety Assessment. Journal of Agricultural Safety and Health 29 (2023) H. 2, S. 85-97.

### **Autorendaten**

M. Sc. Tobias Richard Rosenthal ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen an der Technischen Universität Berlin.

Dr.-Ing. Daniel Christian Wiest ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen an der Technischen Universität Berlin.

Prof. Dr.-Ing. Henning J. Meyer ist Leiter des Fachgebietes Konstruktion von Maschinensystemen an der Technischen Universität Berlin.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Wissenschaftliches Review / Scientific Review**

Erfolgreiches Review am 20.02.2024

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Rosenthal, Tobias Richard; Wiest, Daniel Christian; Meyer, Henning J.: Fahrdynamik - Fahrsicherheit - Fahrerplatz. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-17

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171538-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/fahrsicherheit.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## Bodenbearbeitungstechnik

Thomas Herlitzius, Martin Hengst, Sören Geißler, Stefan Schwede

### Kurzfassung

Die zunehmenden Wetterextreme mit Trockenphasen und häufigeren Starkregenereignissen verändern das Anforderungsprofil an Ackerbausysteme. Erosions- und Verdunstungsschutz, die Bindung von CO<sub>2</sub> im Boden sowie die Förderung der Infiltrations- Speicher und Dränfähigkeit der Böden gewinnt an Bedeutung. Flaches, wassersparendes Arbeiten, aber auch situative, standortabhängige und datengetriebene Bodenbearbeitung liegen weiterhin im Trend. Aus der Diskussion über die Notwendigkeit der Reduktion chemischer Mittel zur Beikrautregulierung und der Ausbreitung von Resistenzen entsteht eine verstärkte Nachfrage nach Geräten zur mechanischen Beikrautregulierung. Zur Agritechnica wurden eine Reihe von neuen Konzepten vorgestellt, Forschungsprojekte zur Marktreife gebracht und bestehende Geräte weiterentwickelt. Durch kontinuierliche Erweiterung des Maschinenangebots und Lösungen zur intelligenten Prozessüberwachung gewinnen hochautomatisierte Maschinensysteme weiterhin an Bedeutung.

### Schlüsselwörter

Bodenbearbeitung, Bodenbearbeitungstechnik, mechanische Unkrautregulierung, Sensorik, Feldroboter

## Tillage

Thomas Herlitzius, Martin Hengst, Sören Geißler, Stefan Schwede

### Abstract

Increasing weather extremes with dry periods and more frequent heavy rainfall events will change the requirements for farming strategies. Erosion and evaporation protection, binding of CO<sub>2</sub> in the soil and improving of the soil's infiltration storage and drainage capacity are becoming increasingly important. Shallow, water-saving tillage, but also situative, location-based and data-supported tillage are still trending. The discussion about the desired reduction of chemical weed control products and weed resistances has led to a growing demand in mechanical weed control equipment. The growing range of machines and new solutions for intelligent process monitoring result in increasing importance of highly automated machine systems.

### Keywords

Tillage, tillage technology, mechanical weed control, sensor technology, field robots

## **Allgemeine Entwicklung**

Die wirtschaftliche Situation für die Landwirte stellt sich im Vergleich zum Vorjahr erneut leicht verbessert dar. Die fallenden Erzeugerpreise bei tierischen und pflanzlichen Erzeugnissen und die gestiegenen Kosten für Energie und Betriebsmittel sorgen allerdings für einen verhaltenen Blick in die Zukunft [1; 2]. Trotzdem planen laut des Konjunktur- und Investitionsbarometers Agrar von Dezember 2023 26 % der Landwirte bis zum Erntebeginn 2024 neue Maschinen und Geräte anzuschaffen [3; 4].

Nachdem im Jahr 2022 durch die in Deutschland produzierenden Landtechnikhersteller ein Rekordumsatz von über 12 Mrd. € erreicht wurde [5], konnte zur Jahresmitte 2023 ebenfalls ein Spitzenwert vermeldet werden, auch weil sich die lange Zeit angespannte Situation auf den Rohstoff- und Zuliefermärkten seit dem Frühjahr entspannt hat. Es wird vom VDMA für das Gesamtjahr 2023 erneut mit einem Umsatzvolumen von über 12 Mrd. € gerechnet. Die Erwartungen für 2024 sind nach den Spitzenwerten der vergangenen Jahre zurückhaltend, ein deutlicher Negativtrend ist bisher aber nicht absehbar [6; 7].

In den von Trockenheit geprägten letzten Jahren war im Bereich der Bodenbearbeitung ein Trend zum ultraflachen und präzisen Bearbeiten zu erkennen, um eine Austrocknung des Bodens zu vermeiden. Dieser Trend bleibt auch weiterhin erhalten, wie die Erweiterungen der Produktportfolios der Hersteller in diesem Bereich zeigen. Das nasse Wetter im Frühjahr 2023 und die verzögerte Erntesaison stellten wiederum Anforderungen an eine möglichst universelle Bodenbearbeitung [8]. Die Einarbeitung von großen Mengen an Biomasse beim Umbruch von Lagergetreide erfordert tieferes Einarbeiten mit universellen Maschinen. Auch in diesem Bereich wächst das Angebot an Scharformen für verschiedene Arbeitstiefen [9]. Generell wird mit zunehmender Bedeutung der Bodenbearbeitung für Ernterestmanagement und mechanische Beikrautregulierung ein wachsender Markt erwartet.

## **Mechanische Beikrautregulierung/Ernterestmanagement**

Enge Fruchtfolgen und vermehrt auftretende Problemschaderreger führen zu einer Zunahme von Resistenzbildungen gegenüber Pflanzenschutzmitteln. Die abnehmende Verfügbarkeit von wirksamen Pflanzenschutzmitteln fordert Einsatzstrategien, um die Resistenzentwicklung aufzuhalten bzw. zu verlangsamen. Das führt zu einer Auseinandersetzung mit einem Netzwerk von Handlungsoptionen, die unter dem Begriff Feldhygiene zusammengefasst werden können und deren gegenseitige Abhängigkeiten von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) beschrieben wurden [10]. Darunter zählen Beziehungen zwischen Standortfaktoren, Fruchtfolge, Unkrautsamenmanagement, Sortenwahl, Bestandsführung und Bodenbearbeitung. Vor allen Dingen die komplexen Abhängigkeiten und nur bedingt beeinflussbaren Faktoren (Witterung, Marktpreise, ...) machen allgemeingültige Handlungsempfehlungen unmöglich, sondern erfordern standortspezifische Entscheidungen [10].

Neueste Entwicklungen von Bodenbearbeitungsgeräten spiegeln diesen Trend wider:

### *Kraftanpassung am Striegelzinken*

Der Einsatzerfolg von Striegeln bei der Beikrautregulierung beruht auf den Effekten Verschütten und Ausreißen von Beikräutern vor dem Auflaufen der Nutzpflanze oder im bestehenden Bestand. Wechselnde Bodenbedingungen erfordern ein feinfühliges justieren der Kraft, die der Striegelzinken auf den Boden ausübt. Stufenlos einstellbare Zinkenkräfte sind notwendig, um Beikräuter effektiv zu bekämpfen und Verluste in der Nutzpflanze niedrig zu halten. Zusätzlich muss für den Einsatz in Dammkulturen die Zinkenkraft möglichst unabhängig vom Federweg des Werkzeuges sein. Die Hersteller begegnen der Aufgabe in unterschiedlichen Konzepten. Neben den etablierten Systemen mit einstellbarer Vorspannung von mechanischen Federn, stellt die Fa. LEMKEN den Thulit mit hydraulisch einstellbarer Zinkenkraft vor. In einem Metallblock integrierte kleine Hydraulikzylinder sind über eine Stange jeweils mit einem Zinken verbunden, siehe **Bild 1** links. Die hydraulische Schaltung über Hydrospeicher ermöglicht das Aus-/Einfedern einzelner Werkzeuge und über den wählbaren Systemdruck das gleichmäßige Einstellen der Kraft. Zudem können die Werkzeuge aktiv eingefahren werden, was in Transportstellung zu mehr Sicherheit führen soll [11].



**Bild 1:** Striegel Thulit von LEMKEN mit hydraulischer Zinkendruckanpassung (links) [11] und Striegel Air Flow von Hatzenbichler mit pneumatischer Zinkendruckanpassung (rechts) [12].

**Figure 1:** Harrow Thulit from LEMKEN with hydraulic tine pressure adjustment (left) [11] and harrow Air-Flow from Hatzenbichler with pneumatic tine pressure adjustment (right) [12].

Die Fa. Hatzenbichler hat ein pneumatisches Federsystem in den Markt gebracht. Hier sind direkt am Zinken Pneumatikzylinder montiert, die über den einstellbaren Luftdruck die Zinkenkraft stufenlos variieren können, siehe **Bild 1** rechts. Des Weiteren wird auf der Webseite ein System vorgestellt, dass es erlaubt, zinkenweise den Druck zwischen 2 Stufen zu wechseln. Zusammen mit einer Pflanzreihenerkennung können Nutzpflanzen mit geringerer Kraft bearbeitet werden als die Reihenzwischenräume. Praxisergebnisse sind bisher noch nicht veröffentlicht [12].

### *Stoppelbearbeitung*

Das Gerät Kwickfinn von Lyckegård ist eine Kombination aus passiven und aktiven Werkzeugzonen. In der vorderen Zone wird der Boden über einen ein- oder mehrbalkigen Federzinken-grubber aufgebrochen und ganzflächig geschnitten. Danach folgt ein Zinkenrotor, um Kluten zu zerschlagen und organisches Material vom Boden zu trennen. Durch das offene Heck wird das Material nach hinten geschleudert und verteilt, siehe **Bild 2** [13].



**Bild 2:** Maschinenkonzept Kwickfinn von Lyckegård mit passiven und aktiven Werkzeugen [14].  
**Figure 2:** Kwickfinn machine concept from Lyckegård with passive and active tools [14].

Das GrindStar Konzept der TH Köln zur ultraflachen Bodenbearbeitung wurde bereits im vorhergehenden Jahrbuch beschrieben [15]. Zusammen mit der Fa. Saphir Maschinenbau GmbH und Seed2Soil GmbH & Co. KG wurde das Konzept weiterentwickeln, 2023 beim Innovation Award der Agritechnica mit der Silbermedaille ausgezeichnet und steht vor der Markteinführung [16]. Die passiven drehbaren Werkzeugsterne sind einseitig im Bodeneingriff und werden durch die Vorwärtsbewegung in Rotation versetzt. Die Werkzeuge arbeiten sich dabei nur leicht in den Boden ein (ca. 2 cm) und sollen Stoppeln ganzflächig abschneiden. Für den Prozess wird ein Dieselverbrauch ca. 3 l/ha bei 15 km/h angegeben. Die große Herausforderung bei der ultraflachen Bodenbearbeitung ist generell das Einhalten der Arbeitstiefe unter allen Bedingungen, nach [17] gibt es hier noch weiteres Optimierungspotenzial.

Die Dringlichkeit, effektive und prozesskostengünstige Geräte zur mechanischen Bearbeitung zur Verfügung zu stellen, wird ebenso am ActiCut Konzept der Fa. 4Disc GmbH unterstrichen.

---

Das ähnlich einem Grubber aufgebaute Konzept arbeitet nicht mit passiven Zinken sondern mit aktiv angetriebenen Scheiben, siehe **Bild 3**. Die Scheiben drehen sich um die Hochachse, sind leicht nach vorn angestellt und schneiden ganzflächig Beikräuter knapp unterhalb der Oberfläche ab. Das geschnittene Material wird anschließend über einen Nachlaufstriegel ausgekämmt [18].



**Bild 3:** ActiCut von der Fa. 4Disc GmbH mit aktiv rotierenden Scheiben (links) und Nachlaufstriegel (rechts) [18].

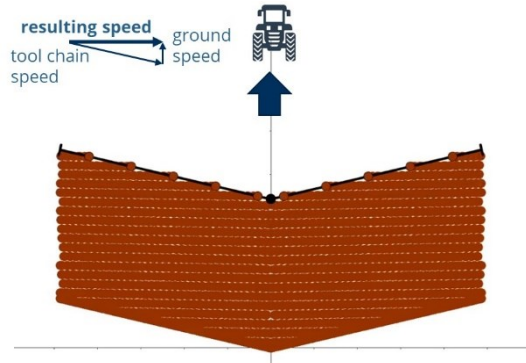
**Figure 3:** ActiCut from 4Disc GmbH with actively rotating discs (left) and following harrow (right) [18].

### Grundlagenforschung

Auf dem Gebiet der Simulation von Bodenbearbeitungswerkzeugen und deren Interaktion mit dem Boden wurde ein Kalibrierverfahren für die diskrete Elemente Methode mit konventionellen Kalibriermethoden verglichen. Der Vorteil des sogenannten "Excavator-Test" besteht darin, dass über einfache Messungen im realen Boden Kalibrierparameter für ein Simulationsmodell abgeleitet werden können, ohne aufwändigere Labortests durchzuführen. Die Zwischenergebnisse der laufenden Forschung sind vielversprechend. In der Validierung von Simulationsergebnissen mit realen Werkzeugversuchen konnte gezeigt werden, dass das Verfahren konventionelle Kalibrierungen ersetzen kann [19].

Geräte zur Bodenbearbeitung sind zum überwiegenden Teil passive Geräte, die in Bewegungsrichtung bzw. in Längsrichtung arbeiten und gezogen werden müssen. Da Traktoren die Zugkraft größtenteils über die Aufstandskraft generieren, sind hohe Fahrzeugmassen für den Prozess notwendig und begrenzen die maximale Arbeitsbreiten von Schwergrubbern und Pflügen. Eine Entkoppelung von Prozess und Fahren soll im Konzept "Querzug" zur Diskussion gebracht werden. Die Kernidee besteht darin, die Prozessrichtung quer zur Fahrtrichtung ablaufen zu lassen. Umlaufende Werkzeuge, die in den Boden eintauchen, bearbeiten, auftauchen und zurückgeführt werden, sind auf zwei Halbseiten angeordnet. Aufgrund der gegensinnigen Bewegungsrichtung der Halbseiten stützen sich die Prozesskräfte gegenseitig ab und stehen im Gleichgewicht zueinander. Aus der Überlagerung von Prozessbewegung und Bewegung des Fahrzeuges heraus wird eine Fläche überstrichen und damit Boden bearbeitet, siehe **Bild 4**. Neben Zugkraftvorteilen aufgrund von u.a. reduzierten Schlupfverlusten ist es

denkbar, die Arbeitsbreite in einem gewissen Maß unabhängig von der Maschinenmasse skalieren zu können. Das Arbeitsergebnis, aufgrund der Furchen- und Dammbildung, ist bei diesem Konzept deutlich in Frage zu stellen [20].



**Bild 4:** Bewegungsüberlagerung von Fahrbewegung und quer zur Fahrriehtung bewegendem Werkzeugen (Quelle: TU Dresden).

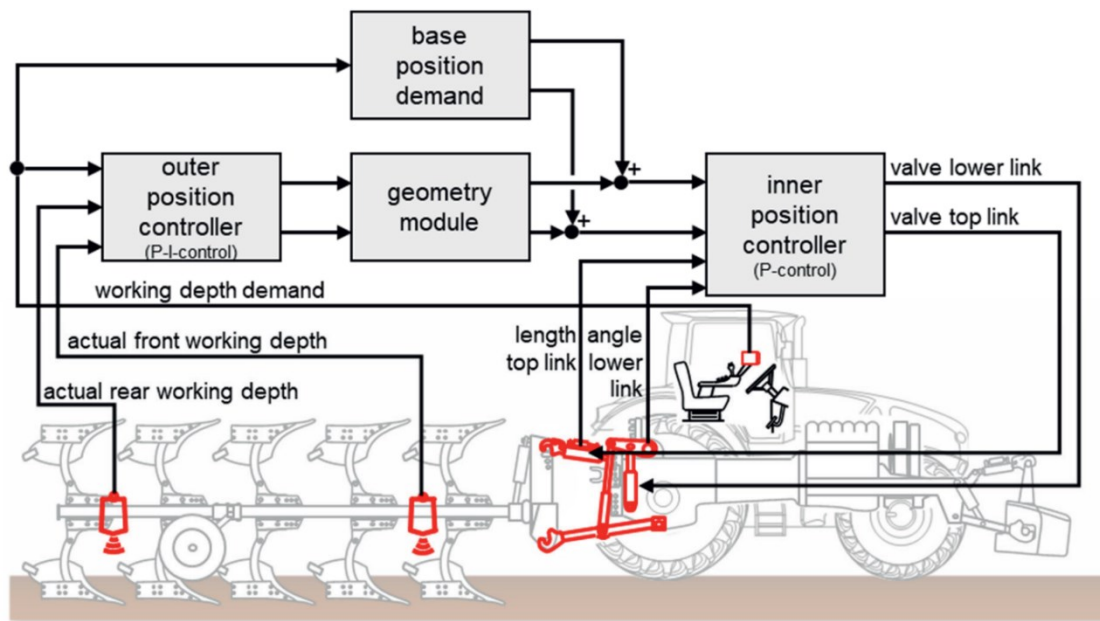
**Figure 4:** Superimposition of machine movement and transverse moving tools (source: TU Dresden).

### Hochautomatisierte Systeme in der Bodenbearbeitung

Der gesamtheitliche Trend zu einer Geräteautomatisierung setzt sich auch im Bereich der Bodenbearbeitung ungebrochen fort. So geht die DLG davon aus, dass in Zukunft große Flächen mit autonomen Maschinen bearbeitet werden. Obwohl viele Maschinen und Systeme bereits im Markt angekommen und verfügbar sind, sind grundlegende Fragen zur Sicherheit noch nicht abschließend und rechtssicher geklärt [21].

Dabei erstrecken sich die Lösungen von Assistenzsystemen für konventionelle Maschinen und Geräte [22; 23], über Sensorik für den Arbeitsprozess und das Arbeitsergebnis [24; 25] bis hin zu neu vorgestellten Robotiksystemen und Autonomieansätzen [26; 27]. Darüber hinaus existieren sowohl auf Forschungs- als auch industrieller Ebene wichtige Bestrebungen, aktuelle und künftige Robotik- und Automatisierungslösungen prozessübergreifend in die bestehenden Strukturen und Technik der Landwirtschaftsbetriebe einzubinden [28; 29].

Die Bodenbearbeitung ist der Bereich der landwirtschaftlichen Feldbearbeitung mit dem höchsten Bedarf an Zugleistung, folglich sind die Bestrebung entsprechend hoch, durch Maschinenkonzepte und Assistenzsysteme die erforderliche Zugkraft und die damit einhergehende Einsparung von Masse und Energie zu reduzieren [30]. Ein Ansatz ist es, die Arbeitstiefe während des Prozesses aktiv zu regeln und somit auf die jeweiligen Gegenebenheiten anzupassen. Die exemplarische Umsetzung bei einer Standard-Traktor-Geräte-Kombination zeigt **Bild 5**. Dazu wird Hardware in Form von Sensoren und ECU's zur Positions- und Lagebestimmung/ -regelung nachgerüstet. Ziel ist es, im untersuchten Anwendungsfall einen Pflug auf einer konstanten Arbeitstiefe zu führen und somit Schwankungen bspw. durch das Gelände auszugleichen und zu kompensieren [22].

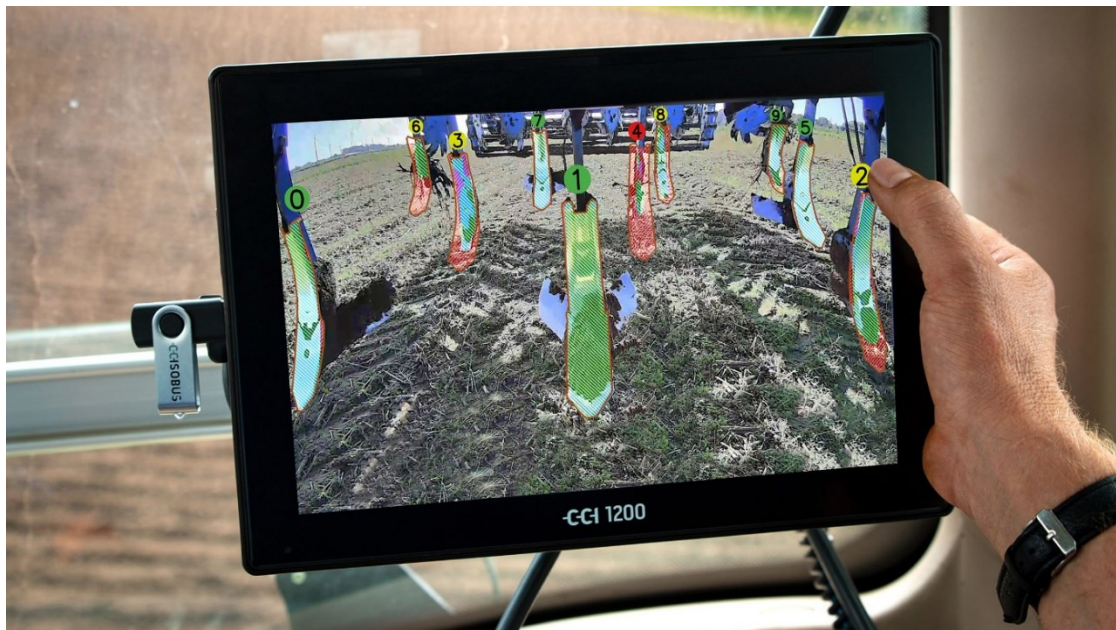


**Bild 5:** Systemkonzept einer aktiven Arbeitstiefenführung mit Standardmaschinen [22].

**Figure 5:** Design for active working depth adjustment with standard tractors and implements [22].

Die zugehörigen Untersuchungen und Versuche zeigen, dass sich der Kraftstoffverbrauch bei gleichbleibender Arbeitstiefe um mehr als 10 % senken lässt [22]. Der Einsatz eines vergleichbaren Systems wurde bereits in [31] beschrieben, allerdings beschränkte sich hier der Einsatz vorwiegend auf eine hochautomatisierte/ autonome Maschine. Ein weiterer Bestandteil dieser Veröffentlichung war ein System zur Detektion des Zustandes der Arbeitswerkzeuge am Beispiel des Grubbers. Dabei werden kamerabasiert die Einzelwerkzeuge im Prozess am Vorgebende analysiert, um so frühzeitig Verluste, Schäden oder zu großen Verschleiß zu erfassen. Das beschriebene System basiert auf einer reinen Bildanalyse und kommt grundsätzlich ohne den Einsatz von künstlicher Intelligenz aus [31]. Einen anderen Weg geht die Fa. Lemken mit dem "iQblue tool monitoring". Dabei analysiert ein Kamerasystem mit nachgelagerten KI-Algorithmus ebenfalls am Vorgebende den Zustand der jeweiligen Arbeitswerkzeuge eines Standardgerätes. Die entsprechenden Informationen können dem Fahrer auf einem Terminal angezeigt (**Bild 6**) oder im Falle der Anwendung bei fahrerlosen-autonomen Maschinen zur Benachrichtigung bzw. Maschinensteuerung genutzt werden. Auf dieser Weise können die Prozesssicherheit bei dem Einsatz konventioneller 3-Punkt-Geräte an Feldrobotern erhöht und die Werkzeuge durch eine entsprechende Nachrüstung weiterverwendet werden [24].

Einen vergleichbaren Weg geht auch die Fa. Amazone mit dem System "AutoTill". Exemplarisch wurde dabei ein Seriengrubber mit Sensortechnik ausgestattet, die u.a. Aussagen zu Werkzeugblockade, Scharverlust, Walzendrehzahl und Arbeitstiefe zulassen. Je nach Ausbaustufe und Einsatzfall können die Informationen dem Bediener bspw. in der Maschine als Information angezeigt oder bei einem automatisierten Betrieb zur Benachrichtigung bzw. selbsttätigen Maschineneinstellung genutzt werden. Die Kommunikation auf Maschinenebene soll dabei mittels ISOBUS erfolgen [25; 32].



**Bild 6:** Anzeige der Zustandserkennung von Grubberwerkzeugen [24].

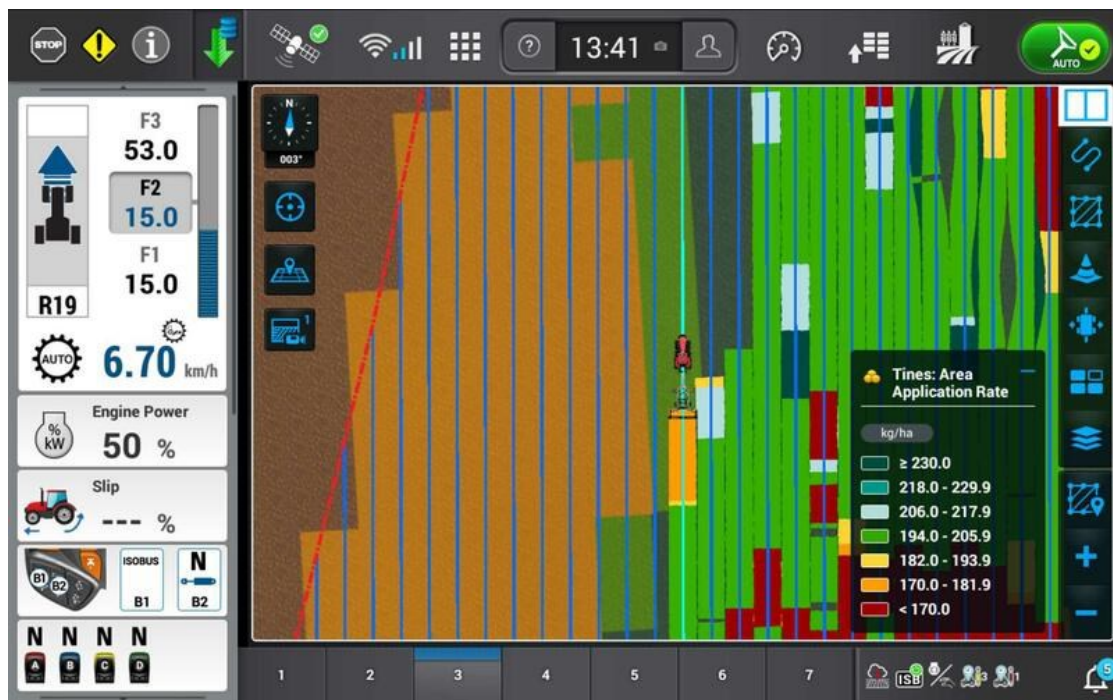
**Figure 6:** Visualization of the condition detection system of cultivator tools [24].

Ebenfalls auf ISOBUS setzt Väderstad mit dem "E-Control" bei den Schwergrubbern TopDown und Opus. Diese ermöglicht eine teilflächenspezifische Bodenbearbeitung durch den Einsatz von Applikationskarten und zusätzlicher Sensorik. Dabei werden bis zu vier Karten auf das ISOBUS-Terminal geladen und verarbeitet (**Bild 7**). Im Arbeitsprozess werden die Scheiben, Zinken, Nivellierer und Packer auf Grundlage der in den Applikationskarten hinterlegten Bodenarten oder Feldcharakteristiken variiert und somit bspw. die Arbeitstiefe und Intensität selbstständig angepasst [23; 33].

Die automatisierte Beurteilung des Arbeitsergebnisses von Bodenbearbeitungsgeräten weißt hingegen nach wie vor ein hohes Forschungspotential auf. Das Augenmerk liegt im Besonderen auf der Entwicklung geeigneter Sensortechnik und Auswertelgorithmen. Dabei stellen die je nach Witterung und Einsatzort stark wechselnden Umgebungs- und Bodenbedingungen eine besondere Herausforderung dar. Für den Einsatz hochautomatisierter und autonomer Maschinen sind die Entwicklung und der Einsatz dieser Systeme allerdings unabdingbar. So beschäftigen sich Forschungseinrichtungen und Hersteller schon seit Jahren mit dieser Problemstellung, ohne dass es zu bekannten Markteinführungen gekommen ist [34 - 38].

Mit dem Automatisierungsverbund "3A – Advanced Automation & Autonomy" wollen die Initiatoren AgXeed, Amazone und Claas eine enge Zusammenarbeit zwischen den Zugmaschinen, egal ob bedienergeführt oder selbstfahrend automatisiert, und Anbaugeräten ermöglichen. Dabei sollen unabhängig vom Automatisierungsgrad des Zugfahrzeuges Soft- und Hardwarelösungen zum Einsatz kommen und so bspw. die Prozessplanung und Werkzeugüberwa-

chung vereinheitlicht werden [28]. Ein grundsätzlich herstelleroffener Ansatz wird bei dem Forschungsprojekt "Feldschwarm®-Ökosystem" verfolgt. Die Ziele sind mit der Initiative "3A" vergleichbar, allerdings wird eine Lösung angestrebt, die die Ertüchtigung von Bestandsmaschinen zum selbstständigen Ausführen von Arbeitsprozessen erlaubt. Somit kann der vorhandene Fuhrpark genutzt und die notwendigen Investitionen reduziert werden. Darüber hinaus nimmt der Gedanke des Maschinenschwarmes hier eine zentrale Rolle ein [29].

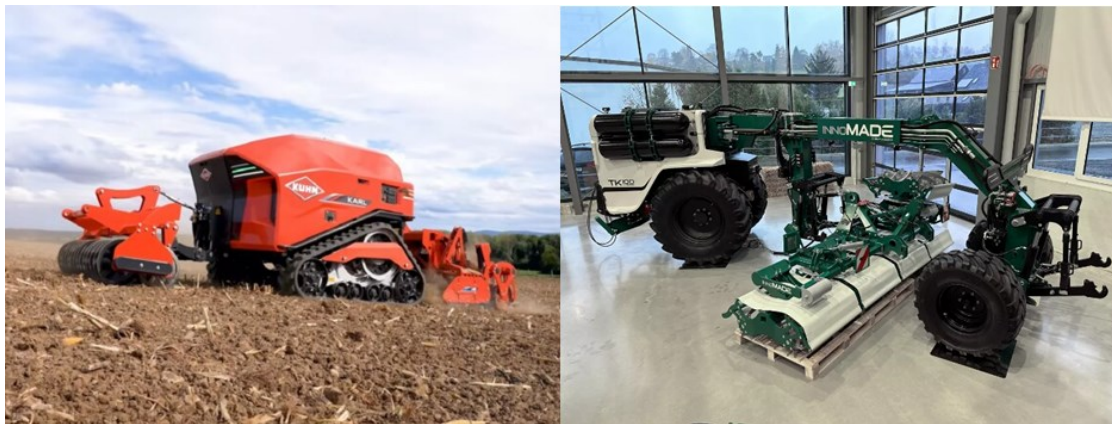


**Bild 7:** Teilflächenspezifische Bodenbearbeitung mit Väderstad "E-Control" [23].

**Figure 7:** Site specific tillage with Väderstad "E-Control" [23].

Einen guten Überblick über den Markt und die verfügbaren Maschinen gaben sowohl die „World FIRA 2023“ in Toulouse als auch die "Agritechnica 2023" in Hannover [21; 39 - 41]. Die neu vorgestellten automatisierten Maschinen und Konzepte orientieren sich gerade im Bereich der Bodenbearbeitung an den vorhandenen Standardschnittstellen zur Gerätekopplung und zum Datenaustausch. So stellte bspw. Kuhn mit dem KARL eine autonome Maschine mit Gleisbandfahrwerk und klassischen Dreipunkt-Aufnahmen in der Front und im Heck vor (**Bild 8** links). Die Einheit selbst verfügt über einen Volvo-Hybridmotor mit einer Leistung von ca. 130 kW, was je nach Arbeitsaufgabe eine Geschwindigkeit von 3 bis 15 km/h ermöglichen soll. Dabei sollen wichtige Arbeitsparameter wie Arbeitstiefe und Zerkleinerung vom Gerät erfasst und an die Maschine übermittelt werden, wo die entsprechende Verarbeitung und Geräteeinstellung erfolgt. Als erster Einsatzbereich wurde die Bodenbearbeitung/ Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge gewählt, wobei weitere Prozesse folgen sollen [26; 42].

Ein weiteres Konzept, welches vor allem für die leichtere Bodenbearbeitung und Pflanzenpflege geeignet ist, ist der innoMADE TK 100 (Bild 8 rechts). Die mit einem Radfahrwerk ausgestattete Maschine verfügt sowohl am Triebkopf als auch an der Brücke über je zwei Standardschnittstellen zur mechanischen Kopplung (Dreipunkt-Anbau) und Leistungsübertragung (PTO und Hydraulik). Die Lenkung erfolgt in der dargestellten Konfiguration über ein Knickgelenk, welches einen Lenkeinschlag von bis zu 70 ° ermöglicht. Zusätzlich kann je nach Einsatzfall und Gerätekombination die Brücke auch gegen ein nachlaufendes Gerät ausgetauscht werden. In diesem Fall erfolgt die Abstützung nach hinten über das Radfahrwerk oder die Nachlaufwerkzeuge des Gerätes. Angetrieben wird der TK 100 von einem 75 kW Verbrennungsmotor mit komprimiertem Methangas. Zum Nachtanken können vorhandene Erd-/ Biogastankstellen oder Biogasanlagen genutzt werden [27].



**Bild 8:** Kuhn KARL im Feldeinsatz mit Kreiselegge (links) [42]; innoMADE TK100 mit Messerwalze (rechts) [27].

**Figure 8:** Kuhn KARL in the field with power harrow (left) [42]; innoMADE TK100 with knife roller (right) [27].

## Zusammenfassung

Trotz der EU-weiten Wiederzulassung von Glyphosat für 10 Jahre und dem in Deutschland vorerst bis Ende Juni 2024 aufgehobenen Anwendungsverbot sind zukünftige Einschränkungen beim chemischen Pflanzenschutz abzusehen [43; 44]. Zur Agritechnica 2023 wurden von den Herstellern eine Reihe von Gerätekonzepten vorgestellt, die sich größtenteils im Bereich der mechanischen Beikrautregulierung bzw. des Ernterestmanagements ansiedeln. Auch die Erweiterung des Angebotes an hochautomatisierten und teilautonomen Maschinen, sowie die Erweiterung des Geräteangebotes und Sensoriklösungen setzen den Trend der letzten Jahre fort.

## Literatur

- [1] N.N.: DBV Situationsbericht 23/24. URL: <https://www.situationsbericht.de/>, Zugriff am: 24.01.2024.

- [2] N.N.: DBV-Situationsbericht mit verbesserten Ergebnissen. URL: <https://www.bauernverband.de/presse-medien/pressemitteilungen/pressemitteilung/dbv-situationsbericht-mit-verbesserten-ergebnissen-in-2023-24>, Zugriff am: 22.01.2024.
- [3] N.N.: Bauernpräsident fordert klares Zukunftssignal von der Ampelregierung. URL: <https://www.bauernverband.de/presse-medien/pressemitteilungen/pressemitteilung/bauernpraesident-fordert-klares-zukunftssignal-von-der-ampelregierung>, Zugriff am: 22.01.2024.
- [4] N.N.: Konjunktur- und Investitionsbarometer Agrar Befragung Dezember 2023 – Stimmung in der Landwirtschaft verschlechtert sich binnen eines Jahres deutlich. URL: [https://www.bauernverband.de/fileadmin/user\\_upload/dbv/pressemitteilungen/2024/KW\\_03/Charts\\_Konjunkturbarometer\\_Agrar\\_Dez.\\_2023.pdf](https://www.bauernverband.de/fileadmin/user_upload/dbv/pressemitteilungen/2024/KW_03/Charts_Konjunkturbarometer_Agrar_Dez._2023.pdf), Zugriff am: 24.01.2024.
- [5] Eilbote Online: VDMA Landtechnik: Das Jahr 2022 schloss mit Rekordergebnis. URL: <https://www.eilbote-online.com/artikel/vdma-landtechnik-das-jahr-2022-schloss-mit-rekordergebnis-41558>, Zugriff am: 24.01.2024.
- [6] N.N.: Landtechnik ist der entscheidende Impulsgeber für den Ackerbau. URL: <https://www.vdma.org/viewer/-/v2article/render/85582091>, Zugriff am: 24.01.2024.
- [7] N.N.: Europas Landtechnikhersteller kommen mit Rekordergebnis nach Hannover. URL: <https://www.vdma.org/viewer/-/v2article/render/84195782>, Zugriff am: 24.01.2024.
- [8] BMEL: Ackerbau - Erntebericht 2023. URL: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/ernte-2023.html>, Zugriff am: 24.01.2024.
- [9] Höner, G.: Trends bei Bodenbearbeitung & Saat: Von flach bis flexibel. top agrar online (2023).
- [10] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.): Feldhygiene. Kunst- und Werbedruck GmbH & Co. KG 2023.
- [11] N.N.: LEMKEN Thulit Striegel. URL: <https://lemken.com/de-de/landmaschinen/cropcare/unkrautbekaempfung-landwirtschaft/mechanische-unkrautbekaempfung-landwirtschaft/striegel-thulit>, Zugriff am: 15.01.2024.
- [12] N.N.: Hatzenbichler Air-Flow - Original-Striegel. URL: <https://www.hatzenbichler.com/de/air-flow-original-striegel>, Zugriff am: 15.01.2024.
- [13] Schulz, S.: Lyckegård Kvickfinn: Grubber mit Zinkenrotor. PROFI 7-2023 (2023), S. 38-40.
- [14] N.N.: Lyckegård: Kvickfinn. URL: <https://lyckegard.com/de/produkte/kvickfinn/>, Zugriff am: 15.01.2024.
- [15] Herlitzius, T.; Hengst, M.; Geißler, S.; Schwede, S.: Bodenbearbeitungstechnik. DOI: 10.24355/dbbs.084-202301130826-0. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2022, S. 1-14.
- [16] N.N.: Innovation Award AGRITECHNICA - Gewinner 2023 - AGRITECHNICA. URL: <https://www.agritechnica.com/de/awards/innovation-award/gewinner-2023>, Zugriff am: 15.01.2024.

- [17] Kath-Petersen, W.; Müller, P.: "GrindStar" - More efficiency, effectiveness, and economy with ultrashallow soil cultivation. DOI: 10.51202/9783181024270-63. In: LAND.TECHNIK AgEng 2023, VDI-Berichte, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, S. 63-68.
- [18] N.N.: 4DISC - ACTICUT. URL: <https://www.4disc.de/ackerbau/acticut/>, Zugriff am: 15.01.2024.
- [19] Gerdes, F.; Frerichs, L.; Eitzlmayr, A.; Karer, E.; Feyrer, A.; Hofer, M.; Weberndorfer, D.: A comparison between conventional calibration experiments and the Excavator Test for DEM soil calibration. DOI: 10.51202/9783181024270-79. In: LAND.TECHNIK AgEng 2023, VDI-Berichte, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, S. 79-86.
- [20] Krombholz, K.: Technological and energetic aspects of a transverse pull. DOI: 10.51202/9783181024270-87. In: LAND.TECHNIK AgEng 2023, VDI-Berichte, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, S. 87-92.
- [21] Deter, A.: Autonome Systeme auf der Agritechnica 2023. 2023, URL: <https://www.topagrar.com/technik/news/autonome-systeme-auf-der-agritechnica-2023-bw-13476312.html>, Zugriff am: 2024-01-18.
- [22] Birkmann, C.; Schaub, C.; Schmotz, M.; Rose, N.-K.; Walther, S.; Guillaume, P.: Multi-Dimensional Three-Point-Hitch Control to Optimize Performance, Efficiency and Working Quality of Tractor Implement Combinations. DOI: 10.51202/9783181024270-181. In: LAND.TECHNIK AgEng 2023 The Forum for Agricultural Engineering Innovations, VDI-Berichte, Hannover: VDI Verlag 2023, S. 181-190.
- [23] Hoffmann, L.: Neuer Väderstad Topdown: Grubbern mit Applikationskarten. 2023, URL: <https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/neuer-vaederstad-topdown-grubbern-applikationskarten-612042>, Zugriff am: 2024-01-23.
- [24] Deter, A.: iQblue tool monitoring von Lemken überwacht die Arbeit des Grubbers. 2023, URL: <https://www.topagrar.com/technik/news/iqblue-tool-monitoring-von-lemken-ueberwacht-die-arbeit-des-grubbers-13491767.html>, Zugriff am: 2024-01-18.
- [25] Berning, F.: AgXeed, Amazone AutoTill und Claas Autonomy connect: Aus drei wird autonom. 2023, URL: <https://www.profi.de/technisch/elektronik/agxeed-amazone-autotill-und-claas-autonomy-connect-aus-drei-wird-autonom-31093.html>, Zugriff am: 2023-09-19.
- [26] N.N.: KARL, our autonomous solution for crop production KUHN. URL: <https://www.kuhn.com/en/karl-our-autonomous-solution-crop-production>, Zugriff am: 2024-01-22.
- [27] Deter, A.: Feldroboter-Geräteträger Eidam innoMADE TK100 kombiniert drei Arbeitsprozesse. 2023, URL: <https://www.topagrar.com/technik/news/der-autonome-feldroboter-eidam-innomade-tk100-kann-alles-gleichzeitig-a-13542686.html>, Zugriff am: 2024-01-23.
- [28] Deter, A.: Claas, AgXeed und Amazone gründen herstellerübergreifenden Robotik-Verbund. 2023, URL: <https://www.topagrar.com/technik/news/claas-agxeed-und->

- amazone-gruenden-herstelleruebergreifenden-robotik-verbund-13476546.html, Zugriff am: 2024-01-19.
- [29] N.N.: Gut fürs Klima und die regionale Wirtschaft - BMBF Innovation & Strukturwandel. 2023, URL: [https://www.innovation-strukturwandel.de/strukturwandel/de/report/im-blickpunkt/gut\\_fuers\\_klima/gut\\_fuers\\_klima\\_artikeltext.html](https://www.innovation-strukturwandel.de/strukturwandel/de/report/im-blickpunkt/gut_fuers_klima/gut_fuers_klima_artikeltext.html), Zugriff am: 2024-01-19.
- [30] Bischoff, J.; Grosa, A.; Grube, J.; Meinel, T.: Praxishandbuch Bodenbearbeitung und Aussaat: Grundlagen, Technik, Verfahren, Bewertung. 1. Auflage, ERLING Verlag 2018, ISBN: 978-3-86263-132-2.
- [31] Hengst, M.; Herlitzius, T.; Pantke, S.; Zirker, P.: Tool management, controlling and condition detection for highly automated/autonomous soil cultivation. DOI: 10.51202/9783181023747-73. In: LAND.TECHNIK 2020 The Forum for Agricultural Engineering Innovations, VDI-Berichte, Düsseldorf: VDI Verlag 2020, S. 73-82.
- [32] N.N.: AMAZONE AutoTill. 2023, URL: <https://amazone.de/de-de/agritechnica/agritechnica-2024-innovationen/neuheiten-details/amazone-autotill-1423026>, Zugriff am: 2024-01-19.
- [33] N.N.: E-Services für TopDown und Opus Väderstad. URL: <https://www.vaderstad.com/de/kampagnen/produkt-news/e-services/>, Zugriff am: 2024-01-23.
- [34] Barreto, B. B.; Ribeiro, E.; Rivera, F. P.; Junior, R. A. B.; Cândido, B.; McKenzie, B.: Optical and portable equipment for characterizing soil roughness. Smart Agricultural Technology 3 (2023), S. 100062.
- [35] Moitzi, G.; Huber, J.; Riegler-Nurscher, P.; Karner, J.; Kaul, H.-P.; Prankl, J.; Wagentristl, H.: Soil roughness detection for controlling a power harrow. In: DIGITAL TOOLS, BIG DATA, MODELING AND SENSING METHODS FOR SUSTAINABLE AND CLIMATE SMART CROP AND GRASSLAND SYSTEMS, Göttingen: Liddy Halm 2023, ISBN: 0934-5116, S. 77-78.
- [36] Riegler-Nurscher, P.; Moitzi, G.; Prankl, J.; Huber, J.; Karner, J.; Wagentristl, H.; Vincze, M.: Machine vision for soil roughness measurement and control of tillage machines during seedbed preparation. Soil and Tillage Research 196 (2020), S. 104351.
- [37] Bögel, T.; Herlitzius, T.: Multipurpose soil tillage with smart machinery - Electric driven, sensor-controlled soil tillage. DOI: 10.51202/9783181023747-69. In: LAND.TECHNIK 2020 The Forum for Agricultural Engineering Innovations, VDI-Berichte, Düsseldorf: VDI Verlag 2020, S. 69-72.
- [38] Schmidt, M.: Maschinelle Beurteilung agronomischer Arbeitsqualität als Grundlage für die Verhaltensgenerierung automatisierter Landmaschinen. 2023, Shaker.
- [39] N.N.: Back to Fira 2023. URL: <https://world-fira.com/back-to-fira-2023-2/>, Zugriff am: 2024-01-22.
- [40] Schulz, S.: World Fira 2023: Roboter-Rundschau. 2023, URL: <https://www.profi.de/technisch/elektronik/world-fira-2023-roboter-rundschau-30891.html>, Zugriff am: 2024-01-22.
-

- [41] Koerhuis, R.: Agricultural robotics take centre stage at Agritechnica. 2023, URL: <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/field-robots/agricultural-robotics-take-centre-stage-at-agritechnica/>, Zugriff am: 2024-01-22.
- [42] Freites, J.: Kuhn mostró en acción su nuevo robot Karl. 2023, URL: <https://maquinac.com/2023/11/kuhn-mostro-en-accion-su-nuevo-robot-karl/>, Zugriff am: 2024-01-22.
- [43] N.N.: Info zum Zulassungsstand von Glyphosat. URL: <https://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/138783/index.php>, Zugriff am: 24.01.2024.
- [44] DLG-Mitteilungen: Glyphosat. Wiedezulassung – und was dann? URL: [https://www.dlg-mitteilungen.de/dossiers/glyphosat/glyphosat-wiedezulassung-und-was-dann?gad\\_source=1&gclid=EAlaIQobChMI2\\_2lqpbxgwMVhkhBAh38dAz5EAAYASAAEgLoevD\\_BwE](https://www.dlg-mitteilungen.de/dossiers/glyphosat/glyphosat-wiedezulassung-und-was-dann?gad_source=1&gclid=EAlaIQobChMI2_2lqpbxgwMVhkhBAh38dAz5EAAYASAAEgLoevD_BwE), Zugriff am: 24.01.2024.

### **Autorendaten**

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Herlitzius ist Inhaber der Professur für Agrarsystemtechnik und Direktor des Instituts für Naturstofftechnik in der Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden.

Dipl.-Ing. Martin Hengst, Dipl.-Ing. Sören Geißler und Dipl.-Ing. Stefan Schwede sind wissenschaftliche Mitarbeiter der Professur für Agrarsystemtechnik am Institut für Naturstofftechnik der Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Wissenschaftliches Review / Scientific Review**

Erfolgreiches Review am 12.02.2024

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Herlitzius, Thomas; Hengst, Martin; Geißler, Sören; Schwede, Stefan: Bodenbearbeitungstechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-14.

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171539-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/bodenbearbeitung.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## Sätechnik

Till Meinel

### Kurzfassung

Interessante Neu- und Weiterentwicklungen von Drill- und Einzelkornsämaschinen wurden auf der Agritechnica 2023 präsentiert, allerdings nicht mit einem Innovation - Award ausgezeichnet. Die Hersteller zeigten neue Lösungen für streifen- und direktsaatfähige Maschinen, für die gleichzeitige variable Ausbringung mehrerer Saatgüter und/oder Dünger und/oder Pflanzenschutzmittel sowie für die weitere Verbesserung der Präzision. An technisch sehr anspruchsvollen Themen wie der Einzelkornsäat von Getreide oder der automatischen Tiefenregelung bei der Getreidesäat arbeiten die Entwicklungsteams ebenso wie an Detailverbesserungen, um Einstellung und Bedienung der Maschinen einfacher und nutzerfreundlicher zu gestalten. Forschungsprojekte beschäftigen sich mit vielfältigen Fragestellungen, die von der Untersuchung des Energiebedarfs bei der Maisaussaat bis zur Smartphone- Anwendung zur Konfiguration, Fernsteuerung und Überwachung einer automatisierten Säkombination reichen.

### Schlüsselwörter

Drillmaschinen, Einzelkornsämaschinen

## Seeding Technology

Till Meinel

### Abstract

Interesting new and further developments of seed drills and precision planters were presented at Agritechnica 2023, but did not receive an innovation award. The manufacturers presented new solutions for machines suitable for strip-till and direct seeding, for the simultaneous variable application of several seeds and/or fertilizers and/or crop protection products, as well as for further improving precision. The development teams are working on technically very demanding topics such as precision planting of grain or automatic depth control for grain seeding, as well as on detailed improvements in order to make the setting and operation of the machines simpler and more user-friendly. Research projects deal with a wide range of topics, ranging from the study of the energy requirement when seeding maize to smartphone applications for the configuration, remote control and monitoring of an automated seeding combination.

### Keywords

Seed drills, Precision planters

## **Einleitung**

Die veränderten Klimabedingungen und die zunehmende Achtsamkeit der Landwirte im Umgang mit den Ressourcen Wasser, Energie und chemische Pflanzenschutzmittel führen zu wachsenden Ansprüchen der Kunden an Sämaschinen und zu einem breiteren und stärker differenzierten Angebot an Sätechnik. Die Agritechnica 2023 spiegelte diesen Trend vor allem bei streifen- und direktsaatfähiger Technik deutlich wider.

Flexiblere und meist breitere Fruchtfolgen, Untersaaten und Mehrfruchtanbau als Antwort auf klimatische Veränderungen und politische Vorgaben kennzeichnen die künftigen Anbaustrategien der Landwirte [1]. Diese Situation beflügelt die Suche der Hersteller nach neuen Lösungen in Richtung universell einsetzbarer Sätechnik sowohl hinsichtlich der Fruchtarten als auch hinsichtlich der Intensität der vorhergehenden Saatbettbereitung.

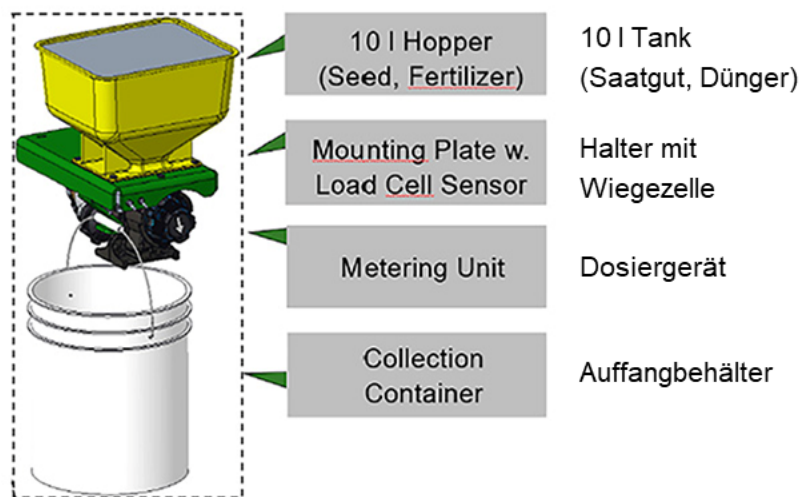
Den hohen Stellenwert der Sätechnik für die Landwirte bei Investitionsentscheidungen in den kommenden beiden Jahren zeigen die Ergebnisse einer im August 2023 veröffentlichten DLG-Umfrage unter 2300 europäischen Landwirtinnen und Landwirten [2]. Investitionen in Bodenbearbeitung und Saat planen 36% der Umfrageteilnehmer. Dies ist der höchste Wert nach den Traktoren. Befragt nach den wichtigsten Technikrends im Ackerbau sehen die Landwirtinnen und Landwirte energieeffiziente, bodenschonende Laufwerke und Reifen an erster Stelle, gefolgt von teilflächenspezifischer Aussaat, mechanischer Unkrautbekämpfung sowie dem störungsfreien Zusammenwirken von Landmaschinen, Sensoren und Datendiensten [3].

## **Drillsaat**

Der seit Jahren zu beobachtende Entwicklungstrend hin zu Drillmaschinen, die variabel mehrere Saatgüter und/oder Dünger und/oder Pflanzenschutzmittel wie z. B. Schneckenkorn ausbringen können [4], hält weiterhin an. Amazone entwickelte für die Universaldrillmaschine Cirrus 9004 ein flexibles Dosier- und Verteilsystem für bis zu drei Produkte, das neben der wahlweisen Produktplatzierung im Single-, Double- oder Triple-Shoot-Verfahren die Ansteuerung jeder einzelnen Reihe für die Umsetzung von Applikationskarten und/oder Teilbreitenschaltungen ermöglicht. Ein neu entwickelter Verteilerkopf dient der Einzelreihenabschaltung bei Maschinen bis zu 9 m Arbeitsbreite bei 16,6 cm Reihenabstand (54 Reihen) [5]. Darüber hinaus reduziert die sensorüberwachte Förderzeitermittlung vom Dosierer bis zum Ablagepunkt die Überlappungszonen an Feldrändern und Vorgewenden nach Angaben des Herstellers auf 1% [6]. Lemken stellt für die Ausbringung von Zwischenfrüchten oder Granulaten ein Aufbaugerät mit Teilbreitenschaltung vor [7]. Das System enthält eine neuartige Kombination aus Dosiermotor und Stellweichen, die beim Einsatz mit einer Drillmaschine die gleiche Anzahl Teilbreiten wie die Drillmaschine ermöglicht. Der Zwischenfrucht-/Granulatstreuer ist als zusätzlicher Sästrang vollständig in die Bedienoberfläche des ISOBUS - Terminals integriert. Ein multifunktionales Anbaumodul für das Trägerfahrzeug NEXAT umfasst ein Tanksystem für bis zu drei verschiedene Produkte [8]. Über die universelle Schnittstelle des NEXAT - Systems lässt sich das Tanksystem mit Bodenbearbeitungs- und/oder Sätechnikmodulen kombinieren, um die Produkte im Single- oder Double-Shoot-Verfahren gleichzeitig auszubringen.

Die automatische Regelung der Ablagetiefe gehört bei Einzelkornsämaschinen seit etwa zehn Jahren zum Stand der Technik [9-12]. Sie basiert auf der sensorgestützten Messung der Restkraft zwischen Tiefenführungsrollen und Boden (Auflagedruck) und verbreitet sich zunehmend in der Praxis. Horsch stellt jetzt ein ähnliches System für Drillmaschinen vor [13]. Ein Drucksensor ermittelt den Auflagedruck an einer Tiefenführungsrolle je Teilbreite. Basierend auf diesem Eingangssignal passt die Regelung die Position des für die Tiefeneinstellung verantwortlichen Hydraulikzylinders des zugehörigen Teilbreitensegments an. Horsch bietet das System ab Herbst 2025 an [14] und zeigte einen Prototyp dieser Technik zur Agritechnica 2023 an einer Pronto 7DC.

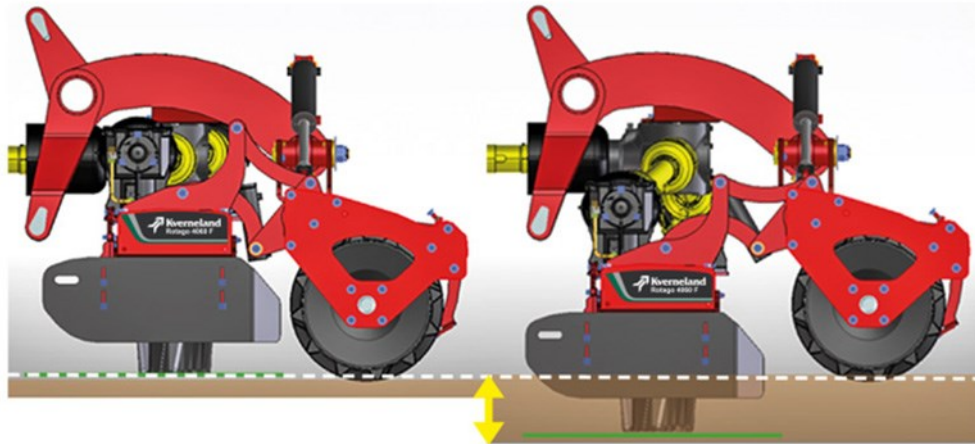
John Deere präsentiert eine mobile tragbare Kalibriereinheit für die Kalibrierung von Sämaschinen mit Saatgut und Dünger für alle Vorratstanks der Maschine [15]. Das Gerät verfügt über einen auf Wiegezellen montierten 10 l – Vorratstank und das an der Sämaschine vorhandene Dosiergerät mit den zugehörigen Dosierwalzen, **Bild 1**. Es ermöglicht das Kalibrieren an der Sämaschine z. B. während des Befüllens der Vorratstanks oder außerhalb der Sämaschine an jedem beliebigen Ort. Die Ergebnisse können über das John Deere Operations Center an weitere Sämaschinen mit gleicher Dosiertechnik übertragen werden.



**Bild 1:** Kalibriergerät für Saatgut und Dünger, Deere & Company [15].

**Figure 1:** Remote Seed & Fertilizer Calibration, Deere & Company [15].

Für eine exakte und einfache Anpassung der Arbeitstiefe bei der teilflächenspezifischen Saattbettbereitung entwickelte Kverneland eine Kreiseleggengeneration mit einem neuartigen Kinematikkonzept. Zentrales Element ist die Packerwalze, alle Tiefeneinstellungen von Kreiselegge, Särschiene und Planierschiene können unabhängig voneinander erfolgen ohne die Ausrichtung der Kombination zum Traktor zu verändern, **Bild 2** [16]. Durch die geschobene Aufhängung der Kreiseleggenwanne ist ein Nachführen der Oberlenkereinstellung nicht notwendig. Alle Einstellungen sind aus der Kabine über den ISOBUS möglich und werden über Wegmesszylinder realisiert.



**Bild 2:** Kreiselegge mit neuem Kinematikkonzept von Kverneland [16].

**Figure 2:** Power harrow with new kinematics concept from Kverneland [16].

Streifen- und direktsaatfähige Sämaschinen gewinnen auch in Deutschland zunehmendes Interesse. Zur Agritechnica zeigten viele international etablierte Hersteller Neu- und Weiterentwicklungen ihrer individuellen Konzepte. Die auf Scheiben und Zinken basierenden Scharsysteme haben sich z.T. seit Jahrzehnten bewährt und werden ständig weiter perfektioniert. Direktsämaschinen verfügen über sehr hohe Schardrücke und ein entsprechend hohes Eigengewicht. Beispielsweise ist das zur Agritechnica 2023 gezeigte 9 m - Modell des französischen Herstellers Novag mit Raupenfahrwerk ausgestattet und hat im aufballastierten Zustand ein Leergewicht von 26 t bei 48 Scharen [17]. Die erforderliche Zugleistung für ein T-Slot Schar mit vorlaufender Schneidscheibe beträgt je nach Bodenverhältnissen ca. 7,3 kW (10 PS). Scheibenschar benötigen deutlich geringere Zugleistungen, Prospektangaben liegen im Bereich von 2,8 kW (3,9 PS) - 3,7 kW (5 PS) pro Säschar [18]; [19].

### Einzelkornsaat

Auch bei Einzelkornsämaschinen hält der Trend zur gleichzeitigen, flexiblen Präzisionsapplikation mehrerer Saatgüter, Dünger und/oder Granulate an. Monosem erweitert den Funktionsumfang der 2022 vorgestellten ValoTerra Ultimate [20] und ermöglicht die reihenweise variable gleichzeitige Ausbringung von Saatgut, Dünger und zwei Mikrogranulaten einschließlich der lückenlosen Dokumentation der ausgebrachten Mengen [21]. Dazu kommen bis zu vier 56 VDC Motoren je Säaggregat zum Einsatz.

Die Einzelkornsaat von Getreide ist ein technisch sehr anspruchsvolles Thema, an dem mehrere Hersteller seit mehr als zehn Jahren verstärkt arbeiten [22]. Vor allem mit Blick auf universell einsetzbare Sämaschinen und gleichmäßige Jugendentwicklung von Getreidebeständen bei reduzierter Wasserverfügbarkeit bleibt das Thema für viele landwirtschaftliche Betriebe interessant. Nachdem Väderstad im Jahre 2021 die Universaleinzelkornsämaschine Proceed vorstellte, zeigte Horsch zur Agritechnica 2023 einen Prototypen einer "Solus SX"

genannten Maschine, die sowohl Getreide als auch "klassische" Einzelkorn - Fruchtarten wie Mais mit bis zu 15 km/h Arbeitsgeschwindigkeit säen kann und für Arbeitsbreiten von 10 bis 12 m konzipiert ist [23]. Zur Kornvereinzelnung kommen die mit Überdruck arbeitenden Airspeed - Dosierer [24] mit speziell entwickelten Getreidesätscheiben zum Einsatz. Die Kornablage erfolgt durch eine Kombination aus Doppelscheibenschar mit seitlicher Tiefenführung und der parallelogrammgeführten Säeinheit mit exakter Schardruckeinstellung, **Bild 3**. Die minimalen Reihenweiten von 22,5 und 25 cm lassen sich einfach auf 45, 50 oder 75 cm erhöhen.



**Bild 3:** Säeinheit Universaleinzelkornsämaschine von Horsch [Eigene Darstellung].  
**Figure 3:** Seeding unit of the Horsch universal precision planter [own presentation].

Amazone bündelte mehrere, z. T. neu vorgestellte Einzelfunktionen zu einem Gesamtpaket der präzisen Düngerapplikation granulierter Dünger mit der pneumatischen Einzelkornsämaschine Precea [25]. Grundlage des Systems sind Düngerportionierer, deren elektrisch gesteuerte Rotoren Düngerportionen erzeugen, **Bild 4**. Die Synchronisierung mit der Saatkornablage erfolgt durch Kommunikation zwischen der ECU und dem optischen Sensor des Säaggregats. Die Platzierung der Düngerportionen genau unter den Saatkörnern oder für empfindliche Saaten wie Zuckerrüben zwischen zwei Saatkörnern ist über Software einstellbar. Auch in Kurven bleibt die Düngermenge je Saatkorn konstant. Die notwendigen Signale für die Regelung liefert ein Gyroskop.



