

JAHRBUCH AGRARTECHNIK

YEARBOOK AGRICULTURAL ENGINEERING

Herausgeber/Editor:
Prof. Dr. Ludger Frerichs



JAHRBUCH AGRARTECHNIK

YEARBOOK AGRICULTURAL ENGINEERING

Jahrbuch Agrartechnik / Yearbook Agricultural Engineering 2021

Band 33 / Volume 33

Vorwort

Die Gesellschaft wie auch die Agrartechnikbranche durchleben aktuell turbulente Zeiten. Viele Fachmessen sind in den letzten zwei Jahren pandemiebedingt ausgefallen oder konnten nur digital durchgeführt werden. Die AGRITECHNICA als Weltleitmesse der Agrartechnik wurde frühzeitig vom gewohnten November-Termin 2021 in den Februar 2022 verschoben, weshalb die Jahrbuchredaktion den Autoren ebenfalls eine spätere Frist für die Erstellung der Beiträge stellte. Die gewonnene Zeit konnten die Autoren, da die Messe letztlich doch abgesagt werden musste, für die noch aufwendigere Recherche nutzen. Sich dieser Aufgabe zu stellen, ist nicht selbstverständlich und daher möchte ich ein großes Dankeschön an alle Autoren richten, die sich trotz ihrer zahlreichen Aufgaben und Verpflichtungen dieser Herausforderung angenommen und hervorragende Beiträge für die vorliegende 33. Jahrbuchausgabe verfasst haben! Auch den Gutachtern, die durch ihr Engagement die Wahrung der Qualität der Beiträge sicherstellen, möchte ich ganz herzlich danken.

Nun endlich ist das *Jahrbuch Agrartechnik 2021* mit Entwicklungen und Trends aus den vielfältigen Themenbereichen der Agrartechnik fertiggestellt, den Gesamtband sowie alle Einzelbeiträge finden Sie wie gewohnt über die Homepage www.jahrbuch-agrartechnik.de. Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern eine gute Lektüre!

Preface

Society as well as the agricultural technology sector are currently experiencing turbulent times. Many fairs have been cancelled in the last two years due to the pandemic or could only be held digitally. AGRITECHNICA, the world's leading fair for agricultural technology, was postponed at an early stage from its usual November date in 2021 to February 2022, which is why the Yearbook editors also gave the authors a later deadline for preparing their contributions. Since the fair had to be cancelled in the end, the authors were able to use the time they gained for even more extensive research. To face this task is not a matter of course and therefore I would like to say a big thank you to all authors who, despite their numerous tasks and obligations, have taken up this challenge and have written excellent contributions for this 33rd edition of the Yearbook! I would also like to thank the reviewers, whose commitment ensured the quality of the contributions.

Now finally, the *Agricultural Engineering Yearbook 2021* with developments and trends from the diverse subject areas of agricultural engineering has been completed. As usual, you can find the complete volume as well as all individual contributions on the website www.jahrbuch-agrartechnik.de. I wish all readers a good read!



Prof. Dr. Ludger Frerichs

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Frerichs, Ludger (Hrsg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2021*. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022.

Frerichs, Ludger (ed.): *Yearbook Agricultural Engineering 2021*. Braunschweig: Institute of Mobile Machines and Commercial Vehicles, 2022.

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030931-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