**Bild 4:** Düngerportionierer (1) FertiSpot von Amazone [5]

**Figure 4:** FertiSpot fertilizer portioner (1) from Amazone [5]

### Forschungsergebnisse

Ein Forscherteam der University of Nebraska ermittelte den Energiebedarf bei der Maisaussaat [26]. Zum Einsatz kamen eine 16reihige John Deere 1775NT mit Traktor John Deere 7250R sowie eine 48reihige John Deere DB120 mit Traktor Claas Xerion 5000. Ziel der Studie war die Abschätzung der notwendigen Größe elektrischer Batterien, um die Maisaussaat mit elektrischer Antriebsenergie durchzuführen. CAN-Bus-Daten der Traktoren bei der Direktsaat von Mais dienten als Grundlage für die Ermittlung des Energiebedarfs. Die geschätzten Batteriekapazitäten unter Verwendung des Worst-Case-Feldeinsatzszenarios in dieser Studie betrugen 1117 kWh für den Betrieb der 16reihigen Sämaschine zur Aussaat von 68 ha mit einer durchschnittlichen Arbeitsgeschwindigkeit von 8,6 km/h in 14 Stunden und 2658 kWh für den Betrieb der 48reihigen Sämaschine zur Aussaat von 158 ha bei einer durchschnittlichen Arbeitsgeschwindigkeit von 8,9 km/h in 15 Stunden. Dies erfordert nach aktuellem Entwicklungsstand Batterien von 5.319 kg (3,33 m<sup>3</sup>) / 12.657 kg (7,93 m<sup>3</sup>) für den Betrieb der Sämaschinen mit 16 / 48 Reihen.

Über Untersuchungen zum Einfluss des Ablagewinkels von Maissaatgut in Bezug zur Richtung der Maisreihe auf die Ausrichtung der Blätter und den Ertrag wurde an dieser Stelle bereits 2015 berichtet [27]. Eine neue Studie der North Carolina State University präsentiert Messergebnisse für Blattrichtungswinkel bei Mais unter Feldbedingungen [28]. Drohnen erzeugten die Bildaufnahmen, die Auswertung erfolgt mittels angepassten YOLOv5 Deep-Learning-Algorithmen zur Erkennung der Blattrichtungswinkel. Das System beschleunigt derartige Messungen erheblich bei sehr guter Genauigkeit.

Mehrere chinesische Teams veröffentlichten Entwicklungs- und Testergebnisse zu pneumatischen Vereinzelungsgeräten von Maissaatgut [29; 30]. Die maximalen Geschwindigkeiten betrugen 16,2 und 18 km/h. Du und Kiu beschreiben und untersuchen ein Vereinzelungsgerät,

dessen Aufbau dem des ExactEmerge-Systems von Deere & Co. [31] entspricht [32]. Die Autoren untersuchten den Geschwindigkeitsbereich von 8 - 16 km/h. Die Optimierung des Vereinzungsverhaltens eines Vereinzlungsgerätes für Feinsaaten mittels DEM/CFD-Simulation und Prüfstandtests beschreiben Xu et al [33]. Mechanische Vereinzlungsgeräte für Reis und Mais untersuchten Li et al [34] und Baghoee et al [35].

Ein Vorhersagemodell zur Ermittlung der optimalen Ablagetiefe von Mais stellen Sun et al. vor [36]. Die Parameter Schüttdichte, Ablagetiefe und Bodenfeuchtigkeit wurden in den Laborexperimenten zur Bestimmung der Trainingsdaten variiert. Die Modellgüte ermittelten die Autoren in Feldexperimenten mit Ablagetiefen zwischen 25 und 85 mm.

Die Saugkraft ellipsenförmiger Saatgüter zur pneumatischen Unterdruckvereinzlung untersuchten Wang et al. mittels CFD - Simulation [37]. Die Autoren stellen Ergebnisse der Simulationen und vergleichenden Prüfstandmessungen für verschiedene Saatgutformen und drei unterschiedliche Bohrungsgeometrien an der Lochscheibe vor.

Die DEM - Modellierung von Weizenkörnern und der Samen des Feigenblatt-Kürbis (*Cucurbita ficifolia*) werden in [38] und [39] beschrieben.

Die Verzögerung des Keimens durch Pillierung von Zwischenfruchtsamen untersuchte ein Team in South Dakota [40]. Das Aufbringen einer hydrophoben Polymerschicht verzögert den Keimbeginn um 70 - 90 Tage. Dies ist eine Möglichkeit, Zwischenfrüchte auch in Gebieten mit kurzen Vegetationsperioden und Soja- und Maisanbau zu etablieren.

Die Entwickler der Firma Lemken optimieren den Gutfluss in pneumatischen Drillmaschinen durch gekoppelte CFD/DEM - Untersuchungen in Verbindung mit Labortests in einem neu gebauten Prüfstand [41]. Die gekoppelten CFD/DEM - Simulationen erfordern aufwändige Kalibrierungen und Validierungsmessungen während der Modellerstellung. Im weiteren Verlauf erzielte man sehr gute übereinstimmende Ergebnisse von Simulation und Labortests, die Anwendung finden bei der Optimierung von Verteilerköpfen.

Das Zukunftslabor Agrar ist ein durch die Universität Osnabrück koordiniertes Forschungskonsortium, das Forschungsthemen zu Datenhoheit, Nachhaltigkeit und Autonomisierung im Pflanzenbau sowie in der Tierhaltung bearbeitet. Zur Agritechnica 2023 präsentierte man im Rahmen des Spot Farming- Konzeptes den Prototyp einer variablen Einzelkornsämaschine, die die individuelle Verstellung sowohl der Reihenabstände als auch der Kornabstände ermöglicht [42]; [43].

Surmann und Hecheltjen präsentieren eine Smartphone- Anwendung zur Konfiguration, Fernsteuerung bestimmter Funktionen und Überwachung landwirtschaftlicher Maschinen am Beispiel einer hoch automatisierten Säkombination [44]. Die App nutzt die Mobilfunkanbindung der Maschine, um eine komfortable Bedienung von Teilfunktionen der Maschine zu ermöglichen und den Benutzer während der Feldarbeit mit wichtigen Informationen zu versorgen. Weitere Funktionen umfassen die Einsatzplanung der Maschine sowie den Abruf aktueller Maschinendaten wie Position, Prozessdaten und Statistiken. Die einfache Einrichtung und Bedienung der Smartphone-Anwendung wird durch direkte Verbindung über WLAN und über ein Mobilfunknetz möglich und bestimmt wesentlich die Akzeptanz bei den Landwirten.

## **Zusammenfassung**

Aktuelle Weiterentwicklungen bei Drillmaschinen betreffen wie in den vergangenen Jahren auch die Möglichkeit, variabel mehrere Saatgüter und/oder Dünger und/oder Pflanzenschutzmittel ausbringen zu können. Der Beitrag stellt entsprechende Lösungen von Amazone, Lemken und Nexat vor. Eine Möglichkeit der automatischen Regelung der Ablagetiefe bei Drillmaschinen wird beschrieben. Weitere Themen sind eine Remote - Kalibriereinheit für Drillmaschinen, ein neues Kreiseleggenkonzept zur verbesserten teilflächenspezifischen Saatbettbereitung und Saat sowie streifen- und direktsaattaugliche Drillmaschinen.

Themen im Bereich der Einzelkornsaat sind die gleichzeitige, flexible Präzisionsapplikation mehrerer Saatgüter, Dünger und/oder Granulate (ähnlich wie bei Drillmaschinen), die Einzelkornsaat von Getreide sowie die weitere Verbesserung der Präzision bei der Saatgut- und Düngerablage durch die intelligente Verknüpfung mechanischer, pneumatischer, hydraulischer und elektronischer Komponenten.

Der Beitrag stellt Forschungsergebnisse zu folgenden Themen vor: Energiebedarf bei der Maisaussaat; Messung des Blattrichtungswinkels bei Mais unter Feldbedingungen; Vereinzelungsgeräte für Mais, Feinsaaten und Reis; Vorhersage zur Ermittlung der optimalen Ablagetiefe von Mais; pneumatische Unterdruckvereinzelung ellipsenförmiger Saatgüter; DEM - Modellierung von Weizen- und Kürbissaatgut; Keimverzögerung von Zwischenfruchtsamen durch Pillierung; Gutflussoptimierung in pneumatischen Drillmaschinen durch gekoppelte CFD/DEM - Simulationen; variable Einzelkornsämaschine; Fernsteuerung und Überwachung landwirtschaftlicher Maschinen mittels Smartphone - App.

## **Literatur**

- [1] Schaffner, A.: Weiter denken mit Regenerativer Landwirtschaft – Dr. Achim Schaffner zu alternativen Möglichkeiten im Ackerbau. DLG Mitgliedernewsletter, 48/23, DLG e.V. (Hrsg.), Frankfurt 2023.
- [2] Hövelmann, L.: Herausfordernde Zeiten im Vorfeld der Messe. eilbote 71 (2023) H. 41, S. 6-8.
- [3] DLG e.V.: DLG - Agrifuture Insights - Auswertung der Studie vom Dezember 2022/Januar 2023. DLG e.V. (Hrsg.), Frankfurt am Main 2023, URL: <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/agrifuture-insights-aktuell>, Zugriff am: 08.01.2024.
- [4] Meinel, T.: Sätechnik. In: Jahrbuch Agrartechnik 2021. Bd. 33, Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge 2021, S. 1-12.
- [5] Lummer, B.: Amazone Sätechnikneuheiten 2023. E-Mail, 14.12.2023.
- [6] Lummer, B.: MultiProduct-Verteilssystem – Neuheitenanmeldung zur Agritechnica 2023, 2023.
- [7] Kisters, J.: MultiHub - Zwischenfrucht- und Granulatstreuer mit Teilbreitenschaltung. E-Mail, 07.12.2023.

- [8] Kalverkamp, K.: Seedhopper Tanksystem – Neuheitenanmeldung zur Agritechnica 2023, 2023.
- [9] Meinel, T.: Sätechnik. In: Jahrbuch Agrartechnik 2015. Bd. 27, Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge 2015, S. 1-11.
- [10] Wronka, M.: Qualitätssystem mit Infield-Automatisierung für John Deere ExactEmerge. Neuheitenanmeldung zur Agritechnica 2015. Mannheim 2015.
- [11] Braun, M.: Horsch AutoForce– Neuheitenanmeldung zur Agritechnica 2015. Schwandorf 2015.
- [12] Blateyron, B.: SmartDepth, Neuheitenanmeldung zur Agritechnica 2019. 2019.
- [13] Stangl, J.: AutoForce bei der Getreideaussaat. Neuheitenanmeldung zur Agritechnica 2023; Schwandorf 2023.
- [14] Horsch, D.: AutoForce bei der Getreideaussaat. Persönliches Gespräch zur Agritechnica, 17.11.2023.
- [15] Audenaert, J.: EZCal™ Remote Seed & Fertilizer Calibration – Neuheitenanmeldung zur Agritechnica 2023, 2023.
- [16] Koers, S.: Kverneland Rotago F Power Harrow. Soest 2023.
- [17] Deter, A.: Novag präsentiert 9 m Direktsaatmaschine T-ForcePlus 950 auf Raupe  
URL: <https://www.topagrar.com/technik/news/novag-praesentiert-9-m-direktsaatmaschine-t-forceplus-950-auf-raupe-13507375.html>, Zugriff am: 04. 01. 2024.
- [18] Weaving E. F.: GD Direktsaat-Sämaschinen – Produktkatalog. E F Weaving Ltd (Hrsg.), 2023.
- [19] N.N.: Sämaschinen 740A und 750A Technische Daten.  
URL: <https://www.deere.de/de/magazines/publication.html?id=116973e6#11>,  
Zugriff am: 04. 01. 2024.
- [20] Boutonnet, E.; Cattoni, F.: Precision planting from 2 to 18 km/h with new ValoTerra Ultimate – Seed planting. Monosem (Hrsg.), Largeasse 6. November 2022.
- [21] Pe, D.: QuadRate Pro – Neuheitenanmeldung zur Agritechnica 2023, 2023.
- [22] Rothmund, M.; et al.: Approach for a single seed precise control system for small grains based on Piezo-electric and optical sensors. VDI-MEG Tagung Landtechnik, 19.-20. November 2014, Berlin. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): VDI-Berichte 2226, Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 2014, S. 215-220.
- [23] Horsch Maschinen GmbH: HORSCH #FUTURESTARS & Neuerungen zur Agritechnica 2023 – #FUTURESTAR Solus SX. Horsch Maschinen GmbH, URL: <https://www.horsch.com/agritechnica-2023#c75409>, Zugriff am: 03. 01. 2024.
- [24] N.N.: Airvac und Airspeed Dosierer. Horsch Maschinen GmbH, URL: <https://www.horsch.com/produkte/einzelkornsaeemaschinen/maestro/airvac-und-airspeed-dosierer>, Zugriff am: 04. 01. 2024.
- [25] Wessels, M.: FertiXact für Einzelkornsätechnik "Precea" – Neuheitenanmeldung zur Agritechnica 2023, 2023.
-

- [26] Liew, C. T.; Donesky, A.; Freyhof, M.; Tempelmeyer, I.; Pitla, S. K.: Estimating Battery Size Requirements for Tractor Electrification of Row-Crop Planting Operations. *Journal of the ASABE* 66 (2023) H. 6, S. 1481-1496.
- [27] Taylor, R.; Koller, A.; Yazgi, A.; Ciampiti, I.; Schlegel, A.; Godsey, C.; Navid, H.: Evaluation of Corn Seed Orientation. In: 2015 New Orleans, Louisiana July 26-29, 2015, St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2015. URL: <https://elibrary.asabe.org/azdez.asp?JID=5&AID=46376&CID=norl2015&T=1>, Zugriff am: 05. 01. 2024.
- [28] He, W.; Gage, J.; Xiang, L.: Characterization of Leaf Azimuth Angle in Maize Plants Using Improved YOLOv5. DOI: 10.13031/aim.202301185. In: 2023 Omaha, Nebraska July 9-12, 2023, St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2023.
- [29] Gao, X.; Xie, G.; Li, J.; Shi, G.; Lai, Q.; Huang, Y.: Design and validation of a centrifugal variable-diameter pneumatic high-speed precision seed-metering device for maize. *Biosystems Engineering* 227 (2023), S. 161-181.
- [30] Li, C.; Cui, T.; Zhang, D.; Yang, L.; He, X.; Jing, M.; Dong, J.; Wu, D.; Wang, Z.: Design shaped hole inserts by simulating and analysing the high-speed filling posture of maize seed particles. *Biosystems Engineering* 232 (2023), S. 29-50.
- [31] N.N.: ExactEmerge™ – Row Unit. URL: <https://www.deere.com/en/planting-equipment/row-units/exactemerge-row-unit/>, Zugriff am: 08.01.2024.
- [32] Du, X.; Liu, C.: Design and testing of the filling-plate of inner-filling positive pressure high-speed seed-metering device for maize. *Biosystems Engineering* 228 (2023), S. 1-17.
- [33] Xu, J.; Sun, S.; He, Z.; Wang, X.; Zeng, Z.; Li, J.; Wu, W.: Design and optimisation of seed-metering plate of air-suction vegetable seed-metering device based on DEM-CFD. *Biosystems Engineering* 230 (2023), S. 277-300.
- [34] Li, H.; Yan, B.; Meng, Z.; Ling, L.; Yin, Y.; Zhang, A.; Zhao, C.; Wu, G.: Study on influencing factors of hole-filling performance of rice precision direct seed-metering device with hole ejection. *Biosystems Engineering* 233 (2023), S. 76-92.
- [35] Baghooee, M.; Karparvarfard, S. H.; Azimi-Nejadian, H.; Keramat-Jahromi, M.; Balanian, H.; Sardarpour, F.: DEM Simulation for Seeding Performance of a Slotted Roller Seed-Metering Device for Planting Maize in Laboratory Condition. *Journal of Biosystems Engineering* (2023). <https://doi.org/10.1007/s42853-023-00202-z>
- [36] Sun, J.; Yang, L.; Zhang, D.; Hu, J.; Cui, T.; He, X.; Zhao, H.: Development of a prediction model to determine optimal sowing depth to improve maize seedling performance. *Biosystems Engineering* 234 (2023), S. 206-222.
- [37] Wang, Y.; Su, W.; Lai, Q.; Lin, Y.; Li, J.: Simulation and measurement of the suction force on ellipsoidal seeds in an air-suction seed-metering device. *Biosystems Engineering* 232 (2023), S. 97-113.
-

- [38] Lu, C.; Gao, Z.; Li, H.; He, J.; Wang, Q.; Wei, X.; Wang, X.; Jiang, S.; Xu, J.; He, D.; Li, Y.: An ellipsoid modelling method for discrete element simulation of wheat seeds. *Biosystems Engineering* 226 (2023), S. 1-15.
- [39] Ding, X.; Wang, B.; He, Z.; Shi, Y.; Li, K.; Cui, Y.; Yang, Q.: Fast and precise DEM parameter calibration for *Cucurbita ficifolia* seeds. *Biosystems Engineering* 236 (2023), S. 258-276.
- [40] Shokri, M.; Saedi, S.; Abdalla, A.; Asgarzadeh, Y.; Nafchi, A. M.: Seed coating approach for achieving timely germination of cover crops. DOI: 10.13031/aim.202300826. In: 2023 Omaha, Nebraska July 9-12, 2023, St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2023.
- [41] Becka, S.: CFD/DEM coupling for the optimization of air conveyor sections of pneumatic seed drills. *LAND.TECHNIK AgEng 2023*, 10. - 11. November, Hannover. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): 80th International Conference on Agricultural Engineering – *LAND.TECHNIK AgEng 2023*, Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 2023, ISBN: 978-3-18-092427-4, S. 413-416.
- [42] N.N.: Prototyp zur präzisen Aussaat präsentiert. *eilbote* 71 (2023) H. 47, S. 20.
- [43] N.N.: Rückblick Agritechnica – Voller Erfolg für den Agrotech Valley Gemeinschaftsstand. URL: <https://www.agrotech-valley.de/rueckblick-agritechnica-2023/>, Zugriff am: 05. 01. 2023.
- [44] Surmann, K.; Hecheltjen, H.: How the operation and monitoring of a modern and highly automated seeder with advanced connectivity is simplified by smartphone apps. DOI: 10.13031/aim.202300437. In: 2023 Omaha, Nebraska July 9-12, 2023, St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2023.

### Autorendaten

Prof. Dr.-Ing. Till Meinel ist stellvertretender Institutsdirektor am Institut für Bau- und Landmaschinentechnik Köln der Technischen Hochschule Köln.

### Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

#### Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 06.02.2024

#### Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Meinel, Till: Sätechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2023*. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-11

#### Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171540-0>

#### Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/saetechnik.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Digitaler, Autonomer, Selektiver - Trends in der Pflanzenschutztechnik**

Jan-Uwe Niemann, Daniel Herrmann, Jens Karl Wegener

### **Kurzfassung**

Auf der diesjährigen Agritechnica sind im Bereich der Pflanzenschutzmittelgeräte nur wenige komplett neue Produkte gezeigt worden. Ein genauerer Blick zeigt aber, dass doch einige Neuheiten zu verzeichnen sind. Viele Produkte sind im Kleinen verbessert worden, besonders Schnittstellen und digitale Anbindungen, die den Anwender bei der Arbeit unterstützen. Beim chemischen Pflanzenschutz sind im Besonderen die Neuheiten im Bereich Spot Spraying und selektiver Einzelpflanzenbehandlung zahlreich.

### **Schlüsselwörter**

Chemischer Pflanzenschutz, Physikalischer Pflanzenschutz, Spot-Spraying, Assistenzsysteme, Robotik, Teilbreitenschaltung, Pflanzenschutzmittelreduktion, Einzelpflanzenbehandlung

## **More Digital, more Autonomous, more Selective - Trends in Crop Protection Technology**

Jan-Uwe Niemann, Daniel Hermann, Jens Karl Wegener

### **Abstract**

At this year's Agritechnica, only a few completely new products were shown in the field of crop protection equipment. However, a closer look shows that there are a few innovations. Many products have been improved on a small scale, with a particular focus on interfaces and digital connections that support the user in their work. When it comes to chemical plant protection, there are numerous innovations in the areas of spot spraying and selective individual plant treatment in particular.

### **Keywords**

Chemical plant protection, physical plant protection, spot spraying, assistance systems, robotics, section control, pesticide reduction, individual plant treatment

## **Drohnen**

Die Firma Da-Jiang Innovations Science and Technology Co., Ltd. stellte bei ihrer ersten Agrartechnica ihre neue Agrardrohne Agras T50 für die Behandlung von größeren Flächen vor. Die Sprühkapazität beträgt, wie bei der T40 Serie weiterhin maximal 40 kg, für die Aussaat kann das UAV mit bis zu 50 kg Saatgut pro Flug beladen werden. Laut DJI soll die Drohne ca. 21,3 Hektar pro Stunde behandeln können. Für kleinere Flächen wird die Agras T25 ebenfalls in Deutschland erhältlich sein. Mit einem Leergewicht von nur 25,4 kg und einem startbereiten Gewicht von 32 kg (mit Akku) ist sie für den Ein-Personen-Betrieb konzipiert. Die T25 bietet eine Ladekapazität von 35 Litern und kann entweder mit bis zu 20 kg Sprühmittel oder mit bis zu 25 kg Saatgut befüllt werden. Neben der Behandlung ist es möglich die Drohnen, die mit einer schwenkbaren hochauflösenden Kamera ausgestattet sind, für Mappingaufgaben zu nutzen und eine 2D (Feld) oder 3D Karte (Obstanlage) zu erstellen und Objekte, z.B. Einzelbäume zu erkennen (auch direkt auf dem Feld möglich) [1]. Daneben wurde das Kartierungssystem Mavic 3M erstmals in Europa gezeigt und auch das Relay Modul war vorher in Europa nicht erhältlich. Es handelt sich hierbei um einen Signalempfänger, der die Übertragung zwischen kompatiblen DJI Agras-Drohnen und der Fernsteuerung effektiv verlängern und verstärken kann und den Betrieb über größere Entfernungen und in komplexeren Umgebungen ermöglicht [2].

## **Robotik mit integrierter Pflanzenschutztechnik und autonome Fahrzeuge**

### *Elektrisch angetrieben*

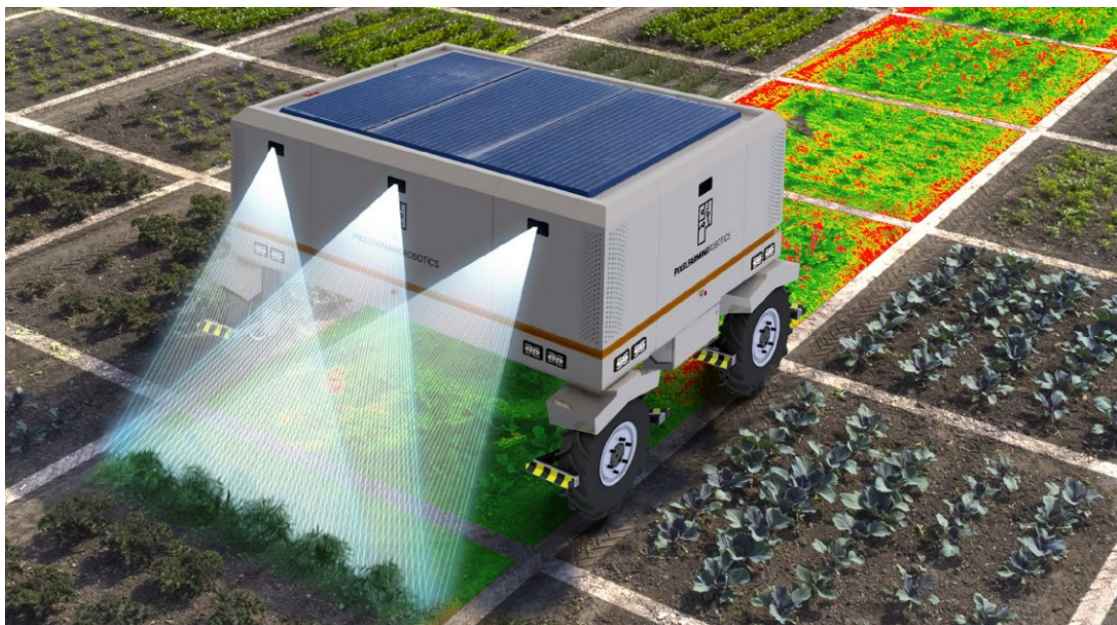
Der schon bekannte Farmdroid kann jetzt auch mit einer Anlage zum Spot Spraying ausgerüstet werden. So kann bei Bedarf der Randbereich direkt um die Pflanze behandelt werden. Damit erweitert sich das Unternehmen von seiner Ausrichtung auf organischen Anbau um den integrierten Anbau, in dem hohe einsparpotenziale für Pflanzenschutzmittel liegen [3]. Daneben ist der FD20 jetzt auch mit 2 Fronträdern erhältlich (siehe **Bild 1**). Diese Option ist für den Beetanbau gedacht und schafft die Möglichkeit einer zusätzlichen Pflanzenreihe, da die zusätzliche Spur durch das mittige Frontrad entfällt [4].

Der Robot One von Pixelfarming eignet sich für großräumige und artenreiche Umgebungen. Zehn steuerbare Arme können mit verschiedenen Werkzeugen ausgestattet werden und sind unabhängig voneinander in Reihenbreite und Arbeitstiefe und bis zu 2 Millimeter genau verstellbar. Dies ermöglicht eine pflanzenspezifische Pflanzenbehandlung. Da das Gerät für den organischen Anbau bzw. für den Übergang dazu konzipiert ist, gibt es keine Pflanzenschutzsprühtechnik. Unkraut wird mit einem Greifer, einer Hacke, oder einem Laser (je nach Konfiguration der Maschine) entfernt. Grundsätzlich wäre das Gerät, mit seinen einzeln anzusteuern Armen aber in der Lage einen Düsenträger auszurichten. Der rechteckig aufgebaute Grundkörper kann in längs- als auch in Querrichtung arbeiten und deckt damit alle gängigen Beetbreiten von 3,5 m bis 1,8 m ab. Um das Gerät zukunftssicherer zu machen, ist das System so aufgebaut, dass auch zukünftig erhältliche Hardware und Funktionen nachgerüstet werden können. Robot One ist in der Lage, Pflanzen zu erkennen und zu klassifizieren und mithilfe

von Computer Vision eine 3D-Tiefenkarte des Geländes zu erstellen (siehe **Bild 2**). Mithilfe von vier stereoskopischen Tiefenkameras und prädiktiven Pflanzenwachstumsmodellen kann Robot One jeden einzelnen Arm millimetergenau bewegen und so nah wie möglich an die Pflanze herankommen, ohne sie zu beschädigen [5].



**Bild 1:** Farmdroid FD20 in der DFW (double front wheel) Version [3].  
**Figure 1:** Farmdroid FD20 in the DFW (double front wheel) version [3].



**Bild 2:** Robot One beim Scannen (vorne) und Kartieren (hinten) einer Feldfläche [4].  
**Figure 2:** Robot One while scanning (front) and mapping (back) a field plot [4].

Der Feldfreund von Zauberzeug entstand aus einem Forschungsprojekt und kann neben den erhältlichen Anbaugeräten für mechanische Unkrautbekämpfung auch mit Geräten von Dritt-anbietern ausgerüstet werden [6]. Da die Software OpenSource ist und alle Schnittstellen offen

liegen, eignet sich dieser Roboter mit Raupenlaufwerken vor allem für den Prototypenbau und die Integration von Komponenten verschiedener Herkunft.

#### *Autonome Traktoren*

Daneben wurden autonome Träger und Zugfahrzeuge von Kubota (MR1000A Agri Robo KVT, auch manuell fahrbar) und Kuhn (Karl, vollautonom) vorgestellt, die in Zukunft auch Pflanzenschutzaufgaben übernehmen sollen. Zudem wurde der Prototyp eines autonom fahrenden Claas Xerion auf Raupenlaufwerken präsentiert [7].

#### **Kombination von mechanischer Unkrautbekämpfung und Spot Spraying**

Mit dem Spray-ING ProRow-X - Präzisions-Spotsprayer für das Hackband und der InRow-ING - Selektivhacke mit künstlicher Intelligenz und vollelektrischem Werkzeugantrieb hat Farm-ING Smart Farm Equipment GmbH hier eine neue Kombination mit 2,5 cm Düsenabstand präsentiert. Der Spray-ING FullCover-X - Präzisions-Spotsprayer deckt hier neben einer möglichen Spotapplikation auf 2,5 x 2,5 cm (Herbizide) auch Vollflächenbehandlungen (Insektizide, Fungizide, Herbizide, Wachstumsregler) ab [8].

#### **Teilbreitenschaltung**

Für Besitzer von Spritzen ohne Teilbreitenschaltung bietet Homburg Holland eine neue Variante der bekannten Smart Control mit Smart CONTROL USC an. Durch die Übersetzung von ISOBUS Signalen in CAN, serielle Steuerbefehle, oder direkt über 12V Signale wird hiermit eine Teilbreitenschaltung bzw. deren Nachrüstung ermöglicht. Durch die Hinzufügung von I/O-Modulen kann dieses System nun bis zu 48 Sektionen mit einem 12V-Signal steuern. Jedes dieser I/O-Module kann bis zu 8 Sektionen direkt steuern und liefert bis zu 3A pro Sektion. Die Konnektivität von Smart Control USC mit dem Traktor wird durch einen ISOBUS IBBC-Anschluss ermöglicht. Außerdem ist das System mit fast jedem ISOBUS VT-Display kompatibel, das über TC (TaskController)-Fähigkeiten verfügt [9].

#### *Selektive Unkrauterkenkung und -bekämpfung*

Dammann präsentiert mit dem Green-Smart-Spraying ein komplettes System zur Erkennung und selektiven Behandlung von Unkräutern. Hierbei wurde das One Smart Spray System von Bosch/BASF in die Dammann Tracs integriert. Das intelligente System ist in der Lage, vor und nach Ausbringen der Saat („Grün auf Braun“ sowie „Grün auf Grün“), auch sehr kleine Unkräuter (6 mm x 6 mm) zu erkennen, von Kulturpflanzen zu unterscheiden und in Echtzeit über den idealen Einsatz zu entscheiden. Dank integrierter Lichtmodule (siehe auch **Bild 3**) ist das System unabhängig von der Tag- und Nachtzeit einsetzbar [10].

Von der Optronica GmbH gibt es mit PlantSens ein ähnliches System, das auch, tageszeitunabhängig, mit „Grün auf Braun“ sowie „Grün auf Grün“ Erkennung arbeitet. Das System soll 2 cm<sup>2</sup> große Pflanzen noch bei 25 Km/h in Echtzeit erkennen können und arbeitet sowohl horizontal als auch vertikal, und kann damit auch in Raumkulturen genutzt werden [11]. Beide Systeme können bei der Überfahrt auch eine Kartierung vornehmen, die für weitere Planung

des Unkrautmanagements (Damman, direkt in der Ackerschlagkartei) oder der Bewertung des Pflanzenwachstums (PlantSens) herangezogen werden können.



**Bild 3:** Green-Smart-Spraying Funktion [10].

**Figure 3:** Green-Smart-Spraying Funktion [10].

## Pflanzenschutztechnik in Sonderkulturen

### *Physikalischer Pflanzenschutz*

Für eng gesäte und empfindliche Kulturen (z.B. Möhren) im Keimblattstadium hat K.U.L.T. Kress Umweltschonende Landtechnik GmbH in Zusammenarbeit mit SIA WeedBot den K.U.L.T.aiLaser entwickelt. Kleinste Unkräuter werden erkannt und mittels Laserstrahl abgetötet. Hierdurch wird ein Handjäten unnötig. Optische Sensoren erfassen fortlaufend Bilder des Pflanzenbestandes. Diese Bilder werden mittels künstlicher Intelligenz (AI) analysiert. Die Kulturpflanze wird erkannt und von den Beikräutern unterschieden. Anschließend werden alle unerwünschten Arten gezielt und mit chirurgischer Präzision durch die Hitze des Lasers denaturiert (siehe **Bild 4**) [12].



**Bild 4:** Ablauf von Bildaufnahme (links), Pflanzen- (grün) und Beikrautererkennung (rot) und Laserzielbestimmung (rot schraffiert) beim K.U.L.T.aiLaser [12].

**Figure 4:** Sequence of image acquisition (left), plant (green) and weed detection (red) and laser target identification (shaded red) with the K.U.L.T.aiLaser [12].

### *Chemischer Pflanzenschutz*

Mit der 332M und der 340M wurden von John Deere zwei neue Modellvarianten eines kompakten Selbstfahrers eingeführt. Die 332M bietet eine Tankgröße von 3200 Litern und einen 175 PS starken 4-Zylinder John Deere Motor. Eine Gestängebreite von bis zu 28 Metern und ein Wendekreis von 3,8 Metern sind ausgelegt für Arbeiten auf kleinstrukturierten Betrieben. Die 340M hat ein Tankvolumen von 4000 Litern und eine Gestängebreite von bis zu 36 Metern. Diese Breite, der 225 PS starke 6-Zylinder John Deere-Motor und ein Wendekreis von 4,2 Metern ermöglichen eine hohe Schlagkraft bei platzsparendem Handling. Mit ihrer kompakten Bauweise und der Allradlenkung sind beide Varianten der 300M für enge Straßen und Feldarbeiten ausgelegt. Die automatisch verstellbare Spurweite von 150-180 cm, 180-225 cm und 225-300 cm ermöglicht einen flexiblen Einsatz in allen Kulturen, vor allem in Sonderkulturen.

Beide Modelle der 300M werden mit einem Stahlgestänge und einem Edelstahlgestänge mit Luftunterstützung angeboten. Beide Varianten sind mit Einzeldüsensteuerung erhältlich. Das luftunterstützte Gestänge der 300M soll vor allem in Sonderkulturen eine hervorragende Benetzung von hohen und blattreichen Beständen durch eine erhöhte Durchdringung des Bestandes bewirken [13].

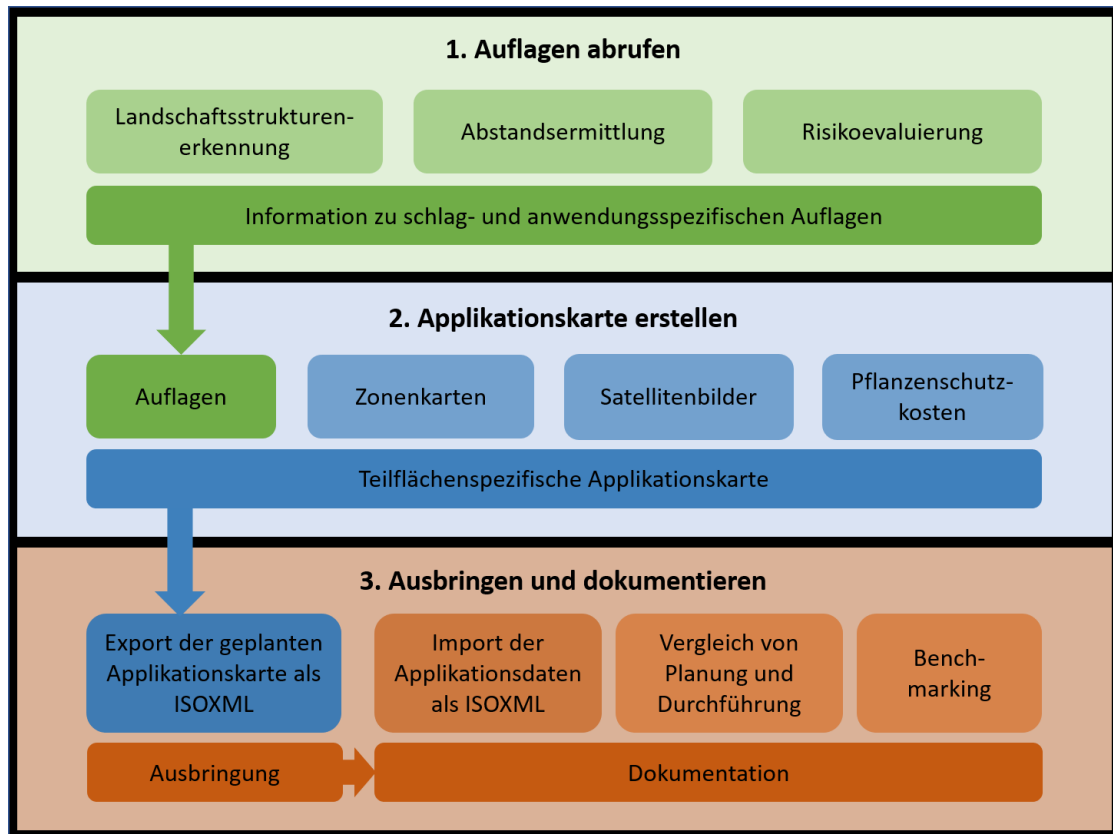
### **Assistenzsysteme**

#### *Spray with Care*

Spray with Care (SWC) ist ein System, das in Echtzeit die Drift berechnet und neben Wetterfaktoren auch Maschineneinstellungen und dem Pfad der Pflanzenschutzspritze angrenzende gefährdete Risikoflächen (z.B. offene Gewässer) mit in die Risikobewertung einfließen lässt. Die errechnete Drift wird dem Fahrer zahlenmäßig und optisch am Bildschirm angezeigt. Das System kann an Pflanzenschutzgeräte aller Marken nachgerüstet werden [14].

#### *OPAL*

Die GeoInformationsDienst GmbH stellte auf der Agritechnica mit Opal ein digitales Assistenzsystem zur Applikation von Pflanzenschutzmitteln vor. OPAL wurde in einem Forschungsprojekt gemeinsam mit dem Julius Kühn-Institut, der Herbert Dammann GmbH und der Bayer Crop Science GmbH entwickelt. Das System unterstützt den Anwender von der Planung bis zur Dokumentation von Pflanzenschutzmitteleinsätzen. Welche Abstandsaufgaben einzuhalten sind, wird in bundesweiten wie bundeslandabhängigen Vorgaben zum Anwohner- und Gewässerschutz, den Informationen aus dem Kleinstrukturenverzeichnis und den aktuell geltenden BVL-Anwendungsbestimmungen geprüft. Durch die automatisierte Einbindung ausgewählter Datendienste und -quellen können teilflächenspezifische Applikationskarten unter Berücksichtigung der erforderlichen Schutzzonen geplant, erzeugt und dokumentiert werden (siehe **Bild 5**) [15].



**Bild 5:** Schematischer Aufbau der OPAL-Anwendung: 1. Auflagen abrufen, 2. Applikationskarten erstellen und 3. Dokumentation der Maßnahme [15].

**Figure 5:** Schematic Structure of the OPAL application: 1. checking restrictions, 2. Compile application cards and finally 3. Documentation of the sprayer work [15].

### Zusammenfassung

Die neu vorgestellten Produkte zeigen weiter einen deutlichen Trend zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln auf. Dies wird vor allem mit smarten Technologien, digitalen Tools, und Robotik vorangetrieben. Smart Farming mit dem Fokus auf Spot-Spraying steht hier diesmal im Mittelpunkt der internationalen Aufmerksamkeit, auf nationaler Ebene ist das Neue Assistenzsystem Opal, ein digitaler Assistent für die Pflanzenschutzmitteleinsatzplanung, -ausbringung, und-dokumentation hervorzuheben. Viele der vorgestellten optischen Systeme haben die Option eine Kartierung vorzunehmen, die auch für andere pflanzenbauliche Maßnahmen genutzt werden kann und so die Vernetzung innerhalb eines Betriebes verstärkt.

### Literatur

- [1] N.N.: Bald neue Modelle im Agrarbereich von DJI. Premium-drohne.de. URL: <https://www.premium-drohne.de/pages/bald-neue-modelle-im-agrarbereich-von-dji-t25-t50>. Zugriff am 21.12.2023.

- [2] N.N.: DJI Agriculture stellt fortschrittliche Agrartechnologie in Europa vor. Drones-magazin.de. URL: <https://www.drones-magazin.de/presse/dji-agriculture-stellt-fortschrittliche-agrartechnologie-in-europa-vor/>. Zugriff am 21.12.2023.
- [3] N.N. FarmDroid. FarmDroid ApS. URL: <https://farmdroid.com/wp-content/uploads/Brochure-FD20-2023-web.pdf>. Zugriff am 21.12.2023.
- [4] Groeneveld, R.: FarmDroid launches spot-application system. URL: <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/field-robots/farmdroid-launches-spot-application-system/>. Zugriff am 21.12.2023.
- [5] N.N.: Robot One. Pixelfarming Robotics. URL: <https://pixelfarmingrobotics.com/wp-content/uploads/2023/02/brochure.pdf>. 21.12.2023
- [6] N.N.: Fieldfriend - Your agricultural robot. Zauberzeug GmbH. URL: <https://feldfreund.de/>. Zugriff am 21.12.2023.
- [7] N.N.: Agritechnica 2023: Diese Landtechnik-Neuheiten gab es am Sonntag. URL: <https://www.agrarheute.com/technik/agritechnica-2023-kommt-fendt-john-deere-613003>. Zugriff am 21.12.2023.
- [8] N.N.: SprayIng - Präzisions Spot Sprayer. Farm-ING Smart Farm Equipment GmbH. URL: <https://farm-ing.at/smart-farm-equipment-2/spot-sprayer/>. Zugriff am 21.12.2023.
- [9] N.N.: SmartCONTROL. Homburg Holland URL: <https://www.homburg-holland.com/de/smartsolutions/smartcontrol#>. Zugriff am 21.12.2023.
- [10] N.N.: Green-Smart-Spraying - Das intelligente Kamerasystem zur punktgenauen Pflanzenerkennung. Heribert Dammann GmbH, URL: [https://www.dammann-technik.de/wp-content/uploads/2022/07/Green-Smart-Spraying\\_07\\_2022\\_web-2.pdf](https://www.dammann-technik.de/wp-content/uploads/2022/07/Green-Smart-Spraying_07_2022_web-2.pdf), Zugriff am 21.12.2023.
- [11] N.N.: Optical Sensors - For spraying green on brown and green on green. OPTRONIA GMBH. URL: <https://plansens.optronia.com/>. Zugriff am 21.12.2023.
- [12] N.N.: K.U.L.T.aiLaser - Die hochpräzise Lasertechnologie von K.U.L.T. Kress. K.U.L.T. Kress Umweltschonende Landtechnik GmbH. URL: <https://www.kult-kress.de/de/produkte/K.U.L.T.aiLaser.php>. Zugriff am 21.12.2023.
- [13] Marien, F.N.: John Deere präsentiert neue selbstfahrende Spritze 300M - Pressemeldung. John Deere. URL: <https://www.deere.de/de/unser-unternehmen/news-und-medien/pressemeldungen/2023/john-deere-prasentiert-neue-selbstfahrende-spritze-300M.html>. Zugriff am 21.12.2023.
- [14] N.N.: The Spraying With Care (SWC) system: Technical description and background. Agritechnica Innovation Award Committee application. Tolefors Gard. URL: <https://tolefors.se/swc>. Zugriff am 21.12.2023.
- [15] Jahnke, D.: URL: <https://www.geoinformationsdienst.de/gid/forschung/opal/opal-uebersicht>. Zugriff am 21.12.2023.

### **Autorendaten**

Dr. Jan-Uwe Niemann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Julius Kühn-Institut Braunschweig am Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz.

M.Sc. Daniel Herrmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Julius Kühn-Institut Braunschweig am Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz.

Prof. Dr. Jens Karl Wegener ist Leiter des Instituts für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz am Julius Kühn-Institut Braunschweig.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Wissenschaftliches Review / Scientific Review**

Erfolgreiches Review am 09.02.2024

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Niemann, Jan-Uwe; Herrmann, Daniel; Wegener, Jens Karl: Digitaler, Autonomer, Selektiver - Trends in der Pflanzenschutztechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-9

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171541-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/pflanzenschutztechnik.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Halmgutmähen und Halmgutwerben**

Lukas Reuter, Lennart Buck

### **Kurzfassung**

Die europäische Landtechnikindustrie befindet sich 2023 laut CEMA Business Barometer weiterhin in einer tiefen Rezession. Trotzdem sind die Landtechnikhersteller nicht zu pessimistisch und präsentierten auch im Bereich Halmgutmähen und Halmgutwerben innovative Technik auf der Agritechnica 2023. Bei den Mähwerken und Kreiselwendern ist bei sämtlichen Herstellern weiterhin ein Trend zu Systemen mit höherer Flächenleistung zu erkennen. Zudem wird ein Frontmähwerk präsentiert, das in Abhängigkeit von Lenkwinkel- und Neigungssensoren automatisch hydraulisch verstellt wird. Im Bereich der Kreiselschwader werden neben der Weiterentwicklung der herkömmlichen Systeme auch alternative Ansätze wie Kammschwader, Bandschwader und ein Kreiselschwader ohne Kurvengetriebe vorgestellt.

### **Schlüsselwörter**

Mähwerke, Wender, Schwader

## **Mowing, Tedding and Raking**

Lukas Reuter, Lennart Buck

### **Abstract**

According to the CEMA Business Barometer the European agricultural machinery industry is still in a deep recession in 2023. Nevertheless, agricultural machinery manufacturers are not too pessimistic and presented innovative technology in the field of mowers, tedders and swathers at Agritechnica 2023. All manufacturers are continuing to see a trend towards systems with higher area output for mowers and rotary tedders. In addition, a front mower is presented that is automatically adjusted hydraulically depending on the steering angle and tilt sensors. In the field of rotary swathers, alternative approaches such as basket rake, belt rakes and a rotary swather without cam gears are presented alongside the further development of conventional systems.

### **Keywords**

Mowers, Tedders, Swathers

## **Markt- und landwirtschaftliche Situation**

Der CEMA Business Climate Index (CBI) fiel 2023 weiter kontinuierlich. Laut CBI befindet sich die europäische Landtechnikindustrie in einer starken Rezession auf einem ähnlich tiefen Niveau, wie im Frühjahr 2020 (ausgelöst durch die Corona-Pandemie) [1]. Höhere Zinsen sowie die allgemeine politische Unsicherheit führten dazu, dass weniger Kredite aufgenommen wurden [2] und die Investitionsbereitschaft insbesondere bei konventionell wirtschaftenden Betrieben in 2023 abnahm [3]. Dennoch seien laut CEMA Business Barometer vom Dezember 2023 die Hersteller nicht allzu pessimistisch mit Blick auf das kommende Jahr 2024 [1].

Laut dem Milchindustrie-Verband setzt sich in 2023 der Trend einer sinkenden Anzahl milchviehhaltender Betriebe bei einer steigenden Milchleistung fort [4]. Aufgrund dieses Zusammenhangs ist, nicht überraschend, davon auszugehen, dass die individuellen Betriebsgrößen ebenfalls tendenziell zunehmen und somit der Bedarf an Grünlandtechnik mit hoher Schlagkraft weiter steigt.

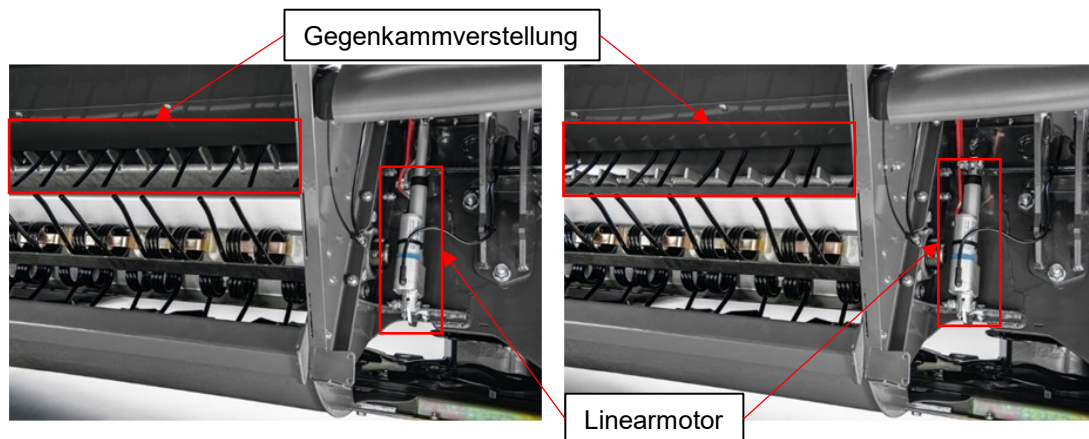
Bedauerlicherweise stellt der VDMA für diesen Jahreseintrag keine Verkaufszahlen mehr von Mähwerken, Wendern und Schwadern zur Verfügung, sodass kein Zusammenhang zwischen Milchpreisentwicklung und Verkaufszahlen geschlossen werden kann.

## **Marktreife Neuvorstellungen**

Nachdem die Agritechnica 2021 nicht in Präsenz stattfinden konnte, wurden auf der Leitmesse der Landtechnik in Hannover im Jahr 2023 erneut viele innovative Produkte vorgestellt. Es ist zu beobachten, dass der Trend zu immer höherer technischer Ausstattung im Bereich der Grünlandtechnik weiter anhält. Im Folgenden werden einige Neuheiten in den Bereichen des Halmgutmähens und des Halmgutwerbens vorgestellt.

### *Halmgutmähen*

Der Hersteller Fendt stellt mit dem Slicer 960 / 1010 eine neue Baureihe von Mähkombinationen in Schmetterlingsbauweise vor. Die für Großbetriebe entwickelten Mähwerke haben eine Arbeitsbreite von 9,6 m bzw. 10,1 m. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, diese Mähwerke mit einem Zinken- oder Walzenaufbereiter zu ergänzen. Das effizient ausgelegte Antriebskonzept des Mähwerks ermöglicht unter guten Bedingungen eine reduzierte Zapfwelldrehzahl von 850 U/min. Neu ist die geschwindigkeitsabhängige Regelung des Auflagedrucks mittels ISOBUS-Steuerung über das hydropneumatische "TurboLift-System". Das auf der Agritechnica 2023 vorgestellte optionale System zur automatischen Aufbereiterregelung wurde von der DLG mit dem Innovationspreis in Silber ausgezeichnet. Mit diesem System kann die Intensität des Aufbereiters vom Fahrer aus der Kabine oder automatisch über einen Sensor im Gegenkamm, der über einen Linearmotor verstellt wird, eingestellt werden (s. **Bild 1**). Zur automatischen Einstellung können auch aus der Biomasseverteilung abgeleitete Applikationskarten verwendet werden. Mit diesem System wird eine homogenere Trocknung des Futters angestrebt [5; 6].



**Bild 1:** Automatisierte Aufbereitungsintensität durch Verstellung mittels Linearmotor (nach [6]).  
**Figure 1:** Automated preparation intensity through adjustment by linear motor (based on [6]).

Mit dem Disco 9700 stellt Claas neue Großflächenmäherwerke mit bis zu 9,5 m Arbeitsbreite vor. Das Mähwerk ist in verschiedenen Varianten erhältlich. Zur Auswahl stehen Zinken- und Walzenaufbereiter sowie die Schwadzusammenführung "Auto Swather". Die Ausleger der Disco 9700 Mähwerke lassen sich hydraulisch um jeweils 300 mm nach außen und 50 mm nach innen verschieben, sodass eine Überlappung bei Kurvenfahrten oder ein Ausgleich bei Arbeiten quer zum Hang ermöglicht wird. Streifenbildung wird so vermieden. Das Mähwerk ist für Traktoren mit mindestens 96 kW ausgelegt [7; 8].

Die EasyCut B 880 CV/CR und B 1050 CV/CR von Krone sind zwei neue Mähwerkskombinationen in Schmetterlingsbauweise. Die Arbeitsbreite der Mähwerke beträgt je nach gewähltem Überschnitt von 8,52 m bis zu 8,72 m bzw. von 9,3 m bis zu 10,45 m; herstellerseitig ist ein Leistungsbedarf von 150 kW bzw. 170 kW angegeben. Auch diese Mähwerke sind serienmäßig mit Aufbereitern ausgestattet - optional kann auch ein Querförderband zur Schwadablage konfiguriert werden. Die Auslegerarme sind hydraulisch teleskopierbar. Der Aufbereiter mit V-Stahlzinken hat einen Durchmesser von 640 mm und ermöglicht so eine intensive Bearbeitung des Erntegutes und unterstützt eine effiziente Futtertrocknung [9].

Um auch schwierigen Erntebedingungen schlagkräftig zu begegnen, zeigt Kuhn mit dem FC 13460 RA ein aufgesatteltes Heckmäherwerk mit bis zu 13,4 m Arbeitsbreite, das einen Traktor in der Leistungsklasse von mindestens 200 kW erfordert. Da die Abmessungen von Mähwerken meist durch die Straßenverkehrsordnung begrenzt sind, werden alternative Anbauformen zum klassischen Anbaumäherwerk notwendig. Auch bei diesem Mähwerk kann die Außenbreite des Mähwerks durch verstellbare Ausleger verändert werden. Über einen Lenkwinkelsensor erfolgt dies automatisch bei Kurvenfahrten, um die Überlappung zwischen Front- und Heckmäherwerk zu gewährleisten [10].

Mit dem Disc HD 1000 D FS bringt der slowenische Hersteller SIP eine Doppelmähwerkskombination mit bis zu 10,2 m Arbeitsbreite auf den Markt. Ein neu gestalteter Mähbalken mit aerodynamisch optimierter Form der Gleitkufen und Mähscheiben reduziert Turbulenzen, die zu

einer Ansammlung von Schnittgut im Bereich des Mähbalkens führen können. Durch den Durchmesser von 444 mm bleibt die Schwungmasse der Mähscheiben auch bei intensiver Arbeit erhalten, so dass ein gleichmäßiger Gutfluss erreicht wird [11; 12].

Pöttinger präsentiert das System OptiCurve erstmals bei einem Frontmäherwerk, dem Novacat F 3100. Mit den Informationen des Lenkwinkelsensors und des Neigungssensors wird das Mäherwerk hydraulisch verstellt. So kann das Mäherwerk in Hanglagen über am Mähkopf angebrachte Hydraulikzylinder um bis zu 200 mm seitlich verschoben und um bis zu 8 Grad geneigt werden. Dies wirkt der Streifenbildung entgegen und gewährleistet, dass der Traktor immer in einer futterfreien Spur fährt [13].

### *Halmgutwerben*

Die Firma Kuhn stellt 2023 mit dem GF 13003 T einen Kreiselwender mit einer Arbeitsbreite von 13 m bestehend aus 12 Kreiseln vor. Trotz der großen Arbeitsbreite ist der Wender kompakt und wendig, da die beiden äußeren Kreisel ohne ein zusätzliches Hydrauliksteuergerät über eine Kinematik nach hinten angewinkelt werden können. Der Kreiselwender erfordert eine Traktorleistung ab 100 kW [14; 15].

Mit dem Swadro TC 1570 stellt Krone den größten auf dem Markt verfügbaren Vierkreiselschwader mit einer verstellbaren Arbeitsbreite von bis zu 15,70 m vor. Anwendung findet das gleiche V-Rahmenkonzept des Sechskreiselschwaders TC 2000, das die Arbeitsbreitenverstellung bei stabilem, ruhigem Lauf ohne zusätzliche hydraulisch betriebene Schlitten ermöglicht. Als Neuerung wird die Arbeitsbreitenverstellung der beiden äußeren Kreisel unabhängig voneinander über zwei Hydraulikzylinder realisiert, sodass auch spitze Feldgeometrien vollständig bearbeitet werden können. Die vorderen Kreiselarme stützen sich auf Tasträder, die auch im Vorgewende in Bodenkontakt bleiben [16; 17].

Der finnische Hersteller Agronic erweitert mit dem WR 600 evo Front Rake die Baureihe der Rotorschwader. Im Gegensatz zu Kreiselschwadern, sind die Rotorschwader von Agronic nicht mit den über Kurvengetrieben gesteuerten Metallzinken ausgestattet, sondern weisen Kunststoffzinken aus Polyamid ohne mechanische Steuerung auf. Ein abgerissener Zinken aus Kunststoff ist weniger schädlich für nachfolgende Maschinen wie Ballenpressen, Ladewagen oder Feldhäcksler. Durch die einfachere Konstruktion sind diese Rotorschwader laut Agronic zudem im Vergleich zu Kreiselschwadern leichter und wartungsärmer. Der WR 600 kann sowohl am Frontlader als auch in der Front- oder Heckhydraulik montiert werden und hat eine hydraulisch verstellbare Arbeitsbreite von bis zu 6,15 m [18].

Kreiselschwader ziehen das Gras mit den Zinken über den Boden. Dadurch kann es insbesondere bei nassem Wetter zu Verlusten und Verschmutzung des Futters kommen. Um dieses Problem zu lösen, bieten die Hersteller Pöttinger, Reiter und Kuhn Bandschwader an, die anstelle der Kreisel mit Pickups und Bändern ausgestattet sind. Der Mergento VT 9220 von Pöttinger benötigt eine Leistung von 66 kW und kann bei Arbeitsgeschwindigkeiten von bis zu 20 km/h eingesetzt werden. Obwohl der Bandschwader eine hohe Arbeitsgeschwindigkeit aufweist, ist seine Flächenleistung aufgrund der kleineren möglichen Arbeitsbreite geringer als

die des Vierkreiselschwaders. Arbeits- und Schwadbreite sowie die Abwurfseite können jedoch flexibel eingestellt werden [19; 20].

Zusätzlich stellt Pöttinger 2023 mit dem Mergento F Alpin einen Bandschwader mit einer Arbeitsbreite von 4 m für den Frontanbau insbesondere für alpine Regionen vor [21].

Samasz verfolgt die Weiterentwicklung der Kammschwader und stellt auf der Agritechnica 2023 den Twist 710 vor (vgl. **Bild 2**). Bei herkömmlichen Kreiselschwadern rotieren die Zinken in der horizontalen Ebene. Im Gegensatz dazu drehen sich die Zinken der Kammschwader in der vertikalen Ebene und reduzieren so laut Hersteller die Futtermittelverunreinigung, insbesondere durch Steine. Der Twist 710 weist eine Arbeitsbreite von 7,10 m bei einer Transportbreite von 2,50 m und Transporthöhe von 3,40 m auf und kann ab einer Traktorleistung von 60 kW eingesetzt werden.



**Bild 2:** Kammschwader der Baureihe Twist von Samasz im Einsatz vor einer Rundballenpresse [22].

**Figure 2:** Basket rake of the Twist series from Samasz in operation in front of a round baler [22].

### **Wissenschaft und Forschung**

Auch im Bereich der Wissenschaft wird kontinuierlich an der weiteren Automatisierung und Digitalisierung von landwirtschaftlichen Maschinen geforscht. Derzeit wird der Einsatz von künstlicher Intelligenz in breiten Anwendungsfeldern erprobt. So zeigt der Lehrstuhl für Agrarmechanik der Technischen Universität München einen möglichen Anwendungsfall für neuronale Netze bei der Überwachung von Mähwerken. Zwei Ansätze neuronaler Netze, ein Residual Neural Network (ResNet) und ein Convolutional Neural Network (CNN), wurden hinsichtlich der Erkennung von möglichen Fehlern beim Betrieb des Mähwerks verglichen. Dazu wurden Messdaten von Vibrationen an einem Mähwerk und die Zapfwellendrehzahl als Messdaten für den Vergleich verwendet. Die Messdaten wurden mit einem Krone EasyCut F 320M aufgenommen und anschließend aufbereitet. Es zeigt sich, dass beide neuronalen Netze eine

Vorhersagegenauigkeit von über 90 % aufweisen, wobei das CNN besser abschneidet als das ResNet. Eine Anwendung für den praktischen Einsatz dieser Methoden wird damit möglich [23; 24].

Im Rahmen des Netzwerks DeepFarmBots soll ein KI-unterstütztes System zur Objekterkennung unter anderem für Grünland untersucht werden. Basierend auf einem "Multiple Input multiple Output" (MIMO) Radarsystem, das Vorteile in der Winkelauflösung gegenüber herkömmlichen Radarsystemen aufweist, werden die Signaldaten mittels künstlicher Intelligenz in einer Signalverarbeitung ausgewertet, um im Grünland verborgene Objekte wie z. B. Steine frühzeitig zu erkennen. Durch frühzeitige Detektion der Hindernisse können schwerwiegende Beschädigungen am Mähwerk verhindert werden. Im Projekt soll zuerst an einer eigenständigen Warnsystem-Lösung gearbeitet werden, anschließend soll in Kooperation mit Landmaschinenherstellern auch eine Integration in die Bordelektronik erfolgen [25].

Im Forschungsprojekt "InsectMow", das an der Universität Hohenheim und der Universität Tübingen durchgeführt wird, wird in einer Literaturstudie das Schädigungspotential verschiedener Mähprinzipien auf Wirbeltiere und Arthropoden verglichen. Es zeigt sich, dass die Bauart und Funktionsweise des Mähwerks das Ausmaß der Verluste an Arthropoden beeinflusst. Kreisförmig arbeitende Mähwerke bearbeiten vier- bis sechsmal mehr Fläche als Balkenmäherwerke mit gleicher Arbeitsbreite. Dadurch erhöht sich die Schädigungswirkung. Die Verwendung von Aufbereitern bei Mähwerken führt durch die entstehende Sogwirkung zu zusätzlicher Schädigung. Auch die bauartbedingte Sogwirkung durch das Rotationsmäherwerk stellt ein hohes Schädigungspotential dar. Die Verwendung von Insektenscheuchern kann dazu beitragen, Schäden an Arthropoden zu reduzieren. Im Rahmen des bis 2025 laufenden Projekts werden diese Erkenntnisse genutzt, um ein insekten- und spinnenfreundliches Scheibenmäherwerk zu entwickeln und zu evaluieren [26].

## **Zusammenfassung**

Die Grünlandernte wird durch Automatisierung, Digitalisierung und künstliche Intelligenz immer effizienter. Die Landmaschinenhersteller konzentrieren sich auf die Steigerung der Schlagkraft und passen die Konstruktion der Mähwerke an die größeren Arbeitsbreiten an. Ein Produktbeispiel ist das vorgestellte Mähwerk der Firma Kuhn, das auf eine aufgesattelte Konstruktion setzt, um den gestiegenen Anforderungen an die Arbeitsleistung gerecht zu werden. Gezeigt werden auch alternative Schwaderkonstruktionen ohne Kurvengetriebe wie der Agronic aus Finnland oder ein neuer Kammschwader von Samasz, dessen Arbeitsbreite weiter erhöht wird. Innovative Produkte zeigen, dass durch die Nutzung zusätzlicher Daten, wie z. B. der Biomasseverteilung, die Futtermittelqualität und Effizienz der Grünlandtechnik durch Automatisierung des Aufbereiters weiter optimiert und der Fahrer entlastet werden kann. Ein Forschungsprojekt zeigt, dass die aktuell mehrheitlich verwendeten Rotationsmäherwerke größtenteils nicht insekten- und spinnenfreundlich arbeiten. Es wird gezeigt, dass der durch Aufbereiter und Rotationsmäherwerke erzeugte Sog die Schädigungswirkung erhöht. Dieser sollte zukünftig reduziert werden, um ein umweltfreundlicheres Mähwerk zu gestalten.

## Literatur

- [1] European Agricultural Machinery Association: CEMA Business Barometer: Public excerpt December 2023. URL: [https://www.cema-agri.org/images/pdf/business-barometer/2023-12\\_CEMA\\_Business\\_Barometer\\_Report.pdf](https://www.cema-agri.org/images/pdf/business-barometer/2023-12_CEMA_Business_Barometer_Report.pdf), Zugriff am: 09.01.2024.
- [2] Lehmann, N.: Darum drosseln Landwirte die Investitionen in ihre Betriebe drastisch. *agrarheute.com* (2023).
- [3] DLG: Investitionsbereitschaft im Vergleich. DLG, URL: <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/agrifuture-insights-aktuell/2023/investitionsbereitschaft-im-vergleich>, Zugriff am: 08.01.2024.
- [4] MIV Milchindustrie-Verband e.V.: Marktdaten. MIV Milchindustrie-Verband e.V., URL: <https://milchindustrie.de/marktdaten/erzeugung/>, Zugriff am: 08.01.2024.
- [5] Fendt: Aufbereiter stellt sich automatisch ein. In: Boomgaarden, J. (Hrsg.): *Eilbote* 44, 71. Jahrgang, Eilbote Boomgaarden Verlag GmbH 2023, S. 13.
- [6] AGCO Fendt: Fendt Futterernte: Die neuen Slicer 960/1010 Mähwerke. URL: <https://www.fendt.com/de/fendt-slicer-960-1010#technische-daten>, Zugriff am: 21.12.2023.
- [7] Claas: Bis zu 70 Zentimetern Verschiebung – Fünf verschiedene Ausführungen stehen beim neuen Großflächenmäherwerk Disco 9700 zur Auswahl. In: Boomgaarden, J. (Hrsg.): *Eilbote* 45-46, 45-46, 71. Jahrgang, Winsen/Luhe: Eilbote Boomgaarden Verlag GmbH 2023, S. 47.
- [8] Göggerle, T.: Immer so breit, wie es geht. In: Michel - Berger, S. (Hrsg.): *Agrarheute* 9/23 – Landwirtschaft auf den Punkt gebracht, Verliert Deutschland seine Tiere?, Bd. 9, München: Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH 2023, S. 54-59.
- [9] KRONE Agriculture: EasyCut B 880 CV/CR (Collect) und B 1050 CV (Collect). KRONE Agriculture, URL: <https://www.krone-agriculture.com/de/presse-news/newsdetail/easycut-b-880-cv-cr-collect-und-b-1050-cv-collect>, Zugriff am: 21.12.2023.
- [10] Brockmann, A.: Aufgesattelter Schmetterling. In: Brockmann, A. (Hrsg.): *Traction* 6/23 – Das Landtechnikmagazin für Profis, Bd. 6, München: Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH 2023, S. 36-41.
- [11] SIP: DISC HD 1000 D FS - SIP. URL: <https://www.sip.si/de/produkt/disc-hd-1000-d-fs/>, Zugriff am: 08.01.2024.
- [12] Schuhbauer, J.: SIP stellt mit dem DISC-HD 1000 D FS neue 10-m-Scheibenmäherwerk-Kombination für den professionellen Einsatz vor. URL: <https://moderner-landwirt.de/sip-stellt-mit-dem-disc-hd-1000-d-fs-neue-10-m-scheibenmaehwerk-kombination-fuer-den-professionellen-einsatz-vor/>, Zugriff am: 08.01.2024.
- [13] Keaveney, P. T.: Agritechnica 2023: Pöttinger introduces front mower with automatic side-shift. URL: <https://www.farmersjournal.ie/machinery/farm-machinery/agritechnica-2023-pottinger-introduces-front-mower-with-automatic-side-shift-793647>, Zugriff am: 08.01.2024.
- [14] Kuhn Sas: Front-Bandschwader Merge Maxx 440 F 23.12.2023.

- [15] Kuhn: Größter Dreipunktwender – Kreiselheuer GF 13003 mit 13 Metern Arbeitsbreite. In: Boomgaarden, J. (Hrsg.): Eilbote 45-46, 45-46, 71. Jahrgang, Winsen/Luhe: Eilbote Boomgaarden Verlag GmbH 2023.
- [16] Brockmann, A.: Arbeitsprobe I Krone Swadro TC1570. In: Brockmann, A. (Hrsg.): Traction 5/23 – Das Landtechnikmagazin für Profis, Bd. 5, München: Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH 2023.
- [17] Feuerborn, B.: Mehr laden, breiter mähen und schwaden. In: Michel - Berger, S. (Hrsg.): Agrarheute 9/23 – Landwirtschaft auf den Punkt gebracht, Verliert Deutschland seine Tiere?, Bd. 9, München: Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH 2023, S. 80-81.
- [18] Göggerle, T.: Schwader aus Finnland recht Gras anders zusammen – Anbau an Frontlader. URL: <https://www.agrarheute.com/technik/gruenlandtechnik/schwader-finnland-recht-gras-anders-zusammen-anbau-frontlader-612285>, Zugriff am: 27.12.2023.
- [19] Göggerle, T.: Schwaden am laufenden Band. In: Brockmann, A. (Hrsg.): Traction 4/23 – Das Landtechnikmagazin für Profis, Bd. 4, München: Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH 2023, S. 32-35.
- [20] Göggerle, T.: Schwaden am laufenden Band. In: Michel - Berger, S. (Hrsg.): Agrarheute 6/23 – Landwirtschaft auf den Punkt gebracht, Bd. 6, München: Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH 2023, S. 60-64.
- [21] Pöttinger: Pöttinger Mergento F Alpin – Alpenschwader. In: Brockmann, A. (Hrsg.): Traction 5/23 – Das Landtechnikmagazin für Profis, Bd. 5, München: Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH 2023, S. 9.
- [22] Samasz Sp. z o.o.: Twist - Basket rake Twist Samasz. URL: [https://www.samasz.pl/assets/images/produkty-seria/\\_maxi/Samasz\\_zgrabiarki\\_twist-4.jpg](https://www.samasz.pl/assets/images/produkty-seria/_maxi/Samasz_zgrabiarki_twist-4.jpg), Zugriff am: 08.01.2024.
- [23] Behr, P.; Olcay, E.; Maier, M.; Oksanen, T. Prof.: Condition Monitoring in Agricultural Disc Mower Machinery using Deep Learning. In: Fouhy, K. (Hrsg.): LAND.TECHNIK AgEng 2023 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations : November 10th - 11th 2023, Hannover, VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, DOI: 10.51202/9783181024270, S. 117-122.
- [24] Jaumann, M.; Olcay, E.; Oksanen, T.: Condition Monitoring using Convolutional Neural Network in Agricultural Machinery - Use Case: Disc Mower. IFAC-PapersOnLine 55 (2022) H. 32, S. 235-240.
- [25] N.N.: DeepFarmBots - MIKIM / KI-basierte Objekterkennung und -klassifizierung, Schutzgehäuse und landwirtschaftliche Feldversuche. URL: <https://www.atb-potsdam.de/de/forschung/forschungsprojekte/projektsuche/projekt/projekt/mikim-deepfarmbots>, Zugriff am: 09.01.2024.
- [26] Berg, L. von; Frank, J.; Sann, M.; Betz, O.; Steidle, J. L. M.; Böttinger, S.: Insekten- und spinnenschonende Mähtechnik im Grünland – Überblick und Evaluation (2023).

### **Autorendaten**

M. Sc. Lukas Reuter und M. Sc. Lennart Buck sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge der Technischen Universität Braunschweig.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Wissenschaftliches Review / Scientific Review**

Erfolgreiches Review am 20.02.2024

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Reuter, Lukas; Buck, Lennart: Halmgutmähen und Halmgutwerben. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-9

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/halmgutwerben.html>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171542-0>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## Halmgutbergung

Lukas Poppa, Christian Depenbrock, Felix Gerdes

### Kurzfassung

Die Landtechnikhersteller verzeichneten in den letzten zwei Jahren Rekordumsätze, befinden sich jedoch laut CEMA nun in einer Rezession. Auch der Milchpreis hatte 2022 ein Rekordhoch erreicht, um danach wieder zurückzufallen. Modellpflege wurde im Bereich Feldhäcksler sowie bei deren Motoren und Pickups betrieben. Eine innovative Schleifeinrichtung von Krone reduziert den Wartungsaufwand der "BiG X" Feldhäcksler. Bei den Rund- und Quaderballenpressen setzen die Hersteller erneut auf Detailverbesserungen zur Erhöhung der Durchsatzleistung und des Bedienerkomforts. Überarbeitungen gibt es häufig bei der Pickup und der Netz- und Folienbindung. Claas stellte die Produktion der Cargos Kombi-, Lade- und Häckseltransportwagen im Frühjahr 2022 ein. Die Produktion der Cargos Baureihe wird zu Beginn teilweise und ab 2024 in vollem Produktumfang, zunächst technisch unverändert, durch Fliegl übernommen.

### Schlüsselwörter

Ballenpressen, Ladewagen, Feldhäcksler

## Forage Harvesting

Lukas Poppa, Christian Depenbrock, Felix Gerdes

### Abstract

The manufacturers of agricultural machinery have had record turnover in the last two years, but are currently in a recession according to CEMA. The price of milk also reached a record high in 2022 before falling again. Model updates of self-propelled forage harvester have been made, particularly concerning the engines and pickups. Krone introduced an innovative grinding unit, reducing maintenance efforts of their "BiG X" SFH. Manufacturers are once again focusing on improving the details of round and square balers to increase throughput and operator comfort. There are frequent revisions to the pickup and the net and film wrapper. Claas discontinued production of the Cargos combi, loader and forage wagons in spring 2022. Production of the Cargos series will initially be partially taken over by Fliegl and from 2024 in full, initially with no technical changes.

### Keywords

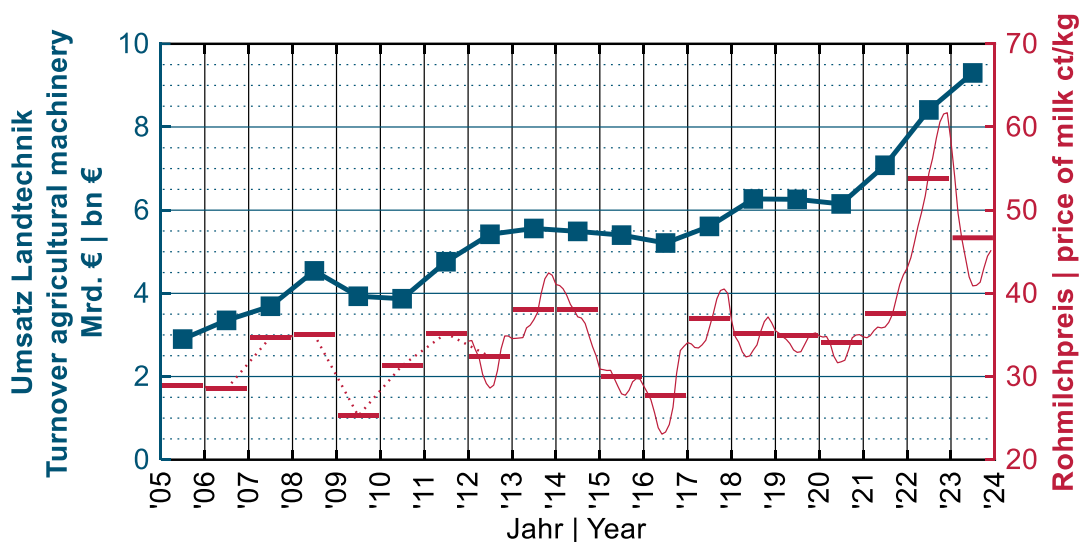
Balers, loader-wagons, forage harvesters

## Marktentwicklung

Auf den leichten Anstieg des Milchpreises im Jahr 2021 folgte im Jahr 2022 ein außergewöhnlicher Anstieg des Jahresmittelwerts auf deutlich über 50 ct/kg. Zum Ende des Jahres 2022 wurde erstmals die 60 ct/kg Marke überschritten [1]. Der starke Anstieg der Milchpreise lässt sich zum Teil auf gestiegene Erzeugerkosten, wie zum Beispiel für Kraftstoff und Futtermittel sowie durch den Überfall Russlands auf die Ukraine zurückführen. Dennoch konnten die Milchviehbetriebe ihre Ergebnisse laut DBV im Mittel um 58 % steigern [2]. Anfang des Jahres 2023 ist der Rohmilchpreis wieder zurückgegangen, steigt aber seit Mitte des Jahres wieder an und erreicht einen Jahresmittelwert von knapp 46 ct/kg [1].

Der Absatz von Maschinen im Bereich Halmgutbergung folgt im Allgemeinen der Entwicklung des Rohmilchpreises [3]. Es kann von einer sehr positiven Entwicklung des Absatzes der letzten Jahre im Bereich Halmgutbergung ausgegangen werden, die sich auch in einem Rekordumsatz der Landtechnik in Deutschland von fast 10 Mrd. € widerspiegelt (s. **Bild 1**) [4]. Lieferengpässe von Zulieferern an die Landtechnikindustrie stellen seit Anfang 2023 laut VDMA keine Schwierigkeit mehr dar [4], wodurch die Landtechnikhersteller von den guten Einnahmen der Landwirte profitieren können und ihren Umsatz auf 15 Mrd. € steigern konnten [2].

Nach aktuellem Stand (Januar 2024) liegt der Milchpreis bei ca. 45 ct/kg und hat sich in den letzten Monaten positiv entwickelt. Es wird von einem weiteren Anstieg des Milchpreises in das Frühjahr 2024 ausgegangen, wodurch der Milchpreis im nächsten Jahr das gute Niveau der Vorjahre halten könnte. Laut CEMA Business Barometer befindet sich die Landtechnik in Europa seit Mitte 2023 in einer Rezession, wodurch die Absatzzahlen im Bereich Halmgutbergung das hohe Niveau voraussichtlich nicht halten werden können [5].



**Bild 1:** Entwicklung der Landtechnikumsatzes in Deutschland und des Rohmilchpreises [1; 2].

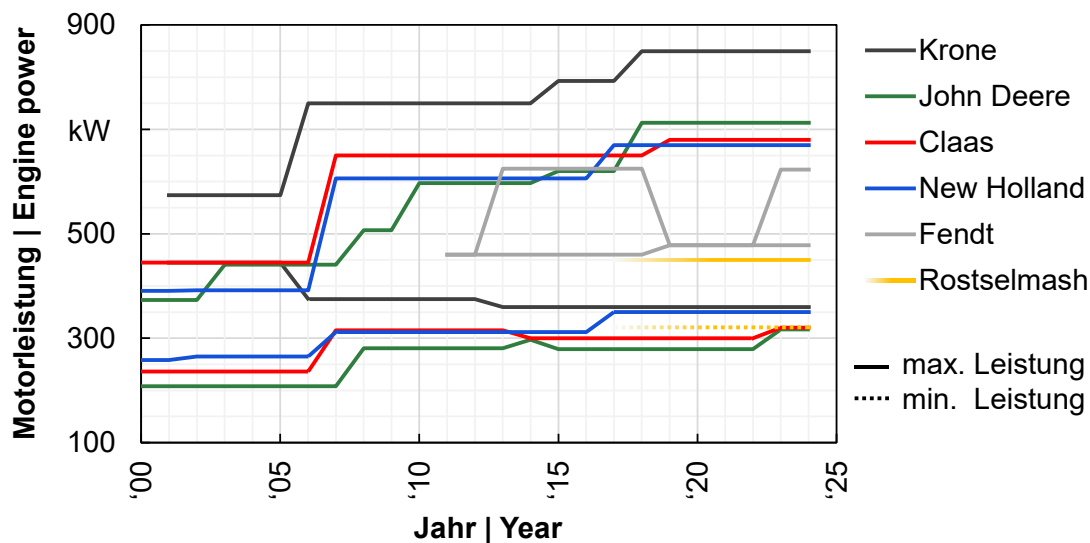
**Figure 1:** Development of agricultural machinery sales in Germany and the raw milk price [1; 2].

## Feldhäcksler

Fendt führte 2022 mit dem "Katana 850" wieder einen Häcksler in der >600 kW Klasse ein. Dieser ist Nachfolger des 2019 aufgrund strengerer Abgasnormen ausgelaufenen "Katana 85". Der neue "Katana 850" erfüllt die Abgasstufe V mit einem Liebherr R6 Zylinder Motor und einer Nennleistung 623 kW (s. **Bild 2**). Der Häcksler zeichnet sich zudem durch sechs Vorpresswalzen zur optimalen Vorverdichtung und der Häckseltrommel mit dem größten Durchmesser am Markt von 720 mm aus, wodurch eine besonders saubere Schnittqualität erreicht werden soll. Optional bietet Fendt übliche Feature wie einen NIR-Sensor, einen Allradantrieb sowie ein Verschleißpaket an [6; 7]. Die Maschine wurde auf der italienischen Fachmesse Agrilevante als Innovation mit einer Goldmedaille ausgezeichnet [8].

Claas baut seit 1973 selbstfahrende "Jaguar" Feldhäcksler und feiert damit im Jahr 2023 das 50 Jährige Jubiläum [9]. Für die aktuelle "Jaguar 900" Serie hat Claas nun eine automatische Drehzahlsteuerung der Pickup und Einzugsschnecke vorgestellt [10]. Die Drehzahlen werden an Fahrgeschwindigkeit und Schwadhöhe automatisch angepasst und sollen so für einen gleichmäßigeren Gutfluss und exaktere Gutaufnahme sorgen. Der kleinste "Jaguar 840" erhält nun den leistungsstärkeren Motor Typ "Mercedes-Benz OM 471 LA" des "Jaguar 850" und kommt somit auf 320 kW statt 300 kW [10].

John Deere hat die Motoren der kleineren "8000"er Feldhäcksler überarbeitet, wodurch diese ebenfalls geringfügige Leistungssteigerungen erhalten [11].



**Bild 2:** Motorleistung selbstfahrender Feldhäcksler nach Hersteller 2000-2024

**Figure 2:** Engine power of self-propelled forage harvester

Krone ergänzt das obere Leistungssegment mit den neuen "BiG X 980" und "1080" Feldhäckslern mit 720 kW und 790 kW [12]. Damit wird die große Leistungslücke zwischen dem "BiG X 1180" mit 818 kW und dem "880" mit 632 kW geschlossen. Zudem steht seit August 2022 für alle neuen "BiG X" Modelle das unternehmenseigene Lenksystem "GPS Guidance" zur Verfügung. Mithilfe von RTK kann eine Genauigkeit von  $\pm 2$  cm erreicht werden, wodurch vor allem

bei der Ganzpflanzensilage und der Maisernte der Überschritt minimiert und die volle Arbeitsbreite ausgenutzt werden kann [13]. Auf der Agritechnica 2023 wurde die neu entwickelte und patentierte Schleifeinrichtung für die Feldhäcksler von der DLG mit einer Silbermedaille als Innovation ausgezeichnet. Der Schleifstein stellt sich durch ein integriertes Teleskop-Gewinde automatisch nach, wodurch sich die Standzeit vervielfachen soll (s. **Bild 3**). Zudem kann der Schleifstein vollständig aufgebraucht werden, was laut Hersteller den Materialaufwand reduzieren und die Nutzungsdauer maximieren soll [14].



**Bild 3:** Komponenten der Schleifeinrichtung von Krone. Links: Schleifstein mit Ummantelung, Mitte: teleskopierbare Gewindestange, Rechts: Abdeckung [14].

**Figure 3:** Components of the Krone grinding unit. Left: grinding stone with plastic sleeve, middle: threaded telescoping pin, right: cover [14].

New Holland stellt die überarbeitete Gras-Pickup "Ultra-Feed™" mit einem optimierten Erntegutfluss vor. Neben Leistungssteigerungen durch die Überarbeitung von Einzugsschnecke, Antrieb und Niederhalter der Pick-Up wurden laut Hersteller auch Wartungsbedarf und -aufwand durch Verbesserungen der Nockenbahn zum Wechsel der Zinken und durch ein optionales, automatisches Schmiersystem reduziert. Die New Holland Feldhäcksler der FR Serie erhalten zudem ein Facelift für das Jahr 2024 mit kleineren technischen Änderungen und einer Modernisierung des Designs [15].

## Pressen

Im Bereich der Rund- und Quaderballenpressen gab es in den letzten zwei Jahren erneut verhaltene Entwicklungen. Einige Hersteller stellten neue Serien vor, wobei das bewährte Grundkonzept bei den meisten Herstellern unverändert bleibt. Viele Hersteller überarbeiten ihre Pickup um Durchsatzleistung und Bedienerkomfort zu erhöhen. Neue Modelle wurden hauptsächlich im oberen Premiumsegment für den überbetrieblichen Einsatz vorgestellt. Die Vermeidung von Garnreste bei der Knotenbindung hat ein hohes Niveau erreicht, sodass daraus resultierende Verunreinigungen nun ein weitgehend gelöstes Problem sind.

### *Rundballen*

Im Jahr 2023 hat Claas sechs neue Rundballenpressen mit variabler Presskammer der Serie "VARIANT 500" vorgestellt. Diese kommen mit einigen technischen Neuerungen. Die Pressen können, je nach Modell, Ballen bis zu einem Durchmesser von 1,8 m pressen. Serienmäßig verfügen die Pressen über ein Schneidwerk mit 17 Messern, welches eine theoretische Schnittlänge beim Halmgut von 60 mm ermöglicht. Für erhöhte Ansprüche stehen die Modelle "VARIANT 565 RC" sowie "585 RC" mit verbesserten Antriebskomponenten, wie verstärkten Antriebsketten, einem Schneidrotor mit 8-mm-Doppelzinkensternen und besonderer Messersicherung zur Verfügung. Die Pressen verfügen über eine neue Pressdruckregelung, bei der sowohl der Druck als auch die Position an beiden Armen bestimmt wird. Dieses ermöglicht das Pressen von harten Ballenmänteln, optimaler Dichteverteilung im Ballen und präziser Weichkerneinstellung. Bedient werden können die Pressen über das 2020 eingeführte "CEMIS 700" ISOBUS-Terminal. Weitere Neuerungen sind eine niedrigere Rollenposition für den einfacheren Rollenwechsel sowie mehr Bodenschonung durch größere Bereifung [16].

Die Firma Kuhn hat zwei neue Presswickelkombinationen vorgestellt, die auf der "VB 7100-Serie" basieren. Die Modelle "VBP 7160" und "VBP 7190" können Ballen bis 1,6 m bzw. 1,85 m Durchmesser pressen. Die Presskammer besteht aus vier Riemen und drei Walzen, welche bereits aus den Solo-Pressen bekannt ist. Auch die Pickup ist identisch. Gewickelt werden kann sowohl mit Netz als auch mit Folie. Zum Wechsel zwischen den beiden Möglichkeiten muss manuell aus- und wieder eingefädelt werden [17].

Der österreichische Hersteller Pöttinger hat seine "Impress"-Maschinen im Rahmen eines Facelifts überarbeitet. Die Überarbeitung ist am Design zu erkennen und die Pressen sind als Festkammer- sowie Riemenpressen erhältlich, optional auch jeweils als Presswickelkombination. Die größten Neuerungen gibt es bei der Bindeeinheit. Neben der serienmäßigen Netzbindung ist die Presse auch mit einer Einheit für Netz- oder Mantelfolie erhältlich. Für den überbetrieblichen Einsatz ist sie auch mit zwei Einheiten erhältlich, sodass im Terminal direkt zwischen Netz- und Mantelfolie umgeschaltet werden kann. Als Netzbremse kommt nun statt einer elektromagnetischen eine hydraulische zum Einsatz. Weitere Neuheit ist eine schwenkbare Beladehilfe zur Erhöhung des Komforts [18].

Seit 2023 bietet Case in seiner Pro-Serie die Modelle "RB 456/466" mit variabler Presskammer an. Die gleichmäßige Kraftverteilung zwischen der linken und rechten Seite erfolgt mittels T-Getriebe. Auch erhöht sich die maximale Anzahl an Messern auf 25. Es können Ballen bis zu einem maximalen Durchmesser von 1,65 m gepresst werden. Die Modelle sind für hohe Jahresleistungen von über 7000 Ballen pro Jahr ausgelegt [19; 20].

Der Hersteller Rozmítal aus Tschechien hat mit den Modellen "LB-R 120", "LB-R 150" und "LB-V 120" sein Portfolio um drei Festkammerpressen erweitert. Die "LB-R" Modelle arbeiten mit Stabketten, während die "LB-V 120" über 16 Presswalzen verfügt. Die Rundballenpressen sind für kleine und mittlere Betriebe konzipiert und formen Ballen zwischen maximal 1,2 m und 1,5 m Durchmesser. Die Grundkonstruktion stammt von der "RP12" von Welger ab und die Grundmaschine wird von einem polnischen Hersteller gefertigt. Die "LB-V 120" ist zusätzlich mit einem Schneidrotor mit 13 Messern verfügbar [21].

---

Der irische Hersteller McHale hat eine neue Serie der Presswickelkombination "Fusion 4" auf den Markt gebracht. Die größte Neuerung ist die überarbeitete Pickup. Die "ProfiFlo" soll höhere Durchsätze und Ballendichten ermöglichen. Zur Auswahl stehen eine kurvenbahngesteuerte Pickup mit fünf Zinken oder eine ungesteuerte mit sechs Zinken. Der Einzugskanal läuft konisch zu und soll den Durchsatz erhöhen. Der Einzug ist adaptiv und passt sich automatisch an unterschiedliche Schwadhöhen an. Weitere kleine Neuerungen sind eine größere Folienbremse sowie neue Bürsten am Bündelschlitten, die das Reißen der Folie verhindern sollen [22].

### *Quaderballen*

2023 hat die "QUADRANT EVOLUTION" von Claas einen neuen Antriebsstrang erhalten. Dabei erhalten die Typen "5200" und "5300" einen hydraulischen Antrieb für die Pickup und das "POWER FEEDING SYSTEM". Die Drehzahl der Pickup wird dabei konstant gehalten, während die Drehzahl der Einzugsrollen zwischen 200 und 250 1/min variiert werden kann. Die Tasträder der Pickup schwenken automatisch hydraulisch ein und aus, ein manuelles Umstellen bei Straßenfahrt ist nicht mehr notwendig. Außerdem wurden die beiden Modelle mit einem 21 bzw. 28 % schwererem Schwungrad ausgestattet. Claas verspricht dadurch eine überproportional höhere Massenkraft von bis zu 46 %, um Lastspitzen abzufedern. Die Modelle können außerdem auf Wunsch mit einem Vorbauhäcksler von Mühling ausgestattet werden [23].

Krone hat die fünfte Generation seiner Großballenpressen Big Pack vorgestellt. In den Bauereihen werden Komponenten aus den HDP II-Pressen und der Xtreme-Version der "Big Pack" eingesetzt. Bei Pickup und Schneidwerk hat sich wenig geändert, die VC-Variante ist mit 26 oder 51 Messern erhältlich. Der Hardox-Rotor mit Verbundriemen verfügt über eine Nockenschaltkupplung, um bei Verstopfungen Schäden an der Antriebswelle zu verhindern. Die Pressen sind optional mit einer hydraulischen Reversiereinrichtung ausgestattet. Die Lagerung der Packer und vom Zuführarm beim Raffersystem sind laut Krone durch neue Lagerungen deutlich verschleißresistenter. Weiterhin verfügen die Pressen nun auch, wie bei vielen Herstellern üblich, über eine Drehmomentmessung zur Bestimmung der Auslastung [24].

Fendt hat kleinere Änderungen an seinen Quaderballenpressen zum Modelljahr 2023 eingeführt. Alle Modelle mit Tandemachse erhalten eine verbesserte Federung und sind mit einer passiven Lenkachse ausgestattet. Außerdem erhält die Pickup eine fünfte Zinkenreihe, wodurch die Arbeitsgeschwindigkeit erhöht werden kann [25].

### **Lade- und Häckseltransportwagen**

Nachdem Claas das Ende der Produktion der Cargos Kombi-, Lade- und Häckseltransportwagen im Frühjahr 2022 bekanntgegeben hat, übernahm Fliegl sämtliche Rechte und wird diese unter eigenem Namen weiterproduzieren. Bereits im Frühjahr 2023 liefen die ersten Modelle, der Häckseltransportwagen "750" sowie der Kombiladenwagen "8400" und "8500" bei Fliegl vom Band. Für das Produktionsjahr 2024 wird die Verfügbarkeit der gesamten Cargos-Produktpalette angestrebt. Diese werden zunächst technisch unverändert in Kirchdorf bei Haag

in Oberbayern produziert. Der Vertrieb erfolgt sowohl über Claas-Vertriebspartner als auch direkt über Fliegl [26 - 28].

Fliegl entwickelt mit dem "SteerX" eine elektronische Zwangslenkung, die keine für die Lenkung zusätzliche mechanische Verbindung zwischen Ladewagen und Traktor benötigt. Stattdessen werden Traktor und Anhänger mittels ISOBUS und Load-Sensing-Hydraulik miteinander verbunden. Über einen am Anhänger montierten Sensor werden während der Fahrt in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Neigung die optimalen Positionen der Lenkzylinder berechnet. Dies ermöglicht eine Reduktion der auftretenden Querkräfte, was wiederum in einer Schonung der Achsen und stark reduziertem Reifenverschleiß resultiert. Das entwickelte System erfüllt alle Anforderungen an die funktionale Sicherheit und gewährleistet auch bei erhöhten Geschwindigkeiten eine hohe Fahrstabilität [29].

Im Oktober 2022 hat Fendt die Produktion der Fendt Ladewagen offiziell in Wolfenbüttel eröffnet. Der Standort wurde 2017 zunächst für die Produktion von Ballenpressen erworben. Infolge einer Umstrukturierung der Ballenpressenproduktionslinien konnten insgesamt 4200 m<sup>2</sup> für die Ladewagenproduktion freigemacht werden. Durch das neue Tätigkeitsfeld konnten somit 60 Arbeitsplätze für festangestellte Mitarbeitende am Standort Wolfenbüttel geschaffen werden. Insgesamt können auf der neuen Produktionslinie acht Baureihen mit 25 verschiedenen Modellen produziert werden [30].

Krone präsentierte die technisch aufgerüsteten Doppelzweck-Ladewagen "RX" (33 bis 40 m<sup>3</sup>) und "ZX" (43 bis 56 m<sup>3</sup>). Die Ladewagen können mit dem neuen "OptiGrass 37" und "OptiGrass 28" Schneidaggregaten ausgerüstet werden und erreichen somit eine theoretische Schnittlänge von 37 bzw. 28 mm. Für einen gleichmäßigen Gutfluss zum Schneidaggregat sorgt die 2,12 m breite "EasyFlow" Pickup. Durch den hydraulischen Antrieb lässt sich bei dieser die Zinkengeschwindigkeit an den Gutfluss anpassen, sodass der Schneidrotor gleichmäßig mit Material beschickt wird. Durch die seitlich am Rotor montierten Schnecken wird das Material aktiv zur Mitte des Rotors geführt. Dies führt in Kombination mit dem "SplitCut"-System dazu, dass das Erntegut vollständig geschnitten in den Laderaum gelangt. Durch einen abgesenkten Kratzboden, eine hydraulische Vorderwand und eine Ladeautomatik sorgen die "RX" und "ZX" Ladewagen für eine verbesserte Futtermittelverdichtung und Beladung. Die Lasten werden durch das hydraulische Fahrwerk gleichmäßig auf die verbauten Achsen verteilt [31; 32].

### **Wissenschaftliche Arbeiten**

Die Diskrete Elemente Methode (DEM) hat sich als Werkzeug zur Simulation von Prozessen in der Halmguternte etabliert und wird in verschiedenen Forschungsprojekten erfolgreich eingesetzt. Zur Reduzierung der Entwicklungskosten von Pelletpressen untersuchte die Technische Universität Dresden zusammen mit dem Unternehmen Krone das Einsatzpotential numerischer Simulationsmodelle zur Abbildung des Pelletierprozesses [33]. Als geeignete Simulationsumgebung konnte die DEM identifiziert und der Pelletierprozess abgebildet werden. Zur Validierung der Simulationsergebnisse wurden Verschleißmuster der Pelletierwalzen, Leistungsbedarfe und auftretenden Kräfte aus der Simulation mit realen Messwerten verglichen.

---

Anhand der erstellten Modelle konnten im Anschluss simulative Untersuchungen zum Einfluss einzelner Prozessparameter auf die Zielparameter durchgeführt werden. Zur Untersuchung des Gutflusses innerhalb des Feldhäckslers hat Leman ein Modell zur simulativen Abbildung von Gras in der DEM erstellt [34]. Der Fokus der Arbeit lag zunächst auf einer realistischen Abbildung der mechanischen Eigenschaften des Grases (Halm und Blatt) innerhalb der DEM. Der gewählte Ansatz zur Abbildung des Grases wurde anhand der simulativen Abbildung realer Prozesse innerhalb des Feldhäckslers auf ihre Funktionalität hin untersucht. Wang et al. haben die DEM mit der Mehrkörpersimulation gekoppelt und konnten somit die komplexen Kinematiken der Zinken der Pickup einer Ballenpresse in die Diskrete Elemente Methode übertragen [35]. Zur Validierung des aufgestellten Simulationsmodells wurden Versuche durchgeführt und im Anschluss weitere Simulationen zum Einfluss variierender Einsatzparameter auf das Arbeitsergebnis durchgeführt.

Zur Vorhersage der Messerschärfe in landwirtschaftlichen Erntemaschinen haben Siebald et al. den Körperschall der Gegenschneide in Kombination mit einer computergestützten Bildanalyse des Materials ausgewertet [36]. Durch die zusätzliche visuelle Auswertung des Häckselgutes konnte die Vorhersagegenauigkeit verbessert werden.

Zur Reduzierung des Energiebedarfs und der Ernteverluste eines Feldhäckslers haben Xue et al. künstliche neuronale Netze zur Bestimmung der optimalen Einsatzparameter verwendet [37]. Untersucht wurde die Vorfahrtsgeschwindigkeit, die Schneidhöhe und die Anzahl der Reihen. Der Vergleich mit herkömmlichen Methoden zur Vorhersage der Arbeitsqualität hat gezeigt, dass die Vorhersagegenauigkeit durch den Einsatz der künstlichen neuronalen Netze gesteigert werden konnte.

## **Zusammenfassung**

Die Landtechnikhersteller erzielten in den letzten beiden Jahren Rekordumsätze, befinden sich aber laut CEMA nun in einer Rezession. Der für den Bereich Halmgutbergung relevante Milchpreis liegt nach einem Hoch in 2022 immer noch auf einem relativ guten Niveau. Im Bereich Feldhäckslers wurde Modellpflege vor allem im Bereich Motoren betrieben. Claas und New Holland überarbeiten die Pickup für einen besseren Gutfluss in der Grasernte. Als Innovation liefert Krone eine Schleifeinrichtung mit automatischer Nachstellung, welche die Standzeit erhöht und erhält dafür eine Silbermedaille auf der Agritechnica. Einige Hersteller haben ihre Quader- und Rundballenpressen überarbeitet und teilweise neue Baureihen auf den Markt gebracht. Die bewährten Grundkonstruktionen bleiben dabei oftmals identisch.

Ein besonderer Fokus beim Bedienerkomfort setzt sich dabei aus den letzten Jahren fort. Beispielsweise wird das Ein- und Ausfädeln der Folie erleichtert. Die meisten Hersteller setzten bei der Folienbremse nun auf eine hydraulische Bauart. Bei einigen Pressen wurde die Pickup und der Einzugskanal überarbeitet. Ziel ist ein erhöhter Durchsatz sowie Bedienerkomfort bspw. bei Verstopfungen. Dazu können die Einzugsrollen häufig hydraulisch reversiert werden. Die meisten Neuvorstellungen bei Pressen gibt es im oberen Leistungssegment für hohe mechanische Ansprüche im überbetrieblichen Einsatz. Im Bereich der Kombi-, Lade- und

Häckseltransportwagen haben sich in den vergangenen zwei Jahren einige Änderungen ergeben. Claas hat im Frühjahr 2022 die Produktion der Cargos Baureihe abgegeben. Diese wurde von Fliegl übernommen und wird zunächst technisch unverändert fortgeführt. Zudem hat Fendt die Produktion von Ladewagen in Wolfenbüttel in Niedersachsen aufgenommen.

## Literatur

- [1] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Preise für konventionell und ökologisch/biologisch erzeugte Kuhmilch 2022/2023. URL: [https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Milch-Milcherzeugnisse/\\_functions/TabelleMilchpreiseMonat2023.html?nn=8906974](https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Milch-Milcherzeugnisse/_functions/TabelleMilchpreiseMonat2023.html?nn=8906974).
- [2] Deutscher Bauernverband e.V.; Pascher, P.: Situationsbericht 2023/24 – Trends und Fakten zur Landwirtschaft. 1. Auflage, Berlin: Deutscher Bauernverband e.V., 2023, ISBN: 978-3-9820166-5-8.
- [3] Poppa, L.; Depenbrock, C.: Halmgutbergung. DOI: 10.24355/dbbs.084-202202030957-0. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021, Braunschweig 2022, S. 1-9.
- [4] VDMA e.V., 26.09.2023: Europas Landtechnikhersteller kommen mit Rekordergebnis nach Hannover. URL: <https://www.vdma.org/viewer/-/v2article/render/84195782>, Zugriff am: 29.01.2023.
- [5] VDMA e.V., 18.01.2024: CEMA Business Barometer – Public excerpt January 2024. URL: <https://www.cema-agri.org/market-trends/business-barometer/1046-january-2024-business-climate-in-deep-recession>.
- [6] AGCO GmbH, 26.08.2022: Neuvorstellung des Fendt Katana 850. URL: <https://www.fendt.com/de/neuvorstellung-des-fendt-katana-850-pressekonferenz-22>, Zugriff am: 15.01.2024.
- [7] AGCO GmbH, 12.11.2023: Neuerungen für den Fendt Katana und ein neues Modell Fendt Twister. URL: <https://www.fendt.com/de/neuerungen-fendt-katana-und-ein-neues-modell-fendt-twister-28419>, Zugriff am: 15.01.2024.
- [8] AGCO GmbH, 12.10.2023: Fendt Katana 850 auf der italienischen Agrilevante 2023 ausgezeichnet. URL: <https://www.fendt.com/de/fendt-katana-850-auf-der-italienischen-agrilevante-2023-ausgezeichnet>, Zugriff am: 15.01.2024.
- [9] CLAAS KGaA mbH, 02.11.2023: Unstoppable: 50 Jahre JAGUAR Selbstfahr-Feldhäcksler von CLAAS. URL: <https://www.claas-gruppe.com/presse/medien/pressemitteilungen/unstoppable--50-jahre-jaguar-selbstfahr-feldhaecksler-von-claas/2834272>, Zugriff am: 16.01.2024.
- [10] CLAAS KGaA mbH, 03.11.2022: Update für JAGUAR Feldhäcksler von CLAAS. URL: <https://www.claas-gruppe.com/presse/medien/pressemitteilungen/update-fuer-jaguar-feldhaecksler-von-claas/2724092>, Zugriff am: 15.01.2024.
- [11] John Deere Walldorf GmbH & Co. KG, 12.08.2022: Mehr Leistung und erhöhter Durchsatz. URL: <https://www.deere.de/de/unser-unternehmen/news-und-medien/>

- pressemeldungen/2022/august/neuheiten-bei-den-john-deere-feldhaeckslern%20.html, Zugriff am: 15.01.2024.
- [12] Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH & Co.KG, 25.11.2022: Zwei weitere BiG X mit V12 Motor. URL: <https://www.krone-agriculture.com/de/presse-news/newsdetail/big-x-980-und-big-x-1080-neu-im-krone-sortiment>, Zugriff am: 17.01.2024.
- [13] Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH & Co.KG, 25.11.2022: Für noch mehr Entlastung des Fahrers. URL: <https://www.krone-agriculture.com/de/presse-news/newsdetail/krone-lenksystem-gps-guidance-jetzt-auch-fuer-big-x>, Zugriff am: 17.01.2024.
- [14] Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH & Co.KG, 26.09.2023: DLG Silbermedaille für innovative Schleifeinrichtung am Feldhäcksler BiG X. URL: <https://www.krone-agriculture.com/de/presse-news/newsdetail/dlg-silbermedaille-fuer-innovative-schleifeinrichtung-am-feldhaeckslers-big-x>, Zugriff am: 17.01.2024.
- [15] New Holland Agriculture, 29.09.2023: Neue UltraFeed™ Gras-Pickup optimiert Erntegutaufnahme der neu gestalteten New Holland FR-Feldhäcksler.
- [16] CLAAS KGaA mbH, 11.08.2022: Die neue CLAAS VARIANT 500: Mehr Vielfalt, mehr Ausstattung, mehr Performance. URL: <https://www.claas-gruppe.com/presse/medien/pressemitteilungen/die-neue-claas-variant-500--mehr-vielfalt--mehr-ausstattung--mehr-performance/2692914>, Zugriff am: 15.01.2024.
- [17] Brüse, C.: Presswickel-Kombination Kuhn VBP 7190 OC 23: Eine für alles. Profi (2023) H. 01.
- [18] Brüse, C.: Pöttinger Presswickelkombination Impress 3190 VC Pro. Profi (2022) H. 08.
- [19] Colsmann, L.: Rundballenpresse Case IH RB 456 HD Pro im Fahrbericht. Profi (2022) H. 07.
- [20] N. N.: Drei Optionen mit variabler Presskammer verfügbar. eilbote 70 (2022) H. 25, S. 17.
- [21] Bertling, A.: Rundballenpresse Rozmital LB-V 120: Leichte Presse für geringe Ansprüche. Profi (2023) H. 02.
- [22] N. N.: Presse auf Durchsatz getrimmt. eilbote 71 (2023) 45-46, S. 46.
- [23] CLAAS KGaA mbH, 11.08.2022: Optimierter Gutfluss und Vorbauhäcksler ab Werk für CLAAS QUADRANT EVOLUTION. URL: <https://www.claas-gruppe.com/presse/medien/pressemitteilungen/optimierter-gutfluss-und-vorbauhaeckslers-ab-werk-fuer-claas-quadrant-evolution/2692930>, Zugriff am: 15.01.2024.
- [24] Wilmer, H.: Krone Big Pack 1270 VC mit Bale Collect. Profi (2022) H. 03.
- [25] N. N.: Neue Generation der Quaderballenpressen. eilbote 70 (2022) H. 37, S. 16.
- [26] N. N.: Fliegl übernimmt Cargos-Baureihe von Claas. eilbote 70 (2022) H. 34, S. 24.
- [27] Feuerborn, B.: Fliegl: Erster Häckselwagen gebaut – Claas wollte nicht mehr. URL: <https://www.agrarheute.com/technik/claas-neustart-cargos-haekselwagen-fliegl-606018>, Zugriff am: 17.01.2024 um 16:13.
-

- [28] N. N.: Roll-out für die ersten Cargos aus eigener Produktion. eilbote 71 (2023) H. 14, S. 34-35.
- [29] N. N.: Sensor bestimmt Lenkwinkel. eilbote 70 (2022) H. 34, S. 18.
- [30] AGCO GmbH, 15.10.2022: Fendt eröffnet neue Ladewagenproduktion in Wolfenbüttel. URL: <https://www.fendt.com/de/fendt-eroeffnet-neue-ladewagenproduktion-in-wolfenbuettel>, Zugriff am: 18.01.2024.
- [31] N. N.: RX und ZX Ladewagen optimiert. eilbote 71 (2023) H. 38, S. 23.
- [32] Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH & Co.KG, 18.08.2023: RX und ZX – Volle Ladung mit perfektem Schnitt. URL: <https://www.krone-agriculture.com/de/presse-news/newsdetail/rx-und-zx-volle-ladung-mit-perfektem-schnitt>, Zugriff am: 15.01.2024.
- [33] VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): Study on the use of DEM for the optimization of pelleting rollers. VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2023, ISBN: 978-3-18-092427-4.
- [34] Leman, M.: Thin flexible particle simulations using the discrete element method - with applications to the forage harvester. KU Leuven, URL: <https://lirias.kuleuven.be/3762260?limo=0>, Zugriff am: 01.02.2024, 13:22.
- [35] Wang, Q.; Bai, Z.; Li, Z.; Xie, D.; Chen, L.; Wang, H.: Straw/Spring Teeth Interaction Analysis of Baler Picker in Smart Agriculture via an ADAMS-DEM Coupled Simulation Method. Machines 9 (2021) H. 11, S. 296.
- [36] Siebald, H.; Pforte, F.; Kulig, B.; Schneider, M.; Wenzel, A.; Schweigel, M.; Lorenz, J.; Kaufmann, H.-H.; Huster, J.; Beneke, F.; Hensel, O.: Referencing acoustic monitoring of cutting knives sharpness in agricultural harvesting processes using image analysis. Biosystems Engineering 226 (2023), S. 86-98.
- [37] Xue, Z.; Fu, J.; Fu, Q.; Li, X.; Chen, Z.: Modeling and Optimizing the Performance of Green Forage Maize Harvester Header Using a Combined Response Surface Methodology–Artificial Neural Network Approach. Agriculture 13 (2023) H. 10, S. 1890.

### **Autorendaten**

Dipl.-Ing Lukas Poppa, M.Sc. Christian Depenbrock und M.Sc. Felix Gerdes sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge der Technischen Universität Braunschweig.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Wissenschaftliches Review / Scientific Review**

Erfolgreiches Review am 04.03.2024

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Poppa, Lukas; Depenbrock, Christian, Gerdes, Felix: Halmgutbergung. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-12

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171543-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/halmgutbergung.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## Halmgutkonservierung

Thomas Hoffmann

### Kurzfassung

Für viele Nutzer von Grünland war der XXV. International Grassland Congress in Covington 2023 ein wichtiges Ereignis. Der nächste International Grassland Congress wird 2027 in Leipzig anlässlich des 100-jährigen Bestehens der Veranstaltung stattfinden. Bei der Bereitung von Anweilensilage ist der optimale Schnitzeitpunkt von großer Bedeutung. Generell ist bei der Silierung auf einen geringen Besatz an Hefen, Schimmelpilzen und Fäulnisbakterien zu achten, weil sie die Qualität des Futters verschlechtern und letztendlich zu einer verringerten Milchmenge führen. Technische Neuerungen im Berichtszeitraum betreffen Siliergutverteiler und -verdichter, technische Hilfsmittel zur Handhabung der Silofolie, Dosieren von Siliermittel auf einer Quaderballenpresse, automatische Entnahme von Siliergut aus einem Horizontalsilo und ein verbesserter mobiler Trockner für Quaderballen. Für das Recyceln von alten Silofolien, Bindegarnen und Wickelnetzen wurden Rücknahme- und Wiederverwertungssysteme etabliert.

### Schlüsselwörter

Grassland Congress, Silagequalität, Ballentrocknung, Kunststoffrecycling

## Crop Preservation

Thomas Hoffmann

### Abstract

The XXV. International Grassland Congress in Covington 2023 was for many grassland user an important event. The next International Grassland Congress will be held in Leipzig in 2027 to mark the 100th anniversary of this event. The optimum cutting time is of great importance when preparing wilted silage. In general, low levels of yeasts, moulds and putrefactive bacteria should be ensured during ensiling because they decrease the quality of the feed and lead to a reduced milk yield. Technical innovations in the reporting period are dealing with silage spreaders and compactors, technical aids for handling silage films, dosing of silage additives on a square baler, automatic removal of silage from a horizontal silo and an improved mobile dryer for square bales. Take-back and recycling systems were established for the recycling of old silage films, twines and wrapping nets.

### Keywords

Grassland congress, silage quality, drying of bales, recycling measures

---

## Allgemeines

Nach allgemeinem Verständnis fallen unter den Begriff Halmgut all jene Bestandteile von Pflanzen, die einen eindeutigen halmgutartigen Charakter aufweisen und nicht zu den Hölzern zählen. Halmgut kommt von ein- und mehrjährigen Pflanzen. In erster Linie handelt es sich dabei um Strohfraktionen und Gräser. Halmgut ist typischerweise Futter für Wiederkäuer, wird aber auch als Gärsubstrat, Brennstoff und zunehmend für die Herstellung von Dämmmaterial, Papier und Verpackungen sowie Torfersatz genutzt. Die meisten halmgutliefernden Pflanzen haben saisonale Wachstumsperioden mit bestimmten Erntezeitspannen. Damit der Rohstoff ganzjährig genutzt werden kann, muss das Halmgut nach der Ernte konserviert und gelagert werden. Welche Konservierungs- und Lagerungsformen zum Einsatz kommen, hängt u.a. von den pflanzenbaulichen Gegebenheiten, den technischen Voraussetzungen und dem späteren Verwendungszweck ab.

Wie in den Jahren zuvor waren bei der Halmgutkonservierung im Berichtszeitraum relativ wenige technische Neuerungen zu verzeichnen. Bei Publikationen geht es meistens um pflanzenphysiologische Aspekte, um biochemische Prozesse (Gärung) oder um die Arbeitsorganisation.

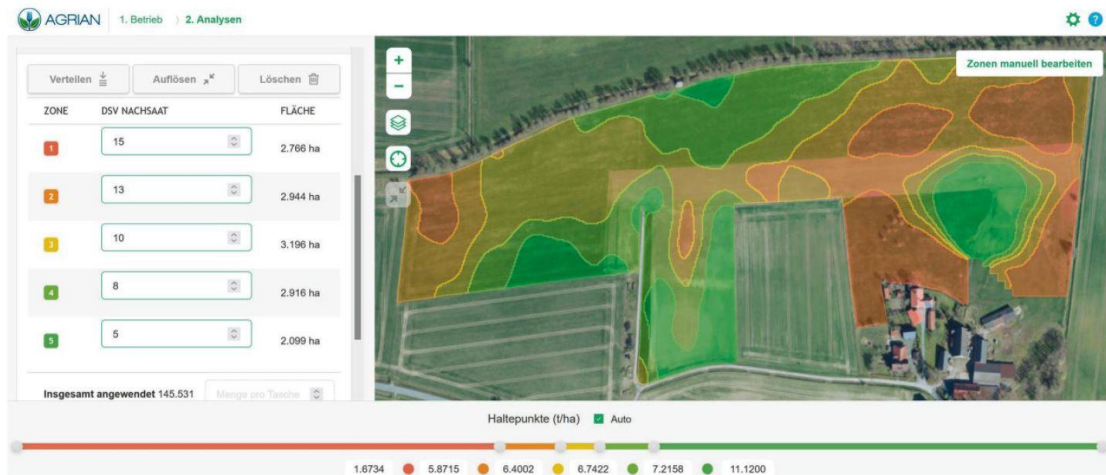
In dieser Reihe ordnet sich auch der XXV. International Grassland Congress ein, der vom 14. - 19. Mai 2023 in Covington (Kentucky, USA) stattfand [1]. Beim weltweit beachteten Kongress wurden Themen behandelt wie z.B: Umweltschutz, Auswirkungen der Klimaveränderungen, gesunde Pflanzenbestände, hohe Futterqualitäten und angepasste Tierhaltungssysteme. Der nächste und damit XXVI. International Grassland Congress findet 2027 in Deutschland in Leipzig statt. Leipzig wurde als Austragungsort gewählt, weil 1927 in Leipzig der erste Grasslandkongress tagte und der Kongress damit nach 100 Jahren an seine Gründungsstätte zurückkehrt.

## Qualität wird beim Anbau gemacht

Die Qualität des zu konservierenden Halmgutes wird beim Anbau und der Ernte festgelegt. Fehler, die beim Anbau oder bei der Ernte passieren, können bei der Konservierung nur begrenzt korrigiert werden. Im Fall von Gras ist der optimale Schnittzeitpunkt von großer Bedeutung für das Silierergebnis und die Futterqualität. Mit jedem Tag nach dem optimalen Schnittzeitpunkt nimmt zwar der Ertrag um 0,8 bis 1,2 dt/ha bezogen auf die Trockenmasse (TM) zu, aber der Futterwert des Halmgutes verringert sich. So nimmt der Rohfasergehalt je Tag um 0,5 % bis 0,8 % TM zu, der Rohproteingehalt nimmt um 0,1 % TM ab und der Energiegehalt verringert sich um 0,05 bis 0,1 MJ<sub>NEL</sub>/kg<sub>TM</sub> [2]. In den letzten Jahren hat sich gezeigt, dass der erste Schnitt mitunter schon Ende April erfolgen sollte und bereits drei Wochen später der zweite Schnitt zu ernten ist [3]. Die Landwirte müssen sich in ihrer Planung darauf einstellen.

Seit einigen Jahren können Feldhäcksler mit einem NIR- Sensor ausgestattet werden, um beim Ernten den Trockenmasseertrag des Anwelkgrases zu bestimmen. Für Landwirte ergibt sich daraus zusätzlich zur Ertragskartierung auch die Möglichkeit, insgesamt das Management

der Grünflächen zu verbessern. So kann anhand genauer Applikationskarten (**Bild 1**) die Kalkdüngung (pH-Wert Einstellung) und die Grasnachsaat gesteuert werden [4].



**Bild 1:** Einteilung einer Grünfläche in Zonen mit unterschiedlichem pH-Wert für eine angepasste Erhaltungskalkung mit kohlenstoffreichem Kalk [4].

**Figure 1:** Classification of grassland in sub areas with similar pH for an appropriate lime application [4].

Neben Grassilage wird oft Maissilage verfüttert. Auch wenn im Grunde genommen der Weg zur Herstellung einer guten Maissilage bekannt ist, sind doch knapp 20 % der Maissilagen mit Hefen belastet [5]. Hinweise auf einen Hefe-Besatz sind Erwärmung des Silostocks oder der Totalen Mischfütterration, verminderte Futteraufnahme der Rinder, unruhiger Tierbestand und gestiegene Trockenmasseverluste. Wenn Silagen oder Mischrationen warm werden, dann sollte der Vorschub bei der Siloentnahme erhöht werden, erwärmte Schichten sind zu separieren und bei Mischrationen können Futtersäuren eingesetzt werden, um die Nacherwärmung zu begrenzen.

In Silagen können sich neben Hefen auch Schimmelpilze und Fäulnisbakterien entwickeln. Die Mikroorganismen schaden der Tiergesundheit und reduzieren letztendlich die Menge an erzeugter Milch. Eine Beispielrechnung anhand einer Silagemenge von 220 t<sub>TM</sub> verdeutlicht, dass im schlechtesten der drei betrachteten Fälle 28.800 kg Milch nicht erzeugt werden und 12.096 EUR an Einnahmen verloren gehen (**Tabelle 1**) [6].

**Tabelle 1:** Energieverlust und finanzieller Wert nicht erzeugter Milch bei unterschiedlichen Silagequalitäten [6].

**Table 1:** Energy and financial loss due to not produced milk for different silage qualities [6].

Kennwerte <i>characteristic values</i>	Silagequalität			
	<i>Silage quality</i>			
	Einheiten <i>units</i>	gut <i>good</i>	mäßig <i>moderate</i>	schlecht <i>bad</i>
Frischgras eingelagert <i>fresh grass stored</i>	t <sub>TM</sub>	220	220	220
Gärverluste <i>fermentation losses</i>	%	8	10	12
Masse-Verluste <i>mass losses</i>	t <sub>TM</sub>	18	22	26
verbleibendes Futter im Silo <i>remaining feed in silo</i>	t <sub>TM</sub>	202	198	194
zusätzliche Verluste durch Fehlgärung <i>additional losses by faulty fermentation</i>	MJ <sub>NEL</sub> /kg <sub>TM</sub>		0,1 0.1	0,2 0.2
Energiegehalt <i>energy content</i>	MJ <sub>NEL</sub> /kg <sub>TM</sub>	6,4 6.4	6,3 6.3	6,2 6.2
Energie im Silo <i>energy in silo</i>	MJ <sub>NEL</sub> /kg <sub>TM</sub>	1.295.360 1,295,360	1.247.400 1,247,400	1.200.320 1,200,320
Energieverlust durch Fehlgärung <i>energy losses by faulty fermentation</i>	MJ <sub>NEL</sub> /kg <sub>TM</sub>		47.960 47,960	95.040 95,040
nicht erzeugte Milch <i>not produced milk</i>	kg		14.533 14,533	28.800 28,800
Wert nicht erzeugter Milch <i>value of not produced milk</i>	EUR 42 Cent/kg		6.404 6,404	12.096 12,096

## Silagebereitung

Vor allem größere Betriebe setzen beim Silieren von Halmgut auf Horizontalsilos (Fahrsilos). Zur Einlagerung des Gutes, zum Verdichten und zur Silageentnahme sind im Berichtszeitraum Neuerungen oder Weiterentwicklungen bekannt geworden.

Die Firma Mammut (Gurten, Österreich) bietet mit dem Silageverteiler SF 280 Gigant und der Silagewalze SK 300 H eine Gerätekombination für den Front- und Heckanbau an (**Bild 2**), mit der Anwelkgras im Silo verteilt und verdichtet werden kann [7]. Die Silagewalze kann mit einem klappbaren Silagekanten-Verdichter ausgerüstet werden, um auch bei Silos ohne Seitenwände an den Siloflanken gut zu verdichten. Mit allen Zusatzgewichten (u.a. Wasserfüllung) kann ein Standardschlepper auf ein Einsatzgewicht von 15 t kommen.



**Bild 2:** Siloverteiler und Silowalze von Mammut beim Verdichten auf einem Horizontalsilo [7].

**Figure 2:** Grass silage spreader and compaction roller from Mammut during compaction drives on a horizontal silo [7].

Um mit weniger Arbeits- und Kraftaufwand Horizontalsilos mit Folie zuzudecken oder die Folie wieder zu entnehmen, wurden durch Landwirte oder kleine Unternehmen Hilfseinrichtungen für den Frontanbau bei Traktoren oder Radlader entwickelt [8].

Die Firma Wasserbauer Fütterungssysteme (Waldneukirchen, Österreich) hat ein vollautomatisch arbeitendes System LIFT zur Entnahme von Silage aus Horizontalsilos [9] vorgestellt. Die Maschinenkombination entnimmt mit Hilfe von Fräswalzen Silage aus Horizontalsilos bis 4,5 m Höhe. Die entnommene Silage wird anschließend pneumatisch je nach Gegebenheit zu Vorratsbehältern oder zum Fütterungsroboter gefördert. Die Maschinenkombination steht auf schwenkbaren Rädern und kann dadurch im Silo seitlich versetzen oder automatisch zu einem anderen Silo fahren. Ab 2023 kann die Entnahmeeinheit mit einer Wärmebildkamera zum Erkennen von erwärmten Futterpartien ausgestattet werden.

Seit 2022 bietet Krone (Spelle, Deutschland) für seine Big Pack-Pressen eine integrierte Siliermittel-Dosieranlage an [10]. Das Siliermittel wird aus einem 400 Liter fassenden Tank durchsatzabhängig dem Halmgut zudosiert.

### **Trocknung von Heuballen**

Für die technische Trocknung von Quaderballen hat die Burdorf Landmaschinen GmbH (Wallemhorst, Landkreis Osnabrück) ein neues Trocknungssystem in einem LKW-Sattelaufleger entwickelt [11]. Weil Quaderballen höher verdichtet sind als Rundballen, ist es schwieriger, durch sie gleichmäßig Luft durchzupressen. Treten Spalten zwischen den Ballen oder zwischen Ballen und Trocknerwand auf, nimmt die Luft den Weg des geringsten Widerstands und

geht gar nicht oder nur wenig durch die Ballen. Damit die Ballen im Container möglichst spaltfrei liegen, wurde für den Container ein Trocknungsboden mit fernbedienbaren Kettenförderer entwickelt, der die Ballen zur Stirnwand bewegt und zusammenschiebt. Die seitliche Abdichtung zur Containerwand wird durch aufblasbare Luftsäcke erreicht.

### **Recycling-Maßnahmen**

Zum Recycling von Silofolie wird in der Schweiz durch "Erde Schweiz" seit 2022 ein Sammelsystem aufgebaut. Der Verein „Erde Schweiz“ arbeitet mit „Erde Deutschland“ sowie der Firma RIGK, einem deutschen Recycling-Unternehmen zusammen [12]. In Deutschland hat das Konzept inzwischen eine Rücklaufquote von ca. 60 %, in der Schweiz liegt der Wert noch etwas niedriger. Die zurückgegebenen Folien müssen besenrein und frei von Fremdkörpern sein. Alle Folien werden in Deutschland durch spezielle Recycling-Betriebe zu Granulat eingeschmolzen. Aus dem Granulat können neue Kunststoffprodukte wie z.B. Silofolien hergestellt werden. Zu einem späteren Zeitpunkt sollen Garne und Schnüre recycelt werden.

Ebenfalls dem Recycling haben sich das niederländische Start-up Unternehmen Healix und der israelische Bindegarnhersteller Tama verschrieben [13, 14]. Sie wollen zukünftig Bindegarne und Wickelnetze einer Wiederverwertung zuführen. Das Recyceln von Bindegarn spart im Vergleich zur Neuware bis zu 75 % CO<sub>2</sub> ein.