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

Allgemeine Entwicklung		General Development	
Landwirtschaftliche Rahmenbedingungen.....	7	Agricultural Environment.....	7
Der internationale Landtechnikmarkt.....	15	The Agricultural Machinery Market.....	15
Technische Regelwerke.....	18	Technical Regulation.....	18
Digitalisierung und Automatisierung		Digitization and Automation	
Automatisierungs- und Robotersysteme.....	26	Automation and robotic systems.....	26
Logistik.....	36	Logistic.....	36
Arbeitswissenschaft.....	49	Farm Work Science.....	49
Traktoren		Tractors	
Gesamtentwicklung Traktoren.....	55	Agricultural Tractor Development.....	55
Motoren und Getriebe bei Traktoren.....	69	Tractor Engines and Transmission.....	69
Reifen / Reifen-Boden-Interaktion.....	82	Tyres / Tyre-Soil-Interaction.....	82
Hydraulik in Traktoren und Landmaschinen.....	91	Hydraulic in Tractors and Agricultural Machinery.....	91
Fahrdynamik – Fahrsicherheit – Fahrerplatz.....	99	Ride Dynamics – Ride Safety – Driver's Place.....	99
Bodenbearbeitungstechnik		Cultivation Technology	
Bodenbearbeitungstechnik.....	117	Cultivation Technology.....	117
Sätechnik		Seeding Technology	
Sätechnik.....	132	Seeding Technology.....	132
Pflanzenschutz-, Dünge- und Bewässerungstechnik		Plant Protection, Fertilizing and Irrigation	
Pflanzenschutztechnik.....	144	Plant Protection.....	144
Bewässerung und Beregnungstechnik.....	157	Irrigation and Sprinkling Technology.....	157
Halmguterntetechnik		Crop Harvesting	
Halmgutmähen und Halmgutwerben.....	167	Mowing and Treatment of Hay.....	167
Halmgutbergung.....	176	Crop Harvesting.....	176
Halmgutkonservierung.....	185	Crop Preservation.....	185
Körnererntetechnik		Grain Harvesting	
Mähdrescher.....	192	Combine Harvester.....	192
Technik für den Hackfruchtanbau		Root Crop Engineering	
Zuckerrübentechnik.....	205	Sugar Beet Technology.....	205
Kartoffeltechnik.....	214	Potato Technology.....	214
Technik für Sonderkulturen		Engineering for Intensive Crops	
Gewächshaustechnik.....	234	Greenhouse Technology.....	234
Landwirtschaftliches Bauwesen		Farm building	
Landwirtschaftliches Bauwesen.....	248	Farm building.....	248
Technik in der Tierhaltung		Livestock Engineering	
Technik in der Schweinehaltung.....	256	Technologies for Pig Husbandry.....	256
Bioverfahrens- und Umwelttechnik		Bio- and Environmental Engineering	
Möglichkeiten zur Emissionsvermeidung und -verminderung.....	267	Possibilities for reducing emissions.....	267
Geschichte		History	
Über die Entwicklung landtechnischer Lehrbücher in Deutschland.....	278	About the development of agricultural engineering textbooks in Germany.....	278
100 Jahre RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH.....	297	100 years of RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH.....	297

DLG-Agrifuture Insights: Klima- und Umweltschutz von zunehmender Bedeutung für die Landwirtschaft

Erik Guttulsröd, Johannes Steinfort

Kurzfassung

Die Einschätzung der aktuellen Geschäftslage in 2021 ist stark von der Pandemie und der Afrikanischen Schweinepest beeinflusst. Dennoch zeigt sich weiterhin ein hohes Investitionspotential in der Pflanzenproduktion. Die Schweinehaltung steht wirtschaftlich unter enormem Druck und braucht Planungssicherheit für die Zukunft. Über alle Produktionsrichtungen steht die Effizienzsteigerung im absoluten Fokus und wird aufgrund steigender Betriebsmittel- und Energiepreise bedeutend bleiben. Zudem werden vermehrt Umwelt- und Klimaschutzleistungen in den Betrieben angewandt, welche neben einer Effizienzsteigerung auch die Nachhaltigkeitsthematik in die Strategie einfließen lassen.