### **Zusammenfassung**

Aktuelle Ergebnisse und Forschungsarbeiten zur Graslandnutzung wurden 2023 auf dem XXV. International Grassland Congress vorgestellt. Die Bereitstellung von Halmgut mit hoher Qualität für die Fütterung ist nach wie vor ein wichtiges Thema. Das betrifft u.a. die Einhaltung des optimalen Schnittzeitpunktes und die fachgerechte Ausführung der Silierung, um Qualitätsverluste und damit Einkommensverluste zu vermeiden. In Kombination von Durchsatz- und NIR-Messungen auf dem Feldhäcksler können für Anwelkgras Informationen zur Kalkdüngung und zur Nachsaat von Gras abgeleitet werden. Neben weiterentwickelten Anbaugeräten zur Verteilung und Verdichtung von Siliergut wurde auch ein automatisch arbeitendes Silageentnahmesystem vorgestellt. Für die Trocknung von Quaderballen kann ein weiterentwickelter mobiler Trocknungscontainer eingesetzt werden. Im Interesse der Nachhaltigkeit haben sich Systeme zur Rücknahme von Silofolie, Bindegarne und Wickelnetze entwickelt. Die kunststoffbasierten Rohstoffe werden zu Granulat aufgeschmolzen und einer erneuten Nutzung zugeführt.

### **Literatur**

- [1] N.N.: Proceedings of the XXV International Grassland Congress. 14.-19. Mai 2023, Covington, Kentucky, USA, 1946 S.
- [2] Kivelitz, H.: Beste Qualität vom Halm ins Silo. Wochenblatt für Landwirtschaft und Landleben. 178 (2022) H. 16, S. 27-28.

- [3] Böttger, C.; Heimann, K.; Hoffmann, L.: Genügend Futter. Wochenblatt für Landwirtschaft und Landleben. 179 (2023) H. 45, S. 30-31.
- [4] Borgmann, M.: Ertrag messen und dann? Wochenblatt für Landwirtschaft und Landleben. 178 (2022) H. 16, S. 30-31.
- [5] Schmidtmann, A.: Vorsicht: warme Silagen. Wochenblatt für Landwirtschaft und Landleben 179 (2023) H. 23, S. 34.
- [6] Fry, A.-C.: Was kostet schlechte Silage? Wochenblatt für Landwirtschaft und Landleben 179 (2023) H. 14, S. 33.
- [7] Küper, J.-M.: Verdichtendes Duett. profi 35 (2023) H. 3, S. 22-24.
- [8] Brüse, C.: Knochenjob leichtgemacht. profi 34 (2022) H. 5, S. 56-59.
- [9] Zäh, M.: Siloentnahmesystem Wasserbauer Lift im Einsatzbericht: e-profi, 2023.  
URL: <https://www.profi.de/test/einsatzbericht-veredlungstechnik/siloentnahmesystem-wasserbauer-lift-im-einsatzbericht-30859.html>, Zugriff am: 24.01.2024.
- [10] Brüse, C.: Krone: Futter beim Pressen konservieren. E-Paper profi, 2022, URL: <https://www.profi.de/aktuell/neuheiten/krone-futter-beim-pressen-konservieren-28582.html>, Zugriff am: 18.01.2024.
- [11] Böhrnsen, A.: Abdichtung per Luftsack. profi 34 (2022) H. 4, S. 86-89.
- [12] Röthlisberger, H.: Silofolie-Recycling: Grosse Hoffnung in neues Sammelsystem. Schweizer Landtechnik 85 (2022) H. 4, S. 8-9.
- [13] Wilmer, H.: Wickelnetz und Bindegarn recyceln. profi 34 (2022) H. 11., S. 94-96
- [14] Schubner, M.: Nachhaltige Garne. Schweizer Landtechnik, 85 (2022) H. 8: S. 20.

### **Autorendaten**

Dr. rer. agr. Thomas Hoffmann ist Leiter der Abteilung Systemverfahrenstechnik am Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB) in Potsdam.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Hoffmann, Thomas: Halmgutkonservierung. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-7

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/halmgutkonservierung.html>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171544-0>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## Mähdrescher

Stefan Böttinger

### Kurzfassung

Der Markt für Mähdrescher hat sich leicht positiv entwickelt. Die Hersteller stellen Verbesserung vorhandener Modelle vor, das Angebot wird nach unten und durch die Vorstellung des neuen Mähdreschers von New Holland nach oben erweitert. Weitergehende Lösungen zur Fahrerentlastung und zur Automatisierung werden vorgestellt. Der Einsatz der DEM-Simulation in der Forschung und Entwicklung verstärkt sich.

### Schlüsselwörter

Mähdrescher, Marktentwicklung, Automatisierung, Strohmanagement, Simulation

## Combine Harvester

Stefan Böttinger

### Abstract

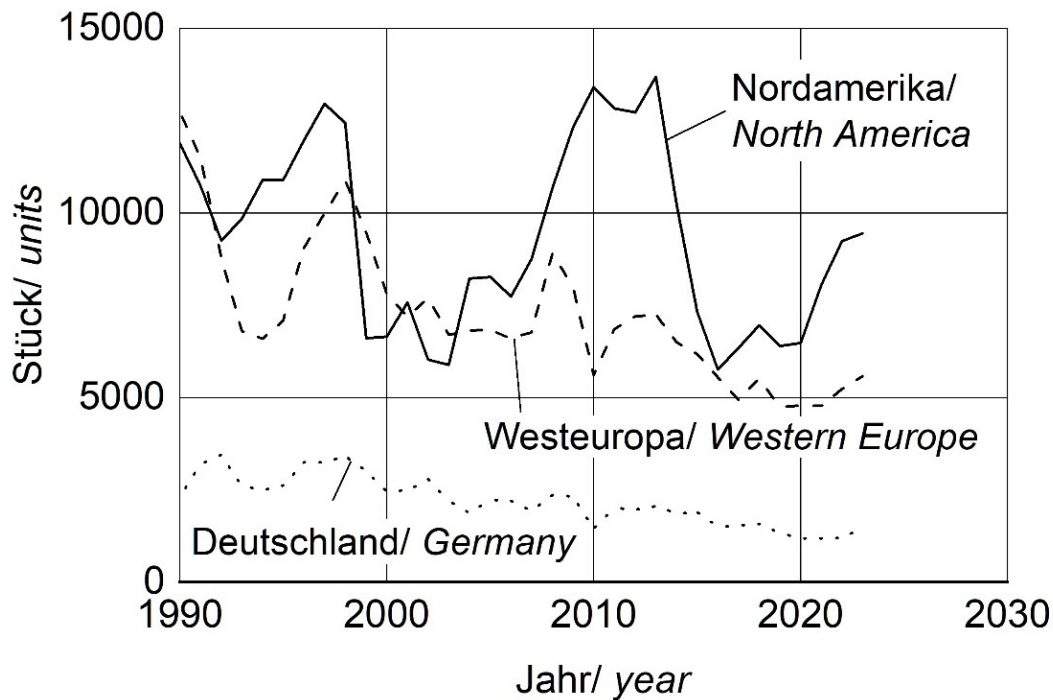
The market for combine harvesters has developed slightly positively. Manufacturers are presenting improvements to existing models the range is being extended downwards and with the presentation of the new combine harvester from New Holland, upwards. Advanced solutions for driver relief and automation are presented. The use of DEM simulation in research and development is increasing.

### Keywords

Combine harvester, market development, automation, straw management, simulation

**Markt**

In 2023 hat sich der Absatz von Mähdreschern leicht erhöht. In Deutschland wurden 1485, in West-Europa 5589 und Nord-Amerika 9448 Maschinen verkauft, **Bild 1** [1; 2]. Als eine Mähdrescher-Chronik wurde in der Zeitschrift profi ein historischer Überblick über die Mähdrescher-Entwicklung von 1886 bis heute inklusive einiger Besonderheiten gegeben [3].



**Bild 1:** Entwicklung wichtiger Mähdrescher-Märkte [1; 2].

**Figure 1:** Development of important combine markets [1; 2].

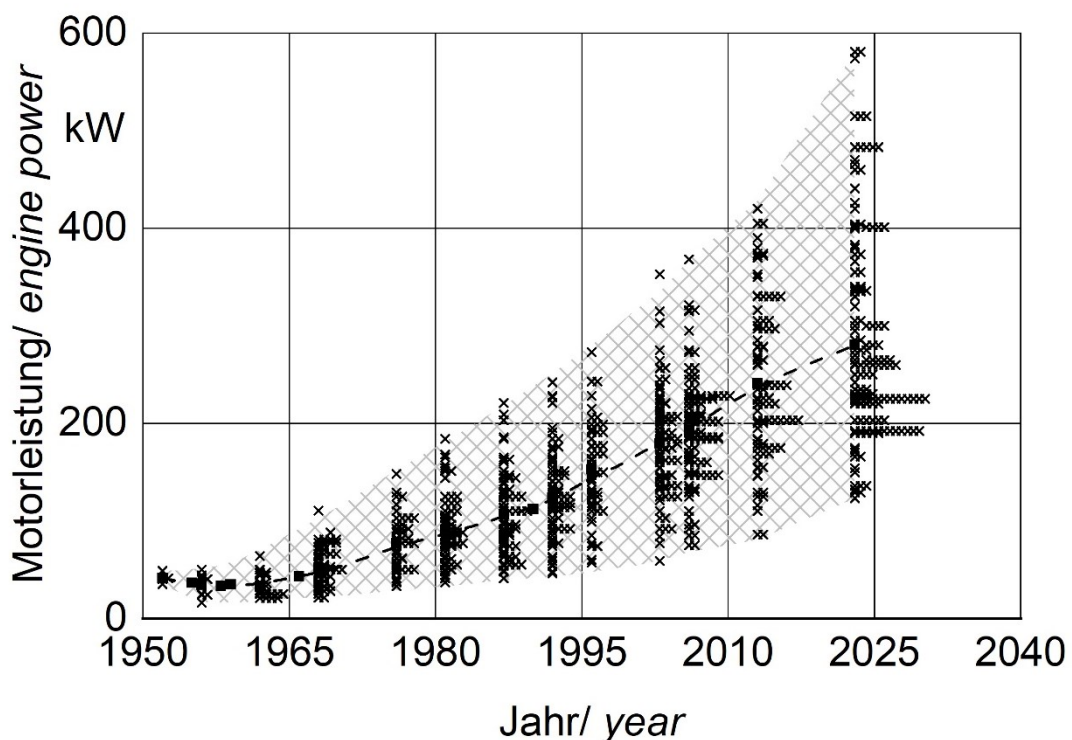
An einigen Modellen der Anbieter sind Verbesserungen im Detail vorgenommen worden. So erhielt der Deutz-Fahr 6305 (bisherige Modellbezeichnung: 6205) u.a. die Kabine mit Bedienelementen der größeren Modelle und ein neues Display, über das auch die elektrische Korbverstellung erfolgt. Das Modell ist weiterhin ohne oder mit Turbo-Separator lieferbar [4; 5]. Verbesserungen zum Betrieb und zur Überwachung hat Case IH bei den Modellen der Serie 150 eingeführt. Ein Display in der rechten Konsole übernimmt die bisher in der A-Säule angezeigten Informationen und dient zur Eingabe für Maschineneinstellungen. Ein verbesserter GNSS-Empfänger ermöglicht schnellere und exaktere Positionsbestimmungen und ermöglicht eine präzisere automatische Lenkung [6].

Claas rundet sein Produktprogramm mit dem Evion nach unten hin ab. Der in Gaomi, China produziert Mähdrescher ersetzt die Modelle Tucano und Avero und nutzt viele Komponenten der größeren Baureihen Trion und Lexion. Die Maschine hat ein 1-Trommel-Dreschwerk mit

60 cm Durchmesser, 5 Schüttler und eine Kanalbreite von 1,42 m. Sie ist in vielen Konfigurationen von einer einfachen bis zu einer hoch ausgestatteten, aber kompakten Maschine mit 150 - 190 kW (205 - 258 PS) Motornennleistung verfügbar [7 - 9].

Auf der Agritechnica 2023 wurden weitere Verbesserungen und Neuheiten präsentiert. Ein ausführlicher Überblick über die Agritechnica-Präsentationen der Hersteller und deren Neuheiten wird von Rademacher gegeben [10]. Die Kurzvorstellung aller Medaillen der Agritechnica erfolgte in vielen Zeitschriften, u.a. in [11]. Die einzige Goldmedaille wurde für den neuen Großmähdrescher von New Holland vergeben. Ohne seitliche Antriebe ermöglicht diese Maschine eine Verbreiterung des Kanals um 13 % und bietet damit mehr Platz für die Drusch- und Abscheidetechnik. Weitere Details werden in den folgenden Kapiteln beschrieben. Case IH erhielt eine Silbermedaille für ihr Forward Looking Feedrate Radar, das ebenfalls im Folgenden genauer beschrieben wird [11; 12].

Die Bandbreite des Marktangebotes in Deutschland wird anhand der Entwicklung der Motornennleistungen jeder einzelnen Maschine deutlich, **Bild 2**.



**Bild 2:** Entwicklung der Motorleistung der in Deutschland angebotenen Mähdrescher [Herstellerangaben].

**Figure 2:** Development of the engine power of combine harvesters offered in Germany [manufacturer information].

## Antriebskonzepte

Alternative Antriebskonzepte werden auch für die Getreideernte diskutiert. Wohlfahrt et al. beschreiben ausführlich den heutigen Kraftstoffbedarf bei unterschiedlichen Größenklassen der landwirtschaftlichen Betriebe. Sie leiten daraus ab, dass wegen den Dimensionen der derzeitigen Batterietechnologie diese nicht für Mähdrescher geeignet ist. Gasbasierte Konzepte sind für Mittelklasse-Maschinen mit ca. 200 kW eine praktikable Lösung. Allerdings sind Betankungslösungen während des Arbeitstages nötig, die erheblichen zusätzlichen Aufwand bedeuten. Für größere Maschinen sind flüssige künstliche Kraftstoffe die Lösung, mit denen auch im Markt befindliche Mähdrescher sofort dekarbonisiert betrieben werden können [13].

In einer Studie wird ein serieller Hybridantrieb für einen Mähdrescher vorgeschlagen und untersucht. Die Entkoppelung der Antriebe der Arbeitselemente und des Fahrtriebs von dem Verbrennungsmotor ermöglicht weitergehende Steuer- und Regelungskonzepte, wie sie schon vor vielen Jahren auch von der TU Dresden und der Uni Hohenheim untersucht wurden. In der vorliegenden Studie wurden die einzelnen Arbeitskomponenten des Mähdreschers modelliert und die Parameter des Hybridantriebes entsprechend der Betriebsanforderungen angepasst. Simuliert wurde das dynamische Arbeitsverhalten, die Druschleistung und der Kraftstoffverbrauch. Nun soll ein Prototyp entwickelt werden, um die ermittelten Vorteile zu validieren [14].

## Schneidwerke

Für große Schneidwerke werden immer häufiger Querförderbänder anstatt Querförderschnecken angeboten. Um bei großen Arbeitsbreiten auch der Bodenkontur quer zur Fahrtrichtung folgen zu können, werden große Schneidwerke in zwei oder drei Sektionen unterteilt. Diese können in einem begrenzten Winkel zueinander geneigt werden. Alternativ können Schneidwerke mit einem flexiblen Messerbalken für die Ernte bodennaher Früchte ausgestattet sein. Für diese Schneidwerke bietet Schumacher mit Arista einen speziellen Ährenheber an. Er kann werkzeuglos montiert werden und besitzt eine zweistufige Höhenverstellung [15]. Geringhoff bietet mit dem AFT Maispflückervorsatz die Möglichkeit, über das mittige Drehgelenk die beiden Seiten des Vorsatzes um jeweils  $\pm 8^\circ$  neigen zu können. Die 12- und 16-reihige Ausführungen sind für den Straßentransport optional klappbar [16].

Der kanadische Hersteller K-Hart hat einen neuen Stripper-Vorsatz vorgestellt. Er orientiert sich sehr stark an der Lösung von Shelbourne Reynolds aus UK, sei aber in vielen Details angepasst und verbessert. Der große, zusätzliche Vorteil für Nord-Amerika ist, dass die längeren Stoppel mehr Schnee gegen den Wind festhalten und somit mehr Wasser im Frühjahr verfügbar ist. Der Stripper ist mit 12,5 m Arbeitsbreite verfügbar, in Planung seien 9,4 m und 13,7 m [17].

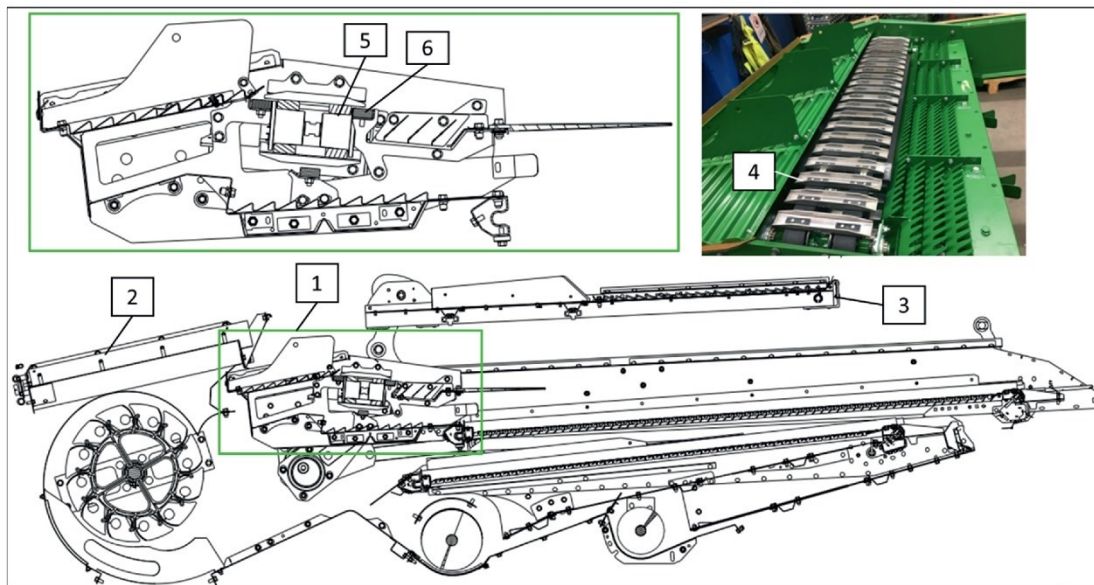
## Reinigung

Eine umfassende Beschreibung des Aufbaus und der Funktion heutiger Reinigungsanlagen in Mähdreschern wurde erstellt. Ein besonderes Augenmerk wurde hierbei auf die Gebläse und die Luftführung sowie auf die elektronischen Systeme zur Messung der Körnerverluste, der

---

Reinheit, der Gutqualität, des Durchsatzes und der Siebbeladung gelegt. Die Autoren empfehlen für Weiterentwicklungen die Luftgeschwindigkeit und die Strömungsrichtung zu beachten, sowie die Verteilung längs und quer zur Siebfläche unter den unterschiedlichsten Einsatzbedingungen sicherstellen [18].

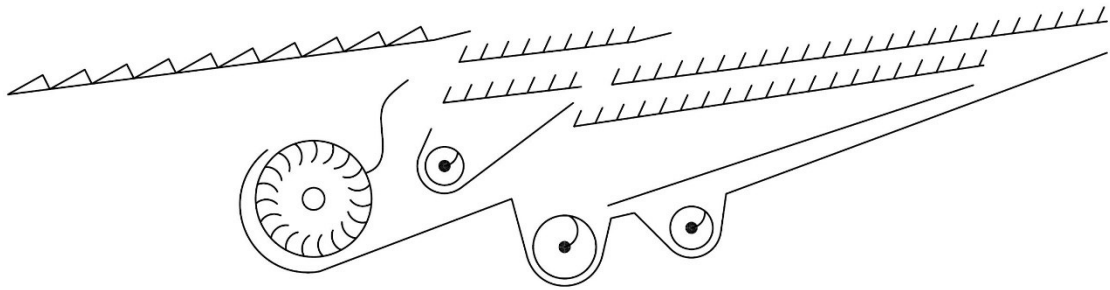
Zum Hangausgleich bei Reinigungsanlagen bieten fast alle Hersteller Lösungen an. John Deere präsentierte im Rahmen der VDI-Tagung auf der Agritechnica eine neue Lösung: Am Ende des Vorbereitungsbodens ist ein luftdurchlässiges Querförderband installiert. Je nach Querneigung der Maschine fördert es mehr oder weniger schnell das Reinigungsgut hangaufwärts, **Bild 3** [19].



**Bild 3:** John Deere-Reinigungsanlage mit Querförderband. 1: Querförderband; 2: Förderschnecken; 3: Rücklaufboden; 4: Querförderband; 5: Umlenkrollen; 6: Querführungsschienen [19].

**Figure 3:** John Deere cleaning unit with lateral conveyor. 1: lateral conveyor; 2: conveying augers; 3: return pan; 4: lateral conveyor; 5: idler rolls; 6: cross guide runners [19].

Die Reinigungsanlage im neuen Großmähdrescher CR11 von New Holland besitzt zwei hintereinander angeordnete Ober- und Untersiebe, **Bild 4**. Der Übergang vom Vorbereitungsboden und vom ersten auf das zweite Sieb ist als luftdurchströmte Fallstufe ausgeführt. Je eine Querförderschnecke für das erste und das zweite Siebpaar befüllen den Elevator. Der Seitengausgleich erfolgt nicht über eine Nivellierung des Siebkastens und ermöglicht so die volle Nutzung der Kanalbreite. Über die Messung der Druckdifferenz links und rechts sowie vorne und hinten am Siebkasten kann auf die Siebbeladung und ihre Querverteilung geschlossen werden. Die konventionelle Messung der Verlustkörner erfolgt am Siebende links und rechts getrennt. Aus diesen Signalen wird auf eine ungleichmäßige Querverteilung geschlossen. Entsprechend werden zusätzlichen Querschwingungen in den Vorbereitungsboden und, getrennt davon, in die Obersiebe eingeleitet [20].



**Bild 4:** New Holland CR11 Reinigungsanlage.

**Figure 4:** New Holland CR11 cleaning unit.

### Strohmanagement

Rademacher gibt einen umfassenden Überblick über die Entwicklungstendenzen und über die Häcksel- und Verteilsysteme im Markt. Schwerpunkt ist der Leistungsbedarf der Häcksler und eine gleichmäßige Querverteilung über die gesamte Arbeitsbreite der immer größer werdenden Vorsätze. Auch auf die Hammermühlen zur Zerstörung von Unkrautsamen, die noch im Siebübergang enthalten sein können, wird eingegangen [21].

Nachdem in den letzten Jahren verstärkt Sensoren zur Erfassung der aktuellen Querverteilung entwickelt worden sind, stellt New Holland für ihren Großmähdrescher CR11 ein Häcksellängenmanagement vor. Eine Kamera im Ausgang des Häckslers erfasst die aktuelle Häckselqualität. Durch die Verstellung der Gegenmesser wird erreicht, dass die vom Fahrer bestätigte Qualität eingehalten wird [22]. Case IH stellte ein Überwachungssystem für die Lager des Stroh Häckslers vor. Anhand der Frequenzanalyse der Schwingungen an einem Lager kann auf die Art eines Schadens bzw. sich anbahnenden Schadens geschlossen werden. Über WiFi werden die Auswertungen auf ein Smartphone übertragen [23].

### Guteigenschaften

Mit Mikrowellensensoren können die dielektrischen Eigenschaften von Gütern ermittelt werden. Besonders die Gutfeuchte beeinflusst diese Eigenschaften. Deshalb werden Mikrowellensensoren für die Feuchtemessung von Körnern eingesetzt. Es konnte bei Messungen mit einer Frequenz gezeigt werden, dass für Weizen und für Mais nur eine von der Gutart und keine von der Sorte abhängige Kalibration nötig ist [24].

Es wurde eine Untersuchung zur nötigen Kraft für das Pflücken von Maiskolben durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass wenn der Maiskolben um mehr als 55° vom Stängel weggedreht wird, sich dann die Bruchkraft um 80 % reduziert. Dieses Ergebnis sollte bei der Entwicklung und Auslegung von Maispflückern berücksichtigt werden [25].

Die Schwebegeschwindigkeit ist ein anschauliches Maß für die pneumatische Trennbarkeit eines Gutgemisches und für die Homogenität bzw. Inhomogenität einer Gutart. Die Untersuchung der Schwebegeschwindigkeit von Weizen-Strohknoten und von Internodien zeigt, dass diese sich pneumatisch voneinander trennen lassen, wenn die Internodien ähnliche Längen

haben wie die Knoten [26]. Über die Schwebegeschwindigkeit lassen sich trockene (11 % w.b.) Stängelteile von Mais (Partikel des Marks, der Rinde, des Knotens und des Internodiums) voneinander trennen, aber einige feuchte Fraktionen (43 % w.b.) haben vergleichbare Schwebegeschwindigkeiten und lassen sich nicht auf diese Art voneinander trennen [27].

Für die Simulation mit der Diskreten Element Methode DEM müssen auch die Reibbeiwerte der modellierten Partikel bekannt sein. Der Reibbeiwert von biologischen Materialien ist auch von der Größe der Kontaktfläche abhängig. Mit einer Universalprüfmaschine wurde ein neuer Prüfstand zur Ermittlung der Reibbeiwerte zwischen Weizenkorn, Stroh und Metall aufgebaut. Dieser Prüfstand arbeitet auch bei sehr geringen Flächenpressungen exakt. Die Kontaktfläche wird über eine photometrische Auswertung erfasst. Dazu ist die Unterlage eingefärbt und die übertragene Farbe auf das obere Gut wird abfotografiert. Die Reibbeiwerte bei unterschiedlichen Flächenpressungen, Gutfeuchten und Materialpaarungen wurden erfasst. Sie nehmen mit dem Druck ab und steigen mit der Feuchte an [28].

### **Elektronik, Regel- u. Informationssysteme**

Ein Ziel beim Einsatz eines Mähdreschers ist die kontinuierlich hohe Maschinenauslastung. Schwankungen im Ertrag und bei den Guteigenschaften führen zu sich ständig ändernden Arbeitsbedingungen. Case IH erhielt für seine vorgestellte Neuheit der vorausschauenden Durchsatzregelung eine Silbermedaille. Am Schneidwerk sind Radarsensoren angebracht, die vor dem Messerbalken von oben in den Bestand ausgerichtet sind. Sie erfassen die Bestandsdichte und können auch die Bodenkontur erkennen. In Abhängigkeit der Bestandsdichte wird die Fahrgeschwindigkeit angepasst und eine gleichbleibende Auslastung der Maschine erreicht. Die erfasste Bodenkontur unterstützt die Tastkufen am Schneidwerk für dessen Höhenführung [29].

Mit Hilfe hochgenauer GNSS-Daten lassen sich automatisch Arbeitszeitanalysen beim Einsatz des Mähdreschers erstellen. Zur Bestimmung der Effizienz des Maschineneinsatzes (nicht vollständige Ausnutzung der Arbeitsbreite und Zeitverluste durch Überlappungen, Wendemanöver etc.) wurden Algorithmen entwickelt, um aus den Fahrspurdaten diese Größe zu ermitteln. Es werden Analysen vorgestellt, die den Einfluss von Fahrmustern, Arbeitsbreiten und Art der Wendemanöver auf die Effizienz aufzeigen [30].

Vergleichbar zur der oben beschriebenen Lagerüberwachung wird über eine Frequenzanalyse der Vibrationen einer Drescheinrichtung auch ein Condition Monitoring ermöglicht [31]. Für oszillierende Maschinenkomponenten ist auch eine automatische Zustandsüberwachung möglich. So wird ein System vorgestellt, mit dem Schäden wie ein Messerverlust an einem Schneidwerk erkannt werden können [32].

Für einen Mähdrescher mit Axialrotor wurde eine Regelung zur Einstellung von Rotordrehzahl, Dreschspalt und Leitblechwinkel in Abhängigkeit von dem Antriebsdrehmoment des Rotors erstellt. Die Einstellparameter wurden mit verschiedenen Statistik- und KI-Methoden anhand von Laborversuchen ermittelt. Dadurch konnte der Körnerbruch etwas und der Leistungsbedarf deutlich um 36 % reduziert werden [33].

Eine 3D-Kamera schaut auf den Getreidebestand vor einem Mähdrescher. Es wird ein Algorithmus vorgestellt und erprobt, mit dem aus den Daten Lagerflächen und Lagerrichtung während der Ernte ermittelt werden können. Darauf aufbauend kann eine adaptive Regelung eines fahrerlosen Mähdreschers für eine verlustarme Ernte erfolgen [34].

### **Modellierung und Simulation**

In einem Review werden die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Simulation der Gutbewegung und Gutbearbeitung in Mähdreschern beschrieben. Insbesondere die DEM Simulation ist geeignet zur Modellierung des Gutflusses in Elevatoren und Schnecken. Es wird ausdrücklich auf die Bedeutung der Validierung mit Hilfe von realen Versuchen hingewiesen. Mit Hilfe von Simulationen können die Anzahl der Tests von Prototypen reduziert und die Auslegung der Komponenten schneller optimiert werden [35].

Bei der DEM-Modellierung müssen viele Parameter berücksichtigt werden, ohne die Rechenzeiten zu stark zu verlängern. So wird beispielsweise diskutiert, ob Weizenkörner als ein Ellipsoid oder als Zusammensetzung mehrerer Kugeln modelliert werden sollen. Es wird verglichen, mit welchen Vereinfachungen eine noch gute Vergleichbarkeit mit realen Haufwerken erreicht wird [36]. In einer weiteren Arbeit wird ein detailliertes Modell für die Kontaktdynamik eines Stiftendreschwerks mit Körnern erstellt. Hierbei wird die Theorie der starr-elastischen Koppelung verwendet [37]. In einer anderen Arbeit wird eine Modifikation eines Stiftendreschwerks simuliert. Anstatt eines festen Zahns wird ein bewegliches Element, dem menschlichen Daumen nachgebildet, verwendet. Durch die Gelenke passt sich der Angriffspunkt der Kraftwirkung dem jeweiligen Maiskolben und dem Stand des Ausdrusches an. Dadurch sei eine schonendere und weiterhin effektive Arbeit des Dreschwerks möglich. Die Validierung dieser Modifikation steht noch aus [38].

Für eine Stripper-Vorsatz zur Reisernte wird die Luftströmung im Vorsatz simuliert und validiert. Für die Reduktion der Vorsatzverluste wurden verschiedene Abstreifkämme und Drehzahlen untersucht [39]. Ein weiterentwickelter Stripper für die Ernte von Reis wird mit einer zusätzlichen Luftströmung durch die Zähne des Stripperrotors vorgeschlagen. Der Strippingprozess wird detailliert in CFD und DEM modelliert und gekoppelt simuliert. Aus der Simulation erfolgt ein Vorschlag für die optimale Einstellung [40].

### **Zusammenfassung**

Die Mähdreschermärkte haben sich 2023 leicht positiv entwickelt. Neuvorstellungen runden das Produktprogramm nach unten und durch den neuen New Holland CR11 nach oben ab. Der New Holland Mähdrescher hat seitlich fast keine Antriebe und kann deshalb die Kanalbreite und damit die Kapazität der Maschine vergrößern. Zudem ist die Maschine mit weiteren Neuheiten ausgestattet. Die Entwicklung von weiteren elektronischen Systemen zur Vereinfachung der Bedienung und zur Automatisierung geht weiter voran. In der Forschung und Entwicklung wird sehr häufig die DEM und die CFD Modellierung und Simulation eingesetzt.

## Literatur

- [1] Nonnenmacher, P.: VDMA-Statistik: Mähdrescher-Absatzzahlen Deutschland 2022/2023. Schriftliche Mitteilung, 14.02.2023.
- [2] N.N.: US and Canada Ag Tractor and Combine Reports. AEM, URL: <https://www.aem.org/market-share-statistics/us-ag-tractor-and-combine-reports/>.
- [3] N.N.: Ährensache – Chronik der Mähdrescher. profi 35 (2023) H. 7, S. 98-103.
- [4] N.N.: Mehr Komfort für kleine Drescher. top agrar 52 (2023) H. 10, S. 91.
- [5] N.N.: Mähdrescher: Zwei für die Eigenmechanisierung von Deutz-Fahr. URL: <https://www.profi.de/aktuell/neuheiten/mahdrescher-zwei-fur-die-eigenmechanisierung-von-deutz-fahr-31100.html>, Zugriff am: 27.02.2024.
- [6] N.N.: Weitere Upgrades für die Axial-Flow 150 Serie. eilbote 71 (2023) H. 10, S. 20.
- [7] Wilmer, H.: Klein, aber fein – Mähdrescher Claas Evion. profi 35 (2023) H. 9, S. 32-35.
- [8] N.N.: Evion komplettiert Mähdrescherfamilie. eilbote 71 (2023) H. 30, S. 14.
- [9] Huesmann, A.: Mit großen Argumenten. top agrar 52 (2023) H. 8, S. 94-96.
- [10] Rademacher, T.: Mehr Leistungsdichte und Arbeitsqualität – Mähdrescher. eilbote 71 (2023) H. 44, S. 22-25.
- [11] N.N.: 1 x Gold und 17 x Silber – 18 Medaillen auf der Agritechnica. profi 35 (2023) H. 11, S. 98-103.
- [12] Wilmer, H.: Der große Unbekannte – Neuer Großmähdrescher von New Holland. profi 35 (2023) H. 12, S. 58-59.
- [13] Wohlfahrt, F.; Goeres, T.; Teroerde, S.; Frerichs, L.: Topology Discussion of Decarbonized Combine Harvesting Solutions. ASABE Paper 2300298.
- [14] Zhu, Z.; Chai, X.; Xu, L.; Quan, L.; Yuan, C.; Tian, S.: Design and performance of a distributed electric drive system for a series hybrid electric combine harvester. Biosystems Engineering 236 (2023), S. 160-174.
- [15] N.N.: Ährenheber: Der Erfolg liegt im Detail. eilbote 71 (2023) H. 44, S. 33.
- [16] N.N.: Schneidwerke nach Maß – Geringhoff. Computers and Electronics in Agriculture 71 (2023) H. 44, S. 32.
- [17] N.N.: Neuer Stripper. profi 35 (2023) H. 5, S. 100.
- [18] Liang, Z.; Wada, M. E.: Development of cleaning systems for combine harvesters: A review. Biosystems Engineering 236 (2023), S. 79-102.
- [19] Jung, D.; Rittershofer, M.: Side Slope Compensation Conveyor for Combine Harvesters. In: LAND.TECHNIK AgEng 2023 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations: November 10th - 11th 2023, Hannover, VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, DOI: 10.51202/9783181024270, S. 125-130.
- [20] Vanderstichele, M.; Mahieu, T.; Bailliu, S.; Duquesne, F.: Double cross auger cleaning system including cross distribution control. In: LAND.TECHNIK AgEng 2023 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations: November 10th - 11th 2023, Hannover,

- VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, DOI: 10.51202/9783181024270, S. 139-145.
- [21] Rademacher, T.: Mähdrusch: Häcksler werden komplexer. eilbote 71 (2023) H. 10, S. 10-12.
- [22] Vanlerberghe, J.; Li, Y.; Jongmans, D.; Mahieu, T.; Missotten, B.: Automatic Closed-Loop Quality Control Based on Camera Images on a Combine Harvester. In: LAND.TECHNIK AgEng 2023 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations: November 10th - 11th 2023, Hannover, VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, DOI: 10.51202/9783181024270, S. 131-138.
- [23] Devos, S.: Avoiding downtime on combine harvesters by monitoring its vibrations. In: LAND.TECHNIK AgEng 2023 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations: November 10th - 11th 2023, Hannover, VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, DOI: 10.51202/9783181024270, S. 155-161.
- [24] Trabelsi, S.; Lewis, M. A.; Nelson, S. O.: Investigating the Influence of Grain Variety on Calibration of Microwave Moisture Sensors. Applied Engineering in Agriculture 39 (2023) H. 3, S. 285-290.
- [25] Fu, Q.; Fu, J.; Chen, Z.; Ren, L.: Design and Experimental Study on a Corn Picking Device Based on the Fracture Mechanics of Corn Peduncle. Journal of the ASABE 66 (2023) H. 5, S. 1067-1076.
- [26] Womac, A. R.; Klasek, S. E.; Yoder, D.; Hayes, D. G.: Terminal Velocity of Wheat Stem Nodes versus Internodes for Similar Particle Dimensions. Journal of the ASABE 66 (2023) H. 5, S. 987-993.
- [27] Womac, A. R.; Klasek, S. E.; Yoder, D.; Hayes, D. G.: Terminal Velocity of Corn Stover Stem Fractions. Journal of the ASABE 66 (2023) H. 2, S. 497-506.
- [28] Appich, F. M.; Roth, P. M.; Böttinger, S.; Bürger, A.; Diekamp, A.: Frictional characteristics of wheat straw under varying contact pressure. In: LAND.TECHNIK AgEng 2023 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations: November 10th - 11th 2023, Hannover, VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, DOI: 10.51202/9783181024270, S. 161-168.
- [29] Vandewalle, B.; Leenknecht, A.; Jongmans, D.; Missotten, B.; Martin, J.; Hunt, C.: Forward looking Feedrate control for Combine Harvesters. In: LAND.TECHNIK AgEng 2023 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations: November 10th - 11th 2023, Hannover, VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, DOI: 10.51202/9783181024270, S. 147-153.
- [30] Wang, Y.; Zhang, Y.; Buckmaster, D. R.; Krogmeier, J. V.: A Methodology for Combine Performance Analyses in Wheat Harvests with GNSS Data. Journal of the ASABE 66 (2023) H. 6, S. 1391-1414.
- [31] Tang, Z.; Zhang, H.; Wang, X.; Gu, X.; Zhang, B.; Liu, S.: Rice threshing state prediction of threshing cylinder undergoing unbalanced harmonic response. Computers and Electronics in Agriculture 204 (2023), Aufsatz 107547.
-

- [32] Goossens, J.; Lenaerts, B.; Devos, S.; Gryllias, K.; Ketelaere, B. de; Saeys, W.: Anomaly detection on the cutter bar of a combine harvester using cyclostationary analysis. *Biosystems Engineering* 226 (2023), S. 169-181.
- [33] Fan, C.; Zhang, D.; Yang, L.; Cui, T.; He, X.; Qiao, M.; Sun, J.; Dong, J.: A multi-parameter control method for maize threshing based on machine learning algorithm optimisation. *Biosystems Engineering* 236 (2023), S. 212-223.
- [34] Xie, B.; Wang, J.; Jiang, H.; Zhao, S.; Liu, J.; Jin, Y.; Li, Y.: Multi-feature detection of in-field grain lodging for adaptive low-loss control of combine harvesters. *Computers and Electronics in Agriculture* 208 (2023), Aufsatz 107772.
- [35] Tamrakar, A.; Roberge, M.: Grain Handling Simulations in Combine Harvester. In: *LAND.TECHNIK AgEng 2023 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations: November 10th - 11th 2023, Hannover, VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, DOI: 10.51202/9783181024270, S. 395-402.*
- [36] Lu, C.; Gao, Z.; Li, H.; He, J.; Wang, Q.; Wei, X.; Wang, X.; Jiang, S.; Xu, J.; He, D.; Li, Y.: An ellipsoid modelling method for discrete element simulation of wheat seeds. *Biosystems Engineering* 226 (2023), S. 1-15.
- [37] Qian, Z.; Jin, C.; Ni, Y.; Zhang, D.: Modelling threshing using an entropy regularisation approach with frictional contact dynamics and a flexible threshing mechanism. *Biosystems Engineering* 226 (2023), S. 144-154.
- [38] Zhao, J.; Zhao, H.; Tang, H.; Wang, X.; Yu, Y.: Bionic threshing component optimized based on MBD-DEM coupling simulation significantly improves corn kernel harvesting rate. *Computers and Electronics in Agriculture* 212 (2023), Aufsatz 108075.
- [39] Tang, H.; Xu, C.; Zhao, J.; Wang, J.: Formation and steady state characteristics of flow field effect in the header of a stripping prior to cutting combine harvester with CFD. *Computers and Electronics in Agriculture* 211 (2023), Aufsatz 107959.
- [40] Tang, H.; Xu, C.; Zhao, J.; Wang, J.: Stripping mechanism and loss characteristics of a stripping-prior-to-cutting header for rice harvesting based on CFD-DEM simulations and bench experiments. *Biosystems Engineering* 229 (2023), S. 116-136.

### **Autorendaten**

Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger ist Leiter des Fachgebiets Grundlagen der Agrartechnik am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim in Stuttgart.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Böttinger, Stefan: Mähdrescher. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-12

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171545-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/maehdrescher.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Rübenerntetechnik – aktueller Stand und Entwicklungen**

Oliver Schmittmann

### **Kurzfassung**

Der Zuckerrübenanbau hat weiterhin ein hohes Anbauvolumen. Bei der Erntetechnik haben Detailverbesserungen in allen Bereichen stattgefunden. Betriebssicherheit und Funktionsoptimierungen beim Roden und die Übersicht über relevante Prozessdaten, aber auch die Gestaltung eines komfortablen Arbeitsplatzes stehen im Fokus. Möglichkeiten der Betriebskostensenkung durch geringeren Verschleiß der Bauteile, aber auch Einsparungen beim Verbrauch von Betriebsmitteln bieten dem Landwirt die Möglichkeit Stückkosten weiter zu senken.

### **Schlüsselwörter**

Anbau, Rübenroder, Logistik, elektronisches Maschinenmanagement, Ladetechnik

## **Beet harvesting technology - current status and developments**

### **Abstract**

The volume of sugar beet cultivation remains high. Detailed improvements have been made in all areas of sugar beet harvesting technology. The focus is on operational safety and functional optimization during harvesting, as well as the design of a comfortable workplace and an overview of all relevant process data. Opportunities to reduce operating costs by minimizing wear and tear on all components, but also by saving on the consumption of operating resources, offer the farmer the opportunity to reduce unit costs.

### **Keywords**

Beet cultivation, harvester, electronic machine management, logistics, loader

## **Zuckerrübenanbau in Deutschland**

Das Anbauvolumen von Zuckerrüben lag im Anbaujahr 2022/2023 bei 360.691 ha. Schätzungen der Wirtschaftsvereinigung Zucker ergaben für 2023/2024 Liefermengen von 28.870.135 t Zuckerrüben bei durchschnittlichen Erträgen von über 79,2 t/ha. Ein Indiz für die Bedeutung der Zuckerrübe für den Landwirt [1, 2].

## **Erntetechnik**

Auf der Agritechnica 2023 in Hannover stellten Grimme, Holmer, ROPA und Vervaet die neuesten Modelle ihrer Rübenerntetechnik aus. Die drei deutschen Firmen bieten jeweils bauähnliche Roder mit 2 oder 3 Achsen an. Die Anzahl an Reihen in der Köpfrödegruppe kann nach Wunsch zwischen 6, 8 und 9 Reihen gewählt werden. Holmer bietet zusätzlich 12 Reihen an. Exaktköpfe oder Entblätter, Polder- oder Radrodeschare sind weitere Optionen. Um 10 % der bei ROPA nachgefragten Roder besitzen eine Entblattung, der Anteil an Radrodescharen liegt bei 4-10 %. Exaktköpfe und Polderschar haben hier somit die größte Bedeutung. Laut Grimme werden rund 70 % der Rexoren mit Multihäckslern und Radrodescharen ausgestattet.

Als wesentliche Herausforderungen wurden von den Herstellern folgende Punkte genannt:

- Senkung der Betriebskosten
- Erhalt der Betriebs- und Funktionssicherheit
- Komfort und Ergonomie für einen attraktiven Arbeitsplatz auf dem Roder
- Weiterentwicklung der Digitalisierung und des Datenhandlings
- Förderung des Bodenschutzes
- Nachhaltigkeit als weiteres Optimierungsziel
- Einhaltung von gesetzlichen Normen, wie Abgasregelungen

## **Senkung der Betriebskosten**

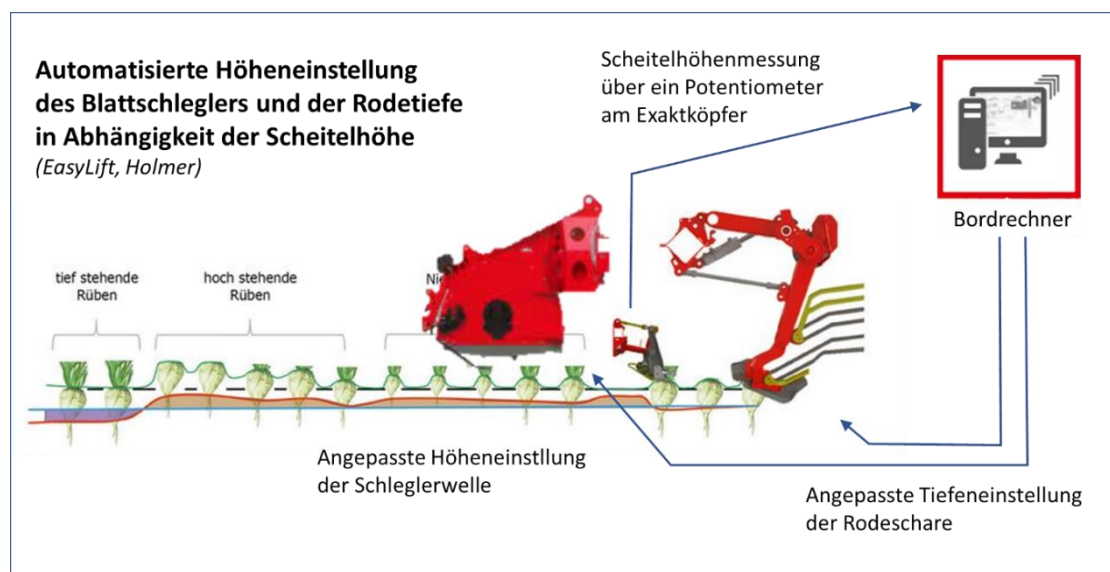
Leichtere Konstruktionen mit verschleißarmem Stahl, wie Hardox, finden sich in mehreren Baugruppen wieder: In den Polderscharen, der Siebsterneinigung, Antriebsräder des Elevatorgurtes und im Kratzboden an Blechen, Ketten und Leisten. Der Elevatorgurt wird nun bei Holmer nicht mehr durch Rollen, sondern durch eine gleichmäßig beanspruchte Gleitleiste aus Kunststoff geführt. Durch Langlebigkeit der Komponenten können somit Betriebskosten gesenkt werden.

Wartungsmaßnahmen sind wesentliche Treiber der Betriebskosten. So konnte bspw. beim Terra Dos 5 durch Zusammenarbeit mit dem Motorhersteller das Wartungsintervall um 50% auf 1000 h verlängert werden. Der Ersatz der Hydraulikfilter erfolgt dort nun nach Bedarf und nicht mehr nach festen Zeitintervallen. Sensoren überwachen hier jeweils den Beladungsstatus der einzelnen Filter und warnen, wenn die Beladungsschwelle erreicht wird.

## Erhalt der Betriebs- und Funktionssicherheiten

### *Entblättern, Exaktköpfen und Roden*

Steigender Herausforderungen bezüglich steigendem Unkrautdruck und neuer Krankheiten/Schädlinge werden durch flexiblere Anpassungsmöglichkeiten des Roders begegnet. Die neue Schleglergeneration HS3 von Holmer besitzt verschleißärmere geschmiedete T-Messer und eine neue Haubengeometrie mit gesteigerter Saugleistung. Trockenes Blatt und Beikraut werden besser entfernt. Die Höhenführung der Schleglerwelle und der Rodeschare kann über Stützräder und den Köpftaster manuell durch den Fahrer geschehen (**Abbildung 1**).

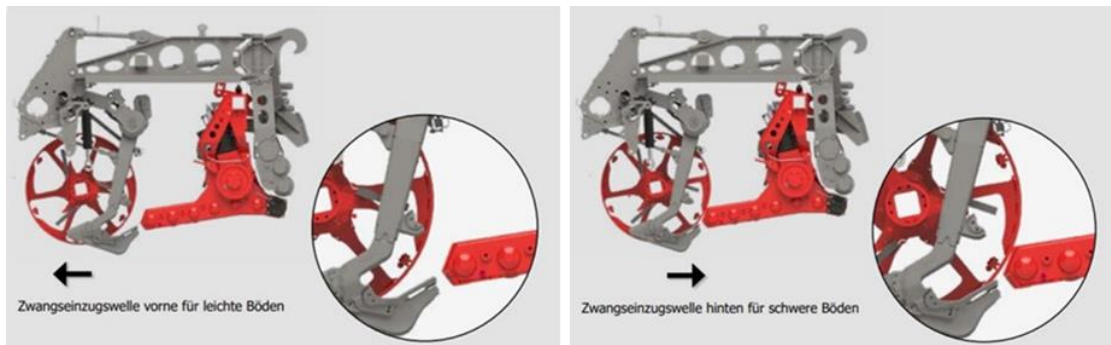


**Bild 1:** Automatische Einstellung der Schleglerhöhe und der Rodetiefe nach [4].

**Figure 1:** Automatic adjustment of the chopper height and share depth [4].

Um verlustarmer zu roden, kann bei Holmer die Roderzwangseinzugschwelle horizontal verstellt und an schwere oder leichte Bedingungen angepasst werden (**Abbildung 2**). Die Einstellbarkeit verhindert das Verlieren von Rüben aus der Reihe bei sandigen Bedingungen, lockeren oder hochstehenden Rüben und hilft bei schweren Böden die Rüben auf den Walzentisch zu schieben. Überarbeitete 850er Tasträder sorgen für weniger Anhaftungen und Verunkrautungsproblemen an der Zwangseinzugschwelle und ein optimales Abtasten des Bodenhorizonts. Ein vertikal und im Winkel verstellbarer Walzentisch sorgt für sauberes Roden der Wurzelspitzen ohne Verschleißrisiko für die Walzen.

Die Radrodeschare besitzen bei ROPA eine neue Reversiereinrichtung. Kommt es zu Verstopfungen können jeweils zwei benachbarte Scharpaare hydraulisch reversiert werden. Zur Dokumentation und Qualitätsüberwachung bietet sich dem Roderfahrer die Möglichkeit, georeferenziert Fotos von der Front (Sicht auf das Köpfen und Roden) des Roders und vom Entladeband aufzuzeichnen und auch zu versenden.

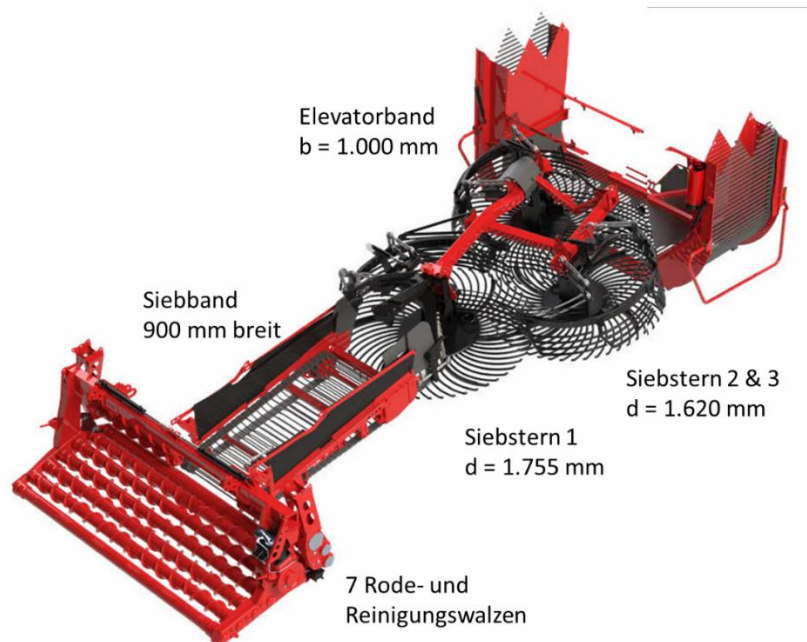


**Bild 2:** Automatische Einstellung der Tasträder und der Einzugswalzen nach [4].  
**Figure 2:** Automatic adjustment of the support wheels and feed rolls [4].

### Reinigen

Die Größe der Reinigungsfläche wurde von Holmer nochmal um ca. 12 % erhöht (**Abbildung 3**). Durchsatzabhängige Maschineneinstellungen finden vermehrt Einzug. Die adaptive Reinigung von Holmer regelt die Einstellung der Siebband-, Siebsterndrehzahl und Elevatorgeschwindigkeit mit dem Ziel der Rübenschonung [4]. Hierüber wurde bereits im Jahrbuch 2021 berichtet.

Über Speedtronic-Cruise wird bei Grimme [3] der Fahrtrieb aktiv gesteuert und der Fahrer damit entlastet. Je nach gewähltem Fahrmodus regelt die Maschine vollautomatisch die Rodegeschwindigkeit in Abhängigkeit der Auslastung relevanter Baugruppen, die über Drucksensoren ermittelt wird. Der Fahrer hat dabei die Möglichkeit das Steuerungsverhalten des Tempomaten selbst zu wählen und eine maximale Rodegeschwindigkeit vorzugeben.



**Bild 3:** Reinigungsstrecke des Holmer Terra Dos 5 [4].  
**Figure 3:** Cleaning area of the Holmer Terra Dos 5 [4].

---

### *Bunkern*

Schonendes Zwischenbunkern der Rüben kann mit einer Bunkerauskleidung verbessert werden. Dazu gehören bspw. bei Grimme PE-Platten hinten am Bunker gegenüber des Entladebandes, um Spitzenbrüche und die Beschädigungen der Rüben während des Überladens zu reduzieren. An der Bunkerrückwand ist vor dem Motorraum ein Gummi-Tuch angebracht, damit sich dort keine Erde aufbaut oder dort anhaftet [3].

### *Überladen mit dem Reinigungslader*

Der Reinigungslader von ROPA [5] besitzt eine neue CAN-Bus Wiegeeinrichtung. Sie ist nun weitestgehend vom Rahmen des Überladebandes entkoppelt. Auch die Messtechnik befindet sich direkt am Messort (**Abbildung 4**).



**Bild 4:** Integration der neuen CAN-Bus Wiegeeinrichtung in das Überladeband einer Reinigungsladers [5].

**Figure 4:** Integration of the new CAN bus weighing system into the transfer conveyor of a cleaning loader [5].

### **Komfort und Ergonomie für einen attraktiven Arbeitsplatz auf dem Roder**

Um den Arbeitsplatz für Fahrer attraktiver zu gestalten, bieten alle Hersteller nun mehr Arbeitskomfort und verbesserte Ergonomie in Kabinen an, die geräumiger wurden und mit einer Fußbodenheizung ausgestattet sind. Die individuellen Maschineneinstellungen können gespeichert und vom Fahrer, z.B. beim Feld- oder Fahrerwechsel oder beim Anhäckseln, erneut geladen werden. Ergonomischere Multifunktionsarmlehnen, individuell verstellbare Sitze, Digitalkameras zur Arbeitsüberwachung, Hifi-Systeme und Handyladestationen sind zwar keine technischen Innovationen, aber gehören mittlerweile zur Standardausstattung.

### **Digitalisierung und Datenhandling**

Der Roder als zentrale Maschine der Rübenernte wird auch digital mehr in die Prozesskette eingebunden. Holmer und ROPA haben ihre Roder inkl. Bordrechner und Datenleitungen auch konzeptionell aufgerüstet. Prozessdaten und Kameraaufnahmen werden im Roder angezeigt und können zur Qualitätsüberwachung oder Diagnostik zusätzlich in die Cloud geladen werden. Die Agrirouter-Cloud ist für die Rübenernte eine standardisierte Datendrehscheibe für den Daten- und Informationsaustausch.

Der Maschineneigentümer kann aber immer entscheiden, an wen er welche Daten weitergeben möchte. Er kann so die Dokumentation seiner Tätigkeit an seinen Kunden weiterleiten und diese gegebenenfalls mit Prozessdaten erweitern (Fahrgeschwindigkeiten, Drehzahlen, ...). Daten zu Mengen und Erntebedingungen (aus Drehzahlen am Fahrzeug abgeleitet) können an die Transportlogistik oder die Zuckerunternehmen weitergeleitet werden.

Über Kundenportale, wie MyGrimme, MyHolmer und MyROPA, werden verschiedene Anwendungen gebündelt:

- online und Echtzeit Bereitstellung des Arbeitsfortschritts, relevanter Maschinendaten und der aktuellen Roderposition,
- Datenauswertung für einen Überblick über die gefahrene Erntekampagne,
- bequeme Bestellung der passenden Ersatzteile über das Portal,
- spätere Datennutzung durch Lohnunternehmen und Landwirte in einem Farm-Management-System bzw. einer Agrarsoftware, wie Farmpilot oder AGRARMONITOR
- Auftragsverwaltung, -dokumentation und Rechnungsstellung.

### **Förderung des Bodenschutzes**

Beim Bodenschutz gilt weiter das Eigengewicht der Fahrzeuge zu reduzieren. Hier finden sich besonders bei Holmer konstruktive Lösungen in Kombination mit besonders hartem Stahl (Hardox). Die 2-achsigen Maschinen besitzen ein Eigengewicht von 27 t, die 3-achsigen ab 30,8 t. Der Holmer 5 hat eine maximale Reifendimension von 1250/50 R32 an der Hinterachse und 900/60 R38 an der Vorderachse. Mit geringen Reifeninnendrücker reduziert sich der Kontaktflächendruck.

### **Nachhaltigkeit als weiteres Optimierungsziel**

Der Einsatz von Bio-Hydrauliköl ist teilweise freigegeben. Durch Mikrofiltration und Überwachung der Ölqualität sind längere Laufzeiten zu erzielen, was wiederum ein Beitrag zur Nachhaltigkeit darstellt.

### **Einhaltung von gesetzlichen Abgasnormen**

Zwei Motoren werden derzeit für die Rübenernte (Roder und Reinigungslader) eingebaut (**Abbildung 5**). Der neue Motor von Volvo verfügt über eine höhere Leistung und verbraucht – laut Angaben von ROPA, die diesen Motor einsetzen – durch Betrieb im niedrigeren Drehzahlbereich ca. 7% weniger Diesel. Die Einsparung wird jedoch durch den Mehrverbrauch an AdBlue wieder aufgehoben. Im Vergleich zu anderen Motoren soll der Volvo-Motor auch robuster hinsichtlich Probleme bei der Abgasreinigung und Kühlung (ADR) sein.

**Mercedes-Benz OM 473** verbaut von Holmer, Grimme und Verveat



Motor	Mercedes-Benz OM 473, Abgasnorm Stage V inkl. AdBlue und SCR-Kat
Zylinder	R-6
Hubraum	15,6 l
Nenn Drehzahl	1.600 U/min
Nennleistung	bei 1.600 U/min 480 kW / 652 PS
max. Drehmoment	von 1.050 bis 1.300 U/min 3.100 Nm

**Volvo Penta TWD1683VE** verbaut von ROPA Panther 2S und Tiger 6S



Motor	Volvo Penta TWD1683VE
Zylinder	
Hubraum	16,12 l
Nenn Drehzahl	
Nennleistung	796 PS / 585 kW
max. Drehmoment	3.650 Nm

**Bild 5:** Mercedes-Benz und Volvo Motoren werden in der Erntetechnik eingesetzt [4 (oben); 5 (unten)]  
**Figure 5:** Mercedes-Benz and Volvo engines are used in harvesting technology [4 (top); 5 (down)]

### Literatur

- [1] N.N.: Jahresbericht der Zuckerwirtschaft 2022/2023. Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V. und Verein der Zuckerindustrie (Hrsg.), 2023, URL: [https://www.zuckerverbaende.de/wp-content/uploads/2023/05/WVZ\\_VdZ\\_Jahresbericht\\_2022-2023.pdf](https://www.zuckerverbaende.de/wp-content/uploads/2023/05/WVZ_VdZ_Jahresbericht_2022-2023.pdf), Zugriff am 13.02.2024.
- [2] N.N.: Bericht zur Markt- und Versorgungslage Zucker. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.), 2023, URL: [https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Zucker/2023BerichtZucker.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Zucker/2023BerichtZucker.pdf?__blob=publicationFile&v=3), Zugriff am: 13.02.2024.
- [3] N.N.: Produktinformationen. GRIMME Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG, URL: <https://products.grimme.com/de?group=3>, Zugriff am: 01.02.2024.
- [4] N.N.: Produktinformationen. HOLMER Maschinenbau GmbH, URL: <https://www.holmer-maschinenbau.com/produkte/rodetechnik/terra-dos-5/terra-dos-5.html>, Zugriff am: 01.02.2024.
- [5] N.N.: Produktinformationen. ROPA Fahrzeug- und Maschinenbau GmbH, URL: <https://www.ropa-maschinenbau.de/produkte/>, abgerufen am: 01.02.2024.

- [6] N.N.: Produktinformationen. Frans Vervaeet B.V., URL:  
<https://www.vervaeet.nl/de/produkte/rubenernte/>, Zugriff am: 01.02.2024.

### **Autorendaten**

Dr.agr. Oliver Schmittmann ist Teil der Abteilung Agrartechnik und Robotik am Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Schmittmann, Oliver: Rübenerntetechnik – aktueller Stand und Entwicklungen. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-8

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171546-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/zuckerruebentechnik.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Kartoffeltechnik**

Michael Klindtworth

### **Kurzfassung**

Nach mehrjähriger Messepause zeigten die Hersteller im Herbst 2023 auf der Agritechnica wieder zahlreiche technische Verbesserungen und Neuheiten in allen Bereichen der Kartoffeltechnik. Beachtung findet u.a. eine Legemaschine mit neu entwickelter Dammformung. Bei der Erntetechnik stehen die Leistungssteigerung, die Klutentrennung und die produktübergreifende, variable Nutzung von zweireihigen Bunkerrotern im Vordergrund. Elektronik und smarte Vernetzung gewinnen weiter an Bedeutung.