Schlüsselwörter

Geschäftsklima, Investitionsbereitschaft, Innovationen, Landtechnik, Umweltschutz, Klima

DLG-Agrifuture Insights: Climate and environmental protection of increasing importance for agriculture

Erik Guttulsröd, Johannes Steinfort

Abstract

The assessment of the current business situation in 2021 is strongly influenced by the pandemic and the African swine fever. Nevertheless, there is still a high investment potential in plant production. Pig farming is under enormous economic pressure and needs planning security for the future. Increasing efficiency is the absolute focus across all production directions and will remain important due to rising input and energy prices. In addition, environmental and climate protection services are increasingly being applied on farms, which, in addition to increasing efficiency, also allows the sustainability issue to flow into the strategy.

Keywords

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

Aktuelle Geschäftslage

Die Landwirtschaft in Deutschland steht vor großen Herausforderungen. Afrikanische Schweinepest, pandemiebedingte Marktschwankungen und eine „grüner“ werdende Marktwirtschaft beeinflussen die Produktion erheblich. Die Erzeugerpreise 2021 im Marktfruchtbau stehen aufgrund von weltweiten Ernteeinbrüchen (besonders in Kanada) teilweise im Allzeithoch, zudem konnten die finanziellen Löcher, verursacht durch die letzten Dürrejahre, im Ackerbau nicht komplett geschlossen werden. Zusätzlich belasten die hohen Einkaufs- oder Zukaufpreise für Futterweizen, Mais und Ölpflanzen die Futterkosten im Betrieb in erheblichem Maße, was einen negativen finanziellen Einfluss auf die Tierhaltung nimmt.

Die Viehhaltung steht aber auch in der Produktion und Vermarktung vor immensen Herausforderungen. Durch den Ausbruch der Afrikanischen Schweinepest im Jahr 2020 ist die Vermarktung von Schweinefleisch erheblich eingebrochen, sodass eine kostendeckende Produktion oft nicht mehr gegeben ist. Neben der wirtschaftlichen Drucksituation wird der Umbau von Stall- und Haltungskonzepten von verschiedensten Interessengruppen gefordert und setzt die Tierhaltungsbetriebe zusätzlich unter Druck. Oft wird die strategische Planungssicherheit diskutiert, welche die Betriebe für Zukunftsinvestitionen dringend benötigen.