### **Schlüsselwörter**

Kartoffeltechnik, Dammaufbau, Dammformung, Erosionsschutz, Krautschlagen, Trennaggregate, Erntemaschinen zur Mehrfachnutzung im Feldgemüsebau, Ertragsmessung, Kartierung von Beimengen, autonome Erntemaschinen, Digitalisierung, Schwarmrobotik

## **Potato Technology**

Michael Klindtworth

### **Abstract**

After a break of several years, the manufacturers again presented numerous innovations and technical improvements in all areas of potato technology at the Agritechnica 2023. A planter with newly developed ridge shaping is attracting attention. In harvesting technology, the focus is on increased performance, reduced changeover times, separation of clods and variable use of two-row bunker harvesters in different crops. Electronics and smart networking continue to gain in importance.

### **Keywords**

Potato technology, planting methods with hybrid ridge shaping, soil protection, erosion control, haulm reduction, harvesters with redesigned separators for multiple use in potato and vegetable production, yield measurement, mapping of admixtures, autonomous harvesters, digitalization

## **Allgemeine Entwicklungen**

Der Berichtszeitraum war von starken weltpolitischen Unwägbarkeiten geprägt. Nach dem militärischen Angriff Russlands auf die Ukraine im Frühjahr 2022 kam es auf nahezu allen agrarischen Märkten für Düngemittel, Pflanzenschutz, Getreide- und Kartoffelerzeugnisse zu erheblichen Preisschwankungen und -steigerungen [1]. Die inflationären Tendenzen führten schon im Jahr 2022 bei den Herstellern für Kartoffeltechnik zu Preissteigerungen von ca. 8 bis 10 % im Neumaschinengeschäft. Diese Preissteigerungen setzten sich im Jahr 2023 moderat fort. Demgegenüber standen unterdurchschnittliche Erntemengen, die zu stabilen Preisen im Kartoffelgeschäft führten, so dass die Nachfrage nach Maschinen trotz der gestiegenen Investitionskosten insgesamt auf einem hohen Niveau erhalten blieb.

Die Sommertrockenheit in den Jahren 2019 bis 2022 hat Entwicklungen beschleunigt, mit denen einerseits gleichmäßige Bodenfeuchte im Damm unterstützt werden kann, andererseits werden aber auch weiterentwickelte Trenneinrichtungen für trockene Kluten vorgestellt. Wegfallende chemische Wirkstoffe und Pflanzenschutzmittel erschweren den Anbau, fördern andererseits aber auch Verbesserungen bei der Technik zum mechanischen Pflanzenschutz. Eine anhaltende Herausforderung ist es, die wachsenden digitalen Dienste herstellerübergreifend zu verknüpfen, weiter zu automatisieren und den Anbauern damit ein umfassendes digitales, anwenderfreundliches Werkzeug an die Hand zu geben.

## **Technik zum Legen und Pflegen der Kartoffel**

### *Legeverfahren für vorgekeimte Kartoffeln*

Der Anbau von vorgekeimten Kartoffeln stellt bis heute eine Besonderheit dar. Als Vorteile des Verfahrens werden genannt [2]: Vorgekeimte Kartoffeln laufen in der Regel schneller und gleichmäßiger auf. Sie weisen eine zügige Jugendentwicklung auf, so dass die Phase der Ertragsbildung verlängert werden kann. Der frühere Reihenschluss kann dazu beitragen, den Unkrautdruck zwischen den Reihen zu reduzieren. Nachteilig ist der erhebliche Arbeits- und Kapitalaufwand für den Prozess des Vorkeimens in Kisten oder in netzartigen Schläuchen.

Zum Legen von vorgekeimten Pflanzgut haben sich in der Praxis zwei Verfahren etabliert: Einerseits werden konventionelle, vierreihige Legemaschinen eingesetzt, die zusätzlich mit einem geregelten Fördergurt und vibrierenden Förderplatten ausgestattet sind, so dass vorgekeimtes Pflanzgut schonend zu den Bechergurten der Legemaschine gefördert wird. Für das Leeren der Vorkeimkisten sind ein bis zwei Arbeitspersonen bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von ca. 3 bis 4 km/h notwendig. Diese Maschinen können nach dem Legen der vorgekeimten Kartoffeln mit einem Kippbunker ausgerüstet werden, so dass für konventionelles Legen (nicht vorgekeimt) alle verfügbaren Automatikfunktionen wie z.B. variable Legeabstände, sortenspezifische Ablagetiefe, Section Control, etc. weiter genutzt werden können.

Alternativ werden insbesondere für den Anbau von Frühkartoffeln 2- bis 8-reihige Spezialmaschinen mit Handbeschickung eingesetzt. Diese Maschinen sind ausschließlich für vorgekeim-

tes Pflanzgut vorgesehen und erfordern eine Arbeitsperson pro Reihe bei Arbeitsgeschwindigkeiten von maximal 3 bis 4 km/h. In diesem Marktsegment wurde jetzt eine 4-reihige Maschine vorgestellt (**Bild 1**) [3].



**Bild 1:** Speziell für vorgekeimte Kartoffeln entwickelte 4-reihige Legemaschine [3].

**Figure 1:** Especially developed 4-row planter for pre-sprouted potatoes [3].

Neuartig ist, dass anstelle von Bechertellern oder Becherketten mit jeweils einem Becher aus Metall jetzt keimschonende Doppelfördergurte aus Kunststoff/Gummi eingesetzt werden. Sie ermöglichen das manuelle Bestücken von beiden Seiten und damit auch eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit. Je Fördergurt sind ein bis zwei stehende Arbeitspersonen vorgesehen, was den Personalaufwand im Vergleich zu den bisherigen Maschinen etwa verdoppelt. Zusätzlich sind ein bis zwei Personen für die Handhabung der Vorkeimkisten nötig [3].

#### *Neuentwicklungen bei kombinierten Legeverfahren und bei der Dammformung*

Das Konzept von getragenen 4-reihigen Legemaschinen mit integrierter Bodenbearbeitung ist seit vielen Jahren bekannt und wird inzwischen von mehreren Herstellern angeboten. Neu vorgestellt wurde eine Maschine, bei der der Vorratsbunker, welcher oberhalb der Bodenbearbeitung montiert ist, auf Wiegestäben verschraubt ist. In Kombination mit vorab kalibriertem Pflanzgut kann so indirekt über die abnehmende Masse des Pflanzgutes im Vorratsbunker auch die Anzahl gelegter Knollen pro Hektar kalkuliert und kontinuierlich kontrolliert werden (**Bild 2**).



**Bild 2:** Getragene 4-reihige Legemaschine mit integrierter Bodenbearbeitung und Vorratsbunker für Pflanzgut auf Wiegestäben [Eigene Darstellung].

**Figure 2:** Mounted 4-row potato planter with integrated soil tillage and hopper on weighing bars [own presentation].

Rationelle, kombinierte Legeverfahren gewinnen bei allen Herstellern weiter an Bedeutung. So wurde eine neu entwickelte, angehängte Legekombination mit verlängertem Schwanenhals und teleskopierbarer Achse vorgestellt (**Bild 3**).



**Bild 3:** Gezogene 4-reihige Legemaschine mit verlängerter Schwanenhalsdeichsel für die Bodenbearbeitung und neuartigen Werkzeugen für die Dammbildung [4].

**Figure 3:** Trailed 4-row potato planter with extended gooseneck-drawbar for soil tillage and new tools for ridge construction [4].

Die 4-reihige Legemaschine mit 75 cm Reihenabstand ist so konstruiert, dass eine Straßen-transportbreite von 3 m eingehalten wird und damit auch die Anforderungen einer vollständigen EU-Typgenehmigung erfüllt werden. Anstelle einer aktiven Bodenbearbeitung, die bisher meist im Frontanbau oder im Heckanbau des Traktors eingesetzt wurde, wird die Bodenbearbeitung (Kreiselegge, Kreiselgrubber, Reihenfräse, Vollfeldfräse) jetzt unter dem Schwanenhals integriert und kann in der Wirtiefe unabhängig von der Pflanztiefe eingestellt werden. Neuartig ist, dass die Maschinen zur Bodenbearbeitung unter dem Schwanenhals bei Bedarf sehr schnell gewechselt und so den Bodenbedingungen angepasst werden können [5].

Die bekannten Arbeitsschritte von Kombi-Legeverfahren (Bodenbearbeitung, chemischer Pflanzenschutz mit gleichzeitiger Applikation von granulierten und flüssigen Präparaten, Reihendüngung unter Fuß, Ablage der Knollen, Enddammaufbau, Erosionsschutz mit Querdammhäuflern) [6] wurden weiter verbessert und insbesondere die Zugänglichkeit für den Fahrer sicherer und komfortabler gestaltet.

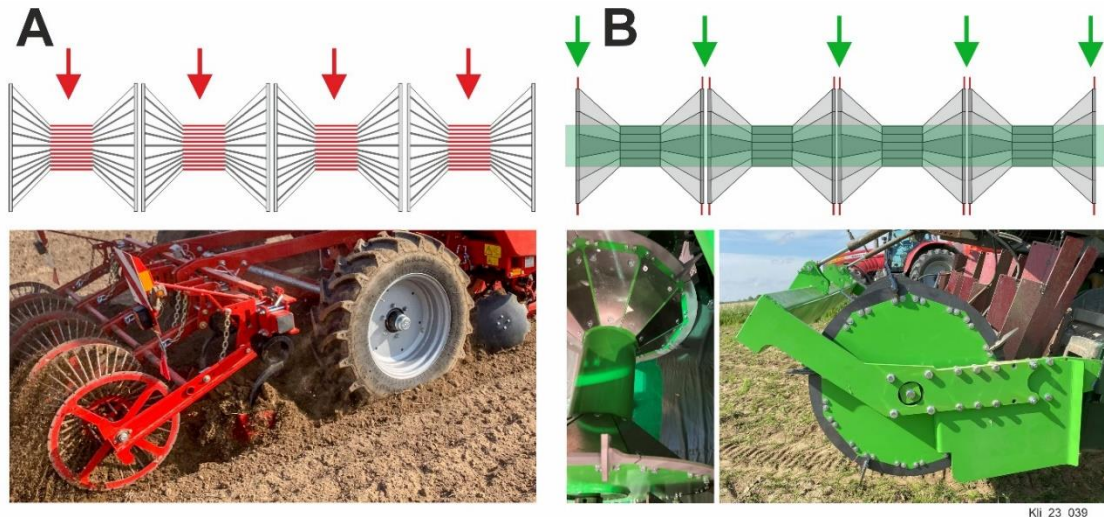
Da die Anforderungen an die Dammformung und den Dammaufbau in den vergangenen Jahren vor dem Hintergrund von Sommertrockenheit, künstlicher Bewässerung und häufigeren Starkregenereignissen zugenommen haben, präsentierten gleich mehrere Hersteller neue Lösungsansätze. Auf Interesse stieß die oben vorgestellte Legemaschine (Bild 3) wegen der erstmals integrierten "Hybrid-Dammformung". Dabei sind die Häufelkörper für den Dammaufbau Streichblechen von Pflügen nachempfunden. Sie können mit nachlaufenden Gitterrollen (Stabwalzen) kombiniert werden und ermöglichen so einerseits einen großvolumigen Dammaufbau mit stabilen Dammflanken und andererseits eine krümelige Struktur auf der Dammkronen für verbesserten Gas- und Wärmeaustausch [7].

Als mögliche technische Alternative zu den bisher üblichen Dammformblechen und Gitterrollen wird eine neuartige, rotierende Dammformung vorgestellt, die von der Deutschen Landwirtschafts Gesellschaft (DLG) zur Agritechnica 2023 prämiert wurde [8].

Um die Besonderheiten dieses neuen Werkzeuges zu verstehen, wird nachfolgend ein grober Vergleich zu den bekannten Gitterrollen hergestellt: Bei den derzeit üblichen Legemaschinen übernehmen einzeln aufgehängte, rotierende Gitterrollen (**Bild 4, A**) den "Feinschliff" der Dammformung nach vorhergehender Ausformung der Dämme mit Hilfe von Häufelscheiben und Häufelkörpern. Die mittig auf der Dammkronen abrollenden Gitterrollen haben außen an den Dammflanken, bedingt durch den größeren Durchmesser, eine höhere Umfangsgeschwindigkeit. Nach Aussagen der Praxis führt dies zu einem streichenden, glättenden Effekt auf den Dammflanken.

Im Gegensatz dazu ist die prämierte Neuentwicklung (**Bild 4, B**) keine Rolle, sondern ein aus Platten geformtes Vieleck, das mit Hilfe von Sporen angetrieben wird. Die Montage auf einer gemeinsamen, durchgehenden Welle reduziert den Schlupf auf ein Minimum. Die Platten sollen die Dammflanken fest andrücken. Der Antrieb über die Sporen zwischen den Dämmen, sorgt für eine geringere Umfangsgeschwindigkeit auf der Dammkronen. Theoretisch ergibt sich dadurch ein "Bulldozing-Effekt", der durchaus erwünscht ist, um die Oberfläche "krümelig" zu

brechen. Anstelle der oben beschriebenen drei aufeinander folgenden Werkzeuge (zudeckende Häufelscheibe - Häufelkörper - Gitterrolle), wird der Damm hier mit nur einem einzigen Werkzeug aus loser Erde geformt, aufgebaut und an den Flanken angedrückt [8].



**Bild 4:** Theoretisch wirksamer Durchmesser (klein/groß) zum Antrieb einzelner Gitterrollen (A) im Vergleich zu "rotierenden Dammformern" (B) auf einer durchgehenden Welle [Eigene Darstellung].

**Figure 4:** Theoretically effective diameter (small/large) for driving single cage rollers (A) compared to the newly introduced rotating ridge formers on a common shaft (B) [own presentation].

Es bleibt abzuwarten, ob sich die neuartigen, rotierenden Dammformer auf einer gemeinsamen Welle trotz der zu erwartenden Nachteile (u.a. erhöhter Zugkraftbedarf, Dammformung bei Kurvenfahrt) bei den Kartoffelanbauern etablieren können.

### Bestandspflege und Erntevorbereitung

Der Enddammaufbau beim Legen hat sich in vielen Betrieben etabliert, da das heutige Pflanzgut die damit verbundenen hohen Anforderungen an die Triebkraft sicherer erfüllt [2]. Die begleitende Ausbringung von erosionsmindernden Untersaaten wie beispielsweise Sommergerste oder Kresse konnte sich dagegen bisher nicht durchsetzen. Als Gründe für die Zurückhaltung in der Praxis werden vor allem die Konkurrenz um Wasser und die Problematik der zuverlässigen Beimengentrennung bei der Ernte genannt.

#### *Pflegemaßnahmen in Kartoffelbeständen*

Die anhaltende Diskussion um eine Verlängerung der Zulassung des solo und in Kombination angewendeten Wirkstoffs Metribuzin intensiviert die Auseinandersetzung der Praxis mit mechanischen Pflegemaßnahmen. Die meisten Werkzeuge wie beispielsweise Hackmesser, Rollhacken oder Striegel bearbeiten lediglich die Dammlanken. Für die Behandlung der Dammkrone zwischen den Kartoffelpflanzen werden adaptierte Pflanzenschutzspritzen erwartet, die aber noch nicht marktreif sind [2].

Zu beachten ist, dass mit der Zunahme der mechanischen Unkrautregulierung auch die Durchfahrtshäufigkeit in den bisher nicht befahrenen Furchen steigt. Dies wiederum führt zu einem erhöhten Risiko der Klutenbildung beim Befahren feuchter Böden. Wie die Hersteller darauf reagieren, wird im nachfolgenden Abschnitt Kartoffelerntemaschinen näher beschrieben.

#### *Erntevorbereitung durch Krautminderung*

Mit dem Wegfall des Wirkstoffes Deiquat zur gezielten chemischen Sikkation wird verstärkt nach technischen Alternativen gesucht. Die elektrische Sikkation, die in einem früheren Beitrag dieser Reihe bereits vorgestellt wurde, findet bisher kaum Akzeptanz in die Praxis. Als wesentlicher Nachteil wird die geringe Flächenleistung angeführt. Zudem werden Nabelendnekrosen und Gefäßbündelverbräunung beschrieben [9]. Aktuelle Studien, in denen die Pflanzenmasse mit einwirkender Hochspannung anstatt mit Totalherbiziden abgetötet wurde, zeigten zudem eine erhebliche Reduzierung der Regenwurm-Biomasse um etwa 30 % [10].

Die derzeit zugelassenen Wirkstoffe sind auf eine deutliche Reduzierung des Blattapparates angewiesen, um die notwendige Wirksamkeit zu erreichen. Aus der Praxis gibt es deshalb eine gesteigerte Nachfrage nach Krautschlägern, die eine größere Arbeitsbreite als die bisher üblichen zwei oder vier Reihen aufweisen. Neben der gleichmäßigen Zerkleinerung des Krautes, dessen gezielte Ablage zwischen den Dämmen und einer komfortabel verstellbaren Arbeitshöhe, gewinnt der erforderliche Kraftstoffeinsatz an Bedeutung. Einzelne Hersteller bieten deshalb eine optimierte Geometrie der Krautschlägel an, mit denen eine Kraftstoffersparnis um bis zu 10 % möglich sein soll [4].

#### **Entwicklungen bei gezogenen Kartoffelerntemaschinen**

Technische Entwicklungen, bei denen die gezogene Erntemaschine Einfluss auf die Vorfahrtsgeschwindigkeit des Traktors nimmt (Traktor-Implement-Management, TIM), haben vorübergehend an Bedeutung verloren. Stattdessen wurden die maschineninternen Regelkreise weiter optimiert, so dass sich die Maschine bei wechselnden Vorfahrtsgeschwindigkeiten automatisch den Belastungszuständen anpasst und so zu einer quasi-autonomen Maschine wird, die den Fahrer deutlich von den sonst üblichen, kontinuierlichen Steuerungsaufgaben entlastet.

In diesem Kontext gewinnen bei allen namhaften Herstellern stufenlos verstellbare, hydraulische Antriebe für Siebbänder und Trenngeräte weiter an Bedeutung, um die Sieb- und Trennleistung bei veränderten Rahmenbedingungen zu erhalten bzw. zu steigern.

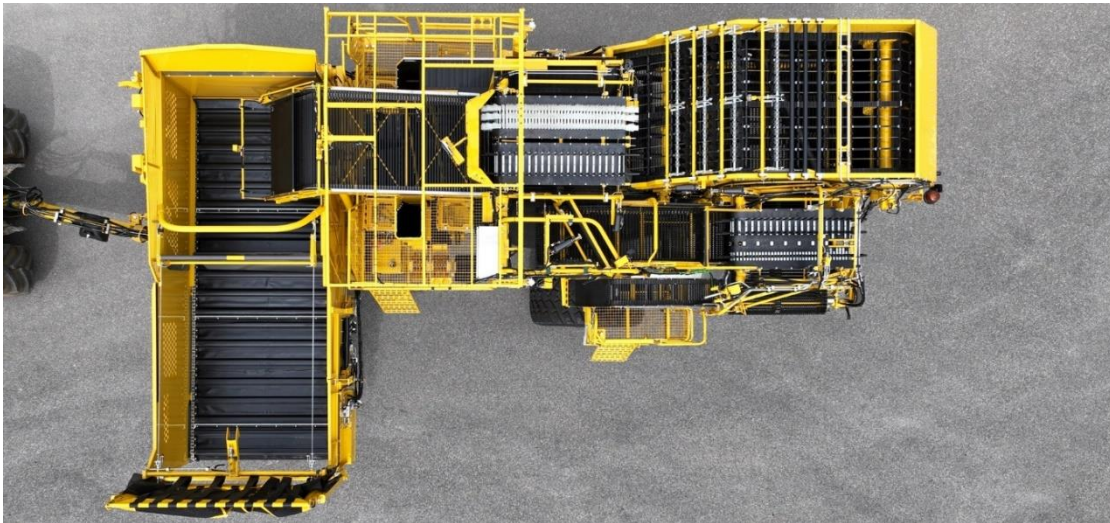
Dieses Ausstattungsmerkmal, das seit mehr als 20 Jahren vor allem in selbstfahrenden Kartoffelerntemaschinen zu finden ist, erleichtert die notwendigen Anpassungen bei wechselnden Erntebedingungen.

#### *Weiterentwicklung bei etablierten Trenngeräten*

Wie eingangs beschrieben waren die Jahre 2022 und 2023 in Deutschland durch langanhaltende Trockenheit geprägt. Dies führte insbesondere im Jahr 2022 auf vielen Standorten zu

ausgetrockneten, harten Böden. Die Erntesaison 2023 war dagegen vielerorts durch anhaltenden Regen, schlechte Befahrbarkeit und kritische Rodebedingungen gekennzeichnet. Erschwerend kamen Kluten hinzu, die entweder in Zusammenhang mit dem veränderten Klima und/oder durch die Zunahme der Überfahrten bei der mechanischen Unkrautregulierung entstanden sind (vgl. Abschnitt Bestandspflege und Erntevorbereitung).

Für die verbesserte Trennleistung auf klutenreichen Böden wurde eine Weiterentwicklung vorgestellt (**Bild 5**), bei der jetzt zwei von vier Trenngeräten mit umlaufenden Gummifingerbändern ausgestattet sind [11].



**Bild 5:** 2-reihige Erntemaschine mit 2 Gummifingerband-Trenngeräten ("Doubleselect") [11].  
**Figure 5:** 2-row bunker-harvester with two rubber finger-separators [11].

Vor 10 Jahren wurde auf der Agritechnica das pneumatische Trenngerät "AirSep" vorgestellt. Dieses Trenngerät ist in der Lage, sowohl Steine und Kluten als auch leichte Beimengungen wie z.B. Maisspindeln aus dem Produktstrom zu trennen. Inzwischen wurden zahlreiche Weiterentwicklungen in das Trenngerät integriert, mit denen der Serviceaufwand reduziert und die Produktschonung weiter gefördert werden sollen [4]. Durch die neue Positionierung unmittelbar hinter dem zweiten Siebband sollen die besonderen Vorteile des Trenngerätes mit Bezug auf Leistungsfähigkeit und reduzierte mechanische Belastungen der Kartoffeln besser genutzt werden können. Neben dem in Europa bewährten hydraulischen Antrieb, stellt der Hersteller SPUDNIK (USA) auch ein elektrisches Antriebskonzept für das AirSep für den nordamerikanischen Markt vor. Es bleibt abzuwarten, ob sich dieses Konzept auch im europäischen Markt aufgrund der limitierten Verfügbarkeit entsprechend ausgestatteter Traktoren etablieren kann.

Vorgestellt und prämiert [8] wurde ein weiterentwickeltes Trenngerät namens "ChangeSep" (**Bild 6**). Das neue Trenngerät ermöglicht erstmals, dass die Ableitwalzen über dem Igelband des zweiten Trenngerätes (1) auf Knopfdruck hydraulisch gegen abstreifende, umlaufende Gummifingerbänder (2) gewechselt werden können ("ChangeSep"). Bekanntermaßen verfan-

gen sich kleinere Kluten und Steine im Igelband (3), während der Hauptproduktstrom abgetrennt und weitergeleitet wird. Die unterschiedliche Wirkung der Walzen (hoher Durchsatz) und der Gummifingerbänder (verbesserte Trenngenaugigkeit), kann so in Abhängigkeit des Bodens, der Sorte und/oder der Verwertungsrichtung innerhalb kürzester Zeit angepasst werden. Bei der Nutzung der Maschine für die Ernte von Zwiebeln kann nach Herstellerangaben der Durchsatz erheblich gesteigert werden. Dazu können die Gummifingerbänder hydraulisch oberhalb der Ableitwalze positioniert werden, so dass sich eine kombinierte Wirkung ergibt.



**Bild 6:** Blick von vorn auf das neu entwickelte Wechseltrenngerät "ChangeSep" nach [12].  
**Figure 6:** View onto the new developed "ChangeSep" [12].

### **Entwicklungen bei selbstfahrenden Kartoffelerntemaschinen**

Zweireihige, selbstfahrende Erntemaschinen haben in Deutschland leicht an Bedeutung verloren. Sie werden international derzeit vor allem dort eingesetzt, wo sich der großflächige Anbau von Kartoffeln auf steinreichen Böden in separierten Beeten etabliert hat.

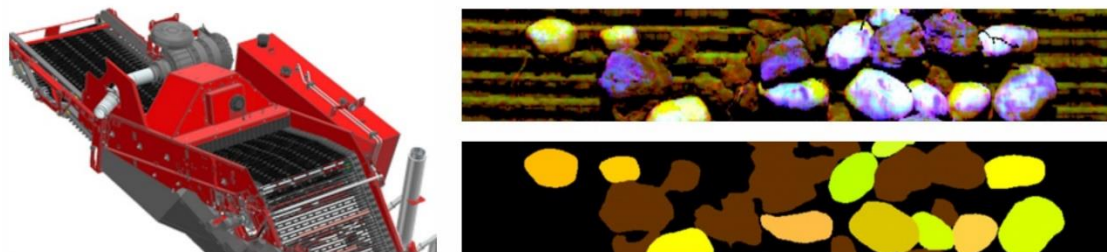
Wachsende Bedeutung haben hingegen vierreihige Selbstfahrer. Der Markt bietet zwei und dreiachsige Maschinen mit Radfahrwerk an. Hinzu kommen Varianten mit kombiniertem Rad- u. Raupenfahrwerk sowie Maschinen mit beidseitigem Raupenfahrwerk [13]. Jüngere Baureihen sind bei einzelnen Herstellern konstruktiv so vorbereitet, dass die Räder gegen Dreiecksraupen ausgetauscht werden können. Dabei sind jedoch die geänderten Außenmaße (Höhe und Breite) sowie die Fahrgeschwindigkeit für die Straßenzulassung zu beachten. Dieses neue Maschinenkonzept hatte bei den teilweise kritischen Erntebedingungen im Herbst 2023 eine erfolgreiche Bewährungsprobe.

Bei den Selbstfahrern werden als Trenngeräte nach wie vor überwiegend Walzentrenngeräte (Rollenseparator, MultiSep) eingesetzt, die je nach Hersteller in unterschiedlicher Reihenfolge angeordnet sind [14].

Mit der Zahl der Verstellmöglichkeiten in den Trenngeräten steigt auch die Komplexität der Bedienung. Alle namhaften Hersteller haben darauf reagiert und bieten inzwischen eine hochwertige Visualisierung der Abläufe und Einstellungen in der Maschine an. Die digitale Vernetzung der Maschine mit dem Hersteller und mit betrieblichen Farm Management Informationssystemen einschließlich der vorausschauenden Wartung gewinnen an Bedeutung.

#### *Ertragsschätzung, Sensorik zur Bestimmung eines klassifizierten Massenstroms*

Erstmals zeigt ein Hersteller den Prototyp eines Lasersensors, mit dem verschiedene Bestandteile des Produktmassenstromes getrennt voneinander erfasst werden können [4]. Das Konzept sieht derzeit eine Installation des Lasersensors nach den Trenngeräten unmittelbar vor dem Bunker vor. Die Technik ermöglicht es, die geerntete Rohware zu vermessen, so dass der Anteil der jeweiligen Größenfraktionen schon bei der Ernte bekannt ist. Zudem werden der Klutenanteil und der Restkrautanteil bestimmt. Damit ist nicht nur eine Ertragskartierung, sondern erstmals auch eine teilflächenspezifische oder sortenspezifische "Kaliber-Kartierung" möglich, mit der eine gezielte Vermarktung zukünftig deutlich verbessert werden kann (**Bild 7**).



**Bild 7:** Konzept (links) und exemplarische, grafische Darstellung eines klassifizierten Massenstroms (rechts) nach [15].

**Figure 7:** Concept and visualization of a classified crop flow in potato harvesters [15].

Bild 7 zeigt den Montageort des Sensors über dem Transportband in den Bunker der Erntemaschine (links) und einen Ausschnitt aus der Bildverarbeitung (rechts), der die Basis für den rechnerisch, klassifizierten Massenstrom bildet. Es wird deutlich, dass der Sensor die Größenunterschiede bei den Kartoffeln erfasst, so dass der reale, teilflächenspezifische Ertrag errechnet werden kann. Das Farbspektrum gibt einen Hinweis auf organische und nicht organische Bestandteile im Gutfluss, der zur Analyse der Beimengen herangezogen wird.

Erstmals kann teilflächenspezifisch der Anteil von Kluten dargestellt werden. Es ist zu erwarten, dass dieser Nebenaspekt insbesondere bei Kartoffelanbauern mit hohem Pachtflächenanteil auf Interesse stößt. Flächen, die dem Anbauer relativ unbekannt sind, können so gezielt bearbeitet und/oder gedüngt (gekalkt) werden, um vorab Steine zu separieren oder den kritischen Klutenanteil bei der Ernte zu reduzieren.

### *Robotik und autonome Arbeitsmaschinen zur Ernte von Kartoffeln*

Die abnehmende Verfügbarkeit von Personal macht es notwendig, dass sich die Hersteller mit dem Thema Robotik auseinandersetzen. Gezeigt wurden weiterentwickelte Ernteroboter, die als Prototyp bereits autonom über die Anbaufläche fahren. Die zu erntende Ware wird im Verfahren des "positive Picking" aus dem Produktstrom entnommen und anschließend direkt in die Kiste gefördert. Dies geschieht derzeit noch mit Personal, das zukünftig durch Handhabungsroboter ersetzt werden könnte. Das Maschinenkonzept dieser einreihigen Erntemaschinen wurde in einem früheren Beitrag dieser Reihe bereits vorgestellt [13]. Neu ist, dass sich mehrere weitgehend autonome Fahrzeuge auf dem Feld die Arbeit der Ernte und die des Transportes teilen. Dieses so genannte Schwarmkonzept wurde 2023 erstmals für den Bereich der Hackfruchternte öffentlich vorgestellt (**Bild 8**) [16].



**Bild 8:** Studie zur Schwarmrobotik für die Ernte und den Abtransport von empfindlichen Knollen- und Wurzelfrüchten [Eigene Darstellung].

**Figure 8:** Concept of swarm robotics for root crop harvesting and transport [own presentation].

### **Technik zur Einlagerung und Aufbereitung von Kartoffeln**

Bei der klassischen Einlagerungstechnik wurden zahlreiche Detaillösungen gezeigt, mit denen die Produktschonung weiter verbessert werden kann. Exemplarisch sind in **Bild 9** drei Entwicklungen zu diesem Thema dargestellt.



**Bild 9:** Ausgewählte Detaillösungen bei Schüttbunkern zur Verbesserung der Produktqualität während der Einlagerung von Kartoffeln [Eigene Darstellung].

**Figure 9:** Selected detailed solutions of receiving hoppers to improve crop protection [own presentation].

Eine hohe mechanische Belastung erfahren die Kartoffeln, wenn sie vom Dreiseitenkipper bzw. vom LKW in den Annahmehopper übergeben werden. Eine gezielte, unvollständige Entleerung des Annahmehoppers mit Restmengen an Kartoffeln (1) sowie gepolsterte Seitenwände (2) sorgen dafür, dass die neu angelieferte Rohware geschont werden kann, indem sie entweder auf weichem Material oder auf anderen Kartoffeln landet. Bild 9 zeigt auf der rechten Seite außerdem eine technische Weiterentwicklung, bei der die letzte Reinigungswalze abgesenkt werden kann. Auch hier wird die Produktbelastung reduziert, weil die Kartoffeln entweder mit reduzierter Fallstufe übergeben werden oder ebenfalls auf andere Kartoffeln fallen.

#### *Anhaltender Trend zur opto-elektronischen Sortierung*

Zunehmender Personalmangel und gewachsene Ansprüche der Handelspartner an die Rohware verstärken den Trend zum Einsatz opto-elektronischer Sortierverfahren. Aufbauend auf den technischen Anfängen, bei denen die Erkennung von Steinen und Kluten im Vordergrund stand, gewinnen Qualitätsparameter an Bedeutung. Dazu zählt die möglichst exakte Quantifizierung grüner Knollen (Anzahl/Anteil der ergrünten Oberfläche), faule Knollen, angeschnittene Knollen, kleine Risse ("Thumbnails") etc.

## Literatur

- [1] Hambloch, C.; Grohmann, L.: AMI Markt Charts - Fakten und Trends zum EU-Kartoffelmarkt 2022/23. Hrsg.: AMI Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH, Bonn 2022.
- [2] Peters, R.: Pflanzgut gezielt in Keimstimmung bringen. Kartoffelbau (2023), H. 3, S. 8-13.
- [3] Peters, R.: ROPA-Gecko, Legemaschine für vorgekeimtes Pflanzgut. Persönliche Mitteilung und Einsatzfotos der Maschine, 2023.
- [4] N.N.: Pressemitteilung zu Neuheiten zur Agritechnica 2023. GRIMME, URL: <https://products.grimme.com/de/agritechnica>, Zugriff am 22.01.2024.
- [5] Feuerborn, B.: Eine für Alle. Praxisbericht GRIMME PRIOS 440. Agrarheute (2022) H. 07, S. 54-59.
- [6] Klindtworth, M.: Kartoffeltechnik. DOI: <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202001201537-0>. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2019. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2020. – S. 1-16.
- [7] Schulz, S.: Fahrbericht Kartoffelpflanzmaschine PRIOS 440 Pro von Grimme. Profi (2023), H. 7, S. 26-29.
- [8] N.N.: Die Innovation Awards Agritechnica 2023. Rotierender Dammformer der All-In-One GmbH. DLG, URL: <https://www.agritechnica.com/de/presse/aktuelle-meldungen#!/news/die-innovation-awards-agritechnica-2023>, Zugriff am 22.01.2024.
- [9] Klauk, B.; Rosenhauer, M.; Petersen, J. [2023]: Erfahrungen in der elektrophysikalischen Sikkation von Frühkartoffeln in Rheinland-Pfalz. DOI: 10.5073/JfK.2023.11-12.02. Journal für Kulturpflanzen (2023), H. 75, S. 299-309.
- [10] Ruf, T.; Leimbrock, L.; Oluwaroye, M.; Emmerling, C.: Unkräuter mit Strom abtöten - eine bodenschonende Alternative? Kartoffelbau (2023), H. 12, S. 41-43.
- [11] N.N.: Neuerungen in der Kartoffeltechnik. ROPA Fahrzeug- und Maschinenbau GmbH, URL: [www.ropa-maschinenbau.de/news/neuerungen-in-der-kartoffeltechnik-vorstellung-zum-weuthen-kartoffeltag-2023-potatoeurope-2023/](http://www.ropa-maschinenbau.de/news/neuerungen-in-der-kartoffeltechnik-vorstellung-zum-weuthen-kartoffeltag-2023-potatoeurope-2023/), Zugriff am 22.01.2024.
- [12] N.N.: Informationen zum GRIMME EVO All Crop Harvester. Persönliche Mitteilung des Produktmanagements, 2021.
- [13] Klindtworth, M.: Kartoffeltechnik. DOI: <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202031001-0>. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. – S. 1-20.
- [14] Steinert, D.: Updates und Upgrades für Pflanzen und Ernte. Praxis Kartoffeln 2023; Landwirtschaftliche Zeitschrift Rheinland (Hrsg.), 2023, URL: [https://www.lz-rheinland.de/fileadmin/user\\_upload/RL\\_Verlag/Supplements/Praxis\\_Kartoffeln\\_2023\\_.PDF](https://www.lz-rheinland.de/fileadmin/user_upload/RL_Verlag/Supplements/Praxis_Kartoffeln_2023_.PDF), Zugriff am 22.01.2024.

- [15] Harms, H.; Strothmann, W.; Markus, D.; Halbrügge, C.: Sensing and analysing crop characteristics and yield data in potato harvesting. Proceedings of the 80th International Conference on Agricultural Engineering, 10-11 November 2023, Konferenz. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): Land.Technik AgEng 2023, VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 2023, ISBN: 978-3-18-092427-4, S. 109-117.
- [16] Börnsen, A.: Roden im Schwarm. Profi (2023) H. 12, S. 128-130.

### **Autorendaten**

Dr. Michael Klindtworth ist Mitarbeiter der GRIMME Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG in Damme.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Klindtworth, Michael: Kartoffeltechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-14

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171547-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/kartoffeltechnik.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## Arzneipflanzen aus Vertical Farming Systemen - Chance oder Utopie?

Viktoria Schyma, Sabine Wittmann, Heidi Heuberger, Timo D. Stark, Heike Mempel

### Kurzfassung

Der Bedarf arzneipflanzlicher Rohstoffe steigt nicht zuletzt aufgrund des weltweiten Bevölkerungswachstums stetig an. Der überwiegende Teil der weltweit gehandelten Arzneipflanzen stammt aus Wildsammlungen, welche ihrerseits durch die höhere Entnahme in ihrem Bestand bedroht sind. Durch den Klimawandel wird sich der Druck auf Wildpopulationen, aber auch auf Pflanzen im Freilandanbau perspektivisch noch verschärfen. Trotz des hohen initialen Aufwands erscheint es daher sinnvoll, über die Inkulturnahme neuer Pflanzen nachzudenken und die Produktion kultivierter Arten nachhaltig auszubauen. Die räumliche und saisonale Unabhängigkeit der Produktion in Vertical Farming Systemen könnte hierfür ideale Voraussetzungen bieten sowohl im Hinblick auf die Gestaltung von Supply Chains als auch bezüglich der langfristigen Sicherung von Rohstoffen in planbarer Qualität. Entsprechende Potentiale zu identifizieren, ist das Ziel des Verbundforschungsprojekts VerticalPharm.

### Schlüsselwörter

Vertical Farming, Arznei- und Gewürzpflanzen, Phytopharmaka

## Production of medicinal plants in vertical farming systems - opportunity or utopia?

Viktoria Schyma, Sabine Wittmann, Heidi Heuberger, Timo Stark, Heike Mempel

### Abstract

The demand for medicinal plants is constantly increasing, partly due to global population growth. The majority of medicinal plants traded worldwide originate from wild collections, which in turn are under threat due to increased extraction. Climate change will exacerbate the pressure on wild populations and on plants grown outdoors. Despite the high initial effort, we consider the cultivation of new plants and the shift towards a more sustainable production of cultivated species, to be crucial. The spatial and seasonal independence of production using vertical farming systems could offer ideal conditions for the design of newly formed supply chains, as well as for long-term availability of raw materials with high quality. The aim of our joint research project VerticalPharm is to identify further potential.

### Keywords

Vertical Farming, medicinal and aromatic plants, herbal medicine

---

## Einleitung

Nach Analysen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) nutzt die Mehrheit der Weltbevölkerung, insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern, traditionelle Arzneimittel pflanzlichen Ursprungs [1]. Auch in den westlichen Industrienationen sind pflanzliche Medikamente von großer wirtschaftlicher Bedeutung, was sich nicht zuletzt daran zeigt, dass jedes vierte verschreibungspflichtige Medikament pflanzliche Inhaltsstoffe enthält [2]. Rein pflanzliche Arzneimittel (Phytopharmaka) machten 2016 dabei insgesamt 8 % aller verkauften Arzneimittelpackungen und 14 % aller rezeptfreien Arzneimittel im deutschen Apothekenmarkt aus [3]. Laut einer Befragung des Instituts für Demoskopie Allensbach von 2002 verwendeten 73 % der Befragten Phytopharmazeutika [4]. Auf das weltweite Handelsvolumen bezogen, stammt der mit 60 - 80 % größte Anteil der gehandelten Pflanzenrohstoffe aus dem Anbau, wobei dieser sich auf weniger als 1 % der weltweit gehandelten Arten bezieht. Die meisten Arten werden aus der freien Natur durch Wildsammlung beschafft [5; 6; 7]. Obwohl davon ausgegangen wird, dass etwa ein Fünftel aller derzeit bekannten Gefäßpflanzenarten weltweit eine medizinische Bedeutung haben (dies entspricht etwa 50 - 70 Tausend Arten) werden nur etwa 3.000 Arten international gehandelt [6; 8].

Deutschland ist der größte Händler von Arznei- und Gewürzpflanzen innerhalb der Europäischen Union [9]. Im Jahr 2015 wurden Arznei- und Gewürzpflanzen im Wert von 250 Millionen US-Dollar nach Deutschland eingeführt, der Zollcode, von dem diese Zahl abgeleitet wird (HS1211), erfasst allerdings nicht alle relevanten Pflanzen [10; 11]. Das Anbauvolumen für Arzneipflanzen in Deutschland ist darüber hinaus zumeist nicht ausreichend, um den Eigenbedarf zu decken [12]. Aufgrund der klimatischen Bedingungen ist der Anbau auch nicht für alle Arten im Feld möglich. Der Heilpflanzenanbau konzentriert sich daher auf wenige Arten, die mengenmäßig eine bedeutende Rolle im Welthandel spielen und deren Standortansprüche weitgehend bekannt und zumeist wenig spezifisch sind [6; 12].

Bezogen auf die Anbaufläche aller Arznei- und Gewürzpflanzen in Deutschland (2011: 12 240 ha) machten reine Arzneipflanzen nur etwa 15 % aus, 52 % der Fläche wurde für den Anbau von Pflanzen verwendet, die Anwendung in beiden Bereichen finden. Die übrigen 33% entfielen auf reine Gewürzpflanzen [12]. Von den Arzneipflanzen, die in Deutschland am stärksten nachgefragt wurden, stammten 2011 rund 12 % aus deutschem Anbau. 87 % dieser 10 wichtigsten Arzneipflanzen wurden 2011 importiert darunter bspw. Anis, Mariendistel, Brennnessel und Baldrian. Mit 34 % war der Deckungsgrad der einheimischen Produktion gemessen am Gesamtverbrauch bei Thymian am höchsten, gefolgt von Melisse mit 19 %. Unter den am stärksten nachgefragten Arzneipflanzen entfiel mit etwa 9 % der Anbaufläche (1155 ha) der größte Anteil auf die Kultivierung von Echter Kamille (*Chamomilla recutita*). Der Selbstversorgungsgrad liegt jedoch auch in diesem Fall gerade bei 16 %, was die hohe Abhängigkeit von Importen für die Pflanzengruppe der Arznei- -und Gewürzpflanzen verdeutlicht. [12; 13, 14]

Die zunehmende Nachfrage nach Phytopharmaka und die aufgezeigte hohe Abhängigkeit von Importen, sowie die zu erwartenden weiteren Einschränkungen für die Wildsammlung zum

Schutz der natürlichen Bestände, zeigen den grundsätzlich vorhandenen Bedarf für einen steigenden Anteil regionaler Produktion. Durch die hohen qualitativen Anforderungen an Arznei- und Gewürzpflanzen und aufgrund der Tatsache, dass eine Vielzahl der Arten unter den hiesigen klimatischen Bedingungen nicht oder nur eingeschränkt kultiviert werden kann, soll im Rahmen eines aktuell laufenden Projekts das Potential von Vertical Farming für den Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen analysiert werden. Dabei wird sowohl die Marktsituation unter Berücksichtigung des Mengenbedarfs wie der Verfügbarkeiten, als auch die qualitativen Anforderungen, etwa eine hohe Wirkstoffkonzentration und Produktreinheit Berücksichtigung finden.

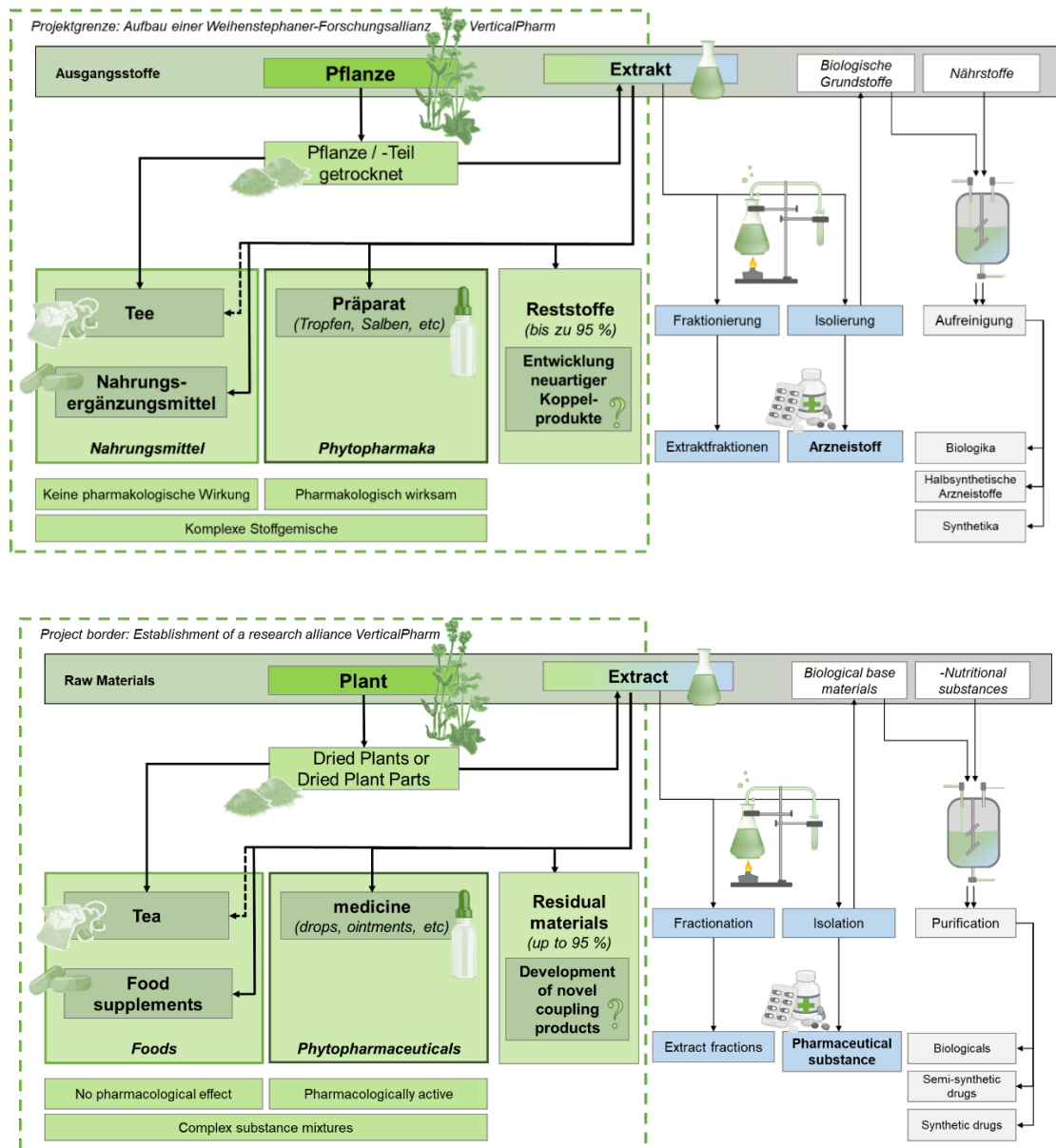
### Anwendungsgebiete arzneipflanzlicher Rohstoffe

Unabhängig von der Art der Rohstoffgewinnung (Anbau, Wildsammlung) erfolgt nach Ernte der Arzneipflanze die Aufbereitung und Trocknung. Die Pflanze als Rohstoff kann dabei als Ausgangsstoff für verschiedene Anwendungszwecke eingesetzt werden. Die getrocknete Pflanze bzw. deren Teile werden als "Droge" bezeichnet unabhängig davon, ob sie in Form von Gewürzpulvern oder Tees ohne pharmakologische Wirkung vertrieben oder zu Medikamenten mit pharmakologischer Wirkung (= Arzneimittel) verarbeitet werden (**Bild 1**).

Arzneimittel, deren Wirkstoffe ausschließlich pflanzlichen Ursprungs sind, werden als Phytopharmaka bezeichnet. Sie werden in der Regel aus Extrakten der Pflanzendroge hergestellt und sind komplex, d.h. sie setzen sich aus einer Vielzahl von Stoffen zusammen, von denen mehrere oder die Kombination mehrerer für die pharmakologische Wirkung verantwortlich sein können und die nicht immer in gleichbleibender Zusammensetzung vorliegen. Nicht verwendete Reststoffe aus Extrakten, die bis zu 95 % einnehmen, werden beispielsweise als Futtermittel (Stroh von Kamille) verwendet, während die getrockneten Blüten als Arzneidroge Verwendung finden (*Matricariae flos*) [12; 14]. Bis zu 70 % aller Arzneistoffe sind von Naturstoffen abgeleitet, dennoch wird die Mehrzahl der heute verkauften Arzneistoffe voll- oder teilsynthetisch hergestellt (Synthetika) [15]. Die so erzeugten Medikamente sind chemisch definiert. Sie setzen sich aus ein oder mehreren pharmakologisch aktiven Substanzen in definierter Konzentration zusammen.

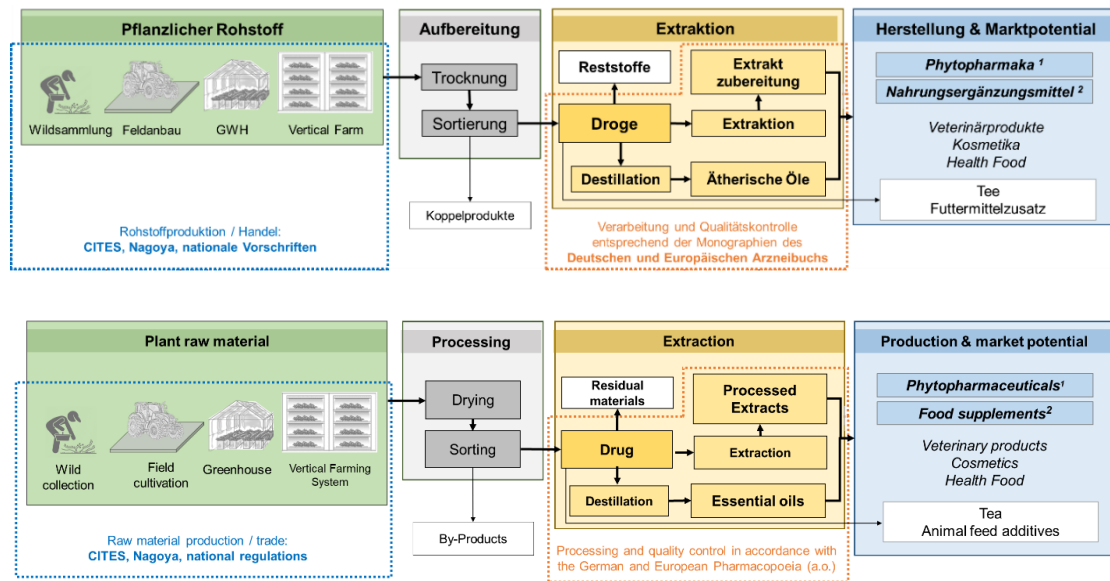
Die Herstellung von Phytopharmaka, siehe **Bild 2**, unterliegen dem Arzneimittelgesetz (AMG), welches die gesetzliche Grundlage für die Zulassung bildet und die inhaltlichen Anforderungen an die Zulassungsunterlagen definiert [16]. Damit müssen Phytopharmaka denselben Anforderungen an Qualität, Wirksamkeit und gesundheitliche Unbedenklichkeit wie andere Arzneimittel entsprechen. Der Nachweis ist beim Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) zu erbringen. Die Wirksamkeit kann mittels klinischer Studien (rationale Phytopharmaka) oder unter Bezugnahme auf veröffentlichte Fachliteratur belegt werden. Typische Beispiele rationaler Phytopharmaka sind bspw. Johanniskraut zur Behandlung von depressiven Verstimmungen, Pestwurz gegen Heuschnupfen, Ginkgo zur Verbesserung der mentalen Leistungsfähigkeit, Traubensilberkerze zur Behandlung von Wechseljahresbeschwerden,

Weißdorn zur Behandlung von Herzbeschwerden oder Baldrian und Hopfen zur Behandlung von Schlafstörungen [15].



**Bild 1:** Differenzierung Pharmazeutischer Produkte anhand des Produktionswegs; grün: im Rahmen des Forschungsvorhabens zu untersuchende Produktionsbereiche; blau: Medikamente, die unter Verwendung pflanzlicher Stoffe oder Zellen produziert werden können, jedoch nicht zu den Phytopharmaka zählen.

**Figure 1:** Differentiation of pharmaceutical products based on the production pathway; green: production areas to be investigated as part of the research project; blue: drugs that can be produced using plant substances or cells but are not classified as phytopharmaceuticals.



**Bild 2:** Wertschöpfungskette pharmazeutisch genutzter Pflanzen und wichtiger geltender Rechtsverordnungen; 1: Arzneimittelgesetz (AMG), Heilmittelwerbegesetz (HWG); 2: Nahrungsergänzungsmittelverordnung (NemV), Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB), Lebensmittel-Informationenverordnung (EU) Nr. 1169/2011 (LMIV).

**Figure 2:** Value chain of pharmaceutically used plants and important applicable legal regulations in Germany; 1: Arzneimittelgesetz (AMG), Heilmittelwerbegesetz (HWG); 2: Nahrungsergänzungsmittelverordnung (NemV), Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB), Lebensmittel-Informationenverordnung (EU) Nr. 1169/2011 (LMIV).

Als anerkannte bibliographische Quellen zur Wirksamkeit pflanzlicher Drogen dienen bspw. die Arzneipflanzenmonografien des Ausschusses für pflanzliche Arzneimittel (HMPC), die auf europäischer Ebene publiziert werden, sowie in der Vergangenheit die Monografien, welche von der am Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte ansässigen Sachverständigenkommission (Kommission E) bis 1994 erarbeitet wurden. Phytopharmaka können in einem vereinfachten Verfahren registriert werden („traditionell use“: § 39a-d AMG), wenn ihre pharmazeutische Nutzung seit 30 Jahren belegt ist (davon min. 15 Jahre in Europa) oder zugelassen werden („well-established use“: §22 AMG), wenn eine min. zehnjährige medizinische Anwendung in einem Land der EU belegt werden kann sowie wissenschaftliche Nachweise zur anerkannten Wirksamkeit und Sicherheit vorliegen. Das AMG findet nur begrenzt Anwendung bei homöopathischen und anthroposophischen Präparaten, für diese gelten Ausnahmeregelungen [16; 17].

Es gibt keine gesetzliche Regelung, die eine bestimmte Ernte- oder Anbauweise für Arzneipflanzen vorsieht. Die Bezugsquellen sind allerdings durch die Hersteller der Arzneimittel im Zulassungsdossier vermerkt. Aufgrund ihrer komplexen Zusammensetzung sind Phytopharmaka anfälliger für chargenspezifische Qualitätsschwankungen als chemisch definierte Arzneimittel. Standort, Klima, Pflanzensorte (bzw. Subtyp), Erntezeitpunkt, Trocknung und Verar-

beitung haben Einfluss auf Konzentration und Zusammensetzung der Wirkstoffe. Dieser natürlichen anbaubedingten Variabilität der Qualität der Ausgangspflanzen wird entgegengewirkt, indem die aus ihnen hergestellten Pflanzenextrakte auf bestimmte Referenzstoffe eingestellt werden [14; 15; 18]. Für die Gewährleistung einer gleichbleibenden Qualität des Phytopharmakons ist daher eine umfangreiche Inhaltsstoffanalytik unerlässlich. Diese ist zudem notwendig, um eine übermäßige Kontamination mit Pyrrolizidinalkaloide zu verhindern. Das HPMC hat hierzu eine Warnung veröffentlicht und den Grenzwert für die maximal zulässige Exposition pro Tag durch ein Arzneimittel bei einem Erwachsenen auf 1 µg festgelegt [19; 20].

Im Gegensatz zu Phytopharmaka sind Nahrungsergänzungsmittel als Lebensmittel keiner spezifischen Prüfung oder Genehmigung durch eine Behörde unterworfen, sofern sie nicht als Novel Food klassifiziert werden. Sie müssen allerdings vor Inverkehrbringen beim Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) angezeigt werden [21].

Novell Foods, d.h. Lebensmittel, die vor dem 15. Mai 1997 nicht in nennenswertem Umfang in der Europäischen Union für den menschlichen Verzehr verwendet wurden wie bspw. Stevia, müssen in der EU ein Zulassungsverfahren durchlaufen [22]. Zu den Pflanzen, welche in Nahrungsergänzungsmitteln häufig Verwendung finden, gehören u.a. Lavendel, Baldrian, Johanniskraut, Pfefferminze, Weißdorn, Rosenwurz, Mariendistel, Klette, Weißdorn, Salbei, Mönchspfeffer, Traubensilberkerze, Ginkgo, Ginseng, Zitronenmelisse, Passionsblume oder Hopfen [23]. Einige dieser Pflanzen finden auch Anwendung als rationale Phytopharmaka. Bei einer Verwendung als Zusatz in Nahrungsergänzungsmitteln dürfen sie nur in pharmakologisch nicht wirksamer Konzentration zugesetzt werden [21].

### **Anbauverfahren von Arzneipflanzen - eine Herausforderung**

Die Vielzahl der Einflussfaktoren auf die Qualität von Arzneipflanzen führt zu schwankenden Zusammensetzungen der Inhaltsstoffe und ist eine Herausforderung für die Produktion standardisierter Phytopharmaka. Veränderte Klimabedingungen und zunehmende Unwetterereignisse können die Versorgungssicherheit in Zukunft weiter beeinträchtigen. Bereits unter normalen Anbaubedingungen gibt es bei der Produktion eine vorhandene Schwankungsbreite hinsichtlich des Inhaltsstoffprofils und -gehalts, da sich kritische Faktoren (Bodenbeschaffenheit, Sonneneinstrahlung, Niederschlag, Pflanzenentwicklung etc.) bereits auf einem Feld unterscheiden können und unterschiedliche Anbauregionen erhebliche Unterschiede aufweisen. Der kontrollierte und rentable Anbau vieler Arzneipflanzen gilt als nur in sehr geringem Umfang möglich. Die benötigten Mengen sind verglichen mit anderen Agrarprodukten gering und durch den Klimawandel kann es in einigen Landstrichen zu einem gesteigerten Ausfallrisiko kommen [6; 12; 14; 24]. Die Anbauflächen sind häufig klein, der Einsatz automatisierter Systeme und Maschinen ist nicht bei jeder Kultur möglich. Auch fehlende Daten zur Kulturführung vieler Pflanzen wurde in der Literatur mehrfach beschrieben [18; 25]. Heilpflanzen, die als Ressource für Firmen im Phytopharmaka und Naturkosmetiksektor dienen, stammen daher aus Wildsammlungen [25: Anhang II]. Auch hier lässt sich aufgrund der unterschiedlichen Standortigenschaften eine hohe Variabilität der Qualität beobachten. Wildsammlungen sind zudem in

unterschiedlichem Maße reguliert und es ist mit weiteren Einschränkungen in den kommenden Jahren zu rechnen. Der Verlust traditionellen Wissens über die Arten, ihre Lebensräume und Verwendung trägt sowohl zu ihrer Gefährdung als auch zu einem Qualitätsverlust des gesammelten Pflanzenmaterials bei [26].

Die bestehenden Probleme im Anbau und der Sammlung von Arzneipflanzen werden durch den Klimawandel, die Zerstörung der natürlichen Habitate und eine bereits jetzt erkennbare Übernutzung bestehender Ressourcen perspektivisch noch verschärft [18; 25]. Der Klimawandel hat dabei nicht nur Einfluss auf die Verbreitung und den Ertrag der Arzneipflanzen, er kann auch zu einer Verschiebung oder Veränderung der Konzentration -erwünschter wie unerwünschter- sekundärer Pflanzenstoffe führen und damit zu erheblichen Qualitätsveränderungen und -verlusten [18; 25; 27; 28].

Es ist zu erwarten, dass dies auch für Pflanzen, die Vorläufersubstanzen für partialsynthetische Arzneistoffe oder Hilfsstoffe liefern, zutrifft. Bisher liegen für eine abschließende Bewertung hierzu aber zu wenige Daten vor. Die Verlagerung des Produktionswegs von Arzneistoffen oder die Umstellung der Produktion hin zu synthetischen Arzneistoffen ist nicht in allen Fällen kosteneffizient möglich (Synthetisierbarkeit, Chiralität) und zudem von der abnehmenden Seite auch nicht gewünscht. Es zeigt sich, dass die gesamte Pharmaindustrie von den gegenwärtigen Problemen in globalen Lieferketten bspw. durch Probleme in der Beschaffung des Rohmaterials betroffen ist. Dies hat zur Folge, dass der Auf- und Ausbau der regionalen Produktion von Rohstoffen zunehmendes Interesse erhält. Vor dem Hintergrund, dass die genauen Ursachen der Lieferengpässe nach wie vor Gegenstand wissenschaftlicher Diskussionen sind [29; 30], ist eine Berücksichtigung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und eine Analyse der vorhandenen Potentiale hinsichtlich der gezielten und standardisierten Produktion von pflanzlichen Inhaltsstoffen eine wichtige Voraussetzung.

Nach den Kriterien der Roten Liste der Weltnaturschutzunion (IUCN) sind etwa 20 % der untersuchten Arten in der freien Natur vom Aussterben bedroht, verlässliche Daten liegen allerdings nur für 7 % der Arznei- und Gewürzpflanzen vor [11]. Man schätzt, dass 15.000 Heilpflanzenarten weltweit aufgrund von Lebensraumzerstörung und Übernutzung gefährdet sind [31; 32; 33; 34]. Zum Schutz der bestehenden biogenen Ressourcen wurden daher beispielsweise das Washingtoner Artenschutzabkommen (CITES), welches u.a. den Handel mit Wildpflanzen reguliert, und das UN-NAGOYA-Protokoll, welches zu einem gerechten Vorteilsausgleich (Access and Benefit-Sharing = ABS) und der Einhaltung der Aichi-Biodiversitätsziele beitragen soll, verabschiedet [35; 36]. Internationale Zielvereinbarungen wie diese sind ein Schritt auf dem Weg zu einem nachhaltigeren Umgang mit unseren biogenen Ressourcen, die akuten Probleme bei gleichzeitig steigender Nachfrage können sie allerdings nicht adressieren.