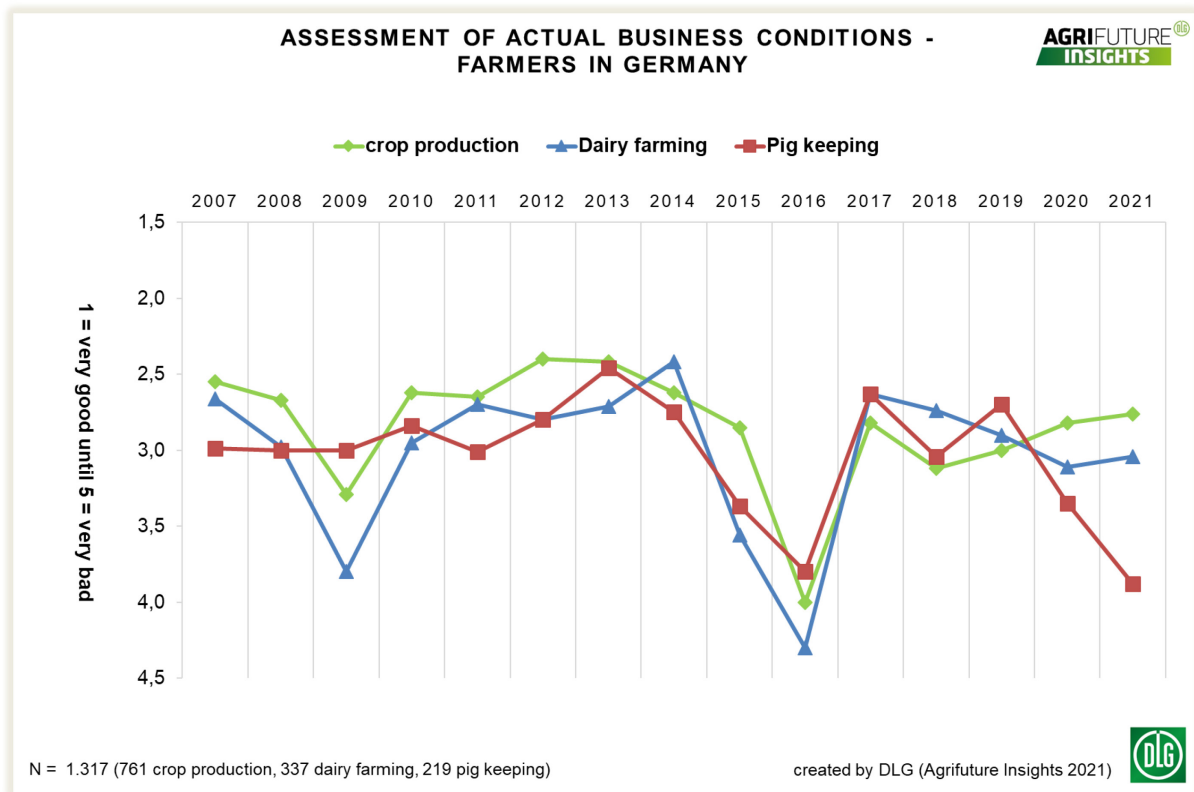


Bild 1: Beurteilung der aktuellen Geschäftslage – Landwirte in Deutschland
Figure 1: Assessment of actual business conditions – farmers in Germany

Betrachtet man nun die aktuelle Geschäftslage der unterschiedlichen Produktionsbereiche, hat der Ackerbau- und Milchviehbereich eine gute bis neutrale Geschäftslage angegeben. Die Schweinebetriebe votieren hier im Bereich schlecht bis sehr schlecht, welches die gefühlte Stimmung am Markt bestätigt.

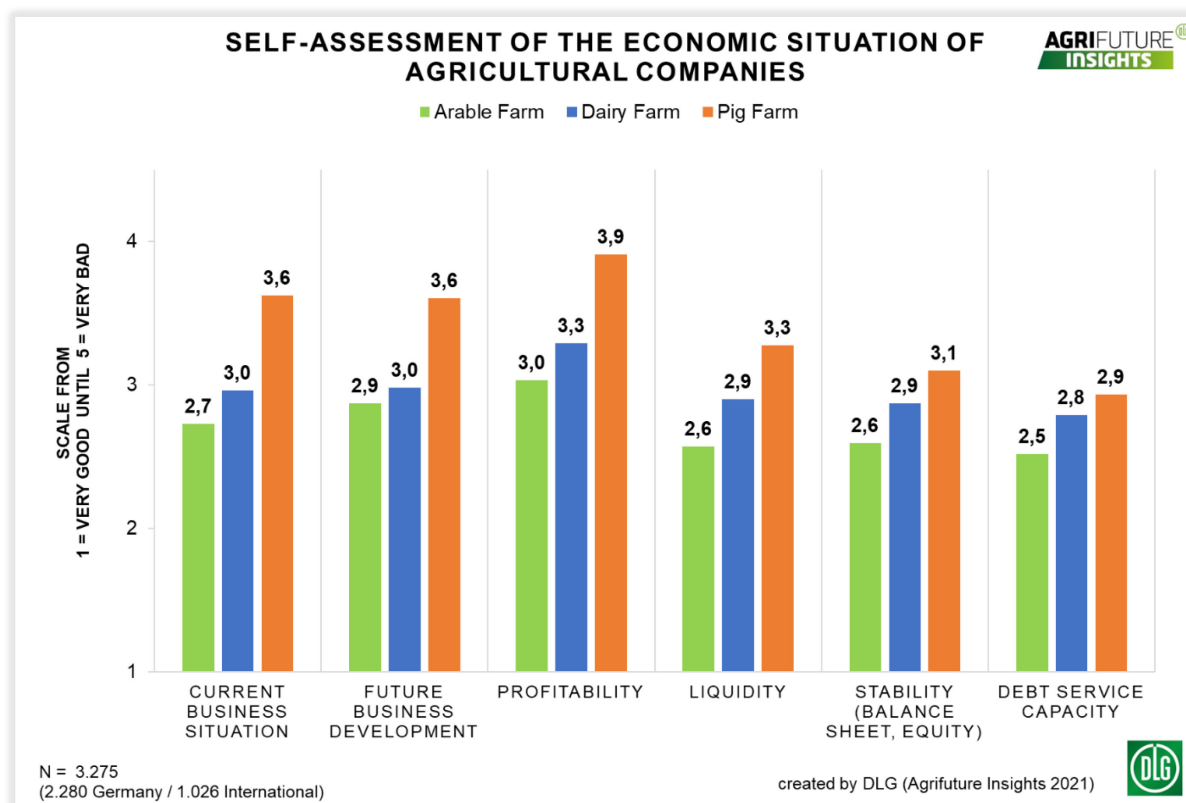


Bild 2: Selbsteinschätzung zur wirtschaftlichen Lage von Landwirtschaftsbetrieben

Figure 2: Self-assessment of the economic situation of agricultural companies

Generell bewerten die Tierhaltungsbetriebe ihre zukünftige Geschäftsentwicklung im Gegensatz zur aktuellen Lage auf ähnlichem Niveau, sodass zum Zeitpunkt der Befragung nicht von einer Verbesserung der Geschäftslage ausgegangen wurde.

Doch auch der Ackerbau ist bei der zukünftigen Geschäftsentwicklung eher skeptisch eingestellt. Der Wegfall von Betriebsmitteln und die stärker an ökologischen Maßnahmen orientierte Agrarpolitik stellen die Landwirtschaft vor enorme Anpassungsprozesse und unterstreichen den Anpassungsdruck. Auch wenn die Marktfruchtpreise in 2021 auf einem sehr hohen Niveau rangieren, so kann dies mit einer neuen Rekorderte auch wieder auf ein niedrigeres Level absinken und die Deckungsbeiträge reduzieren.

Eine starke Differenz zwischen den Betriebszweigen ist im Bereich der Rentabilität und Liquidität zu erkennen. Besonders bei der Veredelungsbranche wird die katastrophale Wirtschaftslage deutlich, da die Ergebnisse im Vergleich zum Ackerbau und der Milchproduktion deutlich abfallen.

Investitionsneigung: Unsicherheit bei deutschen Tierhaltern

Bei der Investitionsneigung der Landwirtschaft ergibt sich ein differenziertes Bild. Generell kann man erkennen, dass die Bereitschaft zum Investieren international eine höhere Präferenz aufzeigt als in Deutschland. Gerade die Landwirte mit Ackerbau bekunden hier einen hohen Investitionsbedarf, um für die Herausforderungen von Effizienzsteigerungen und Ökologisierung gewappnet zu sein. Besonders die Studienteilnehmer mit ökologischem Landbau sehen hier Anpassungsbedarf und wollen daher investieren.

Die Milchviehhaltung in Deutschland hat in den letzten Jahren bereits einen Strukturwandel durchlaufen und viele Investitionen durchgeführt. Daher scheint die weitere Investitionsneigung weniger ausgeprägt als bei ausländischen Milchviehbetrieben.