### **Der geschützte Anbau - eine Chance oder: von der Wildsammlung zur Vertical Farm**

Zur Sicherung planbarer Erträge sowie zur Qualitätssicherung und -steigerung wurden die verschiedensten Pflanzen im Laufe der Menschheitsgeschichte gezielt kultiviert und züchterisch

---

verändert. Viele der uns bekannten und im deutschen Anbau vertretenen Arzneipflanzenarten fanden sich bereits in den Kloostergärten des Mittelalters [37], hierzu zählen beispielsweise Thymian, Mariendistel oder Mönchspfeffer. Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) geht für krautige Pflanzen von einer Vorlaufzeit von mindestens fünf Jahren für die Etablierung einer Kultur aus [12; 14; 37].

Entscheidend für den Erfolg dieser Bestrebungen ist das Wissen über Unterschiede der Wildpopulationen und zum Einfluss der Standortbedingungen auf das Inhaltsstoffprofil. Für Arnika montana konnte durch die Analyse von Wirkstoffprofilen und Standorteigenschaften die Bodenbeschaffenheit als entscheidende Einflussgröße für die Qualität des gesammelten Pflanzenmaterials identifiziert werden [27]. Die Nutzung von Genotypisierungsmethoden erlaubt zudem schnelle Fortschritte bei der züchterischen Weiterentwicklung [48]. Gesicherte Daten zu den Faktoren, welche das Wirkstoffprofil an Wildstandorten beeinflussen, liegen nur zu wenigen Pflanzen vor [18]. Dieser Mangel an Wissen erschwert die Inkulturnahme zusätzlich und verzögert die Produktion qualitativ hochwertiger Ware.

In den letzten Jahren gab es dennoch vermehrte Bestrebungen neue Pflanzen in Kultur zu nehmen bzw. ihre Kultur an neue geographische und klimatische Gegebenheiten anzupassen. Die Kapland-Pelargonie (*Pelargonium sidoides*) beispielsweise wurde in Deutschland erfolgreich als Gewächshauskultur etabliert, ihr Wirkstoffprofil und -gehalt ist mit Wildsammlungen vergleichbar [38]. Auch für Rosenwurz (*Rhodiola rosea*) gibt es in Deutschland mittlerweile Anbauflächen im Freiland, siehe **Bild 3**, dennoch stammen die für die Herstellung von Extrakten verwendeten Wurzeln derzeit noch meist aus Wildsammlung in Russland und China. Die gestiegene Nachfrage begünstigt allerdings das Auftauchen anderer Rosenwurz-Arten als Verfälschung im Handel. Daher wird die Ausweitung des kontrollierten Anbaus angestrebt [39]. An einer Adaption für Vertical Farming Systeme wird zudem an der HSWT geforscht [40].



**Bild 3:** links: Anbau von *Rhodiola rosea* im Freiland; rechts: Versuchsanbau von *Rhodiola rosea* an der HSWT.

**Figure 3:** left: Cultivation of *Rhodiola rosea* in the field; right: Experimental cultivation of *Rhodiola rosea* at the HSWT.

Handlungsbedarf besteht über die Inkulturnahme neuer Pflanzen hinaus auch bei der züchterischen Optimierung bereits etablierter Kulturen, der Entwicklung neuer Verfahren bei Ernte, Trocknung und Entwesung sowie der Bekämpfung von Schaderregern. Gerade die Trocknung der Pflanzen stellt aufgrund der Energieintensität einen erheblichen Kostentreiber dar [12; 14].

Zur langfristigen Sicherung von Arzneipflanzen in gleichbleibender Qualität, erscheint darüber hinaus eine Entkopplung der Produktion von äußeren klimatischen Bedingungen sinnvoll. Die Produktion pflanzlicher Rohstoffe für die Pharmaindustrie in Vertical Farming Systemen (VFS) könnte ein Lösungsansatz sein, um den Herausforderungen in den globalen Lieferketten zu begegnen. VFS meint dabei die Kultur von Pflanzen in einem geschlossenen Raum unter Ausschluss der Globalstrahlung und unabhängig von der Witterung in einem mehrlagigen Kultursystem mit geschlossener, hydroponischer Bewässerung und LED-Belichtung. Eine detailliertere Beschreibung kann dem Jahrbuch Agrartechnik 2020 entnommen werden [41].

Die Möglichkeit Indoor-Vertikal-Farming-Systeme weitestgehend geschlossen zu halten, erlaubt es beim Anbau Wasser zu sparen, da das von den Pflanzen durch Transpiration an die Umgebung abgegebene Wasser vollständig zurückgewonnen werden kann und somit im Bewässerungskreislauf verbleibt [43]. Auch ein Auswaschen von Dünger in den Boden kann vollständig unterbunden werden, der Einsatz kann deutlich gezielter und in spezifisch auf den Bedarf angepasster Menge erfolgen. Auf einen Einsatz von chemisch synthetischen Pflanzenschutzmitteln wird in Vertical Farming Systemen vollständig verzichtet [44].

VFS erlaubt durch die hohe Kontrolle über alle Wachstumsbedingungen ein ganzjährig gleichbleibendes und planbares Pflanzenwachstum. Darüber hinaus gilt als großer Vorteil von VFS die Möglichkeit durch die Auswahl des Lichtspektrums, der Photoperiode oder durch den gezielten Einsatz von Stressoren wie Trockenstress das Profil der pflanzlichen Sekundärmetabolite gezielt zu beeinflussen [28; 42]. Der Einfluss der Stressoren unterscheiden sich je nach Pflanzenart, sodass hierzu noch intensive Forschungsarbeit geleistet werden muss [28].

Die Errichtung von VFS kann auf bereits versiegelten Flächen erfolgen, die Systeme sind in ihrer Größe variabel. Darüber hinaus reduziert die Kultivierung der Nutzpflanzen auf mehreren Ebenen die benötigte Grundfläche weiter und könnte so indirekt dem Schutz natürlicher Habitate dienen [44]. Durch den Einsatz von erdelosen Systemen entfällt zudem die Notwendigkeit der aufwändigen Aufreinigung bei der Ernte von Rhizomen und Wurzelstöcken, sowie die damit verbundenen Verluste (Feinwurzeln) bei der Ernte von Wurzelrogen. Auch die Physiologie der Wurzeln kann im Hydroponischen System leichter verändert werden. Die verminderte mechanische Belastung führt zur Ausbildung längerer Wurzeln von geringerer Dichte. Die Einlagerung von Suberin und Lignin ist geringer und die Wurzeln zeigen eine höhere metabolische Aktivität [45; 46].

Der hochgradig geschützte Anbau in VFS erlaubt zudem den Fokus bei der Pflanzenzüchtung zu verschieben hin zu kompakteren Wuchsformen mit optimiertem Inhaltsstoffprofil. Frosttoleranz oder Pathogenresistenz sind in VFS keine ausschlaggebenden Punkte bei der Sortenwahl. Ebenso kann auf die Beikraut Regulierung verzichtet werden, die Gefahr von Kontaminationen, bspw. durch Pflanzen, welche reich an Pyrrolizidinalkaloide sind, besteht in VFS

---

nicht. Die Unabhängigkeit von Wind, Wetter und Boden ermöglicht es VFS überall zu errichten, sodass Transportwege eingespart werden können.

Eine umfassende Prozessüberwachung in VFS bieten in hohem Maß Potential für Automatisierung und stellt einen Vorteil bei der zunehmend gesetzlich geforderten Überwachung der Produktionsabläufe und Handelsströme dar. Auch könnten so die Produktionskosten durch eine Reduktion des manuellen Arbeitsaufwandes gesenkt werden [28; 43].

Den limitierenden Faktor in der Praxis stellt dabei der Energiepreis dar. VFS sind aufgrund des hohen Strombedarfs, welcher vor allem für die künstliche Belichtung, Kühlung und Entfeuchtung aufgewendet werden muss, auf eine konstante und kostengünstige Stromquelle angewiesen, um wirtschaftlich tragfähig zu sein. VFS müssen daher im Kontext ihrer Umgebung und Auslegung betrachtet werden. Durch die Nutzung regionaler, erneuerbarer Energien und die Kopplung von VFS mit Sekundärkreisläufen, die beispielsweise die Abwärme oder verbleibende Reststoffströme nutzen, kann die Effizienz des Gesamtsystems gesteigert werden. CUBES ist ein durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördertes Projekt, welches sich dieser Thematik annimmt und die Kopplung der Produktionssysteme Pflanze, Insekten und Fische betrachtet [47]. Auch die Abwärme, welche durch den Betrieb der VFS entsteht, könnte im Anbau von Arzneipflanzen gezielt für die Trocknung derselben eingesetzt werden. Die Trocknung ist bei der Weiterverarbeitung zu Medikamenten oder Tees unentbehrlich und trägt einen wesentlichen Teil zu den Produktionskosten bei.

Die Produktion von Arzneipflanzen und pflanzlichen Rohstoffen in geschlossenen Kultursystemen stellt derzeit die Ausnahme dar und ist im kommerziellen Stil bisher nur für Medizinalhanf (*Cannabis sativa L*) realisiert. [50 - 52] Begünstigt wird dies, neben den hohen Gewinnmargen, insbesondere durch die gesetzlichen Anforderungen an die Dokumentation der Produktion und die Kontrolle der Inhaltsstoffe. [49] Die Forschung zu den, das Inhaltsstoffprofil beeinflussenden, Faktoren hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht, u. a. konnte der Gehalt an Cannabinoiden durch kontrollierten Trockenstress, den Einsatz von Rhizobakterien oder die Lichtqualität gesteigert werden. [53 - 56] Die Produktion hochwertiger pflanzlicher Rohstoffe in VFS könnte einen wichtigen Beitrag zur Versorgungs- und Produktsicherheit liefern, nicht zuletzt aufgrund der räumlichen und saisonalen Unabhängigkeit. Trotz rückstandsfreier Produktion bei standardisierter Qualität besteht gerade für das Segment der Pharmarohstoffe noch erheblicher Forschungsbedarf im Hinblick auf die Etablierung der Kulturverfahren, zur gezielten Beeinflussung der sekundären Inhaltsstoffe und zum Vergleich der Produktqualitäten aus verschiedenen Anbauverfahren.

### **Aufbau einer Weihenstephaner Forschungsallianz VerticalPharm**

Der Anbau in VFS muss mittelfristig auf sein ökonomisches Potential getestet werden. Hier setzt das geplante Vorhaben zum Aufbau einer Weihenstephaner Forschungsallianz VerticalPharm an. Durch die erstmalige Kooperation der drei Fachbereiche Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik (TUM), Applied Science for Smart Indoor Farming (HSWT) und Arznei- und Gewürzpflanzenbau (LfL) im AgroMissionHub bestehen optimale Voraussetzungen, um

---

das Forschungsfeld der Produktion von Arzneipflanzen, sowie von Pflanzen für die Verarbeitung zu Nahrungsergänzungsmitteln und Kosmetika in VFS aufzubauen und systematisch von der Forschungsfrage bis zur potenziellen Anwendung in der Praxis auf das Niveau der Spitzenforschung zu heben.

Ziel des Vorhabens ist es, innovative und zukunftsfähige Lösungen zur Produktion von pflanzlichen Arzneimittelrohstoffen mit hoher Verfügbarkeit und Sicherheit zu identifizieren. Die Produktion mittels VFS kann zugleich dem Schutz von Wildbeständen bei ganzjährig gleichbleibender Qualität dienen.

Im Rahmen der Projektförderung wurden zunächst zwei Workshops durchgeführt, die hierbei erarbeiteten Ergebnisse dienen als Basis für den aktuellen Austausch mit Experten aus Wissenschaft und Industrie. Die Teilnehmer der Workshops waren dazu aufgerufen, Potentiale, aber auch die Herausforderungen, die sie im Kontext der Nutzung von VFS sehen, zu benennen und nach ihren Kriterien einzuordnen (s. **Bild 4**). Die Perspektive der Teilnehmer wurde dabei deutlich durch die kommenden Herausforderungen des Klimawandels, aber auch die Vermarktbarkeit des Konzepts geprägt. Als wesentliche Vorteile wurden die wetterunabhängige, ganzjährige und in Menge und Qualität planbare Produktion von Pflanzen genannt. Als Vermarktungskriterium wurden die Frische aufgrund kurzer Transportwege und geringer Zwischenverarbeitung hervorgehoben. Die Teilnehmer sahen Potentiale sowohl für die regionale Direktvermarktung bspw. von frischen Kräutern als auch für die Nutzung von VFS an Extremstandorten, wie die arabische Halbinsel (niedrige Energiekosten, Vorteile durch geschlossenen Wasserkreislauf), aber auch nördliche Regionen, in denen niedrige Durchschnittstemperaturen und die im Jahresverlauf schwankende Sonneneinstrahlung den Freilandanbau vieler Kulturen unmöglich machen.

Faktoren wie Wirtschaftlichkeit und Umweltbilanzierung wurden von den Teilnehmern sehr unterschiedlich bewertet. Positiv hervorgehoben wurden die Rückverfolgbarkeit der Produktion und eine gesicherte Supply Chain, da das Ausfallrisiko, sowohl die Menge als auch die Qualität betreffend, verglichen mit Wildsammlungen oder der Freilandproduktion als gering erachtet wurde, ebenso wie das Risiko von Kontaminationen oder Verunreinigungen. Gleichzeitig wurden das noch geringe Know-how möglicher Erzeuger und der bislang nicht vorhandene Markt als Hemmschuhe identifiziert. Die Produktion von Heilpflanzen in VFS setzt eine entsprechende Anschubfinanzierung voraus. Die Wachstumschancen des Marktes hängen neben den Kosten dabei stark von der Wahrnehmung des Kunden ab. So überwiegt bei einigen Teilnehmern die Argumentation der Schonung von Naturflächen und Wildpopulationen und bei anderen die Argumentation des "Natürlichkeitsprinzips".

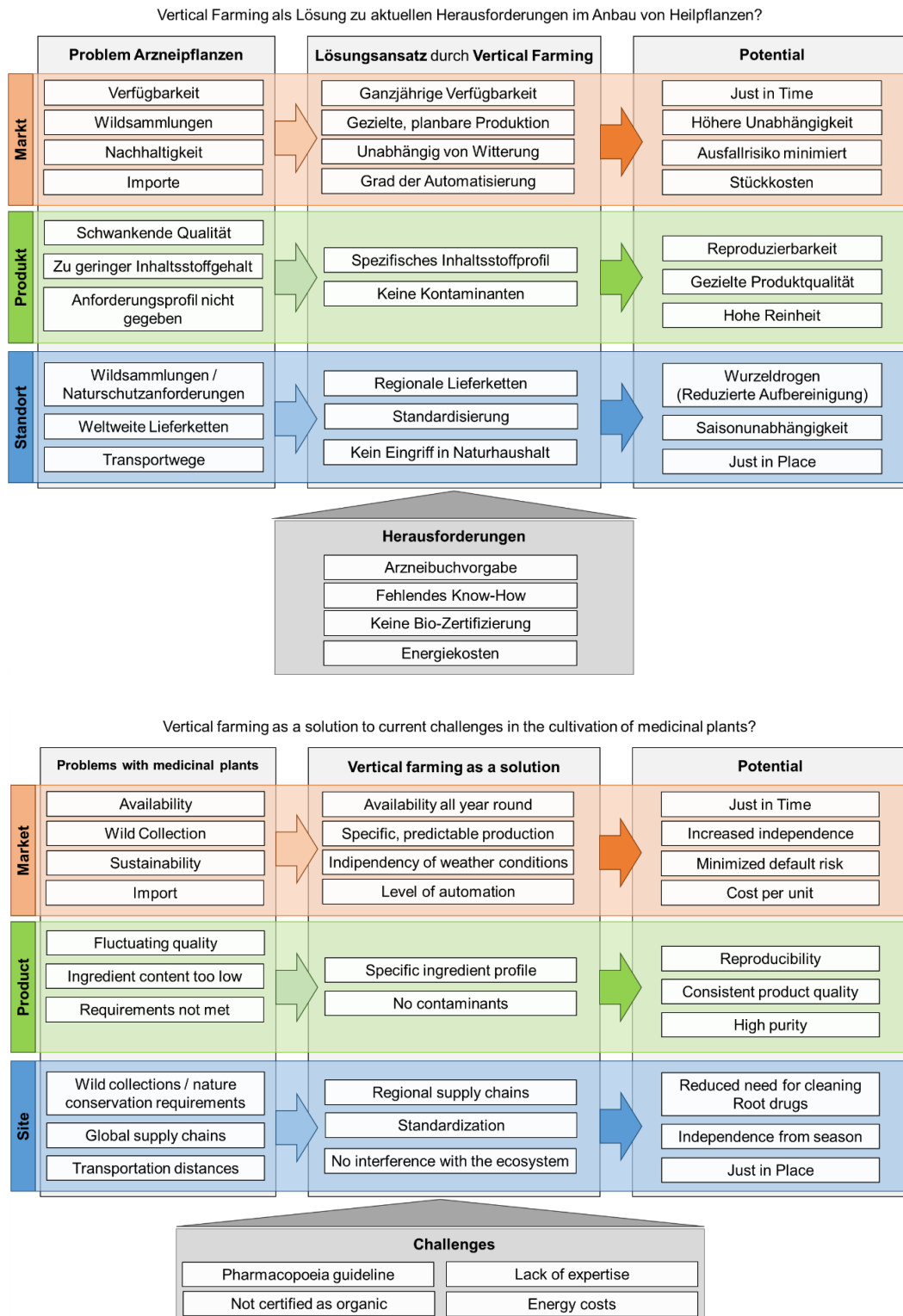


Bild 4: Perspektiven und Herausforderungen des Vertical Farming laut Erhebung.

Figure 4: Perspectives and challenges of Vertical Farming according to the survey.

Einig waren sich die Teilnehmer der Workshops, dass es Potenzial bei Auswahl und Züchtung spezifischer Sorten und Anbauprotokollen gibt. Die Möglichkeit der Automatisierung und auch der Einsatz von GMO in vollständig geschlossenen Kultursystemen wurden ebenfalls diskutiert. Perspektivisch wird sich zeigen, inwieweit die Kosteneinsparungen für Personal die Maschinen- und Energiekosten ausgleichen können bzw. ob Produktions- und Qualitätssteigerungen den Anbau in VFS mittelfristig rentabel gestalten können.

Bei der Nennung spezifischer Pflanzen wurde ein breites Spektrum abgedeckt. Die Möglichkeit der Nutzung frischer Pflanzenextrakte unter Verzicht auf den Prozessschritt der Trocknung und die Produktion von Pflanzen, die derzeit vornehmlich aus Wildsammlungen stammen, bzw. von Pflanzen mit hochpreisigen Inhaltsstoffen und Aromapflanzen dominierten die Aufzählung. Aufgrund rechtlicher Regelungen stellt die Trocknung der Pflanzen für medizinische Zwecke die Norm dar. Der Frischeaspekt ist daher nach aktueller Lage für diesen Wirtschaftszweig zweitrangig. Als medizinische Beispieldpflanze für welche die Frischverarbeitung Vorteile bringen würde, wurde der einjährige Beifuß (*Artemisia annua*) genannt. Das aus ihm gewonnene Artemisin wird zur Behandlung von Malaria eingesetzt.

Durch die Integration von Verbänden der Phytopharmazeutischen und -Chemischen Industrie und deren Mitglieder sollen gezielt relevante Forschungsfragen unter Berücksichtigung der Herausforderungen für die spätere Umsetzung ermittelt und adressiert werden. Das Forschungsprojekt stellt die Wirkungen der Anbau- und Kulturverfahren in VFS auf die sekundären Inhaltsstoffe in den Vordergrund.

### **Acknowledgements**

Das Forschungsvorhaben "VerticalPharm" wird vom Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (StMWK) finanziell unterstützt Als Verbundprojekt im AgroMissionHub kooperieren die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, das Bay. Landesamt für Landwirtschaft (LfL) und die Technische Universität München (TUM) bei der Durchführung; letztere fungiert als Projektträger. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung bei Ivonne Jüttner und Prof. Grüner-Lempart.

### **Literatur**

- [1] Guilbert, J. J.: The world health report 2002 - reducing risks, promoting healthy life. Education for health (Abingdon, England) 16 (2003) H. 2, S. 230.
- [2] Melisch, R.: Eine Frage des Überlebens – Der Handel mit Medizinal- und Aromapflanzen. In: Radloff, J. (Hrsg.): Heilpflanzen – Vom Boom zum Ausverkauf?, Politische Ökologie, Bd. 2007, 108, München: Oekom-Verl. 2007, ISBN: 9783865810816, S. 23-26.
- [3] N.N.: Phytopharmaka und Homöopathika im Apothekenmarkt. URL: IMS Pharmascope - 2007. grafische Aufbereitung: Quintiles IMS. URL - <https://www.iqvia.com/>

- /media/iqvia/pdfs/cese/germany/publikationen/infografik/phytopharmaka-homoepathika-2017-infografik-iqvia.pdf?la=de&hash=83EE162C7BFADE6D7D7796FF14AA09D5517167D0., Zugriff am: 19.12.2023.
- [4] N.N.: Naturheilmittel 2002 – Wichtigste Erkenntnisse aus Allensbacher Trendstudien. 2002.
- [5] Laird, S. A.: Medicinal plants in international trade: conservation and equity issues. In: UNESCO-EOLSS (Hrsg.): Ethnopharmacology, Bd. 2, 2003.
- [6] Schippmann, U. W. E.; Leaman, D.; Cunningham, A. B. A.: Medicinal and aromatic plants – Agricultural, commercial, ecological, legal, pharmacological and social aspects. Wageningen UR Frontis series, Vol. 17, Dordrecht: Springer 2006, DOI: 10.1007/1-4020-5449-1\_6.
- [7] Walter, S.; Wolter, P.: Der Schutz von Heilpflanzen – Von der Ausnahme zur Regel. In: Radloff, J. (Hrsg.): Heilpflanzen – Vom Boom zum Ausverkauf?, Politische Ökologie München, Bd. 2007, 108, München: Oekom-Verl. 2007, ISBN: 9783865810816.
- [8] Brinckmann, Josef: FairWild and ISSC-MAP: Wild collection standards under one roof. Bd. 96, 2009.
- [9] Jenkins, M.; Timoshyna, A.; Cornthwaite, M.: Wild at Home: An overview of the harvest and trade in wild plant ingredients – Wildlife Trade Report from TRAFFIC. Traffic International (Hrsg.), Juni 2018, URL: <https://www.traffic.org/publications/reports/wild-at-home-an-overview-of-the-harvest-and-trade-in-wild-plant-ingredients/>, Zugriff am: 14.01.2024.
- [10] UN Comtrade. URL: <https://comtradeplus.un.org/TradeFlow?Frequency=A&Flows=X&CommodityCodes=1211&Partners=0&Reporters=all&period=2023&AggregateBy=none&BreakdownMode=plus>, Zugriff am: 08.01.2024.
- [11] Timoshyna, A.; Furnell, S.; Harter, D. E.V.: CITES and voluntary certification for wild medicinal and aromatic plants. Bd. 31, 2019.
- [12] Meo Carbon Solutions GmbH: Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe – Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe. Bd. 34, 2014, ISBN: 978-3-942147-18-7.
- [13] Plescher, A.; Grohs, B.; Pforte, L.: Kulturlflächen und Artenvielfalt bei Arznei-, Gewürz-, Aroma-, Diät- und Kosmetikpflanzen in Deutschland im Jahr 2011. Zeitschrift Arznei-Gewürzpflanzen (2014) H. 19, S. S.127–130.
- [14] Forschungsvereinigung der Arzneimittel-Hersteller e. V.: ARZNEIPFLANZEN – Anbau und Nutzen. 3. Auflage, 2013.
- [15] Vögtli, A.: PharmaWiki - Phytopharmaka. URL: <https://www.pharmawiki.ch/wiki/index.php?wiki=Phytopharmaka>, Zugriff am: 11.01.2024.
-

- [16] Bundesministerium für Justiz: Arzneimittelgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. Dezember 2005 (BGBl. I S. 3394), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 197) geändert worden ist – AMG.
- [17] N.N.: Verfahren der Registrierung traditioneller pflanzlicher Arzneimittel gemäß § 39a ff. AMG – Fragen und Antworten. BfArM, URL: [https://www.bfarm.de/SharedDocs/Downloads/DE/Arzneimittel/Zulassung/zulassungsarten/besTherap/amTrad/TradAM\\_FAQ.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bfarm.de/SharedDocs/Downloads/DE/Arzneimittel/Zulassung/zulassungsarten/besTherap/amTrad/TradAM_FAQ.pdf?__blob=publicationFile), Zugriff am: 12.01.2024.
- [18] Applequist, W. L.; Brinckmann, J. A.; Cunningham, A. B.; Hart, R. E.; Heinrich, M.; Katerere, D. R.; van Andel, T.: Scientists' Warning on Climate Change and Medicinal Plants. *Planta medica* 86 (2020) H. 1, S. 10-18.
- [19] HPMC: Public statement on the use of herbal medicinal products containing toxic, unsaturated pyrrolizidine alkaloids (PAs). URL: EMA - HPMC: Public statement on the use of herbal medicinal products containing toxic, unsaturated pyrrolizidine alkaloids (PAs)., Zugriff am: 30.01.2024.
- [20] Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte: zur Prüfung des Gehalts an Pyrrolizidinalkaloiden zur Sicherstellung der Qualität und Unbedenklichkeit von Arzneimitteln, die pflanzliche Stoffe bzw. pflanzliche Zubereitungen oder homöopathische Zubereitungen aus pflanzlichen Ausgangsstoffen als Wirkstoffe enthalten. URL: [https://www.bfarm.de/SharedDocs/Bekanntmachungen/DE/Arzneimittel/besTherap/bm-besTherap-20160301-pa-pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bfarm.de/SharedDocs/Bekanntmachungen/DE/Arzneimittel/besTherap/bm-besTherap-20160301-pa-pdf.pdf?__blob=publicationFile), Zugriff am: 30.01.2024.
- [21] Bundesministerium für Justiz: Verordnung über Nahrungsergänzungsmittel – (Nahrungsergänzungsmittelverordnung - NemV).
- [22] Bundesinstitut für Risikobewertung: Neuartige Lebensmittel (Novel Food). URL: [https://www.bfr.bund.de/de/neuartige\\_lebensmittel\\_\\_novel\\_food\\_-215.html](https://www.bfr.bund.de/de/neuartige_lebensmittel__novel_food_-215.html), Zugriff am: 01.02.2024.
- [23] Verbraucherzentrale.de: Arzneipflanzen – im Nahrungsergänzungsmittel praktisch ohne Wirkung | Verbraucherzentrale.de. URL: <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/lebensmittel/nahrungsergaenzungsmittel/arzneipflanzen-im-nahrungsergaenzungsmittel-praktisch-ohne-wirkung-84825>, Zugriff am: 14.01.2024.
- [24] Lange, D.: Europe's medicinal and aromatic plants: their use, trade and conservation. Traffic International (Hrsg.), 1998, URL: [http://www.trafficj.org/publication/98\\_Europe's\\_Medicinal\\_and\\_Aromatic\\_Plants.pdf](http://www.trafficj.org/publication/98_Europe's_Medicinal_and_Aromatic_Plants.pdf).
- [25] Luick, R.: Sachbericht zum Verwendungsnachweis – Wildsammlungen von Pflanzen und ihre ökonomische Bedeutung für den Medizin- und Gesundheitssektor (PharmaPlants). Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg (Hrsg.), Mai 2023, URL: <https://www.hs->
-

- rottenburg.net/fileadmin/user\_upload/Forschung/Forschungsprojekte/Management/pharmaplants/Schlussbericht\_PharmaPlants\_Mai\_2023.pdf, Zugriff am: 08.01.2024.
- [26] Baumflek, M.; DeGloria, S.; Kassam, K.-A.: Habitat modeling for health sovereignty: Increasing indigenous access to medicinal plants in northern Maine, USA. *Applied Geography* 56 (2015), S. 83-94.
- [27] Greinwald, A.; Hartmann, M.; Heilmann, J.; Heinrich, M.; Luick, R.; Reif, A.: Soil and Vegetation Drive Sesquiterpene Lactone Content and Profile in *Arnica montana* L. Flower Heads From Apuseni-Mountains, Romania. *Frontiers in plant science* 13 (2022), S. 813939.
- [28] van Delden, S. H.; SharathKumar, M.; Butturini, M.; Graamans, L. J. A.; Heuvelink, E.; Kacira, M.; Kaiser, E.; Klamer, R. S.; Klerkx, L.; Kootstra, G.; Loeber, A.; Schouten, R. E.; Stanghellini, C.; van Ieperen, W.; Verdonk, J. C.; Violet-Chabrand, S.; Woltering, E. J.; van de Zedde, R.; Zhang, Y.; Marcelis, L. F. M.: Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems. *Nature food* 2 (2021) H. 12, S. 944-956.
- [29] Francas, D.: Pharmazeutische Lieferketten und globale Wirkstoffproduktion: Übersicht und Analyse der möglichen Auswirkungen des Coronavirus (Covid-19) auf die Arzneimittelversorgung (Rev 1). 2020.
- [30] Ventola, C. L.: The drug shortage crisis in the United States: causes, impact, and management strategies. *P & T : a peer-reviewed journal for formulary management* 36 (2011) H. 11, S. 740-757.
- [31] Kathe, W.; Honnef, S.; Heym, A.: Medicinal and aromatic plants in Albania, Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Croatia and Romania : a study of the collection of and trade in medicinal and aromatic plants (MAPs), relevant legislation and the potential of MAP use for financing nature conservation and protected areas. Deutschland / Bundesamt für Naturschutz 2003.
- [32] Hamilton, A. C.: An evidence-based approach to conservation through medicinal plants. Bd. 14, 2011.
- [33] Kathe, W.: The new FairWild standard - a tool to ensure sustainable wild-collection of plants (2011).
- [34] Kaden, M.: Heilpflanzen schützen. *NATUR & HEILEN* (2011).
- [35] Bundesamt für Naturschutz: Regelungen (2021). URL: <https://www.bfn.de/regelungen>, Zugriff am: 08.01.2024
- [36] N.N.: Nagoya Protocol on access to genetic resources and the fair and equitable sharing of benefits arising from their utilization to the convention on biological diversity – Text and annex. 2011, ISBN: 92-9225-306-9.
- [37] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: Arzneipflanzenproduktion. URL: <https://pflanzen.fnr.de/industriepflanzen/arzneipflanzen/arzneipflanzenproduktion/>, Zugriff am: 13.12.2023.
-

- [38] White, A. G.; Davies-Coleman, M. T.; Ripley, B. S.: Measuring and optimising umckalin concentration in wild-harvested and cultivated *Pelargonium sidoides* (Geraniaceae). *South African Journal of Botany* 74 (2008) H. 2, S. 260-267.
- [39] Schneider, E.: *Rhodiola rosea*, die Rosenwurz. *Deutsche Apotheker Zeitung* 2006 H. 13.
- [40] Itri, E.; Stabl, A.; Wittmann, S.; Jüttner, I.; Grüner-Lempart, S.; Mempel, H.: *Rhodiola rosea*: Potenzial des Anbaus in einem vertikalen Indoor Farming System zur Verbesserung der Produktion bioaktiver Substanzen (2023).
- [41] Wittmann, Sabine; Jüttner, Ivonne; Spence, Marvin; Mempel, Heike: Indoor Vertical Farming: konsequente Weiterentwicklung des geschützten Anbaus. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2020*. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2021. – S. 1-15
- [42] Wittmann, S.; Jüttner, I.; Mempel, H.: Indoor Farming Marjoram Production—Quality, Resource Efficiency, and Potential of Application. *Agronomy* 10 (2020) H. 11, S. 1769.
- [43] Mempel, H.; Jüttner, I.; Wittmann, S.: The potentials of indoor farming for plant production. *at - Automatisierungstechnik* 69 (2021) H. 4, S. 287-296.
- [44] Mempel, H.; Spence, M.: Indoor Vertical Farming – Eine wichtige Säule für nachhaltige Landwirtschaft im urbanen Raum. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (Hrsg.), *Nodium - Beitrag zum 14. Weihenstephaner Forum 2021*.
- [45] Volder, Astrid; van Iersel, Marc: Root Growth, Physiology, and Potential Impact of Soilless Culture on Their Functioning. DOI: 10.1016/B978-0-444-63696-6.00002-5. In: Raviv, M.; Lieth, J. H.; Bar-Tal, A. (Hrsg.): *Soilless culture – Theory and practice*, London, San Diego, Cambridge, MA, Oxford: Academic Press 2019, S. 15-32.
- [46] A. Goodman; A. R. Ennos: The Effects of Mechanical Stimulation on the Morphology and Mechanics of Maize Roots Grown in an Aerated Nutrient Solution. *INTERNATIONAL JOURNAL PLANT SCIENCES* (2001).
- [47] CUBES Circle | Future Food Production. URL: <https://cubescircle.de/>, Zugriff am: 31.01.2024.
- [48] Geyer, R.; Eickmeyer, F.; Rettig, M.; Heelemann, S.; Kirchhöfer, R.: Bedeutung einer effizienten Charakterisierung pflanzlicher Extrakte für die Züchtung und den Übergang von der Wildsammlung zum kontrollierten Anbau. *Julius-Kühn-Archiv* 460 (2018).
- [49] Butturini, M.; Marcelis, L. F.M.: Vertical farming in Europe, S. 77-91.
- [50] Fleming, H., Chamberlain, Z., Zager, J. J., & Lange, B. M.: Controlled environments for cannabis cultivation to support “omics” research studies and production. *Methods in Enzymology* (2023) Vol. 680, S. 353-380
-

- [51] Zheng, Y. (Hrsg). Handbook of cannabis production in controlled environments. CRC Press. (2022).
- [52] Malík, M., Velechovský, J., & Tlustoš, P.: The overview of existing knowledge on medical cannabis plants growing. *Plant, Soil and Environment*, (2021). 67(8), S. 425-442.
- [53] Caplan, D.; Dixon, M.; Zheng, Y.: Increasing Inflorescence Dry Weight and Cannabinoid Content in Medical Cannabis Using Controlled Drought Stress. *HortScience* 54 (2019) H. 5, S. 964-969.
- [54] Pagnani, G.; Pellegrini, M.; Galieni, A.; D'Egidio, S.; Matteucci, F.; Ricci, A.; Stagnari, F.; Sergi, M.; Lo Sterzo, C.; Pisante, M.; Del Gallo, M.: Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in Cannabis sativa 'Finola' cultivation: An alternative fertilization strategy to improve plant growth and quality characteristics. *Industrial Crops and Products* 123 (2018), S. 75-83.
- [55] Morello, V.; Brousseau, V. D.; Wu, N.; Wu, B.-S.; MacPherson, S.; Lefsrud, M.: Light Quality Impacts Vertical Growth Rate, Phytochemical Yield and Cannabinoid Production Efficiency in Cannabis sativa. *Plants* 11 (2022) H. 21, S. 2982.
- [56] Zandkarimi, F.; Decatur, J.; Casali, J.; Gordon, T.; Skibola, C.; Nuckolls, C.: Comparison of the Cannabinoid and Terpene Profiles in Commercial Cannabis from Natural and Artificial Cultivation. *Molecules* 28 (2023) H. 2, S. 833.

### **Autorendaten**

Prof. Dr. Heike Mempel ist Professorin für Technik im Gartenbau und Qualitätsmanagement und leitet das Applied Science Centre for Smart Indoor Farming an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.

Dr. Timo D. Stark ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik der TU München.

Dr. Heidi Heuberger ist Projektleiterin der Arbeitsgruppe für Kulturpflanzenvielfalt - Arznei- und Gewürzpflanzen und Pflanzengenetische Ressourcen am bayrischen Landesamt für Landwirtschaft (LfL).

M.Sc. Sabine Wittmann ist Doktorandin an der Hochschule Weihenstephan Triesdorf im Team von Prof. Mempel.

M.Sc. Viktoria Schyma ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Projekt VerticalPharm in der Arbeitsgruppe von Prof. Mempel.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Wissenschaftliches Review / Scientific Review**

Erfolgreiches Review am 27.02.2024

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Schyma, Viktoria; Wittmann, Sabine; Heuberger, Heidi; Stark, Timo; Mempel, Heike: Pflanzliche Rohstoffe mit besonderen Inhaltsstoffen aus der Vertical Farm - Chance oder Utopie? In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-18

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171549-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/gewaechshaustechnik.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Technik in der Schweinehaltung**

Svenja Opderbeck, Johanna Grossklos-Bumbalo, Eva Gallmann

### **Kurzfassung**

Die gesellschaftlichen und politischen Anforderungen an die Schweinehaltung steigen und haben einen bedeutsamen strukturellen und baulichen Transformationsprozess angestoßen. Die Anforderungen zahlreicher Tierwohl-Label sowie Ergebnisse von Befragungen zeigen, dass ein erhöhtes und strukturiertes Platzangebot sowie der Zugang zu Außenklima zukünftig zum neuen Standard in der Schweinehaltung werden. Bewertet man aktuelle Tierhaltungssysteme hinsichtlich ihrer Zukunftsfähigkeit, ist neben Tierwohl vor allem Umweltschutz von großer Bedeutung und daher Gegenstand aktueller Forschung. Auch die Digitalisierung ist für die Zukunft der Schweinehaltung unumgänglich. Im Rahmen aktueller Forschung steht unter anderem die Digitalisierung der Tierwohl-Kontrolle im Fokus. Hier wird vor allem am Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) im und um den Stall sowie für die Gesundheitsüberwachung von Schweinen geforscht.

### **Schlüsselwörter**

Schweinehaltung, Mastschweine, Tierwohl, Umweltschutz, Digitalisierung

## **Machinery and Techniques for Pig Husbandry**

Svenja Opderbeck, Johanna Grossklos-Bumbalo, Eva Gallmann

### **Abstract**

The social and political demands on pig farming are increasing and have triggered a significant structural and buildings transformation process. The requirements of numerous animal welfare labels and the results of surveys show that increased and structured space and access to an outdoor climate appear to be the new standard in pig farming in the future. When evaluating current animal husbandry systems in terms of their future viability, in addition to animal welfare, environmental protection is of great importance and is therefore the subject of current research. Digitalization is also essential for the future of pig farming. Current research focuses, among other things, on the digitalization of animal welfare monitoring. Research here primarily focuses on the use of artificial intelligence (AI) in and around the stable as well as for the health observation of pigs.

### **Keywords**

Pig husbandry, fattening pigs, animal welfare, environment, digitalization

### **Wie wird die Schweinemast wahrgenommen und wie entwickelt sie sich?**

In den Jahren 2022 und 2023 wurde eine deutschlandweite Online-Bürgerbefragung (n = 2204 und n= 2000; Teilstichprobe Mastschweine n= 500) zum Thema Tierhaltung durchgeführt [1]. Die Ergebnisse zeigen, dass über die Hälfte der Befragten davon ausgeht, dass Mastschweine nicht genug Platz und nicht genug Zugang ins Freie haben, die Ernährung nicht dem entspricht, was Schweine natürlicherweise fressen, der Boden in Mastschweineställen nicht eingestreut ist und die Anzahl der Tiere pro Betriebe zu hoch ist. 95 % der Befragten sind der Ansicht, dass sich alle gesellschaftlichen Gruppen für das Thema Tierwohl einsetzen sollten. Dabei liegt mit über 50 % der Fokus auf den Landwirtinnen und Landwirten, während nur knapp 40 % die Politik bzw. den Staat und 30 % die Nicht-Regierungsorganisationen im Fokus sehen. Knapp 30 % der Befragten denken, dass in Sachen Tierwohl Handlungsbedarf besteht und über 25 % sind der Meinung, dass dies auch für die Verbraucher gilt.

Auch eine Umfragestudie mit 1038 Antwortenden von Schütz et al. [2] zeigt die steigenden Anforderungen der deutschen Bevölkerung an die Schweinehaltung. Hierbei wurde die „Freilandhaltung“ am höchsten, gefolgt von „Innenhaltung mit Stroheinstreu und Zugang ins Freie“, „Innenhaltung mit Stroheinstreu“ und „Innenhaltung mit Vollspaltenboden“ eingestuft. Jedoch war die Haltung auf Vollspaltenboden für viele nicht akzeptabel. Seitens des Gesetzgebers spiegeln sich die höheren Anforderungen in Änderungen der Tierschutznutztierhaltungsverordnung oder der Einführung des Gesetzes zur verpflichtenden Tierhaltungskennzeichnung wider[3]. Durch die Einführung der Tierhaltungskennzeichnung im August 2023 soll zudem mehr Transparenz in Bezug auf die Haltungsform der Tiere geschaffen werden. Es soll die Verbraucherinnen und Verbraucher bei einer bewussteren Kaufentscheidung unterstützen. Die Tierhaltungskennzeichnung umfasst die fünf Haltungsstufen: Stall, Stall+Platz, Frischluftstall, Auslauf/Weide und Bio. Zur Einordnung: Im Jahr 2020 waren in Realität noch knapp 96 % der Schweinestallplätze auf Vollspalten- bzw. Teilspaltenboden, bei Sauen rund 93 % und bei den übrigen Schweinen gut 96 %. Nur rund 1 % der Haltungsplätze der Schweine mit einem Zugang zu einem Auslauf versehen und etwa 4 % der Stallplätze durch einen Außenklimastall gekennzeichnet [4].

Diese Entwicklungen und unzureichende Erlöse stellen die Betriebe vor viele Herausforderungen und tragen zum Rückgang des Schweinebestandes bei, der sich auch 2023 weiter fortsetzt. Mit 20,9 Millionen (Stand Mai 2023) wurden 2023 in Deutschland 6,2 % (1,39 Mio.) weniger Schweine gehalten als im Vorjahr. In den letzten 10 Jahren ist in Deutschland die Anzahl der Schweine um 24,3 % (2013: 27,7 Mio.) und die Anzahl schweinehaltender Betriebe sogar um 42,3 % (2013: 28 100; 2023: 16 200) gesunken. Im Bereich der Schweinemast (ab 50 kg) ist der Bestand um 20,4 % (2013: 12,2 Mio.; 2023 9,7 Mio.) und die Anzahl an Betrieben um 43,0 % (2013: 23 800; 2023: 13560) zurück gegangen [4; 5].

### **Wie sieht die Schweinemast der Zukunft aus?**

Betrachtet man die gesellschaftlichen und politischen Anforderungen an die Schweinehaltung wird deutlich, dass die konventionelle Schweinehaltung sich in den nächsten Jahren vor allem

im Hinblick auf Tierwohl und Umweltschutz verändern muss. Sowohl die rechtlichen Anforderungen, sowie die Anforderungen zahlreicher Tierwohl-Label aber auch die Ergebnisse der Befragungen zeigen, dass ein erhöhtes Platzangebot sowie Zugang zu Außenklima zukünftig in der Schweinehaltung als neuer Standard angesehen werden.

Eine optimierte Gestaltung des Auslaufs bietet den Schweinen die Möglichkeit die Funktionsbereiche Aktivität, Ruhen, Thermoregulation sowie Ausscheidung einfacher zu trennen und kann zudem die Umweltwirkung verbessern [6 - 8]. Die Möglichkeit einen Auslauf nachträglich an einen Stall anzubauen, sowie Haltungssysteme mit innen oder außen liegenden Ausläufen werden beispielsweise auf Haus Düsse untersucht [9; 10]. Hierbei soll vor allem die Wirkung auf das Tierwohl und Verhalten von Mastschweinen, sowie die Emissionen des Stalls untersucht werden. Eine Untersuchung von Höne et al. [11] zeigt unter anderem, dass Mastschweine einen Auslauf hauptsächlich tagsüber und zu 99,4 % als Kotbereich nutzen, was zu einer Verringerung der durch Kot verschmutzten Oberfläche und damit der Umweltbelastung führen kann. Die Installation einer Dusche kann den Hitzestress reduzieren und die Nutzung des Auslaufs auch bei hohen Temperaturen verbessern [12]. Auch im Stall kann eine Dusche zu mehr Tierwohl durch eine verbesserte Strukturierung der Bucht und zu geringeren Ammoniakemissionen führen [13]. Durch das Angebot eines Auslaufs kann zudem das Platzangebot erhöht werden ohne die Tierzahl zu verringern. Dieses erhöhte Platzangebot kann dazu führen, dass die Schweine weniger Konflikte austragen müssen, was zu einer Reduktion von Körperläsionen führte [14].

Auch ohne das Angebot eines Auslaufs oder andere bauliche Änderungen kann eine Erhöhung des Platzangebots das Tierwohl in bestehenden Ställen verbessern [15]. Da vor allem die bestehenden konventionellen Warmställe zunehmend in der Kritik stehen, hat die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft im Rahmen des Projektes "EvoPigStable" weiter- und umbaufähige Haltungssysteme für Mastschweine entwickelt. Die untersuchten Umbaumöglichkeiten für Warmställe beinhalteten unter anderem ein erhöhtes Platzangebot, Einbringen von Einstreu und Außenklimareiz über die Öffnung der Außenwände bzw. den Anbau eines Auslaufs [16]. Insgesamt ist eine Verbesserung der Buchtenstruktur mit oder ohne Außenklima eine gute Möglichkeit das Tierwohl in der Schweinemast zu verbessern. Die bisherigen Erkenntnisse zu den einzelnen Funktionsbereichen und einer optimalen Buchtenstruktur in Mastschweinställen wurden in verschiedenen Formaten veröffentlicht [17 - 19].

Auch die Beurteilung verschiedener bestehender Haltungssysteme von Mastschweinen sind Inhalt aktueller Forschung. Seibt et al. [20] erstellten einen Kriterienkatalog anhand dessen beurteilt wurde, inwieweit Haltungssysteme die Voraussetzungen für ein verbessertes Tierwohl bieten. Henning-Pauka und Altrock [21] geben einen Überblick über die bestehenden Haltungsverfahren von Schweinen, fassen grundlegende Anforderungen an diese zusammen und überprüfen die Beurteilungsprinzipien von Haltungssystemen.

Bewertet man Tierhaltungssysteme hinsichtlich ihrer Zukunftsfähigkeit ist neben Tierwohl vor allem Umweltschutz von großer Bedeutung. Zum Beispiel führt mehr Platz zu einer Vergrößerung der potentiell verschmutzbaren und dann emittierenden Fläche. In frei gelüfteten Haltungssystemen entfällt im Regelfall die Möglichkeit einer Abluftreinigung. Dies bedeutet, dass

die Betriebe auch vor der Herausforderung stehen, Maßnahmen umzusetzen, die die Emissionen und Immissionen reduzieren. Jedoch sind diese Maßnahmen teilweise noch nicht ganz ausgereift und müssen noch weiter erforscht werden [22]. Ein Ansatz die Emissionen zu verringern ist es, die Verschmutzung der Bodenflächen im Stall durch eine optimierte Buchtenstruktur zu minimieren. Eine erhöhte Luftgeschwindigkeit im Liegebereich bei Schweinen während der Sommerperiode kann zu einer Reduzierung der Ammoniakkonzentration um 21 % führen, ebenso stellten die Autoren teilweise, aber nicht durchgehend, geringere Emissionen in den Abteilen mit erhöhter Luftgeschwindigkeit fest [23]. Eine Kühlung der Liegefläche hat nicht nur das Potenzial Hitzestress zu verringern sondern kann auch zu einer geringeren Verschmutzung der Oberfläche führen [24]. Auch das Anbringen einer Dusche im Spaltenbereich kann die Verschmutzung und damit die Ammoniakemission um bis zu 45% reduzieren [13]. Hinsichtlich der Geruchsemission zeigt eine Studie mittels Polaritätenprofilen, dass das Belästigungspotenzial durch Mastschweine in alternativer Haltung mit Auslauf als Außenklimareiz sowie mit Einstreu (Stroh) im Vergleich zu konventionellen Haltungsformen geringer ist [25]. Wolf et al. [26] zeigen, dass auch die Ammoniakemissionen von Mastschweineeställen mit Auslauf nicht schlechter zu bewerten sind als die von zwangsgelüfteten Ställen.

### **Digitalisierung im Schweinestall - was ist möglich?**

Die Digitalisierung durchdringt bereits weite Teile der landwirtschaftlichen Praxis. Der Fokus zahlreicher Projekte liegt auf dem Thema Künstliche Intelligenz (KI). Diese findet ihren Einsatz unter anderem im Monitoring verschiedenster Parameter im und um den Stall und zur Gesundheitsvorsorge von Schweinen. Ein Auszug aktueller Projekte wird in **Tabelle 1** dargestellt.

Die Firma Möller bietet beispielsweise einen Messkoffer zur Erfassung der Luftqualität im Stall an [27]. Das Konzept nennt sich "Climate 24/7". Es werden mittels einer neuen Datenerfassungstechnik Langzeitmessungen der Temperatur, der relativen Luftfeuchte, NH<sub>3</sub> und CO<sub>2</sub> durchgeführt. Die Daten können in Echtzeit analysiert und interpretiert werden und stehen zur Beurteilung somit direkt zur Verfügung. Durch die Erfassung von Stallklimadaten und der regelmäßigen Untersuchung der Schweine kann der Kenntnisstand zu den Tieren und die Haltungsbedingungen verbessert werden. Die Sensordaten können die Eigenkontrolle unterstützen sowie die frühzeitige Erkennung von Fehlversorgungen, Schwachstellen, Grenzwertüberschreitung etc. unterstützen.

Ebenfalls am Markt erhältlich ist der Husten-Monitor "SoundTalks" der Firma Böhlinger Ingelheim, der 2022 mit dem Animal Welfare Award der DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) gemeinsam mit dem bpt (Bundesverband der praktizierenden Tierärzte) ausgezeichnet wurde [28]. Er soll den respiratorischen Gesundheitsstatus anhand der Hustenerkennung mittels Mikrofonen und einer KI-Anwendung permanent analysieren sowie Stalltemperatur und Luftfeuchte messen. Das System soll Atemwegsleiden mit Husten bis zu 5 Tage früher erkennen als im Rahmen einer routinemäßigen Tierkontrolle. Dadurch kann ein frühzeitiger Behandlungsbeginn umgesetzt werden, was zu einer verbesserten Bestandsgesundheit, einer optimierten Produktivität und einer effektiveren Arbeitszeitgestaltung des Betriebes beitragen kann.

**Tabelle 1:** Auszug aktueller Forschungsprojekte zum Thema Digitalisierung in der Schweinehaltung.

**Table 1:** Excerpt from current research projects on the topic of digitalization in pig farming.

<b>Entwicklung</b>	<b>Anwendung</b>	<b>Literatur</b>
Experimentierfelder - DigiSchwein	Digitale Assistenzsysteme	[31]
Experimental Fields - DigiPig	Digital assistance systems	
DigiSchwein	Entwicklung kamerabasierter Assistenzsysteme in der Schweinehaltung auf Basis von Künstlicher Intelligenz	[32]
DigiPig	Development of camera-based assistance systems in pig farming based on artificial intelligence	
DigiSchwein	Wassermonitoring bei Sauen im peripartalen Zeitraum	[33]
DigiPig	Monitoring water intake of sows in the peripartum period	
DigiSchwein	Entwicklung eines automatischen Monitoringsystems für die Geburtsüberwachung bei Sauen	[34]
DigiPig	Development of an automatic observation system for birth monitoring of sows	
SmartPigProduction	Verbesserung von Tiergesundheit und Wettbewerbsfähigkeit durch den Einsatz von 4.0 Sensortechnik	[27]
	Improving animal health and competitiveness by the use of 4.0 sensor technology	
SmartTail (EIP)	Früherkennung von Schwanzbeißen mit Hilfe einer KI auf Basis von Sensortechnik	[35]
	Early detection of tail biting with the help of AI (artificial intelligence) based on sensor technology	
SoundTalks	Hustenmonitoring	[28]
	Cough monitoring	
SmartAgriHubs	SmartPigHealth	[29]
UHF RFID	Walking Activity Pigs	[30]

Nienhoff et al. [29] fanden heraus, dass Digitalisierung in Form einer Echtzeit-Daten-Bereitstellung in der Schweinehaltung zu einem verbesserten Situationsbewusstsein von Tierhaltern und weiterer Beteiligten führen kann und so ein früheres Eingreifen bei gesundheitlichen Problemen der Tiere ermöglicht. In diesem Projekt "SmartAgriHubs" wurden zahlreiche Sensoren sowie die Tiergesundheit untersucht, um ein Vorhersagemodell zur Einschätzung der Tiergesundheit zu entwickeln.

In einer Studie von Kapun und Adrion [30] stellte sich heraus, dass eine Erfassung der Laufwege von Mastschweinen mittels UHF-RFID Technologie mit speziellen Ohrmarken präziser sein kann als eine Direktbeobachtung durch eine Person. Veränderungen im Bewegungsverhalten von Mastschweinen können auf gesundheitliche Probleme hinweisen. Eine Überwachung der Tiere mittels UHF-RFID bietet das Potenzial einer Früherkennung von Risikofaktoren hinsichtlich der Tiergesundheit.

Mit einer der größeren Herausforderungen im Kontext von Bildanalysen in der Schweinehaltung beschäftigen sich Fruhner et al. [35]. Die Autoren entwickelten ein KI-System zur Erkennung von verschiedenen Tieren in einem Stall, um diese anschließend durch einen geeigneten Marker zu identifizieren. Verschiedene Markierungstechniken zeigen hierbei unterschiedliche Erfolgsquoten, wobei Ohrmarken mit aufgedruckten Data-Matrix-Codes in diesen Versuchen die besten Resultate bei der Wiedererkennung einzelner Tiere lieferten. Dies bietet Potential für weiterführende Forschungsfragen wie beispielsweise dem Aktivitätstracking und einer Täter-Opfer-Erkennung. Des Weiteren soll an einer Re-Identifikations-KI gearbeitet werden, so dass man keinerlei Markierung der Tiere mehr benötigt.

Das Experimentierfeld DigiSchwein im Rahmen der vom BMEL geförderten "Digitale Experimentierfelder - ein Beitrag zur Digitalisierung in der Landwirtschaft" beschäftigt sich mit unterschiedlichen Ansätzen, die Schweinehaltung zu digitalisieren und dessen Nutzen für die Praxis zu bewerten. Es gibt bereits zahlreiche Sensoren und Assistenzsysteme am Markt, die Daten zum Stallklima, der Umwelt und den Tieren selbst sammeln. Ziel dieser Erfassung von Parametern rund um die Tiere und das Stallklima ist es, langfristig das frühzeitige Einschreiten von Betriebsleiterinnen und Betriebsleitern zu ermöglichen, bevor gravierende gesundheitliche Probleme der Tiere auftreten. Hierzu müssen die Daten allerdings verarbeitet und möglichst in Echtzeit interpretiert werden, um Veränderungen und Auffälligkeiten feststellen zu können.

Ziel des Projektes DigiSchwein ist die Entwicklung eines solchen Echtzeit-Monitorings zur Früherkennung gesundheitlicher Probleme. Es werden bereits marktübliche Assistenzsysteme auf ihre Praxistauglichkeit geprüft sowie weitere evtl. kombinierte Einsatzmöglichkeiten zur Früherkennung von Fehlverhalten wie beispielsweise dem Schwanzbeißen untersucht. All diese Daten laufen in einer Projektmanagementplattform zusammen, in der sie mittels moderner Big Data Analyseverfahren aus dem Bereich der KI bzw. der Data Science analysiert werden. Schließlich soll als Output ein Farmmanagement-System entwickelt werden, welches Einzug in die Praxis finden soll. In Folgeprojekt sollen die gesammelten Daten im Feld validiert werden, um die Praxistauglichkeit zu prüfen. Hinsichtlich der Gesundheitsüberwachung und des Monitorings zahlreicher Stallklimaparameter wäre eine Digitalisierung eine enorme Zeiterparnis im Vergleich zur Eigenkontrolle durch die Betriebsleiterin oder den Betriebsleiter [31].

Laut Witte und Gómez [32] scheint ein Schlüssel zur Digitalisierung die Kombination möglichst vieler Sensoren und Assistenzsysteme (zum Beispiel Videoüberwachung) zu sein, da dadurch mehr Informationen bereitgestellt werden können und vor allem die Kombination dieser Informationen aufschlussreich sein kann. Die Kombination von digitaler Bildverarbeitung und KI kann beispielsweise zur automatischen Erkennung strukturierter Informationen aus unstrukturierten Videodaten genutzt werden. In dieser Untersuchung konnte eine KI die Lage von Mastschweinen (liegend oder nicht liegend) und deren Schwanzhaltung (hängend oder aufrecht) erkennen. Dies lässt Potenziale zur Früherkennung von Schwanzbeißen zu. Die Kombination einer solchen KI und einer Videoüberwachung kann zum Aktivitäts- sowie Gesundheitsmonitoring und der Gewichtserkennung von Schweinen mittels Videoanalyse oder zur Erkennung von aggressivem Verhalten und Verletzungen beitragen.

In der Sauenhaltung ist der Geburtsverlauf von größter Bedeutung, um eventuelle Verluste vermeiden zu können. Eine Digitalisierung der Geburtsüberwachung wäre daher ein enormer Zugewinn hinsichtlich Arbeitswirtschaft, Tierwohl und Produktivität.

Die Wasseraufnahme und die Bewegungsaktivität von Sauen im peripartalen Zeitraum sind wichtige Parameter zur Beurteilung der Gesundheit und des Geburtszeitraumes. Probst et al. [33] stellten in einer Studie fest, dass das Monitoring der Wasseraufnahme um den Zeitpunkt der Geburt Potenzial besitzt, den Beginn der Geburt sowie mögliche gesundheitliche Probleme von Sauen zu identifizieren. Wolgast et al. [36] haben das Verhalten von Sauen anhand von Beschleunigungssensoren und Videodaten um den Zeitpunkt der Geburt untersucht. Das Verhalten der Sauen wurde mittels Videoüberwachung aufgezeichnet sowie die Bewegung mittels Beschleunigungssensoren in den Ohrmarken der Sauen. Aus diesen Daten sollen Indikatoren abgeleitet werden, die auf bestimmte Verhaltensmuster hinweisen, die mit Hilfe einer automatischen Auswertung zu einem Frühwarnsystem für den Tierhalter führen kann. Sowohl durch Video als auch durch Bewegungssensoren wird eine engmaschigere Überwachung möglich, als es gesetzlich vorgeschrieben ist. Mit digitalen Assistenzsystemen kann demnach ein Beitrag zur Verbesserung der Arbeitssituation und des Tierwohls erreicht werden [36; 37].

Die Entwicklung einer automatischen Geburtsüberwachung stand in einem weiteren Teilprojekt von DigiSchwein im Fokus der Untersuchungen [34]. Eine KI erkannte in Videodaten definierte Körperregionen als Zielregion sowie neugeborene Ferkel. Durch eine wiederholte Erkennung neugeborener Ferkel auf den Videos konnte der Geburtszeitpunkt mittels KI bestimmt werden. Auch hier stellt sich das große Potenzial der frühzeitigen Erkennung eventueller Geburtsproblematiken durch KI dar, welche wiederum ein frühes Eingreifen des Betriebsleiters möglich machen kann. Im weiteren Projektverlauf soll an einer Erkennung totgeborener Ferkel gearbeitet werden.

Nicht nur in der Mastschweinehaltung, sondern auch in der gesamten darauffolgenden Prozesskette hält die Digitalisierung Einzug. Die Firma MSD hat beispielsweise mit ihrem digitalen Schweinepass "LeeO" ein Werkzeug geschaffen, um sämtliche Parameter auf Einzeltierbasis entlang der gesamten Prozesskette im Sinne eines Einzeltierpasses zu erfassen. Hierdurch können Informationen an alle Lieferkettenpartner weitergegeben werden, was wiederum Transparenz und Prozesssicherheit schaffen soll. [38].

---

## Zusammenfassung

Die gesellschaftlichen Ansprüche das Tierwohl in Schweineställen sind laut Befragungen in den letzten Jahren gestiegen. Vor allem ein erhöhtes Platzangebot und Zugang ins Freie werden gefordert. Auch fordert der Gesetzgeber mit Änderungen der Tierschutznutztierhaltungsverordnung oder der Einführung des Gesetzes zur verpflichtenden Tierhaltungskennzeichnung mehr Tierwohl in Deutschland. Diese Entwicklungen und unzureichende Erlöse beschleunigen den Rückgang des Schweinebestandes und stellen die Betriebe vor viele Herausforderungen. Die Forderungen sind vor allem für bestehende konventionelle Mastställe schwierig umzusetzen, weswegen die Möglichkeit in bestehenden Ställen einen Außenklimaeritz anzubieten im Fokus aktueller Forschung steht.

Bewertet man aktuelle Tierhaltungssysteme hinsichtlich ihrer Zukunftsfähigkeit ist auch der Umweltschutz von großer Bedeutung. Hierbei wird unter anderem an Möglichkeiten geforscht, die emittierende Oberfläche zu verringern und somit die Emissionen zu reduzieren. Studien konnten zudem zeigen, dass die Ammoniakemissionen von Haltungssystemen mit Auslauf nicht schlechter zu bewerten sind als zwangsgelüftete Ställe.

Auch die Digitalisierung gewinnt in der Schweinehaltung immer mehr an Bedeutung. Die Praxisanwendungen und Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit verschiedenen (Monitoring)-ansätzen zur Vorbeugung und Vermeidung von Schäden, zur Verbesserung der Tiergesundheit und folglich Produktivität. Das Thema Digitalisierung in der Schweinehaltung steht trotz zahlreicher Projekte und vielversprechender technischer Potentiale noch am Beginn einer breiten Anwendung in der Praxis.

## Literatur

- [1] Faletar, I.; Christoph-Schulz, I.; Meyer-Höfer, v. M.: Wahrnehmung der Tierhaltung aus Bürgerperspektive – Ergebnisse deutschlandweiter Online-Bürgerbefragungen. Deutsches Tierärzteblatt (2023) 71 (8), S. 997-1001.
- [2] Schütz, A.; Busch, G.; Sonntag, W. I.: Systematically analysing the acceptability of pig farming systems with different animal welfare levels when considering intrasustainability trade-offs: Are citizens willing to compromise? Plos One (2023), S. 1-21.
- [3] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Gesetz zur Kennzeichnung von Lebensmitteln mit der Haltungsform der Tiere, von denen die Lebensmittel gewonnen wurden (Tierhaltungskennzeichnungsgesetz - TierHaltKennzG) (2023), S. 1-36.
- [4] Deblitz, C.; Verhaagh, M.; Efken, J.: Steckbriefe zur Tierhaltung in Deutschland: Ferkelaufzucht und Schweinemast. URL: [https://www.thuenen.de/media/ti-themenfelder/Nutztierhaltung\\_und\\_Aquakultur/Haltungsverfahren\\_in\\_Deutschland/Schweinehaltung/Steckbrief\\_Schweine\\_2023.pdf](https://www.thuenen.de/media/ti-themenfelder/Nutztierhaltung_und_Aquakultur/Haltungsverfahren_in_Deutschland/Schweinehaltung/Steckbrief_Schweine_2023.pdf), Zugriff am: 30.11.2023.
- [5] Statistisches Bundesamt: Viehbestandserhebung Schweine - Tabelle 41313. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=statistikTabellen&selection-name=41313#abreadcrumb>, Zugriff am: 30.11.2023.

- [6] Wimpler, C. (Hrsg.): Was macht einen Auslauf attraktiv und sauber? – Gestaltung zum Wohl von Tier und Umwelt. Bio Austria Bauerntage, 26.01.2022, Austria (online), 2022.
- [7] Becker, C.; Drexler, V.; Fögeling, C.; Schulte-Remmert, W.; Selhorst, C.; Weber, M.; Wiedmann, R.: SchweineWohl im Fokus: Schweinehaltung mit Auslauf – Worauf kommt es an? URL: <https://www.fokus-tierwohl.de/de/fachinformationen-schwein/schweinehaltung-mit-auslauf>, Zugriff am: 11.12.2023.
- [8] Wimpler, C.; Vermeer, H. M.; Leeb, C.; Salomon, E.; Andersen, H. M.-L.: Review: Concrete outdoor runs for organic growing-finishing pigs - a legislative, ethological and environmental perspective. *Animal : an international journal of animal bioscience* 16 (2022) H. 1, S. 100435.
- [9] N.N.: Außenauslauf an einem vorhandenen Schweinemaststall. URL: <https://www.landwirtschaftskammer.de/duesse/tierhaltung/schweine/aktuelles/aussenauslauf/index.htm>, Zugriff am: 11.12.2023.
- [10] N.N.: Stall der Zukunft. URL: <https://www.landwirtschaftskammer.de/duesse/tierhaltung/schweine/aktuelles/stall-der-zukunft/index.htm>, Zugriff am: 11.12.2023.
- [11] Höne, U.; Krause, E. T.; Bussemas, R.; Traulsen, I.; Schrader, L.: Usage of outdoor runs and defaecation behaviour of fattening pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 258 (2023), S. 105821.
- [12] Wimpler, C.; Leeb, C.; Winckler, C.; Knoll, M.; Holinger, M.: The long and short of showers: Effects of shower duration on behaviour, thermal comfort and soiling of organic growing-finishing pigs with access to outdoor runs. *Applied Animal Behaviour Science* 258 (2023), S. 105826.
- [13] Jeppsson, K.; Olsson, A.; Nasirahmadi, A.: Cooling growing/finishing pigs with showers in the slatted area: Effect on animal occupation area, pen fouling and ammonia emission. *Livestock Science* 243 (2021), S. 104377.
- [14] Camp Montoro, J.; Boyle, L. A.; Solà-Oriol, D.; Muns, R.; Gasa, J.; Garcia Manzanilla, E.: Effect of space allowance and mixing on growth performance and body lesions of grower-finisher pigs in pens with a single wet-dry feeder. *Porcine Health Management* (2021) 7:7, S. 1-8.
- [15] Schodl, K.; Wiesauer, L.; Winckler, C.; Leeb, C.: Reduced Stocking Density and Provision of Straw in a Rack Improve Pig Welfare on Commercial Fattening Farms. *Frontiers in veterinary science* 8 (2021), S. 656211.
- [16] Simon, J.; Hanglberger, J.; Merdian, C.; Hofinger, M.; Jais, C.; Kohnen, Y.; Mense, R.; Plank, F.; Reimer, J.: Entwicklungsfähige Stallbaukonzepte für Schweinemastbetriebe (EvoPigStable). 15.Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 13. - 15.09.2022, Soest. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (Hrsg.): Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, ISBN: 978-3-945088-93-7, S. 16-20.

- [17] Becker, C.; Drexl, V.; Fögeling, C.; Opderbeck, S.; Schulte-Remmert, W.; Selhorst, C.; Weber, M.; Wiedmann, R.: SchweineWohl im Fokus - Durch die richtige Buchtenstrukturierung in der Ferkelaufzucht und Mast Konflikte vermeiden. URL: <https://www.fokus-tierwohl.de/de/schwein/fachinformationen-ferkel/buchtenstrukturierung-in-ferkelaufzucht-und-mast>, Zugriff am: 11.12.2023.
- [18] Becker, C.; Böck, N.; Drexl, V.; Elkmann, A.; Freisfeld, G.; Häuser, S.: DLG Merkblatt 458 - Strukturierung von Buchten in Ferkelaufzucht und Schweinemast. 2020, URL: <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/tierhaltung/schwein/dlg-merkblatt-458>, Zugriff am: 04.01.2022.
- [19] Bauer, T.; Böhmfeld, J.; Bönsch, S.; Feller, B.; Formowitz, B.; Franke, G.; Fritzsche, S.; Grimm, E.; Häuser, S.; Jais, C.; Janssen, H.; Lösel, D.; Menning, J.; Meyer, E.; Nesper, S.; Paulke, T.; Preißinger, W.; Sandhäger, A.; Schrade, H.; Zacharias, T.: Gesamtbetriebliches Haltungskonzept Schwein – Mastschweine. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.), 2019, URL: <https://www.ble-medianservice.de/1007/gesamtbetriebliches-haltungskonzept-schwein-mastschweine>, Zugriff am: 28.02.2022.
- [20] Seibt, K. D.; Ebinghaus, A.; Schubert, A.; Franz-Wippermann, R.; Holinger, M.; Garcia, M.; Klöble, U.; Knierim, U.: Innovative tiergerechte Haltungsverfahren für die ökologische Schweine und Rinderhaltung im Rahmen der geänderten EU-Öko-Verordnung. Bundesprogramm Ökologischer Landbau (Hrsg.), 2023, URL: [https://www.openagrar.de/receive/openagrar\\_mods\\_00087118](https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00087118), Zugriff am: 18.12.2023.
- [21] Hennig-Pauka, I.; Altrock, A. von: Managing housing and stocking density to optimize health, welfare and production in pig herds. DOI: 10.19103/AS.2022.0103.12. In: Maes, D.; Segalés, J. (Hrsg.): Optimising pig herd health and production, Burleigh Dodds Series in Agricultural Science, Burleigh Dodds Science Publishing 2022, S. 333-376.
- [22] Benz, B.; Bernhardt, H.; Brunsch, R.; Büscher, W.; Dammann, M.; Käck, M.; Schick, M.: VDI-Roadmap Agriculture Technology 2030 – Strategische Forschungsagenda, Teil 2: Technik für eine zukunftsfähige Tierhaltung. Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.), 2023, URL: <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/agriculture-technology-2030-technik-fuer-eine-zukunftsfaeihige-tierhaltung-teil-2>, Zugriff am: 14.12.2023.
- [23] Jeppsson, K.; Olsson, A.; Nasirahmadi, A.: Increased air velocity in the lying area improves pen hygiene and reduces ammonia emissions from houses with partly slatted pens for growing/finishing pigs. *Livestock Science* 251 (2021), S. 104607.
- [24] Opderbeck, S.: Improvement of the acceptance of a solid lying area by fattening pigs and rearing piglets. 2022.
- [25] Kwiatkowski, K.; Both, R.: Ermittlung des Belästigungspotentials von Gerüchen ausgehend von Mastschweineeställen mit Auslauf mittels Polaritätenprofilen. DOI: 10.51202/9783181023839-53. In: Gerüche in der Umwelt 2021, VDI Verlag 2021, S. 53-60.

- [26] Wolf, U.; Eurich-Menden, B.; Dehler, G.; Smirnov, A.; Horlacher, D.: Wie beeinflusst Auslaufhaltung die Ammoniakemissionen aus Mastschweineeställen? *Landtechnik* (2023) H. 78, S. 98-113.
- [27] Nienhoff, H.; Aundrup, J.; Gerhardy, H.: Verbesserung von Tiergesundheit und Wettbewerbsfähigkeit auf ökologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben durch Einsatz von 4.0 Sensortechnik Kurzbezeichnung: SmartPigProduction. In: Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.): Leistungs- und Qualitätsprüfungen sowie Projekte in der Tierhaltung\_Jahresbericht 2022\_2023.
- [28] Boehringer Ingelheim: Der Einsatz von SoundTalks® im Feld.
- [29] Nienhoff, H.; Spiekermeier, I.; Gerhardy, H.: Smart Pig Health im Rahmen von Smart Agri Hubs. In: Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.): Leistungs- und Qualitätsprüfungen sowie Projekte in der Tierhaltung\_Jahresbericht 2022\_2023.
- [30] Kapun, A.; Adrion, F.; Gallmann, E.: Evaluating the Activity of Pigs with Radio-Frequency Identification and Virtual Walking Distances.
- [31] Lieboldt, M.-A.; Sagkob, S.; Reinkensmeier, J.; Gómez, J. M.; Hölscher, P.; Kemper, N.; Traulsen, I.; Drücker, H.: DigiSchwein – Cross Innovation und Digitalisierung in der tiergerechten Schweinehaltung unter Berücksichtigung des Ressourcenschutzes. In: Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.): Leistungs- und Qualitätsprüfungen sowie Projekte in der Tierhaltung\_Jahresbericht 2022\_2023.
- [32] Witte, J.-H.; Gómez, J. M.: Entwicklung kamerabasierter Assistenzsysteme in der Schweinehaltung auf Basis von Künstlicher Intelligenz. In: Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.): Leistungs- und Qualitätsprüfungen sowie Projekte in der Tierhaltung\_Jahresbericht 2022\_2023.
- [33] Probst, J.; Heseke, P.; Holzhauser, A.; Lieboldt, M.-A.; Traulsen, I.; Kemper, N.: Wassermonitoring bei Sauen im peripartalen Zeitraum. In: Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.): Leistungs- und Qualitätsprüfungen sowie Projekte in der Tierhaltung\_Jahresbericht 2022\_2023.
- [34] Wutke, M.; Lensches, C.; Holzhauser, A.; Lieboldt, M.-A.; Traulsen, I.: Entwicklung eines automatischen Monitoringsystems für die Geburtsüberwachung bei Sauen Dr. Martin Wutke<sup>1,2</sup>, Clara Lensches<sup>1</sup>, Anne. In: Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.): Leistungs- und Qualitätsprüfungen sowie Projekte in der Tierhaltung\_Jahresbericht 2022\_2023.
- [35] Fruhner, M.; Tapken, H.; Müller, H.: Re-Identifikation markierter Schweine mit Computer Vision und Deep Learning. In:
- [36] Wolgast, K.; Lensches, C.; Traulsen, I.; Lieboldt, M.-A.; Janssen, H.; Sitzenstock, F.; Waßmuth, R.: Vergleich des Verhaltens peripartaler Sauen bei unterschiedlichem Management anhand von Accelerometer- und Videodaten. In: Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.): Leistungs- und Qualitätsprüfungen sowie Projekte in der Tierhaltung\_Jahresbericht 2022\_2023.
-

- [37] Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.): Leistungs- und Qualitätsprüfungen sowie Projekte in der Tierhaltung\_Jahresbericht 2022\_2023.
- [38] Martina Hungerkamp: Transparenz mit digitalem Schweinepass. agrarheute (2023).

### **Autorendaten**

Dr. sc. agr. Svenja Opderbeck ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Universität Hohenheim im Zentrum für Tierhaltungstechnik.

M. Sc. Johanna Grossklos-Bumbalo ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Universität Hohenheim im Zentrum für Tierhaltungstechnik.

Prof. Dr. Eva Gallmann ist die Leiterin des Zentrums für Tierhaltungstechnik der Universität Hohenheim.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Wissenschaftliches Review / Scientific Review**

Erfolgreiches Review am 09.02.2024

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Opderbeck, Svenja; Grossklos-Bumbalo, Johanna; Gallmann, Eva: Technik in der Schweinehaltung. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-12

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171550-1>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/schweinehaltung.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Rahmenbedingungen und Optionen für eine tier- und umweltgerechte Schweinehaltung in Deutschland**

Jochen Hahne

### **Kurzfassung**

Die Schweinehaltung in Deutschland steht unter erheblichen Anpassungsdruck in Hinblick auf die Entwicklung und praktische Umsetzung tiergerechterer und zugleich emissionsarmer Halteverfahren. Neue Stallsysteme sollen den Tieren mehr Außenkontak und über größere strukturierte Flächen ein artgerechteres Verhalten ermöglichen. Der Beitrag beschreibt neben der aktuellen Entwicklung der Schweinehaltung die neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen sowie vielfältige Möglichkeiten zur Emissionsminderung. Die Auswertung aktueller Forschungsarbeiten zeigt, dass eine abschließende Bewertung der Umweltwirkungen der neuen Stallsysteme noch nicht möglich ist und diese über einen bereits initiierten Forschungsverbund ermöglicht werden soll.

### **Schlüsselwörter**

Schweinehaltung, Außenklimaställe, Emissionsminderung, Umweltwirkungen

## **Framework conditions and options for animal and environmentally friendly pig farming in Germany**

Jochen Hahne

### **Abstract**

Pig farming in Germany is under considerable pressure to adapt with regard to the development and practical implementation of more animal-friendly and low-emission husbandry methods. New housing systems should allow the animals more contact with the outdoor climate and more species-appropriate behavior through larger structured areas. In addition to the current development of pig farming, the article describes the new legal framework conditions as well as various possibilities for reducing emissions. The evaluation of current research work shows that a conclusive assessment of the environmental impact of the new housing systems is not yet possible and that this should be made possible through a research network that has already been initiated.

### **Keywords**

Pig farming, outdoor climate housing, emission reduction, environmental impacts

## **Daten zur Schweinehaltung in Deutschland**

Der Schweinebestand in Deutschland ist seit vielen Jahren rückläufig. Insbesondere in den Jahren seit 2020 ist eine deutliche Abnahme von 26,1 Mio. Tieren (2020) auf 21,3 Mio. Tiere (2022) festzustellen [1]. Nach den letzten Zahlen für den Mai 2023 setzt sich dieser Trend mit rund 20,7 Mio. Tieren offensichtlich fort [2]. Die Schweinehaltung ist jedoch mit einem Produktionswert von ca. 7,6 Mrd. € ein nach wie vor bedeutender Wirtschaftsfaktor. Allerdings hat die Zahl der Betriebe mit Schweinehaltung seit 2010 mit 56.337 bis ins Jahr 2020 mit 29.851 Betrieben um rund 47 % stärker abgenommen als die Anzahl der Schweine [2]. Dies führt in der Konsequenz zu einzelbetrieblich wachsenden Tierbeständen. Während im Jahr 2010 50,8 % (= 8,43 Mio. Tiere) des Bestandes an Schweinen mit mehr als 20 kg in Betriebsgrößenklassen von mehr als 1.000 Tieren gehalten wurden, waren es im Jahr 2020 bereits 66,3 % (= 10,55 Mio. Tiere) [3]. Die ökologische Schweinehaltung umfasste im Jahr 2020 1.566 Betriebe mit insgesamt 212.000 Schweinen (0,81 % des Gesamtbestandes). Mit rund 96 % waren die meisten der insgesamt 27,76 Mio. Haltungsplätze im Jahr 2020 mit Voll- oder Teilspaltenböden ausgestattet. Etwa 4% der Haltungsplätze entfielen auf eingestreute planbefestigte Haltungsplätze, Tiefstreuverfahren oder andere Haltungsverfahren.

Ein Marktcheck der Verbraucherzentralen aus dem Jahr 2020 zeigt, dass das Schweinefleisch überwiegend aus der Haltungsform mit dem gesetzlichen Mindeststandard kam (65,3 %) [4]. Nach dem BMEL- Ernährungsreport 2023 achten allerdings 65 % der Befragten auf Tierwohlabel, welche Fleisch aus besonders tiergerechter Haltung kennzeichnen [5]. Ebenfalls 65 % der Befragten geben an, Produkte, die mit diesen Siegeln gekennzeichnet sind, häufiger zu kaufen. 94 % der Befragten halten bessere Tierhaltungsbedingungen mit weniger Tieren in Ställen für sehr wichtig oder wichtig.

Der Pro-Kopfverbrauch an Schweinefleisch fällt seit einigen Jahren deutlich. Während dieser im Jahr 2010 noch bei 49,3 kg lag, fiel er im Jahr 2020 auf 38,6 kg und im Jahr 2022 auf zuletzt 35,5 kg [6]. Der Selbstversorgungsgrad bei Schweinefleisch war 2022 mit 125,8 % allerdings immer noch hoch [7]. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Verbraucherinnen und Verbraucher vor allem mageres Schweinefleisch nachfragen, während fettreichere Anteile und andere Teilstücke weiterverarbeitet oder exportiert werden.

## **Veränderte Rahmenbedingungen für die Haltung von Mastschweinen**

Das Tierhaltungskennzeichnungsgesetz [8] regelt die Kennzeichnung von Lebensmitteln tierischen Ursprungs mit der Haltungsform der Tiere. Es dient der Information der Endverbraucher, wie die Tiere im maßgeblichen Haltungsabschnitt gehalten worden sind und soll über eine Veränderung des Kaufverhaltens zu einer Verbesserung der Haltungsbedingungen der Tiere beitragen und den tierhaltenden Betrieben eine wirtschaftliche Perspektive für eine zukunftsfeste Tierhaltung bieten. Für den Neu- und Umbau zu tiergerechten Ställen sollen immissionschutzrechtliche Erleichterungen gelten, die gegenwärtig erarbeitet werden [9]. Das Baurecht wurde ebenfalls angepasst, um den Umbau der Ställe im Sinne einer artgerechten Haltung zu fördern [10]. Zu den wesentlichen Regelungen gehört, dass Tierhaltungsanlagen im Außenbereich zukünftig umgebaut werden dürfen, wenn ein Wechsel von der Haltungsform „Stall“ zu

höheren Haltungsformen erfolgt. Der Tierbestand darf nach dem Umbau gleichbleiben, was im Regelfall zu einer Vergrößerung der Anlage führt, da den Tieren mehr Platz zur Verfügung gestellt wird. Dies wiederum führt zu einer Verringerung der Abstände der Tierhaltungsanlagen von der Anwohnerschaft oder anderen Schutzgütern.

Im vorliegenden Gesetz werden zunächst die Haltungsformen für Mastschweine geregelt, die Grundlage für die Kennzeichnung der Haltungsformen sind. Weitere Tierarten sollen im Laufe der Legislaturperiode in die Tierhaltungskennzeichnung aufgenommen werden [9]. Es werden insgesamt fünf Haltungsformen für Mastschweine unterschieden; „Stall“, „Stall + Platz“, „Frischlufstall“, „Auslauf/Weide“ und „Bio“.

Bei der Haltungsformen „Stall“ und „Stall + Platz“ sind die allgemeinen Anforderungen der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung [11] zu erfüllen, die für die höheren Haltungsformen noch abschließend festgelegt werden müssen. Die allgemeinen Anforderungen betreffen die Bauweise des Stalles, Fütterungs- und Tränke-Einrichtungen, den Erhalt der tierischen Gesundheit sowie Anforderungen an die Lüftungsanlagen (§ 3). Weitere Anforderungen sind im § 22 der Verordnung präzisiert. Sie betreffen Vorgaben an Haltungseinrichtungen, die Bodengestaltung und an die Lichtansprüche. Die Platzansprüche für die Tiere sind im § 29 geregelt und bewegen sich zwischen 0,5 m<sup>2</sup> bei Tiergewichten von 30 – 50 kg bis zu 1,0 m<sup>2</sup> bei Tieren mit mehr als 110 kg. Ferner muss der uneingeschränkt verfügbare Liegebereich mindestens die Hälfte der Mindestfläche entsprechen und außerdem muss den Tieren jederzeit organisches Beschäftigungsmaterial zur Verfügung stehen.

Für die Haltungsform „Stall + Platz“ werden höhere Anforderungen gestellt. Sie betreffen weitere Haltungselemente wie Kontaktgitter, Trennwände zur Bildung von Funktionsbereichen, unterschiedliche Mikroklimabereiche und Lichtverhältnisse, geeignete Scheuervorrichtungen, Anforderungen an die Tränke – und Liegeraum-Gestaltung sowie optional die Integration eines Auslaufes mit der Möglichkeit zur Wahrnehmung äußerer Witterungs- und Umwelteinflüsse. Aus der Vielzahl der Gestaltungselemente und Gestaltungsoptionen müssen mindestens drei für diese Haltungsform oder ein entsprechender Auslauf realisiert werden. Im Vergleich zur Haltungsform „Stall“ wird den Mastschweinen mehr Platz zur Verfügung gestellt. Für Tiere mit Gewichten von 30 – 50 kg steigt die verfügbare Bodenfläche auf 0,563 m<sup>2</sup> (+ 12,6 %), bei Tieren mit 50 – 110 kg auf 0,844 m<sup>2</sup> (+12,5 %) und bei Tieren mit mehr als 110 kg auf 1,125 m<sup>2</sup> (+12,5 %). Auch für den Liegebereich gelten höhere Anforderungen. Dieser darf nur einen Perforationsgrad von 5 % aufweisen, muss eingestreut sein und über festgelegte Mindestflächen verfügen (0,3 – 0,9 m<sup>2</sup> je nach Tiergewicht). Für die Haltungsform „Stall + Platz“ wird es dementsprechend eine Fülle von Verfahrensvarianten geben.

Bei der Haltungsform „Frischlufstall“ gelten weitergehende Anforderungen. Das Außenklima muss in jeder Bucht einen wesentlichen Einfluss auf das Stallklima ausüben. Jedes Tier soll jederzeit Zugang zu unterschiedlichen Klimabereichen haben. Die uneingeschränkt verfügbare Bodenfläche steigt bei Tieren zwischen 30 und 50 kg auf 0,7 m<sup>2</sup>, bei Tieren zwischen 50 – 120 kg auf 1,3 m<sup>2</sup> und bei Tieren von mehr als 120 kg auf 1,5 m<sup>2</sup>. Alternativ kann der „Frischlufstall“ aus einem geschlossenen oder überwiegend geschlossenen Gebäude mit Auslauf

bestehen, der für die Tiere jederzeit zur Verfügung steht. Bei dieser Variante muss eine uneingeschränkt verfügbare Bodenfläche von 0,7 m<sup>2</sup> für Tiere zwischen 30 und 50 kg, 1,1 m<sup>2</sup> für Tiere mit 50 – 120 kg und 1,4 m<sup>2</sup> für Tiere mit mehr als 120 kg bereitgestellt werden.

Bei der Haltungsform "Auslauf/Weide" werden die Flächenansprüche der Tiere nochmals erweitert. Neben einer Bodenfläche von 0,5 – 1,5 m<sup>2</sup> je nach Tiergewicht werden ergänzend noch Ausläufe mit geschlossener Bodenfläche von 0,25 – 0,8 m<sup>2</sup> je nach Tiergewicht gefordert. Alternativ würde auch die dauerhafte Haltung ohne festen Stall in diese Haltungsform gehören.

Die Haltung von Tieren ist der Haltungsform „Bio“ zuzuordnen, wenn die Haltung der Tiere nach Artikel 35 Absatz 1 Satz 1 der Verordnung (EU 2018/848 zertifiziert ist [8; 12]. Für die ökologische Mastschweinehaltung gelten noch weitergehende Anforderungen [13]. Diese betreffen neben den Haltungsverfahren, die auf die Verhaltensweisen der Tiere abgestimmt sein müssen, u.a. Anforderungen an Transport und Schlachtung, die Verwendung wirtschaftseigenen Futters sowie der Bezug von Ferkeln aus ökologisch wirtschaftenden Sauen-Betrieben.

### **Aktuelle Forschungsarbeiten zur Minderung von Emissionen aus der Schweinehaltung**

Einen aktuellen Überblick über Forschungsarbeiten zur Minderung von Emissionen aus der Schweinehaltung liefert der KTBL-Tagungsband „Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern“ vom Oktober 2023 [14]. Neue Stallsysteme für die Schweinehaltung sind aktuell ein Forschungsschwerpunkt. Sie sollen einer artgerechten Tierhaltung dienen und gleichzeitig emissionsarm sein. Das vorgestellte Stallsystem [15] besteht aus einem vollüberdachten Außenbereich, wo sich der Aktivitäts-, Fress- und Mistbereich befindet, und einem klimatisierten Innenbereich. Der Mistbereich ist perforiert. Der gekapselte, wärmegeämmte, planbefestigte und eingestreute Innenbereich soll den Tieren als Liege- und Komfortbereich dienen. Wenn dieser Bereich für die Tiere ansprechend klimatisiert wird, erfolgt erfahrungsgemäß keine oder nur eine geringe Verschmutzung. Hierfür sind allerdings Heiz- und Kühlmöglichkeiten unerlässlich. Insbesondere die Überhitzung des Liegebereiches in den Sommermonaten muss verhindert werden. Im perforierten Mistbereich erfolgt unterflur die Kot-Harntrennung. Die Ableitung des Harns erfolgt über ein leichtes Gefälle und der Sammlung der Flüssigkeit über eine Harnrinne. Der Kot bleibt auf der Fläche liegen und wird über entsprechende Schieber aus dem Stall entfernt. Zur weiteren Verbesserung der Harnableitung können Sprühsysteme eingesetzt werden. Der Flächenbedarf je Schwein wird mit 1,1 – 1,5 m<sup>2</sup> angegeben und liegt somit deutlich über dem gesetzlichen Mindeststandard, der je nach Tiergewicht zwischen 0,5 und 1,0 m<sup>2</sup>/Tier liegt [11]. Erste Messungen zur Ammoniakkonzentration ergaben mit 0,5 ppm sehr geringe Ammoniakkonzentrationen im Stall. Bei zwangsbelüfteten Schweineställen nach gesetzlichem Mindeststandard liegen die Ammoniakkonzentrationen mit 12,8 +/- 3,3 ppm höher [16].

Der im Urin gelöste Harnstoff wird von harnstoffzersetzenden Bakterien enzymatisch unter Bildung von Ammoniak abgebaut, was zu entsprechenden Ammoniakemissionen führt. Wie Versuche zeigen, kann die Harnstoffhydrolyse über die Einstellung eines pH-Wertes von 2,5

(mit Schwefelsäure) bzw. 12,3 (mit Kalkhydrat) über mindestens 30 Tage unterbunden werden [17].

Messungen an acht Mastschweineställen (vier mit eingestreutem, planbefestigtem Auslauf und vier mit Spaltenboden und Güllekanal im Auslauf) ergaben Ammoniakemissionsraten zwischen 0,9 und 4,2 kg/(TP a). Im Mittel der untersuchten Ställe lag die umgerechnete NH<sub>3</sub>-N-Emission mit 2,6 kg/(TP a) unterhalb der von zwangsbelüfteten Mastschweineställen nach gesetzlichem Mindeststandard mit 3,0 kg/(TP a). Vertiefende Ausführungen zu den NH<sub>3</sub>-Emissionen der unterschiedlichen Außenklimaställe sowie zur Methodik finden sich in [18]. Für genehmigungsbedürftige Mastschweinehaltungen nach gesetzlichem Mindeststandard gilt nach der neuen TA Luft ein NH<sub>3</sub>-N-Emissionswert von 2,4 kg/(TP a) bzw. 2,91 kg NH<sub>3</sub>/(TP a). Dieser soll bei Einsatz einer stark proteinreduzierten Fütterung sichergestellt werden [19]. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die NH<sub>3</sub>-Emissionen aus Außenklimaställen nach aktuellem Kenntnisstand in der Größenordnung der zwangsbelüfteten Ställe liegen und eine erhebliche, managementabhängige Spannweite aufweisen. Im Rahmen dieser Untersuchungen [18] wurden auch die Geruchsemissionen aus den Außenklimaställen gemessen. Die Ergebnisse bewegten sich zwischen 23 und 189 Geruchseinheiten je Großvieheinheit und Stunde. Eine Großvieheinheit entspricht einer Lebendmasse von 500 kg. Die Geruchsemissionen zwangsbelüfteter Mastschweineeställe nach gesetzlichem Mindeststandard liegen bei 50 Geruchseinheiten je Großvieheinheit und Stunde [20]. Auch diese Ergebnisse zeigen neben der hohen Schwankungsbreite die Vergleichbarkeit der Emissionen zu konventionellen Halteverfahren.

Gegenstand weiterer Untersuchungen waren Immissionsmessungen an frei belüfteten Schweineeställen. Im Gegensatz zu zwangsbelüfteten Ställen mit guten Ableitbedingungen über Abluftkamine werden die Emissionen aus frei belüfteten Ställen eher bodennah freigesetzt und können in der Nachbarschaft insbesondere zu Geruchsbelästigungen führen. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen Fahnenreichweiten zwischen 132 und 600 m, eine hedonische Bewertung als „eher unangenehm“ und die Einstufung der Geruchsqualität als „Gestank“ [21].

Für die Begrenzung der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Schweinehaltung ist vor allem die bedarfsgerechte Fütterung maßgeblich. Eine überschüssige Proteinversorgung kann zu steigenden Ammoniakemissionen beitragen. Entsprechende Untersuchungen zur Proteinversorgung von Mastschweinen ergaben bei N/P reduzierter Fütterung einen Emissionswert von 3,31 kg NH<sub>3</sub>/(TP a), während die stark N-/P-reduzierte Fütterung einen sehr geringen Emissionswert von lediglich 2,56 kg NH<sub>3</sub>/(TP a) erbrachte [22]. Der neue NH<sub>3</sub>-Grenzwert in der TA Luft liegt mit 2,91 kg/(TP a) etwa im Mittel dieser Untersuchungsergebnisse. Untersuchungen zur moderaten Reduzierung des Rohproteingehaltes in der Futtermittelration für Mastschweine im Zeitraum von 2015 – 2023 haben gezeigt, dass dies ohne Leistungsverlust möglich war und eine Verringerung der N-Ausscheidung von 23 % ermöglichen kann [23].

Eine weitere Option zur Minderung von Ammoniak- und Methanemissionen stellt die Gülleansäuerung dar. Durch die Ansäuerung mit Schwefelsäure wird das Ammonium-/Ammoniak-Gleichgewicht zum Ammonium verschoben, dass in der Flüssigkeit gelöst bleibt und nicht abdampfen kann. Die mikrobiologische Methanbildung wird bei niedrigen pH-Werten gehemmt.

---

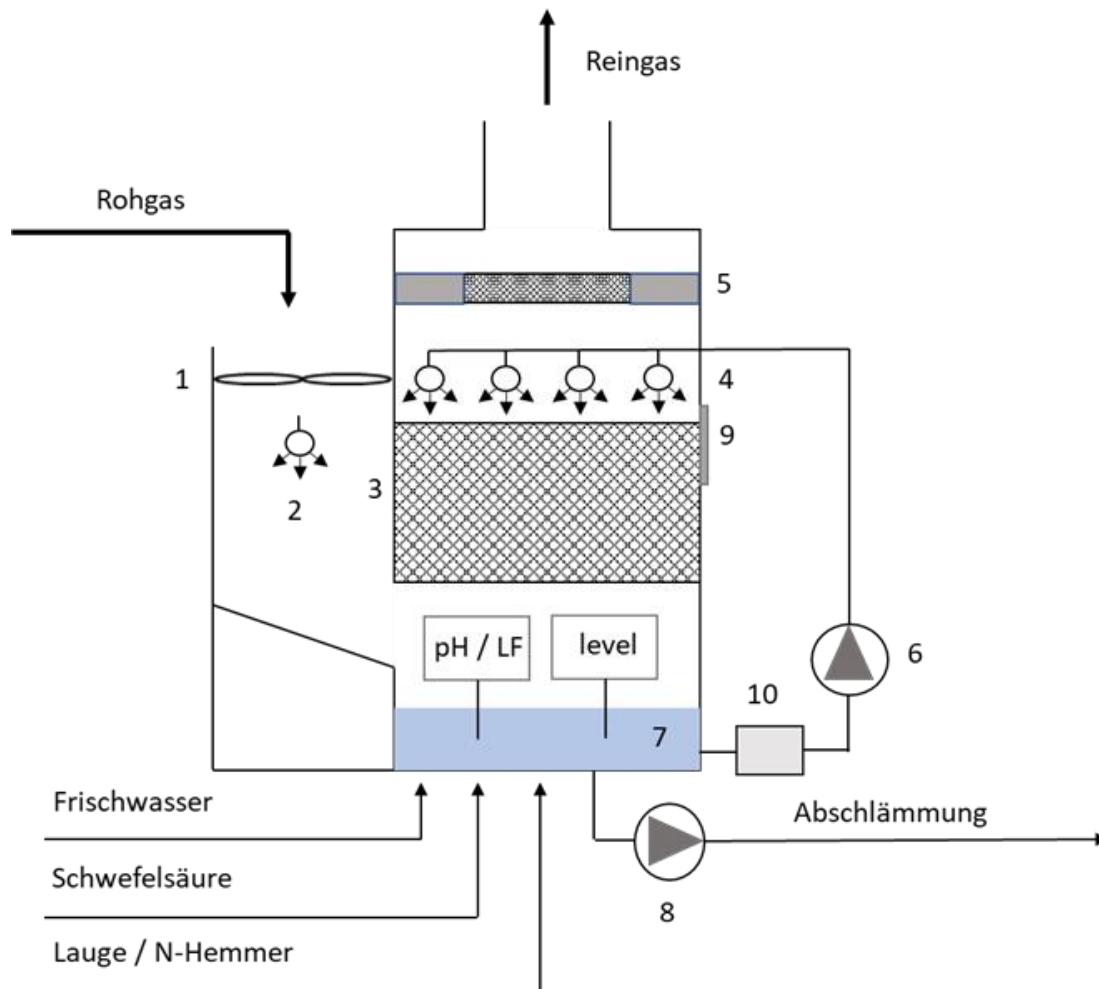
Die Untersuchungen ergaben, dass eine Absenkung des pH-Wertes in der im Stall lagernden Gülle auf 5,5 die Ammoniakemissionen aus dem Stall um ca. 40 % und die Methanemissionen um ca. 67 % reduzieren kann [24]. Angaben zum dafür erforderlichen Schwefelsäureeinsatz finden sich in [25]. Der Schwefelsäureverbrauch (96 %) betrug 15,7 – 18,2 kg/m<sup>3</sup> Gülle in der gesamten Mastperiode.

Der Einsatz von Urease-Inhibitoren soll die Harnstoffspaltung und damit die möglichen Ammoniakemissionen reduzieren. Die Dosierung in den untersuchten Abteilen erfolgte täglich mit einer handelsüblichen Rückenspritze. Eine Aufwandmenge von 10 mg/m<sup>2</sup> erbrachte eine Reduzierung der NH<sub>3</sub>-Emissionen um knapp 11 % und bei einer Aufwandmenge von 25 mg/m<sup>2</sup> betrug die NH<sub>3</sub>-Minderung 21 % [26].

Durch die Güllekühlung können Ammoniakemissionen reduziert werden, weil das Ammonium-Ammoniak-Dissoziationsgleichgewicht zugunsten des Ammoniums verschoben wird. Außerdem wird die Diffusion von Ammoniak an die Phasengrenzfläche verlangsamt. Wie Untersuchungen zeigen, konnten bei Absenkung der Gülletemperatur von ca. 22 °C auf 15 °C die NH<sub>3</sub>-Emissionen um 40 – 60 % reduziert werden [27].

Eine Verkleinerung der Güllekanäle kann ebenfalls zur Minderung von Ammoniakemissionen beitragen. Hier ist der emissionsmindernde Effekt vor allem auf die Verringerung der emittierenden Fläche zurückzuführen. Die erzielten Minderungen bewegten sich bei den Untersuchungen zwischen 10 und 55 % [27].

Die Abluftreinigung bietet für große zwangsgelüftete Tierhaltungsanlagen eine sichere und weitreichende Ammoniak-, Staub- und Geruchsminderung. Der aktuelle Stand der Technik für die Abluftreinigung in der Schweinehaltung wurde 2023 in einer KTBL-Schrift dokumentiert [28]. Neben der Beschreibung der immissionsschutzrechtlichen Anforderungen werden die verfügbaren Verfahren und die zu erwartenden Kosten ausführlich dargestellt. Ferner liegen aktuelle DLG-Merkblätter vor, die Hinweise zum Betrieb von Abluftreinigungsanlagen in der Schweinemast geben und Betriebsdaten sowie Verbrauchswerte aus der Praxis dokumentieren [29; 30]. Die Ammoniakabscheidung von 146 vom Autor bewerteten Rieselbettfiltern lag im Mittel bei 92,5 %. Bei 82 zweistufigen Anlagen mit biologischer Wäsche und Biofiltration lag die mittlere Ammoniakabscheidung bei 97,1 %. 22 zweistufige Anlagen mit schwefelsaurer und biologischer Wäsche ergaben einen mittleren Abscheidegrad von 94,9 %. Die Abluftreinigung in der Schweinemast ist allerdings mit einem Stromverbrauch von 12 – 32 kWh je Tierplatz und Jahr energieaufwendig, da zur Reinigung großer Volumenströme entsprechend große, permanent berieselte Absorptionsflächen bereitgestellt werden müssen. Die Berieselung der Absorptionsflächen erfolgt über Umwälzpumpen, die den wesentlichen Energieverbrauch verursachen. Das grundsätzliche Verfahrensprinzip der Abluftreinigung verdeutlicht **Bild 1**.



**Bild 1:** Schematische Darstellung eines Rieselbettfilters zur Reinigung von Abluft aus der Schweinehaltung (1: Ventilator; 2: Vorbedüsung; 3: Filterpackung; 4: Wasserverteilsystem; 5: Tropfenabscheider; 6: Umwälzpumpe; 7: Wasservorlage; 8: Abschlammpumpe; 9: Revisionsöffnung; 10: Wasserfilter)

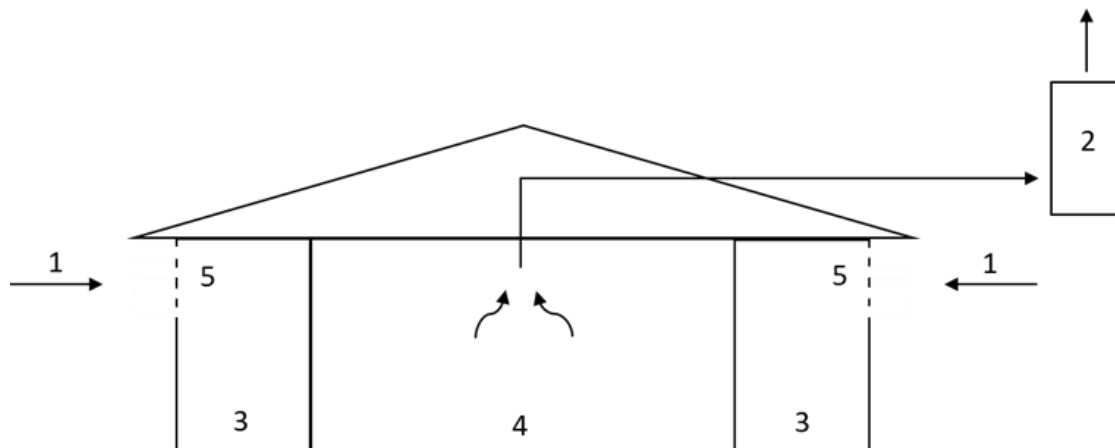
**Figure 1:** Schematic diagram of a trickle bed filter for the purification of exhaust air from pig farming (1: fan; 2: pre-spraying; 3: filter pack; 4: water distribution system; 5: mist eliminator; 6: circulation pump; 7: water supply; 8: blowdown pump; 9: inspection opening; 10: water filter)

Das Rohgas gelangt über Ventilatoren (1) aus dem Stall über eine optional bedünte Umlenkungsstrecke (2) in eine Vorkammer, in der sich auch die Wasservorlage (7) befindet. Nach der gleichmäßigen Verteilung in der Vorkammer durchströmt das Rohgas die Filterpackung (3), die aus unterschiedlichen Kunststoffen mit großer spezifischer Oberfläche besteht. Die Filterpackung wird permanent über ein Wasserverteilsystem (4) berieselt, dessen Wasserversorgung über die Umwälzpumpe (6) aus der Wasservorlage gewährleistet wird. Die bei der Abluftreinigung auftretenden Aerosole werden durch einen Tropfenabscheider (5) zurückgehalten. Nach der Passage des Tropfenabscheiders gelangt die gereinigte Luft in die Umwelt. Revisionsöffnungen (9) werden zur Reinigung der Füllkörperpackung und des Wasserverteilsystems benötigt. Zur Verringerung des Verstopfungsrisikos der Düsen dient ein Partikelfilter

(10) im Ansaugbereich der Umwälzpumpe. Der pH-Wert im Waschwasser wird über die Dosierung von Säure und Lauge geregelt. Inzwischen werden zur pH-Regelung auch vermehrt Nitrifikationshemmer eingesetzt. Die Frischwassereinspeisung erfolgt automatisch über eine Füllstandskontrolle. Das stickstoffhaltige Waschwasser wird abgeschlämmt (8) und im Regelfall zusammen mit der anfallenden Gülle landwirtschaftlich verwertet.

Zur Verbesserung der Klimabilanz von Abluftreinigungsanlagen bietet sich die Wärmerückgewinnung aus dem Waschwasser zur Vorerwärmung der Frischluft an [31]. Dieses Verfahren eignet sich besonders gut für die Haltung von Ferkeln, da diese besonders wärmebedürftig sind. Nach den Ergebnissen konnte dieses Verfahren in 71,6 % des Jahres die Zuluft um durchschnittlich 4,3 °C vorerwärmen (von 7,9 auf 12,2 °C) und damit zu einer Einsparung von Heizenergie beitragen.

In Hinblick auf eine tiergerechtere und zugleich emissionsarme Haltung können neue Haltungssysteme einen wertvollen Beitrag leisten. Bei diesen Stallsystemen (**Bild 2**) stehen den Tieren auf beiden Seiten des inneren Stallgebäudes (4) frei zugängliche Außenklimazonen (3) zur Verfügung. Die Frischluft (1) gelangt über Windschutznetze und verschließbare Jalousien (5) in die Außenklimazone und von dort in das innere Stallgebäude. Von hier erfolgt dann die Absaugung der belasteten Stallluft und dessen Reinigung in einer Abluftreinigungsanlage (2).



**Bild 2:** Schematische Darstellung eines Stallsystems für Mastschweine (1: Frischluftzufuhr; 2: Abluftreinigungsanlage; 3: Außenklimazone; 4: Stallbereich; 5: regelbare Zuluftöffnungen)

**Figure 2:** Schematic diagram of a barn system for fattening pigs (1: fresh air supply; 2: exhaust air purification system; 3: outdoor climate zone; 4: barn area; 5: adjustable supply air openings)

Weitere neu entwickelte Stallmodelle, die tierfreundlich, umweltgerecht, klimaschonend, verbraucherorientiert und wettbewerbsfähig sein sollen, sind in einer Broschüre der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung vertiefend dargestellt [32]. Ein Kernziel der verschiedenen Stallmodelle ist die verbesserte Buchtenstrukturierung in Liegefläche, Aktivitäts- und Fressbereich sowie in einen Kotbereich. Hierdurch soll einerseits eine artgerechtere Tierhaltung sichergestellt werden und andererseits der Anteil emittierender Oberflächen und damit

die Emissionen reduziert werden. Um die Funktionsbereiche aufrecht zu erhalten, sind verschiedene bauliche Maßnahmen erforderlich. Der Liegebereich sollte wärmeisoliert und mit Umluftventilatoren ausgestattet sein, um bei hohen sommerlichen Temperaturen für Kühlung zu sorgen. Denn insbesondere im Sommer müssen die Liegeflächen kühler sein als der Auslauf, weil ansonsten die Gefahr besteht, dass die Liegeflächen verschmutzt werden [33].

Die große Fülle von neuen Stallsystemen und die mögliche Kombination verschiedener baulicher und verfahrenstechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung erschwert die Einschätzung der Umweltwirkungen der Haltungskonzepte. Auch die Gesamtbewertung der emissionsmindernden Wirkung von einzelnen Verfahrenskombinationen ist noch nicht abschließend geklärt. Vor dem Hintergrund, dass tierwohlgerichte Ställe mit Auslauf und freier Lüftung aufgrund fehlender Emissionsdaten nur schwer beurteilt werden können, wurde daher ein neues Forschungsprojekt zur Weiterentwicklung von Methoden zur Erfassung, Modellierung und Beurteilung des Emissionsgeschehens in Nutztierställen aufgelegt [34].

### **Zusammenfassung**

Die Schweinehaltung in Deutschland ist in den letzten Jahren durch rückläufige Bestände gekennzeichnet. Da die Zahl der Schweine haltenden Betriebe noch stärker sinkt als der Bestand, nimmt die Zahl einzelbetrieblich gehaltener Tiere zu. Darüber hinaus steht die Schweinehaltung nach gesetzlich festgelegten Mindeststandard unter erheblichen Anpassungsdruck. Die Tierhaltungssysteme sollen ein artgerechtes Verhalten der Tiere und auf vielfältige Weise Zugang zu Außenklimareizen ermöglichen. Über das Tierhaltungskennzeichnungsgesetz sollen die Verbraucherinnen und Verbraucher transparent über die Form der Tierhaltung informiert werden mit dem Ziel, über ein verändertes Konsumverhalten zum Umbau der Tierhaltung beizutragen. Aufgrund der Vielzahl von Stallbauentwicklungen und der erheblichen Streuung gemessener Emissionsraten ist eine allgemeine Bewertung der Umweltwirkungen freibellüfter Stallsysteme aktuell noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Dennoch gibt es eine Fülle von Maßnahmen zur Minderung von Ammoniak- und Geruchsemissionen, die über bauliche Maßnahmen bereits im Stall zur Verringerung von Emissionen beitragen können. Diesbezüglich werden Stallsysteme mit verschiedenen Funktionsbereichen, verkleinerten Güllekanälen sowie die Verfahren zur Kot-Harntrennung untersucht. Neben einer laufenden Optimierung der Fütterung sind weiterhin Verfahren zur Güllekühlung und -ansäuerung sowie der Einsatz von Ureasehemmern Gegenstand von Forschungsarbeiten. Eine interessante Entwicklung bieten Stallbausysteme, die eine artgerechtere Tierhaltung mit Außenklimareizen und die wirksame Abluftreinigung verbinden.

### **Literatur**

- [1] N.N.: Schweinebestand in Deutschland in den Jahren 1900 bis 2022, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/163424/umfrage/entwicklung-des-schweinebestands-in-deutschland/>, Zugriff am 16.10.2023.
- [2] N.N.: Schweinehaltung, URL: <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/tierhaltung/schweinehaltung>, Zugriff am 16.10.2023.

- [3] N.N.: Betriebe mit Haltung von anderen Schweinen nach Bestandsgrößenklassen, URL: <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.bmel-statistik.de%2Ffileadmin%2Fdaten%2F0117430-0000.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK>, Zugriff am 16.10.2023.
- [4] N.N.: Haltungsform-Label bei Frischfleisch, Orientierung ja. Auswahl Fehlanzeige, URL: [https://www.verbraucherzentrale.de/sites/default/files/2020-12/Faktenblatt\\_Haltungsformen.pdf](https://www.verbraucherzentrale.de/sites/default/files/2020-12/Faktenblatt_Haltungsformen.pdf), Zugriff am 16.10.2023.
- [5] N.N.: Deutschland, wie es isst. Der BMEL-Ernährungsreport, URL: [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ernaehrungsreport-2023.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ernaehrungsreport-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=4), Zugriff am 16.10.2023.
- [6] N.N.: Versorgungsbilanzen Fleisch, URL: <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.bmel-statistik.de%2Ffileadmin%2Fdaten%2F0200503-0000.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK>, Zugriff am 16.10.2023
- [7] N.N.: Selbstversorgungsgrad bei Schweinefleisch in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2022, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/76637/umfrage/selbstversorgungsgrad-bei-fleisch-in-deutschland/>, Zugriff am 16.10.2023.
- [8] Gesetz zur Kennzeichnung von Lebensmitteln mit der Haltungsform der Tiere, von denen die Lebensmittel gewonnen wurden\*,\*\* (Tierhaltungskennzeichnungsgesetz – TierHaltKennzG). Bundesgesetzblatt 2023 Nr. 220.
- [9] N.N.: Fragen und Antworten zur Einführung einer verpflichtenden staatlichen Tierhaltungskennzeichnung, URL: <https://www.bmel.de/SharedDocs/FAQs/DE/faq-tierhaltungskennzeichnung/FAQList.html>, Zugriff am 16.10.2023.
- [10] N.N.: Anpassung des Baurechts für den Umbau der Tierhaltung, URL: <https://www.bmel.de/DE/themen/tiere/tierschutz/tierhaltungskennzeichnung/anpassung-baurecht.html>, Zugriff am 16.10.2023.
- [11] Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung - TierSchNutzTV). Bundesgesetzblatt 2001 Teil 1 Nr. 54.
- [12] Verordnung (EU) 2018/848 des europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union 61. Jahrgang L 150.
- [13] N.N.: Grundlagen der Haltung von Öko-Mastschweinen, URL: <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/tier/spezielle-tierhaltung/schweine/oekologische-mastschweinehaltung/grundlagen-der-haltung-von-oeko-mastschweinen/>, Zugriff am 16.10.2023.
- [14] KTBL (2023): Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL),

URL:

[https://www.ktbl.de/fileadmin/user\\_upload/Allgemeines/Download/Tagungen\\_2023/Emissionen\\_Nutztierhaltung/12642\\_Emissionen\\_der\\_Tierhaltung\\_2023\\_Buch\\_06102023.pdf](https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Tagungen_2023/Emissionen_Nutztierhaltung/12642_Emissionen_der_Tierhaltung_2023_Buch_06102023.pdf), Zugriff am 18.10.2023.

- [15] Auinger, C.; Döhler, H. G.: Emissionsarmer Tierwohlstall für Mastschweine mit vollständiger Kot-Harn-Trennung – Konzept und praktische Ausführung. In: KTBL (2023): Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), S. 6 – 7.
- [16] Hahne, J.: Bewertung der Wirksamkeit von Biotrickling-Filtern zur Abluftreinigung in der Mastschweinehaltung. Gefahrstoffe 82 (2022) Nr. 05-06, S. 148 – 154.
- [17] Döhler, H. G.; Kaupenjohann, M.: Emissionsarmer Tierwohlstall für Mastschweine mit vollständiger Kot-Harn-Trennung – Laboruntersuchungen zur Harnstoffstabilisierung und Nährelementfällung im Urin. In: KTBL (2023): Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), S. 8 – 9.
- [18] Wolf, U., Eurich-Menden, B., Dehler, G., Smirnov, A., & Horlacher, D.: Wie beeinflusst Auslaufhaltung die Ammoniakemissionen aus Mastschweineeställen? Landtechnik 78 (2023) H 3.
- [19] Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technisch Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). Gemeinsames Ministerialblatt Nr. 48-54 (2021) S. 1050.
- [20] VDI 3894 Blatt 1: Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen, Haltungsverfahren und Emissionen Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Richtlinie, 2011.
- [21] Krischke, F.: Immissionsmessungen an frei belüfteten Schweineeställen – Vorstellung der Zwischenergebnisse. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.): Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern. Darmstadt: KTBL, S. 52 - 53.
- [22] Markus, J.; Broer, L.; Kosch, R.; Meyer, A.; Vogt, W.; Sagkob, S.: Bestimmung von Emissionsraten bei praxisüblicher Proteinversorgung von Mastschweinen. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.): Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern. Darmstadt: KTBL, S. 64 - 66.
- [23] Puntigam, R.; Kriebelder, K.; Haberland Pimentel, A.; Scheider, S.; Spiekers, H.: Die praktische Umsetzung der nährstoffangepassten Mastschweine-Fütterung: ein wertvoller Beitrag zum Umwelt- und Ressourcenschutz in Bayern. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.): Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern. Darmstadt: KTBL, S. 73 – 75.
- [24] Ebertz, V.; Trimborn, M.; Clemens, J.; Hölscher, R.; Büscher, W.: Signifikante Ammoniak- und Methanminderung durch stallinterne Flüssigmistansäuerung. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.):
-

- Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern. Darmstadt: KTBL, S. 41 - 43.
- [25] Overmeyer, V.; Trimborn, M.; Clemens, J.; Hölscher, R.; Büscher, W.: Acidification of slurry to reduce ammonia and methane emissions: Deployment of a retrofittable system in fattening pig barns. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117263>. In: Journal of Environmental Management, Volume 331, 2023.
- [26] Schulte, H.; Ammon, C.; Hagenkamp-Korth, F.; Hartung, E.: Minderung der Ammoniakemissionen durch die Applikation eines Ureaseinhibitors in der Schweinemast. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.): Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern. Darmstadt: KTBL, S. 82 - 84.
- [27] Gallmann, E.; Wokel, L.: Güllekühlung und Güllekanalverkleinerung als Maßnahme zur Minderung von Ammoniakemissionen in zwangsgelüfteten Mastschweineeställen. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.): Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern. Darmstadt: KTBL, S. 97 - 99.
- [28] Arends, F., Bönsch, S., Gramatte, W., Grimm, E., Hahne, J., Pfeiffer, T.: Abluftreinigung für Schweinehaltungsanlagen. Verfahren – Leistungen – Kosten. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. 2023, ISBN: 978-3-945088-97-5.
- [29] Arends, F., Geburek, F., Hahne, J., Häuser, S., Pfeifer, T.: DLG-Merkblatt 483 - Hinweise zum Betrieb von Abluftreinigungsanlagen für die Schweinehaltung Teil 1: Grundlagen und Verfahrensübersicht, URL: <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/tierhaltung/schwein/dlg-merkblatt-483>, Zugriff am 19.10.2023.
- [30] Arends, F., Geburek, F., Hahne, J., Häuser, S., Pfeifer, T.: DLG-Merkblatt 484 Teil 2: Hinweise zum Betrieb von Abluftreinigungsanlagen für die Schweinehaltung, Betriebsdaten und Verbrauchswerte, <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/tierhaltung/schwein/dlg-merkblatt-484>, Zugriff am 19.10.2023.
- [31] Deeken, H.F.; Lengling, A.; Kromweh, M. S.; Büscher, W.: Wärmerückgewinnung mithilfe einer Abluftreinigungsanlage in einem Ferkelaufzuchtstall. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.): Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern. Darmstadt: KTBL, S. 23 - 25.
- [32] Braeutigam, V., Schretzmann, R.: Gesamtbetriebliches Haltungskonzept Schwein. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2019 URL: <https://www.ble-medianservice.de/simpliedownloadable/freedownload/link/hash/cdc7b08969125fe884b95f8cafe1103f/>, Zugriff am 08.11.2023.
- [33] N.N.: Emissionsminderung im Außenklimastall. Bundesinformationszentrum Landwirtschaft, URL:
-

[https://www.nutztierhaltung.de/schwein/mast/stallbau/emissionsminderung im außenklimastall/](https://www.nutztierhaltung.de/schwein/mast/stallbau/emissionsminderung-im-außenklimastall/), Zugriff am 08.11.2023.

- [34] N.N.: Özdemir übergibt Förderbescheide für Projekt EmiMod: 10,5 Millionen Euro für mehr Tier- und Klimaschutz. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, URL: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Meldungen/DE/Presse/2023/230712-projekt-emimod.html>, Zugriff am 08.11.2023.

## Autorendaten

Dr. rer. nat. Jochen Hahne ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Thünen-Institut für Agrartechnologie.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Wissenschaftliches Review / Scientific Review**

Erfolgreiches Review am 14.01.2024

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Hahne, Jochen: Rahmenbedingungen und Optionen für eine tier- und umweltgerechte Schweinehaltung. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-13

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171552-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/bioverfahrens-und-umwelttechnik.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Zukunft braucht Herkunft – warum sich Unternehmen mit ihrer Geschichte befassen sollten**

Tomislav Novoselac

### **Kurzfassung**

Der Aufsatz beleuchtet, warum es für Unternehmen wichtig ist, sich mit ihrer Geschichte zu befassen und sie als eine wertvolle Ressource zu betrachten. Der Autor argumentiert, dass ein tiefgreifendes Verständnis der eigenen Vergangenheit wesentliche Vorteile für Unternehmen mit sich bringt. Er legt in fünf Thesen dar, warum die Beschäftigung mit der eigenen Geschichte wichtig ist und welche positiven Auswirkungen dies haben kann. Der Autor stützt seine Argumentation auf persönliche Erfahrungen und integriert aktuelle Forschungsdiskussionen sowie Beispiele aus der Unternehmenswelt.

### **Schlüsselwörter**

Geschichte, Historie, Information, Wissen, Gegenwart, Zukunft

## **Future Needs Origin – Why We Must Engage with History**

Tomislav Novoselac

### **Abstract**

This article sheds light on why it is important for companies to engage with their history and view it as a valuable resource. The author argues that a profound understanding of one's own past brings significant advantages for companies. He sets out in five theses why it is important to engage with one's own history and what positive effects this can have. The author bases his argument on personal experience and integrates current research discussions as well as examples from the corporate world.

### **Keywords**

history, tradition, heritage, company history, future, present

## Einleitung

In der dynamischen Welt von heute, die sich durch einen starken Glauben an den Fortschritt und rasche Veränderungen auszeichnet, scheint Geschichte für Unternehmen oft nebensächlich. Ihr Blick richtet sich nach vorne – auf Innovation, die rasche Implementierung neuer Technologien und wirtschaftliches Wachstum. Der Blick zurück erscheint manchen für die Zukunftsgestaltung gar als hinderlich. Diese geringe Beachtung der Geschichte zeigt sich häufig auch im Umgang mit den Quellen und Zeugnissen der eigenen Vergangenheit. In den Unternehmen verschwinden sie nicht selten für viele Jahre in feuchten Kellern oder auf staubigen Dachböden, wo sie schlussendlich aus Kosten- oder Platzgründen entsorgt werden. In den letzten Jahren findet hier jedoch ein Umdenken statt. Dies zeigt sich in der wachsenden Anzahl von Unternehmen, die eigene Firmenhistoriker und -archivare beschäftigen. Schätzungen zufolge gibt es in Deutschland mittlerweile über 200 hauptamtlich geführte Unternehmensarchive. Sie sind von einer großen Typenvielfalt gekennzeichnet und in unterschiedlichen Ausprägungen und Größen vorzufinden. Sie reichen von einfachen Schubladen- und Ein-Mann-Archiven bis hin zu großen Konzernarchiven, die in Umfang und Beständen den staatlichen Archiven in nichts nachstehen [1]. Prominentestes Beispiel: die Automobilindustrie. Unternehmen wie Mercedes, Porsche, BMW und VW beschäftigen in ihren 'Classic'-Centern mittlerweile eine große Zahl an Mitarbeitenden, die sich ausschließlich um die Pflege der Unternehmensgeschichte und -tradition kümmern. In modernen Markenmuseen, wie denen von Mercedes und Porsche, werden Innovation und Geschichte in eindrucksvoller Weise zu einer Einheit, einem Markenmythos, verschmolzen. Diese 'Markentempel' ziehen Jahr für Jahr Millionen von Besuchern in ihren Bann. Die Geschichte hat sich in diesen Unternehmen zu einem zentralen und integralen Bestandteil der Markenkommunikation entwickelt. Auch in den Unternehmen der Agrartechnik ist dieser Trend erkennbar. Unternehmen wie John Deere, Claas, Same-Deutz-Fahr oder Krone betreiben mittlerweile ebenfalls eigene Archive und Museen, in denen die Geschichte dieser traditionsreichen Unternehmen bewahrt und in die Zukunft weitergetragen wird. Die folgenden Ausführungen sollen in fünf Thesen darlegen, warum es für Unternehmen wichtig ist, sich mit der eigenen Geschichte zu befassen.

## Warum Geschichte?

### *Erstens: Information und Wissen*

In der heutigen wissensbasierten Welt sind Informationen für Unternehmen von entscheidender Bedeutung, da sie die Grundlage für strategische Entscheidungen und Wettbewerbsfähigkeit bilden. Sie ermöglichen es, Markttrends zu identifizieren, Kundenbedürfnisse zu erkennen und Produkte oder Dienstleistungen entsprechend anzupassen. Ein gut informiertes Unternehmen kann daher effektiver auf Marktdynamiken reagieren und fundiertere Entscheidungen treffen. Die Geschichte eines Unternehmens erweist sich hierbei als reichhaltige Informationsquelle. Archive spielen dabei eine wichtige Rolle, indem sie diese Informationen sammeln und bewahren, um ein dauerhaftes Gedächtnis des Unternehmens zu schaffen. Derzeit werden solche Informationen für diverse Anwendungsfälle genutzt, wie beispielsweise Kundenanfra-

gen und Firmenjubiläen. Firmen wie Mercedes oder BMW bieten sogar Zugang zu umfassenden Datenarchiven über Online-Portale. Trotz dieser Nutzung bleibt das volle Potenzial historischer Daten häufig jedoch unerschlossen, vor allem da viele dieser Informationen noch nicht digitalisiert sind. Die Digitalisierung und der Einsatz moderner Technologien wie Künstliche Intelligenz könnten den Zugang zu diesem Wissen zukünftig vereinfachen – ja revolutionieren. Der israelische Historiker Yuval Noah Harari hat in seinem Buch 'Homo Deus' den Begriff 'Dataismus' geprägt, der die wachsende Bedeutung von Daten in unserer Gesellschaft hervorhebt [2]. Nach Harari könnten in einer datengetriebenen Welt zukünftig Künstliche Intelligenz und Algorithmen dabei helfen, neue Muster und Zusammenhänge in historischen Daten aufzudecken, was zu besseren Unternehmensentscheidungen führen könnte. Derzeit ist das Analysieren dieser Daten eine langwierige Aufgabe, die von Archivaren und Historikern manuell durchgeführt wird. Die Integration von KI könnte in Zukunft jedoch eine effizientere Nutzung dieser Daten ermöglichen und neue Möglichkeiten für strategische Entscheidungen eröffnen. Ein durch KI unterstütztes Unternehmensarchiv könnte somit zu einer unerschöpflichen Wissensquelle werden. Die Herausforderungen bei der Nutzung dieser Archive sind zwar groß, doch mit den richtigen Werkzeugen und Ansätzen könnte der darin verborgene Schatz gehoben und nutzbar gemacht werden. Es ist daher entscheidend, diese Informationen schon heute für zukünftige Generationen zu erhalten und zugänglich zu machen.

#### *Zweitens: Orientierung und Erkenntnisgewinn*

Die Weitergabe von Erfahrung und Wissen ist aus evolutionärer Perspektive ein grundlegender Aspekt des menschlichen Fortschritts. Sie ermöglicht es uns, auf den Errungenschaften und Fehlern von vorangegangenen Generationen aufzubauen, uns kontinuierlich weiterzuentwickeln und als Menschheit zu gedeihen. Dieser Prozess, der als kulturelle Evolution bezeichnet wird, ist einzigartig für die menschliche Spezies und hat eine entscheidende Rolle in ihrer Entwicklung gespielt. Die kulturelle Evolution unterscheidet sich von der biologischen Evolution, da sie auf dem Lernen und der Weitergabe von Informationen, Fähigkeiten und Traditionen von einer Generation zur nächsten basiert, statt auf genetischer Vererbung. Jede Generation muss dieses Wissen folglich aufs Neue erwerben. Diese Fähigkeit, Wissen und Erfahrungen zu sammeln, zu bewahren und weiterzugeben, hat es den Menschen ermöglicht, sich schnell an eine Vielzahl von Umgebungen und Bedingungen anzupassen und komplexe Gesellschaften zu entwickeln. In der Frühzeit der menschlichen Geschichte ermöglichte die Weitergabe von Wissen das Überleben. Grundlegende Fähigkeiten wie die Herstellung von Werkzeugen, Jagdtechniken, das Sammeln von Nahrung und später die Landwirtschaft und das Siedlungswesen wurden von Generation zu Generation weitergegeben. Diese Wissensübertragung führte zur Ansammlung von Fähigkeiten, die es den Menschen ermöglichte, effizienter zu leben und sich in einer widrigen Umwelt zurechtzufinden. Über die Zeit hinweg entwickelten sich auch die Methoden, wie dieses Wissen weitergegeben wurde. Die Erfindung der Sprache ermöglichte eine viel effizientere und präzisere Übermittlung von Informationen. Später führten die Erfindung der Schrift und der Drucktechnik zu einer Revolution in der Wissensspeicherung und -verbreitung. Bücher und andere schriftliche Dokumente ermöglichten es, Wissen über weite Entfernungen und über viele Generationen hinweg zu bewahren und zu teilen. Diese

Wissens- und Erfahrungsweitergabe hat sich in der modernen Welt exponentiell weiterentwickelt. In unserer schnelllebigen, technologisch fortgeschrittenen Gesellschaft hat die Fähigkeit, Wissen effizient zu teilen und zu nutzen, einen nie dagewesenen Fortschritt ermöglicht.

Für die Unternehmen ist dieser Prozess gleichermaßen relevant und bildet die Grundlage für Innovation, Anpassungsfähigkeit und ihren langfristigen Erfolg. Auf die Unternehmenswelt übertragen bedeutet das: Organisationen, die in der Lage sind, aus ihrer Geschichte zu lernen und diese Erkenntnisse – ihr mühsam erworbenes Wissen, ihr Know-how und ihr historisch gewachsenes Regelwerk – über Generationen hinweg weiterzugeben, sind bestens gerüstet, um sich an Veränderungen anzupassen und zukünftige Herausforderungen zu meistern. Die aus der Geschichte gewonnenen Erkenntnisse über vergangene Ereignisse und Entscheidungen haben für die Unternehmen somit eine wertvolle Erkenntnis- und Orientierungsfunktion. Richtig angewandt, gibt die Geschichte den Unternehmen nicht nur die Möglichkeit, den Erfahrungsschatz und das Wissen vorangegangener Generation zu bewahren und darauf aufzubauen (um nicht jedes Mal von Neuem lernen zu müssen), sondern auch einen wichtigen Verhaltens- und Orientierungsrahmen im Hinblick auf die Kultur und Werte des jeweiligen Unternehmens. Sie hilft dabei, die historisch gewachsenen Werte und Prinzipien zu verstehen, die das Unternehmen geprägt haben. Diese Erkenntnisse sind nicht nur für das Management, sondern auch für alle Mitarbeitende wichtig. Indem Unternehmen dieses Organisationswissen bestmöglich bewahren und aktiv tradieren, das heißt vor allem kommunizieren (Stichwort Storytelling), können sie aus der Vergangenheit Lektionen für ihr Handeln in der Gegenwart und Zukunft ableiten.

#### *Drittens: Identitäts- und Markenbildung*

Im Kontext der Unternehmensführung sind Unternehmensidentität und Markenbildung essenziell für den langfristigen Erfolg eines Unternehmens. Beide Konzepte sind eng miteinander verknüpft. Die Unternehmensidentität bezieht sich auf das innere Wesen und die Kerncharakteristika eines Unternehmens. Sie umfasst Elemente wie die Unternehmensmission, -werte, -kultur, ethische Grundsätze und Arbeitsweisen. Sie ist prägend dafür, wie das Unternehmen denkt und funktioniert und nach welchen Überzeugungen und Werten die Mitarbeitenden handeln. Für die Mitarbeitenden bietet eine starke Unternehmensidentität Orientierung und ein Gefühl der Zugehörigkeit. Sie hilft ihnen zu verstehen, wofür das Unternehmen steht und was von ihnen erwartet wird und fördert so das Engagement und die Motivation. Schließlich ist die Unternehmensidentität auch für die strategische Ausrichtung und Entscheidungsfindung wichtig. Sie ist ein interner Kompass, eine Art Leitplanke für unternehmerische Entscheidungen und stellt sicher, dass Unternehmensstrategien und -ziele mit den Kernwerten und der übergreifenden Mission des Unternehmens übereinstimmen. Markenbildung richtet sich dagegen auf die Darstellung der Unternehmensidentität nach außen. Sie beinhaltet, wie das Unternehmen von externen Stakeholdern, insbesondere Kunden, wahrgenommen wird. Die Marke ist die Summe aller Wahrnehmungen und Erfahrungen, die Menschen mit dem Unternehmen verbinden und umfasst Aspekte wie das visuelle Erscheinungsbild (Logo, Farbschema), die Kommunikation (Werbebotschaften, Tonfall) und das Kundenerlebnis. Das Verhältnis zwi-

schen Unternehmensidentität und Markenbildung kann als ein Prozess der Übersetzung angesehen werden: Eine starke und konsistente Marke entsteht, wenn die Außendarstellung (Marke) mit der eigenen Selbstwahrnehmung (Unternehmensidentität) übereinstimmt [3]. Eine authentische und effektive Markenbildung ist in diesem Sinne nur möglich, wenn sie auf einer soliden und klar definierten Unternehmensidentität aufbaut.

Die Bedeutung der eigenen Geschichte für die Identitäts- und Markenbildung wird besonders deutlich, wenn man sie auf die Ebene des Individuums herunterbricht. In Bewerbungsgesprächen stellt sich der Kandidat seinem Gegenüber mit seinem Lebenslauf vor. Er referenziert auf den persönlichen Werdegang und seine Geschichte – woher er kommt, welche Stationen er durchlaufen und was er geleistet hat. Der Gießener Historiker und Philosoph Odo Marquard fasste diesen Gedanken so zusammen: "Identität ist die Antwort auf die Frage, wer einer ist. Und wer einer ist, erfährt man durch seine Geschichte." [4]. Dieser Zusammenhang lässt sich auch auf Unternehmen und Organisationen übertragen. Ihre Geschichte bildet die Grundlage, auf der Identität und Marke aufgebaut sind. Sie bietet einen narrativen Rahmen, der es ermöglicht, die Entwicklung, die Werte und die Besonderheiten der Unternehmen zu kommunizieren und zu vermitteln. Dieses Narrativ ist entscheidend dafür, wie ein Unternehmen von seinen internen und externen Stakeholdern wahrgenommen wird, und trägt wesentlich dazu bei, ein kohärentes und authentisches Selbst- und Fremdverständnis zu schaffen [5].

Unternehmen formen ihre Identität und Werte oft durch erzählerische Elemente, wie den Gründungsmythos, überwundene Herausforderungen und erreichte Erfolge. Diese Geschichten prägen die Außenwahrnehmung der Unternehmen. Ein Beispiel hierfür ist Apple, das sein Image auf einer tief verwurzelten Innovationsgeschichte aufbaut, beginnend mit der legendären Gründung in einer Garage, über die zwischenzeitliche Vertreibung ihres Gründers und Visionärs Steve Jobs, bis hin zu seiner erfolgreichen Rückkehr und der Einführung bahnbrechender Produkte wie dem iPod oder dem revolutionären iPhone. Bei Claas ist es hingegen der Mythos vom 'Knoter', der als Schlüsselmoment in der Gründungszeit gilt und als Sinnbild für den Innovationsgeist des Unternehmens steht. Dieser Mythos setzt sich fort in der Erzählung von der Einführung des ersten europäischen Mähdreschers durch das Unternehmen im Jahr 1936, der als revolutionär gilt, und aus dem das Unternehmen bis heute den an sich selbst gestellten Anspruch auf Technologieführerschaft im Mähdrescherbau ableitet. Solche Erzählungen tragen wesentlich dazu bei, bei Mitarbeitenden ein Gefühl von Stolz und Verbundenheit zu schaffen und stärken die Markenidentität.

Mitarbeitende, die sich als Teil einer langen und erfolgreichen Tradition sehen, sind oft motivierter und engagierter. Sie identifizieren sich stärker mit dem Unternehmen und seinen Zielen. Dieses Gefühl der Verbundenheit mit dem Unternehmen, als Verbindung der eigenen mit der Geschichte des Unternehmens, kann dazu beitragen, eine starke Unternehmenskultur aufzubauen, die auf gemeinsamen Werten und Überzeugungen, einer starken Identifikation, basiert. Dies kann bei Unternehmen insbesondere in Phasen der Expansion, Fusion oder Neuausrichtung von Bedeutung sein, in denen die Gefahr besteht, dass die ursprünglichen identitätsbasierten Werte und Missionen des Unternehmens verwässert werden. Marquard betont hier die Bedeutung der erzählenden Geschichte in der modernen Welt: In einer Zeit, in der rationale

---

und technologische Ansätze dominieren, erfüllt die Geschichte eine wichtige kompensatorische Funktion. Sie hilft, die menschlichen Aspekte und die Verbindung zur Vergangenheit in einer zunehmend versachlichten Welt durch das Erzählen einzuordnen. Mit seinem Leitsatz 'Zukunft braucht Herkunft' betont Marquard, dass ein fundiertes Verständnis und die Wertschätzung der Vergangenheit grundlegend sind, um sich in einer sich ständig wandelnden Zukunft zu behaupten [6]. Daher sollte die Rückbesinnung auf die Geschichte nicht als rückwärtsgewandt verstanden werden, sondern als dynamischer und lebendiger Teil der Identitätsbildung und -entwicklung, sowohl für Unternehmen als auch für Individuen.



**Bild 1:** Beispiel Claas: Im Firmenmuseum und Sammlungsdepot wird die Unternehmens- und Produktgeschichte lebendig, was wesentlich zur Identitäts- und Markenbildung beiträgt [7].

**Figure 1:** Example Claas: In the company museum and collection depot, the company's and its products' history comes to life, significantly contributing to the identity and brand building of the company [7].

#### *Viertens: Glaubwürdigkeit und Vertrauen*

Vertrauen und Glaubwürdigkeit sind Schlüsselemente in der Beziehung zwischen einem Unternehmen und seinen Stakeholdern – etwa seinen Kunden, Mitarbeitenden, den Investoren oder der breiteren Öffentlichkeit. Die Geschichte eines Unternehmens stellt dabei eine wichtige Quelle für Vertrauen und Glaubwürdigkeit dar. Wie oben bereits erläutert, ist die eigene Geschichte immer als ein Narrativ zu begreifen. Es zeigt, wie das Unternehmen Herausforderungen gemeistert, für welche Werte es eingestanden und wie es seine Ziele verfolgt hat. Sie ermöglicht es den Stakeholdern, das Unternehmen nicht nur auf Basis seiner aktuellen Leistungen und Versprechen, sondern auch im Lichte seiner vergangenen Handlungen und Errungenschaften zu bewerten. Insbesondere in Zeiten von Krisen kann die Unternehmensgeschichte eine entscheidende Ressource für den Aufbau und die Aufrechterhaltung dieses Vertrauens sein. Sie dient als ein konkretes Zeugnis der Widerstandsfähigkeit und Anpassungs-

fähigkeit eines Unternehmens. Historische Beispiele in denen das Unternehmen Herausforderungen erfolgreich gemeistert hat, können als Belege für die Fähigkeit des Unternehmens dienen, auch aktuelle Krisen zu überstehen. Diese Erfolgsgeschichten aus der Vergangenheit bieten Mitarbeitenden, Kunden und Partnern eine Grundlage für Vertrauen und Hoffnung. Sie zeigen, dass das Unternehmen über die notwendigen Ressourcen, Erfahrungen und die Fähigkeit verfügt, auch neue Herausforderungen zu meistern und gestärkt aus Krisen hervorzugehen. In diesem Sinne kann die Unternehmensgeschichte als ein eine Art Prüfstein für die Glaubwürdigkeit des Unternehmens begriffen werden. Vertrauen entsteht, wenn Stakeholder das Gefühl haben, dass ein Unternehmen konsistent, ehrlich und verantwortungsbewusst handelt. Eine gut dokumentierte und kommunizierte Unternehmensgeschichte kann diese Wahrnehmung verstärken. Hat ein Unternehmen über Jahre hinweg gezeigt – dies ist natürlich Voraussetzung, dass es sich an seine Werte hält, selbst in schwierigen Zeiten, oder dass es fähig ist, aus Fehlern zu lernen und sich weiterzuentwickeln - dann stärkt dies das Vertrauen in das Unternehmen.



**Bild 2:** Innovation aus Tradition. In der Werbung kann der Verweis auf eine lange positive Unternehmens- und Produkttradition die Glaubwürdigkeit und das Vertrauen in eine Marke nachhaltig stärken [7].

**Figure 2:** Innovation from tradition. In advertising, referencing a long and positive company and product tradition can significantly enhance the credibility and trust in a brand [7].

Vertrauen aber setzt Glaubwürdigkeit voraus. Geschichte kann den Unternehmen dabei helfen, an Glaubwürdigkeit zu gewinnen. Glaubwürdigkeit entsteht durch die Übereinstimmung zwischen dem, was ein Unternehmen sagt, und dem, was es tut. Die Unternehmensgeschichte kann als Beleg dafür dienen, dass das Unternehmen seine Versprechen und Verpflichtungen ernst nimmt. Dies hat sich insbesondere im Kontext des Marketings und der Produktwerbung

---

von großem Vorteil für Unternehmen herausgestellt, die über eine lange und positive Markentradition verfügen [8]. Eine Geschichte, die über Jahrzehnte oder sogar Jahrhunderte reicht, kann ein starkes Zeugnis beispielsweise für die Qualität und Beständigkeit der Produkte sein. Unternehmen, die seit Generationen bestehen, können auf diese Weise ihre langjährige Erfahrung und ihr besonderes Engagement für Qualität hervorheben. In einer Zeit, in der Kunden den Übertreibungen und Hochglanz-Imagekampagnen der Unternehmen zunehmend kritisch gegenüberstehen, kann die Unternehmensgeschichte somit eine Quelle für Authentizität und Glaubwürdigkeit sein. Dies gilt in besonderem Maße dann, wenn die Erzählungen und Geschichten von echten Menschen, realen Ereignissen und auf authentischen Erfahrungen beruhen, wie dies eben bei der Geschichte der Fall ist. Diese Geschichten, wenn sie gut inszeniert sind, können nachweislich eine hohe emotionale Verbindung zu den Kunden schaffen und das Vertrauen in die Marke und ihre Produkte emotional aufladen.

#### *Fünftens: Innovation und Kreativität*

Die Unternehmensgeschichte kann auch für Innovation und Kreativität eine nützliche Inspirationsquelle sein. Denn die Historie liefert ein reichhaltiges Reservoir an Erfahrungen, Erkenntnissen, Ideen und Konzepten, die neu interpretiert oder weiterentwickelt werden können. Beispielsweise können frühere Produkte, Dienstleistungen oder Geschäftsmodelle, die vielleicht ihrer Zeit voraus waren, in einem neuen Kontext oder mit neuer Technologie wieder aufgegriffen und neu erfunden werden. Das Geschichtsfeld kann somit eine Perspektive anbieten, die dazu anregt, über bestehende Grenzen hinauszudenken und bewährte Konzepte auf innovative Weise neu zu gestalten. Die Bewältigung von Herausforderungen und Hindernissen in der Vergangenheit kann für Unternehmen eine Quelle der Inspiration sein. Geschichten darüber, wie kreative Lösungen für Probleme gefunden oder neue Chancen erschlossen wurden, unterstreichen die Bedeutung von Beharrlichkeit, Experimentierfreude und dem Mut, neue Wege zu gehen. Ein Beispiel dafür ist die Geschichte des Großtraktors Xerion von Claas. Ursprünglich in Anlehnung an den Geräteträger Huckepack aus den 1950er-Jahren als landwirtschaftliches Mehrzweckfahrzeug konzipiert, hat sich der Xerion trotz vieler Widrigkeiten zu einem strategisch bedeutsamen Produkt für das Unternehmen entwickelt und sich im Spitzenfeld des internationalen Traktorenbaus etabliert.

In einer offenen Unternehmenskultur können solche Geschichten die Mitarbeitenden dazu motivieren, eigene innovative Ansätze zu verfolgen und sich nicht von Rückschlägen entmutigen zu lassen. Auf diese Weise kann die Unternehmensgeschichte dazu beitragen, eine Kultur der Innovation und Kreativität zu fördern. Unternehmen, die die Geschichte ihrer Produkte und Innovationen wertschätzen, indem sie beispielsweise ein eigenes Firmenmuseum betreiben und die Produkte dort ausstellen, vermitteln ihren Mitarbeitenden, dass ihre Leistung und Kreativität gewürdigt und belohnt werden. Die Geschichte lehrt die Mitarbeitenden auch, dass sich die Wirklichkeit ständig verändert und weiterentwickelt. Dieses Erkenntnis hilft, sich auf stetigen Wandel einzustellen und zu verstehen, dass aktuelle Zustände weder als dramatisch noch als statisch anzusehen sind. Vor diesem Hintergrund fördert ein tiefes Verständnis der eigenen Geschichte kritisches und unabhängiges Denken. Es ermutigt Mitarbeitende, bestehende An-

nahmen zu hinterfragen, aus vergangenen Fehlern und Erfolgen zu lernen und so zu innovativen und fundierteren Entscheidungen zu gelangen. Eine solche Perspektive kann dazu beitragen, um eine dynamischere, anpassungsfähige und kreativere Arbeitskultur zu schaffen.

### Zusammenfassung

Der Mensch ist untrennbar mit seiner Geschichte verbunden. Sie bildet das Fundament seines Denkens und Handelns – oder wie Proust es ausdrückte: "Erst im Gedächtnis formt sich die Wirklichkeit" [9]. Lange Zeit haben Unternehmen den Wert ihrer Geschichte unterschätzt, doch zunehmend erkennen sie ihre strategische Bedeutung. Viele Unternehmen haben verstanden, dass ein tieferes Verständnis der Vergangenheit notwendig ist, um die Gegenwart zu begreifen und fundiertere Entscheidungen für die Zukunft zu treffen. Daher: Zukunft braucht Herkunft! Archive als Gedächtnisorte nehmen hierbei eine Schlüsselrolle ein. Sie sind nicht nur Bewahrer historischen Wissens, sondern tragen auch wesentlich dazu bei, Identität und Markenimage der Unternehmen zu stärken. Es ist an der Zeit, dass Unternehmen sich dieser Chancen und der Verantwortung bewusstwerden und ihre Geschichte aktiv pflegen.

### Literatur

- [1] Kroker, E.; Köhne-Lindenlaub, R.; Reininghaus, W.; Soénius, U. S. (Hrsg.): Handbuch für Wirtschaftsarchive. Theorie und Praxis. 2. Auflage, München: Walter de Gruyter GmbH & Co KG 2005, ISBN: 3 486 556727 6.
- [2] Harari, Y. N.: Homo Deus – Eine Geschichte von Morgen. München: C.H.Beck 2017, ISBN: 978 3 406 80118 1.
- [3] Burmann, C.; Zeplin, S.: Innengerichtetes identitätsbasiertes Markenmanagement - State-of-the-Art und Forschungsbedarf. In: Burmann, C. (Hrsg.): LiM-Arbeitspapiere, Bremen: Universität Bremen Fachbereich Wirtschaftswissenschaft 2004.
- [4] Marquard, O.; Stierle, K. (Hrsg.): Poetik und Hermeneutik: Identität. Bd. 8, München: Wilhelm Fink Verlag 1979, ISBN: 3 770 51580-3.
- [5] Meffert, H.: Was macht eine starke Marke aus? Identitätsorientierte Markenführung als Fundament. In: Herbrand, N. O., Röhrig, S. (Hrsg.): Die Bedeutung der Tradition für die Markenkommunikation – Konzepte und Instrumente zur ganzheitlichen Ausschöpfung des Erfolgspotenzials der Markenhistorie, Stuttgart. Edition Neues Fachwissen 2006, S. 125-149.
- [6] Marquard, O.: Zukunft braucht Herkunft: philosophische Essays. Stuttgart: Reclam 2003, ISBN: 978 3 150 50040 8.
- [7] CLAAS KgaA mbH: Bildrechte. Zugriff aus Beständen 2024.
- [8] Schug, A.: History Marketing. Ein Leitfadens zum Umgang mit Geschichte in Unternehmen. Bielefeld: transcript Verlag 2003, ISBN: 978 3 89942 161 3.
- [9] Möller, H.: Erinnerung (en), Geschichte, Identität. In: Aus Politik und Zeitgeschichte, 28, Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung 2001, S. 8-14.

### **Autorendaten**

M.A. / Dipl.-Archivar Tomislav Novoselac leitet die Abteilung Group History bei der Firma CLAAS in Harsewinkel.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Novoselac, Tomislav: Zukunft braucht Herkunft - warum sich Unternehmen mit ihrer Geschichte befassen sollten. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-10

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171553-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/unternehmensgeschichte.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.

## **Frühe Mähdrescherentwicklung – Bonner Professoren und die Firma Claas**

Peter Schulze Lammers

### **Kurzfassung**

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts begann im deutschsprachigen Raum die Entwicklung weg vom Standdrusch hin zu mobilen Mähdreschern. Dabei hatte die Kooperation zwischen der Firma Claas und den derzeitigen Bonner Professoren des Instituts für Landtechnik (ILT) einen maßgeblichen Anteil. Der Artikel beruht auf den Informationen aus Veröffentlichungen der Professoren Vormfelde, Brenner und Dencker von 1910 -1931. Es gibt darin keine gemeinsame Veröffentlichung mit August Claas, dem maßgeblich Verantwortlichen für die technische Produktentwicklung im Unternehmen Claas, aber die Quellen geben einen guten Einblick in die Situation und Diskussion um die Ablösung des Standdrusches.

### **Schlüsselwörter**

Getreideernte, Dreschmaschinen, Dreschtrommel, Knüpfer, lose Getreidekette, Mähdrescher, Getreidekonservierung

## **Early evolution of combine harvesters – professors at the university of Bonn and the Claas company**

Peter Schulze Lammers

### **Abstract**

In the first half of the 20th century, the evolution from stationary threshing towards mobile combine harvesters began in German-speaking countries. The cooperation between the Claas company and professors at that time in the Institute of Agricultural Engineering (ILT) played a leading role. The information is based on the publications by Professors Vormfelde, Brenner and Dencker from 1910 - 1931. There is no joint publication with August Claas, who was largely responsible for technical product development at Claas, but the sources provide a contemporary insight into the situation and discussion surrounding the implementation of combine threshing in Germany.

### **Keywords**

Cereals, grain harvesting, threshing machines, threshing drum, knotter, grain handling, grain preservation

---

## Einleitung

Die im Titel angesprochenen Zusammenarbeit erstreckt sich auf den Zeitraum des Wirkens der Professoren Karl Vormfelde, Walter Gustav Brenner und Carl-Heinrich Dencker. Wobei Brenner in dieser Zeit nicht in der Position eines Professors an der Landwirtschaftlichen Akademie Poppelsdorf war, aber als Mitarbeiter von Vormfelde maßgeblich zu der Mähdrescherentwicklung und Mechanisierung der Getreideernte beigetragen hat, insbesondere in Zusammenwirken mit der Firma Claas. Darüber wird im Folgenden chronologisch berichtet mit einer erweiterten Sicht auf die landtechnischen Entwicklungen zur Getreideernte Ende der 20iger und in den 30iger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts.

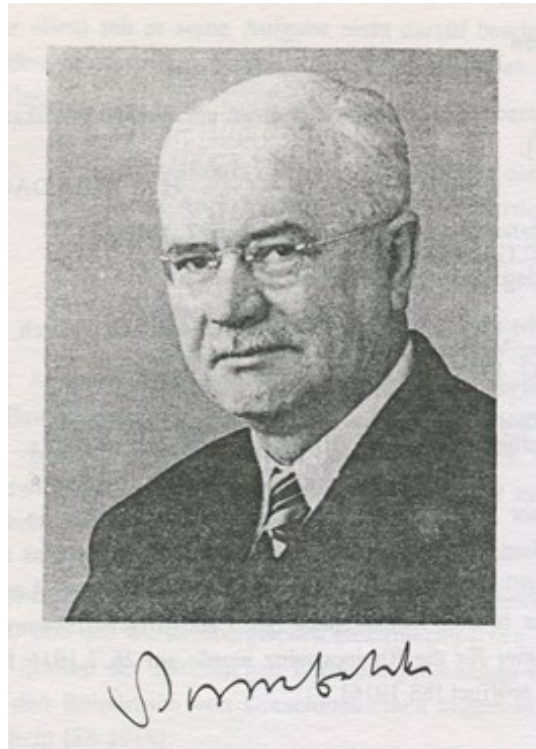
Das Wirken von Karl Vormfelde in Bonn (1919-1944) fällt in die Epoche der stationären Dreschtechnik, der Mähbinder und Strohpressen. In den beiden letzten Bereichen war die Firma Claas tätig. Auch seine Vorgänger am Bonner Institut Eberhard Giesler und Hans Holldack haben sich mit den Entwicklungen der Mechanisierung der Getreideernte beschäftigt. In die Zeit Holldacks fiel die Mitwirkung von Max Eyth an der Landwirtschaftlichen Akademie in Poppelsdorf von 1882 bis 1886, in der er sich insbesondere der Gründung der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft widmete.

Karl Vormfelde hatte bereits Kenntnisse in dem Bereich der Getreideernte aus seiner Tätigkeit bei der Firma Heinrich Lanz/Mannheim. In dieser Zeit veröffentlichte er eine Abhandlung über die Entwicklungen des Dreschbetriebes [1], in der er auf die Unterschiede zwischen Stifentrommel, die in Amerika weite Verbreitung gefunden hatte und Schlagleistentrommel, die in Deutschland verwendet wurde, eingeht. In den sogenannten Breidreschmaschinen wurden Schlagleisten-trommeln eingesetzt, deren Merkmal eine geringe Beschädigung des Strohs war aber auch ein stark diskontinuierlicher Durchsatz durch gabenweise Eingabe in das Dreschorgan. Lanz stellte in dieser Zeit Dreschmaschinen und Dreschsätze (bestehend aus Dampfantrieb, Dreschmaschine und Strohpresse) her. In einem Brief an einen Freund (W. A. Müller) im Jahr 1913 schreibt Vormfelde als Exportingenieur der Firma Heinrich Lanz über den Einsatz eines Lanz Dreschsatzes in Griechenland: „Der Befehl unserer Firma ist ausgeführt, Thessalien ist erobert. Ich habe den Rauch aus dem Feuer deutscher Maschinen am Fuße des Olympos aufsteigen lassen, und die Götter haben mich nicht zermalmt und nicht in den Tartarus geschickt. Gnädig waren sie meinem Beginnen. Zwar ging es nicht ganz ohne Blutvergießen ab; Scharen von Moskitos drohten mich und meinen Maschinisten kampfunfähig zu machen“ [2]. Sein Werdegang und die beruflichen Stationen sind im Folgenden in kurzer Form dargestellt.

**Prof. Dr.-Ing. Karl Heinrich Vormfelde** - 8. März 1881 in Bielefeld - 9. März 1944 in Bonn

- 1900- 1904 Studium an der Technischen Hochschule Hannover danach 2 Jahre DLG Stipendiat
- 1906 Promotion an TH Hannover über theoretische Probleme bei Milchscheudern
- 1910 - 1914 internationale Aufgaben bei Heinrich Lanz, Exportingenieur

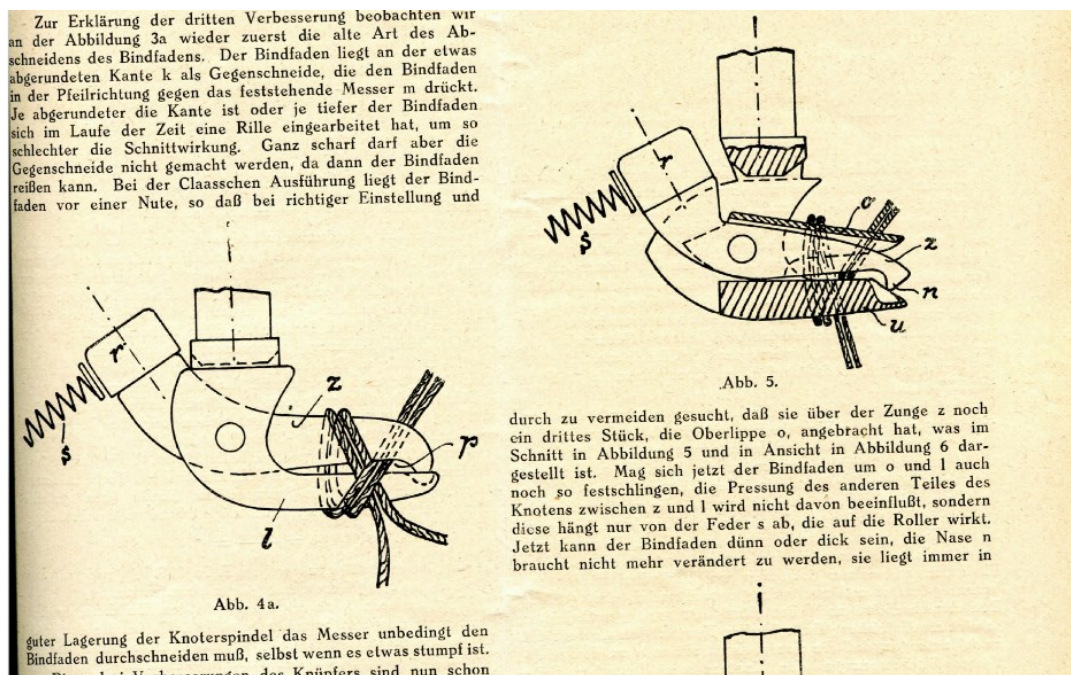
- Nach Kriegsende Technischer Direktor der Landmaschinenfabrik Dehne, Halberstadt
- ab 1919 Leiter des Instituts in Bonn-Poppelsdorf zum damaligen Stand Landwirtschaftliche Hochschule Bonn-Poppelsdorf bis 1944 (**Bild 1**)



**Bild 1:** Prof. Dr.-Ing. Karl Vormfelde [3].

**Figure 1:** Prof.-Dr.-Ing. Karl Vormfelde [3].

Bereits 1910 berichtet Vormfelde über die Prüfung von Riesendreschmaschinen in den Mitteilungen des Verbandes landwirtschaftlicher Maschinen-Prüfungs-Anstalten [4]. Erste Informationen über eine Verbindung zu Claas liegen aus dem Jahr 1924 vor, als Vormfelde über die Neuerungen an dem Knüpfapparat der Firma Claas (**Bild 2**) berichtet. Eine Verbesserung lag in der sicheren Bindung auch bei starken Bindegarnen. Weiterhin wurde die untere Halteplatte mit einer Nut versehen, die dazu führte, dass auch bei lockerer Garnspannung die Haltefunktion erhalten blieb. Eine dritte Verbesserung bestand in dem sicheren Trennen des Bindegarns durch eine Nut in der Gegenschneide, in die das Messer eingreift und auch bei stumpferen Messern zum sicheren Trennen des Bindegarns führt [5]. Im Jahre 1922 bei einem Besuch Vormfeldes in Harsewinkel im Zusammenhang mit einem Gutachten zur Bindsicherheit von Knotern lernte Vormfelde August Claas kennen. Vormfelde war auch bereits durch seine Tätigkeit bei Lanz und später als Professor an der Landwirtschaftlichen Hochschule Poppelsdorf als Fachmann für die Getreideernte und Technik des Dreschens ausgewiesen, was auch durch seine Wahl zum Vorsitzenden des Getreideernte-ausschusses des RKTL belegt wird [6].



**Bild 2:** Claas Knoter, 1924 [5].

**Figure 2:** Claas Knotter bills [5].

1925 berichtet er einem Vortrag auf der DLG Herbsttagung in Königsberg [7] über die Wirkung von Wurfentgrannern und Rollschüttlern, die Eingang in die Stationärdrescher gefunden hatten. Einen guten Einblick in den Stand der Entwicklung und Einführung von Mähreschern in die Landwirtschaft gibt die 1. Ausgabe des Fachheftes Getreideernte der Zeitschrift „Die Technik in der Landwirtschaft“ im Jahre 1930 herausgegeben vom VDI-Verlag in Berlin, mit 9 Beiträgen (darunter die Autoren Vormfelde, Brenner und Knolle) zur Technik in der Getreideernte, in der sich die Autoren mit dem Mähdrusch und auch bereits mit technischen Einrichtungen zur Trocknung von Körner befassen [8]. Vormfelde war Vorsitzender des RKL Getreideausschusses, der 1929 einen Vergleichstest mit 13 Maschinen in Auftrag gegeben hatte und damit eine bereits 1928 begonnene Untersuchungen von 7 Mähreschern fortsetze. Vormfelde resümiert, dass Mährescher unter den klimatischen Verhältnissen in Deutschland einsetzbar sind, 50% Arbeitszeit können im Vergleich zum weit verbreiteten Mähen-Binden-Standdrusch eingespart werden. Die Schwierigkeiten liegen bei der Stroh-Spreubergung. Die Körnerverluste sind deutlich geringer als bei dem Ernteverfahren mit Mähbinder und Standdrusch.

Im selben Jahr befasst sich Vormfelde in einem Beitrag zur Wanderausstellung Köln [9] auch mit den sozialen Umbrüchen, die durch die Einführung von Mähreschern erwartet wurden. Er beschreibt sie als ähnlich den Umwälzungen verursacht durch die Dampfmaschine und befürchtet insbesondere eine Landflucht und das Entstehen einer Getreideindustrie gleich der Großindustrie, wie sie durch die Dampfkraft entstanden war. Aber auch bei dem geteilten Ernteverfahren, das in den landwirtschaftlichen Betrieben eingeführt war, vollzogen sich Fortschritte der Mechanisierung. Der Stahldrescher wurde von Vormfelde [9] als leichter wie auch

billiger beschrieben. Mit Ferneinleger und Garbenaufschneider wurden wesentliche arbeitswirtschaftliche Einsparungen erreicht. In seinem Bericht geht er auf einen weiteren Zusammenhang ein, der in Verbindung mit dem eingeführten stationären Drusch verbunden war. Die sogenannte Breitdrusch-Maschinen lieferten Langstroh, wie es in vielen Betrieben bevorzugt wurde, aber auch vom preußischen Militär per Reglement gefordert wurde [9]. Eine Einnahmequelle, auf die viele landwirtschaftliche Betriebe nicht verzichten wollten.

Im Rückblick wird deutlich, dass dieser Absatz von Langstroh mit der zunehmenden Technisierung des Militärs schnell versiegte. In seinem Bericht zu der Ausstellung geht Vormfelde auch auf die Trommeltechnik ein. Den Stifftrommeln, die in den USA weit verbreitet waren, wurde zugeschrieben, besseres Streustroh (Kurzstroh) zu erzeugen. Und er schloss daraus, dass „diese Entwicklung auch wie von selbst zur Einführung von Miststreumaschinen führen würde“. Als ungelöstes Problem wurde die Notwendigkeit, Spreu und Stroh zu bergen, angesprochen, wofür durch das mobile Dreschen auf dem Feld eine Lösung gefunden werden musste. In Bezug auf den Antrieb der Dresch- und Reinigungseinrichtungen war die Situation geprägt von einem schnellen Fortschritt im Bereich des Standdrusches. In dieser Zeit wurden von den Herstellern Komplett-Sätze angeboten mit wahlweisem Antrieb über Dampfkraftmaschinen, Verbrennungsmotoren oder Elektromotoren.

In einem Artikel über die Royal Agricultural Show in Manchester 1930 [10] berichtet er über den ersten in Europa gezeigten Mähdrescher der amerikanischen Fa. Rumely (**Bild 3**). In dem Artikel „Ein neues Weltbild durch Mähdrescher“ in der Zeitschrift des VDI [11] stellt Vormfelde 1931 die bereits in den USA eingesetzten Mähdrescher vor und spricht von den Mähdrescherrändern, zu denen er Deutschland nicht zählte. Für die Einführung des Mähdrusches seien die notwendigen Voraussetzungen in den bäuerlichen Betrieben nicht gegeben. Eine große Rolle spielte dabei die Arbeitskräftesituation in Deutschland, die zunächst durch Arbeitslosigkeit und später aber durch Mangel an Arbeitskräften in der Landwirtschaft geprägt war.



**Bild 3:** Rumely Mähdrescher 1929 [12].

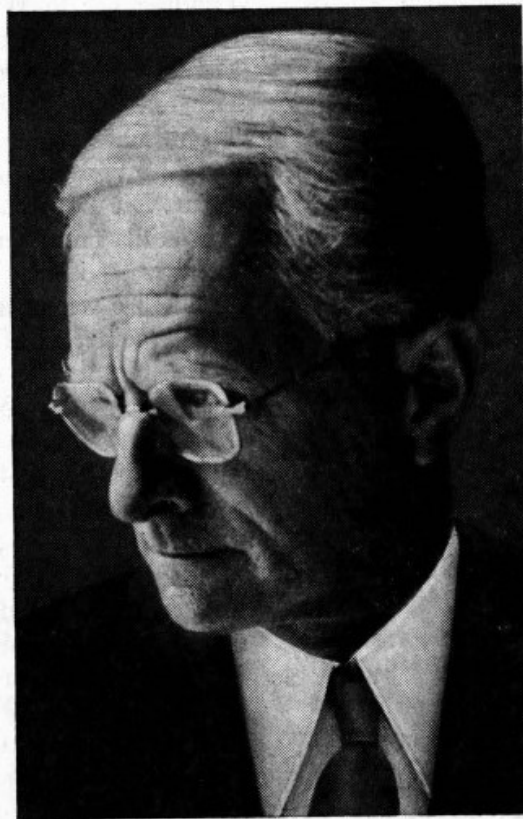
**Figure 3:** Rumely combine 1929 [12].

Trotz der kritischen Auseinandersetzung mit der Einführung der Technologie der Mähdescher war er überzeugt, dass diese Technik sich durchsetzen würde und fand in August Claas einen Gleichgesinnten. Beide verband auch ihre Herkunft, Vormfelde stammte aus Bielefeld nur 30 km von Harsewinkel entfernt und beide sprachen dasselbe Platt. Eine kongeniale Epoche entstand dadurch, dass Vormfelde Walter Brenner (1929-1933) für das Bonner Institut gewinnen konnte, wodurch die Verbindung zur Firma Claas intensiviert wurde.

Walter Gustav Brenner befasste sich nach seinem Studium an der TH München mit den Strömungseigenschaften von Körnern sowie den Trenneigenschaften von Steigsichtern und promovierte darüber an der TH Stuttgart. Vor seiner Tätigkeit an dem Bonner ILT bei Vormfelde übte er eine industrielle Tätigkeit bei der Firma Röber, einem Hersteller von Getreidereinigern aus. Die enge Verbundenheit von Brenner mit der Firma Claas ergibt sich aus seinem Werdegang.

**Prof. Dr.-Ing. Walter Gustav Brenner** - 28. Juli 1899 in Münchberg/Oberfranken - 8. Dez. 1973 in Tegernsee

- 1920 – 1924 Studium an der Technischen Hochschule München
- 1927 Promotion an der Technischen Hochschule Stuttgart mit einer Arbeit über den Sortiervorgang bei der Sichtung von Saatgetreide durch Windströme
- anschließend Tätigkeiten bei der Firma Röber, Getreidereinigung
- 1929 wieder zurück zu Forschung und Lehre als Assistent von Prof. Karl Vormfelde
- 1932 Habilitation an der Landwirtschaftlichen Hochschule Poppelsdorf
- 1932 Patent – Poppelsdorfer Zapfwellenmähdescher
- 1933 Tätigkeit bei der Firma Claas im Bereich Entwicklung Mähdescher
- 1949 Direktor des neu errichteten Instituts für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig Völkenrode
- 1952 von den Gebr. Claas als Konstruktionsleiter und Prokurist nach Harsewinkel zurückberufen
- 1955 - 1967 Ordinarius am Institut für Landtechnik in Weihenstephan der TH-München
- 1960 wurde ihm die Ehrendoktorwürde der Universität Bonn verliehen (Bild 4)

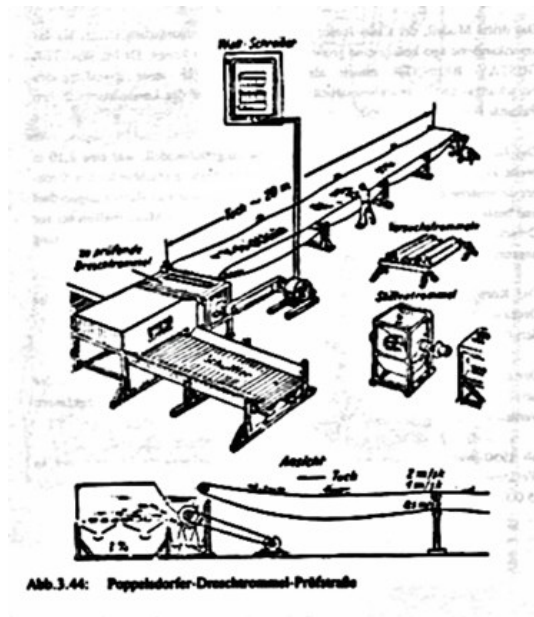


**Bild 4:** Prof. Dr.-Ing. Walter Gustav Brenner [3].

**Figure 4:** Prof. Dr.-Ing. Walter Gustav Brenner [3].

1930 berichtet Brenner in „Die Technik in der Landwirtschaft“ über die technische Bewährung der Mähdrescher 1930 [13]. In diesem Jahr, so führt er aus, sind in Deutschland 16 Mähdrescher im Einsatz und resümiert in dem Ausblick, dass die Verbilligung bei Mähdreschern von dem Antrieb über die Zapfwelle des Schleppers erfolgen könnte und damit der Aufbaumotor nicht mehr notwendig sei. Dadurch würden der Bau von kleineren Mähdreschern in der Größe eines Mähbinders möglich werden.

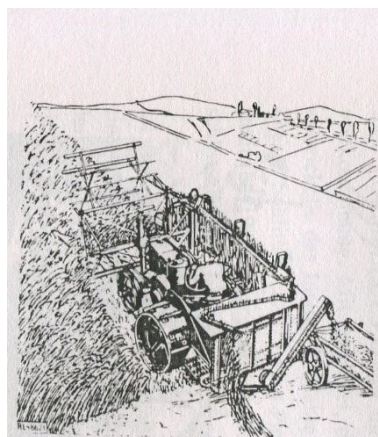
In seiner Habilitation, die er in Bonn bei Vormfelde durchführte, baute er eine Dreschtrommelprüfstraße auf (**Bild 5**) und führte damit zahlreiche Untersuchungen zu Wirkungsgraden durch. Auf dieser Einrichtung wurde u. a. sehr schnell die höhere Leistung bei einer gleichmäßigen schleierartigen Zuführung des Getreides gegenüber dem Garbeneinlegen bei stationären Dreschmaschinen nachgewiesen.



**Bild 5:** Poppelsdorfer Dreschtrommel- versuchsstand, 1932 [3].

**Figure 5:** Poppelsdorfer threshing drum test bench, 1932 [3].

Was sicherlich auf eine enge Zusammenarbeit mit August Claas hindeutet, sind seine Ambitionen, nicht nur durch grundlegende Untersuchungen zur Druschtechnik zur Forschung beizutragen, sondern auch konstruktiv tätig zu werden. Als Ergebnis dieser Aktivitäten in seiner Bonner Zeit kann der um den Schlepper herum gebaute und mit senkrechter Anordnung der Dreschtrommel ausgestattete Mähdrescher gesehen werden, den er zum Patent anmeldete (**Bild 6**) [14].



**Bild 6:** Poppelsdorfer Zapfwellenmähdrescher, 1932 [3].

**Figure 6:** Poppelsdorf PTO driven combine, 1932 [3].

In der bereits erwähnten 1. Ausgabe der Zeitschrift „Die Technik in der Landwirtschaft“ [15] gingen Brenner und Coautoren auf Untersuchungen über Körnerverluste bei verschiedenen Ernteverfahren ein und stellten fest, dass die Druschverluste bei Mähdreschern höher sein als bei Standdreschern, was auf die kleineren Schüttlerflächen der Mähdrescher zurückgeführt wird. Dem stünden jedoch die Verluste beim Binden, Aufsetzen der Garben, Auf- und Umhocken und Einfahren beim Standdreschen gegenüber.

1960 verlieh ihm die Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn die Würde eines Dr. agr. h. c. für „von zielklarer und unbeirrbarer Folgerichtigkeit getragene Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Landtechnik. Der landtechnischen Wissenschaft ist zu wünschen, dass sie auch in Zukunft noch solche Vorbilder wie Professor Brenner finden möge, die bereit sind, die in erfolgreicher Industrietätigkeit gewonnenen Erfahrungen aus erster Hand den Studenten und Doktoranden als dem Nachwuchs für Industrie und Wissenschaft zu vermitteln“ [16].

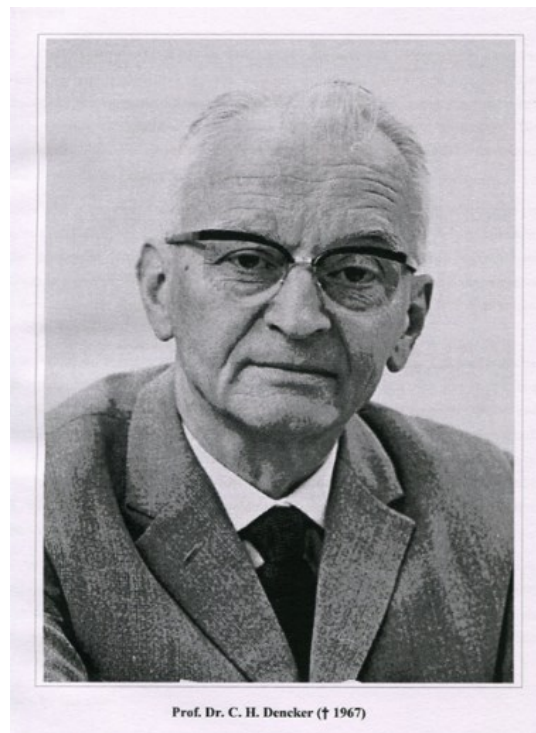
Helmut Claas schreibt in der Jubiläumszeitschrift Agrartechnik Aktuell 2011, 75 Jahre Claas Mähdrescher 1936 bis 2011 „Die Claas Mähdrescher Pioniere der 1930er sowie der 1940er Jahre, Professor Vormfelde, Dr. Brenner mit August Claas an der Spitze hatten mit der Entwicklung und der Markteinführung des ersten europatauglichen Mähdreschers die Tür zum Mähdruschverfahren in Europa aufgestoßen“ [17]. Von 1936 bis 1942 stellte Claas 1400 Mähdreschbinder in seinem Werk in Harsewinkel her. Der zweite Weltkrieg zwang zu einer Unterbrechung der Produktion und nach dem zweiten Weltkrieg folgte 1956 Markteinführung des Claas Super mit dem Quer-Längs-Flussprinzip.

Ergänzend sei an dieser Stelle auf Wilhelm Knolle hingewiesen, Assistent von Vormfelde von 1926 bis 1928 und damit Vorgänger von Brenner in dieser Position. Er befasste sich in seiner Dissertation mit „Untersuchungen an Breiddreschtrommeln“ intensiv mit der Dreschtechnik und es kann davon ausgegangen werden, dass er später als Leiter der Konstruktion bei Lanz zur Entwicklung der frühen Mähdrescher maßgeblich beitragen hat. Kriegsbedingt musste er die Tätigkeit aufgeben und wurde später auf eine Professur in Halle berufen. In seinem weiteren Lebensweg gründete er in Eschwege ein Unternehmen, das sich der Aufbereitung von einkeimigen Zuckerrübensamen (technisch monogerm) widmete und bis heute besteht. [18]

Carl-Heinrich Dencker kam sicherlich als Doktorand am ILT Bonn (1923-1926) aufgrund Vormfeldes Engagement für die Mechanisierung der Getreideernte mit der Thematik in Verbindung. Als ausgebildeter Elektroingenieur sah Vormfelde für ihm im Institut eine Aufgabenstellung in der aufkommenden Elektrifizierung der Landwirtschaft vor, was sich auf in dem Thema seiner Dissertation widerspiegelt.

**Prof. Dr.-Ing. Carl-Heinrich Dencker** - 23. Mai 1900 in Hamburg - 9. Okt. 1967 in Bonn

- 1920 Studium Elektrotechnik TU Hannover
- 1923 – 1925 wissenschaftlicher Assistent in Bonn bei Prof. Vormfelde
- 1925 Promotion über Windkraftnutzung in der Landwirtschaft TU Hannover
- Ab 1926 LWK Schleswig-Holstein, Geschäftsführer Maschinen-Beratungsstelle
- 1927 Habilitation an der Universität Kiel mit einer Arbeit zur Gebläseförderung
- 1928 Professor und Direktor, Preußische Versuchs- und Forschungsanstalt in Landsberg/Warthe sowie Aufbau einer Gutsberatung
- 1932 Berufung zum Professor und Ordinarius für landwirtschaftliche Maschinenkunde an die Universität Berlin
- 1946 -1967 Professur zur Systematisierung und Mechanisierung an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn (**Bild 7**)



**Bild 7:** Prof. Dr.-Ing. Carl-Heinrich Dencker [3].

**Figure 7:** Prof. Dr.-Ing. Carl-Heinrich Dencker [3].

In seiner Tätigkeit als Direktor des Institutes für Landmaschinenwesen an der Preußischen Landwirtschaftlichen Versuchs- und Forschungsanstalt in Landsberg/Warthe setzte auch er sich mit der Mechanisierung der Getreideernte auseinander. Sein Beitrag zur Strohfrage in der Zeitschrift Technik in der Landwirtschaft [19] aus dem Jahr 1930 gibt er einen umfassenden

---

Überblick über die Verfahren der Strohernte in der Nachkriegszeit (1. Weltkrieg). Er stellt darin fest, dass der Strohtransport eine wesentliche Aufgabe im betrieblichen Ablauf darstelle und rechnete mit einem Strohaufkommen von dem 1,5 bis 2-fachen des Kornertrages, das zur Dreschmaschine transportiert werden musste und anschließend in Diemen oder Scheunen gelagert wurde. Von dort gelangte es in die Ställe zur Einstreu und schlussendlich musste es als Mist wieder auf die Felder ausgebracht werden – ein umfassende Transportaufgabe in der Landwirtschaft. Der Hockendrusch auf dem Felde könne den Transport des Stroh in die Scheunen und im Winter und dessen Entnahme zum stationären Dreschen vereinfachen, war jedoch auf 200 bis 250 ha abzdreschende Fläche begrenzt. Der Schmaldrescher sollte als Einmandrescher wesentliche Einsparungen an Arbeitskräften ermöglichen. Das ausgedroschene Stroh konnte lose mit Gebläsen zu Diemen aufgehäuft oder zu Ballen gepresst werden. Die dafür verwendeten Strohpressen waren jedoch besser für Langstroh (Breitdrescher) geeignet [20]. Zur pneumatischen Förderung von Stroh in loser oder Ballenform hat er sich intensiv beschäftigt und über diese Forschungsarbeiten von 1927 bis 1931 in 17 Veröffentlichungen berichtet.

In seiner Berliner Zeit (1930 bis zur kriegsbedingten Unterbrechung am Institut für landwirtschaftliches Maschinenwesen) befasste er sich mit Körnergebläsen, einer wesentliche Komponente der losen Körnerkette im Getreideanbau und den Grundlagen der Pneumatik zusammen mit G. Segler, der später den Lehrstuhl für Agrartechnik in Hohenheim übernahm. Die Zeit war geprägt von der Diskussion zur Einführung des Mähdrusches in Deutschland. Auch Dencker trug dazu bei, wie aus der Betreuung der Dissertation von W. Glasow mit dem Titel: Untersuchung über die Einsatzmöglichkeit des Mähdrescherbinders in der deutschen Landwirtschaft hervorgeht

In seiner Zeit an als Lehrstuhlinhaber an der Universität Bonn galt sein Forschungsinteresse einem weiten Bereich der Landtechnik, darunter auch die Getreideernte. Hier setzte er frühzeitig seine Forschungsziele auf den Bereich der Nachernte. Insbesondere die Trocknung von Körnern ist Gegenstand zahlreicher Veröffentlichungen darunter 16 Dissertationen gewesen. Die Verbindungen zur Firma Claas waren damit nicht mehr produktbezogen, sondern bestanden in dem gemeinsamen Interesse, die Getreideernte mit dem Mähdrescher und der damit verbundene lose Körnerkette fort zu entwickeln. Die Konservierung von Getreide, die bei der stationären Druschkette und Absackung des Getreides etabliert und zuverlässig war, musste nun mit technischen Mitteln erfolgen und in ihren thermodynamischen Grundlagen erschlossen werden.

Es bedurfte keiner Überzeugungsarbeit für die Verwendung des Mähdreschers mehr, aber die Schwierigkeit, die mit dem Anfall großer Mengen von Getreide in kurzen Ernteperioden anfielen, musste bewältigt werden. Nach anfänglichen Versuchen mit der Belüftungstrocknung wurde schnell klar, dass ein Anwärmen der Trocknungsluft notwendig war, um unter den klimatischen Bedingungen Deutschlands anfallende Feuchtgetreide in kurzer Zeit konservieren zu können. Die Zeitspannen für die Getreideernte im Mähdruschverfahren waren zu gering, um das Korn unter 14% Feuchte einbringen zu können. Aus heutiger Sicht bleibt unverständlich, dass die Bergung des Stroh, das bei Feuchtgetreide auch nicht lagerungsfähig auf dem

Felde anfiel, keine wissenschaftliche Beschäftigung erfuhr, obwohl es weiterhin in der Viehhaltung unabdinglich gebraucht wurde. In diesem Punkt überließ die Wissenschaft den Landwirten die Bewältigung der Probleme, die sich aus dem Mähdrusch ergaben, die schnell ihre Erfahrungen aus der Heuernte auf die Strohbergung anwendeten.

Zu seinem 60igsten Geburtstag (1960) wurde Carl-Heinrich Dencker ein Claas Super Junior als Anschauungsobjekt für Vorlesungen von August Claas zum Geschenk gemacht. Das Exemplar war mit Sichtfenstern für den Innenraum (Dreschtrommel und Schüttler) versehen und erleichterte vielen Studentengenerationen das Verständnis über die Vorgänge im Mähdrescher. In den 2000er Jahren nach Einführung von digitalen Methoden in der Lehre wurde dieser Mähdrescher in einem feierlichen Akt im Beisein von Helmut Claas der Firma Claas zurückgegeben und steht heute im Innenhof des Atrium-Gebäudes in Harsewinkel.

Die Denckerfamilie, die Gemeinschaft der Lehrenden und Forschenden am Institut für Landtechnik in Bonn war stark geprägt von der Not und dem Mangel der unmittelbaren Nachkriegszeit (2. Weltkrieg). Wolfgang Brinkmann als Nachfolger war sein Schüler und verkörperte den Geist dieser Ära bis in 1980er Jahre. Prof. Steffen als vormaliger KTL-Geschäftsführer, späterer Professor für Betriebslehre an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn und Schwiegersohn Dencker's sorgte dafür, dass die Denckeraura nicht verblasste.

Auch in der heutigen Zeit gibt es gute Beziehungen zwischen der Firma Claas und dem ILT-Bonn. So wird das Fach Landmaschinen an der RWTH Aachen in einem gemeinsamen Lehrauftrag zwischen der Firma Claas (Prof. Dr.-Ing. Ludger Frerichs, 2002-2008 und Dr.-Ing. Andreas Brunnert ab 2014) und ILT- Prof. Schulze Lammers (2015-2022) vertreten.

## **Literatur**

- [1] Vormfelde, K.: Die Entwicklung des Dreschbetriebes. Maschinen-Praxis (1912), Nr. 25, 4. Jhr, Landes-Verlag Berlin, S. 429-431.
- [2] Vormfelde, K.: Deutsche Technik am Olymp. Mitteilungen der Landwirtschaft 5 (1913) Hrsg. Heinrich Lanz Mannheim, S. 6-9.
- [3] N.N.: Archiv des Instituts für Landtechnik der Universität Bonn (2023).
- [4] Vormfelde, K.: Die Prüfung von Riesendreschmaschinen. Mitteilungen des Verbandes landwirtschaftlicher Maschinen-Prüfungs-Anstalten (1910), 4. Jhr, H1, S. 12.
- [5] Vormfelde K.: Knüpfapparat der Gebrüder Claas in Harsewinkel. Mitteilungen der deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (1924), 34. Jhr, 16, S. 289-291.
- [6] Schulze Lammers, P.: Karl Vormfelde 1881-1944. Neue Deutsche Biographie 26 (2013), Historische Kommission der Bayerischen Akademie der Wissenschaft, München.
- [7] Vormfelde, K.: Aus der Landwirtschaftlichen Maschinenpraxis. Die Landmaschine (1924), Verlag Parey, Berlin, 4. Jhr, 20, S. 285-288.
- [8] Vormfelde, K., Ries L.W.: Arbeiten aus dem Getreide=Ausschusses 1929. Die Technik in der Landwirtschaft, Die Landmaschine. 11. Jhr, Nr. 1, VDI-Verlag Berlin (1930), 1-2.

- [9] Vormfelde, K.: Wanderausstellung Köln - Landwirtschaftliche Maschinen. Mitteilungen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft, 45/28, (1930), 603-605.
- [10] Vormfelde, K.: Die 89. Royal Agricultural Show in Manchester. Die Technik in der Landwirtschaft (1931), 12/11, VDI-Verlag, Berlin, S. 312-315.
- [11] Vormfelde, K.: Ein neues Weltbild durch den Mähdescher. Zeitschrift des Vereins der Deutschen Ingenieure (1931), Bd 75, Nr. 6, Sonderausgabe, S. 1-7.
- [12] Bildquelle: Rumely: Mähdescher 1929. Die Technik in der Landwirtschaft (1929), Jhrg 11, Nr.1, VDI Verlag Berlin, S. 7.
- [13] Brenner W. G.: Die technische Bewährung der Mähdescher 1930. Die Technik in der Landwirtschaft (1931), Bd 12, Nr.1, VDI-Verlag, Berlin, S. 9-16.
- [14] Brinkmann, W., Schiffgen, C.: Beitrag zur Geschichte der Agrartechnik im Rheinland zwischen 1777 und 1997. Arbeiten aus dem Institut für Landtechnik der Rheinischen Friederich-Wilhelms-Universität Bonn (1997), H25, S. 152.
- [15] Brenner W. G., Jürges, Knolle, Diederichsen: Untersuchungen über Körnerverluste bei verschiedenen Ernteverfahren. Die Technik in der Landwirtschaft (1930), Nr. 1/16 VDI-Verlag Berlin, S. 16-25.
- [16] Söhne W.: Geschichte des Instituts für Landmaschinen der TU München und Entwicklung des Landtechnischen Institute in der Bundesrepublik. Institut für Landmaschinen (1990).
- [17] Claas, H.: Pioniere des Mähdeschers. Jubiläumszeitschrift Agrartechnik Aktuell, 75 Jahre Claas Mähdescher 1936 bis 2011 (2011). DLG-Verlag München.
- [18] Krombholz, K.: Über die Institutionen und Personen der landtechnischen Ausbildung und Forschung im 19. und 20. Jahrhundert in Deutschland. Hohenheim: Förderverein des Deutschen Landwirtschaftsmuseums e.V. (Hrsg.) 2015.
- [19] Dencker, C.H.: Die Strohfrage. Technik in der Landwirtschaft. VDI-Verlag (1930), Berlin, S. 307 -309.
- [20] Dencker, C.H.: Schmal- oder Breitreisder? Technik in der Landwirtschaft 11 (1930), S. 235 - 236.

### **Autorendaten**

Prof. i. R. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers als ehemaliger Leiter des Instituts für Landtechnik der Universität Bonn.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Schulze Lammers, Peter: Frühe Mähdescherentwicklung – Bonner Professoren und die Firma Claas. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-14

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171554-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2022/chapter/maehdescherentwicklung.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.