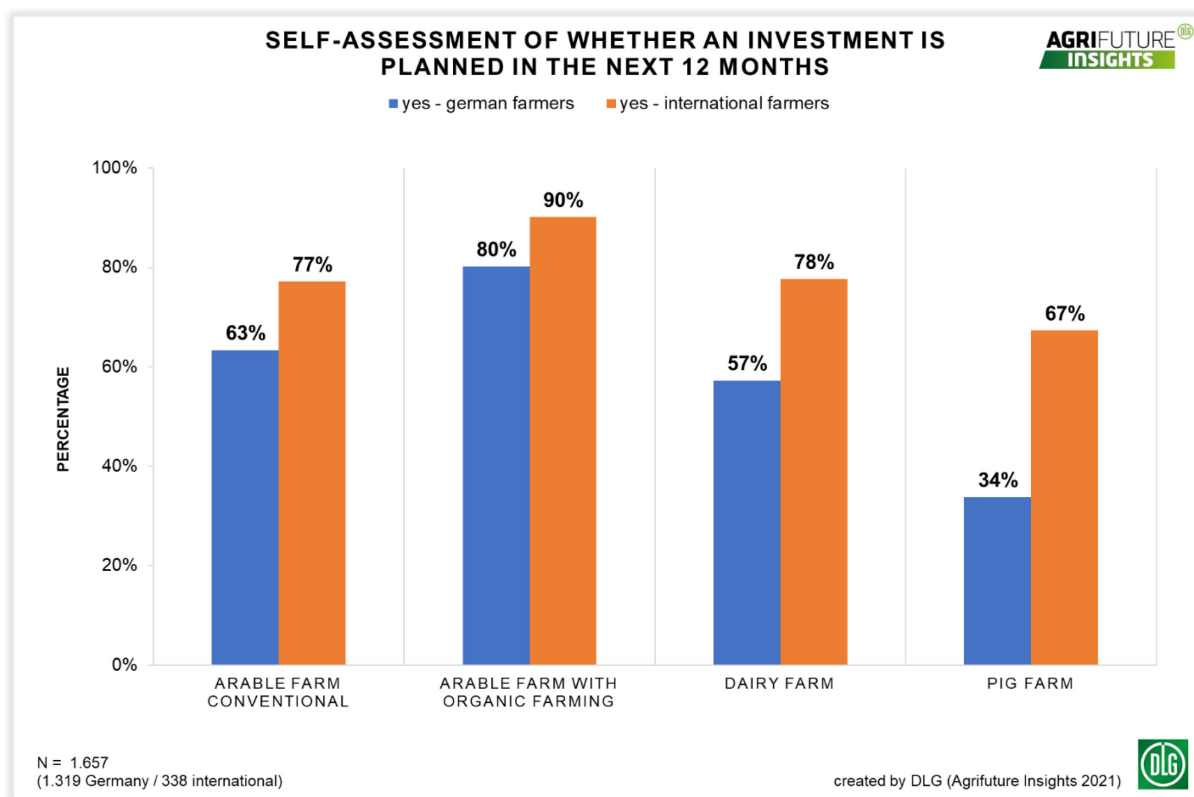


Bild 3: Selbsteinschätzung zur Investitionsbereitschaft in den nächsten 12 Monaten bis Herbst 2022
Figure 3: Self-assessment of whether an investment is planned in the next 12 months until autumn 2022

Die Schweinehaltung steht unter großem Veränderungsdruck, was die Betriebsplanungen fundamental beeinflusst. Die im Vergleich der Produktionsrichtungen niedrige Investitionsbereitschaft ist durch eine unzureichende Planungssicherheit im Bereich der zukünftigen Tierhaltung gekennzeichnet, wodurch sich eher eine abwartende Sichtweise der Betriebe herausstellt. Im Zuge der Neuausrichtung der Agrarpolitik im Bundeslandwirtschaftsministerium erwartet die Branche Leitlinien für zukünftige Rahmenbedingungen, um hier Investitionen in die Schweinehaltung vornehmen zu können.

Technikinnovationen im Ackerbau: Effizienz in Arbeitserledigung und Betriebsmitteln im Fokus der Branche

Im Bereich der technischen Innovationen beurteilen die befragten Ackerbauern den Bereich der energieeffizienten und bodenschonenden Spur- und Reifensysteme als eine der wichtigsten Innovationen. 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.

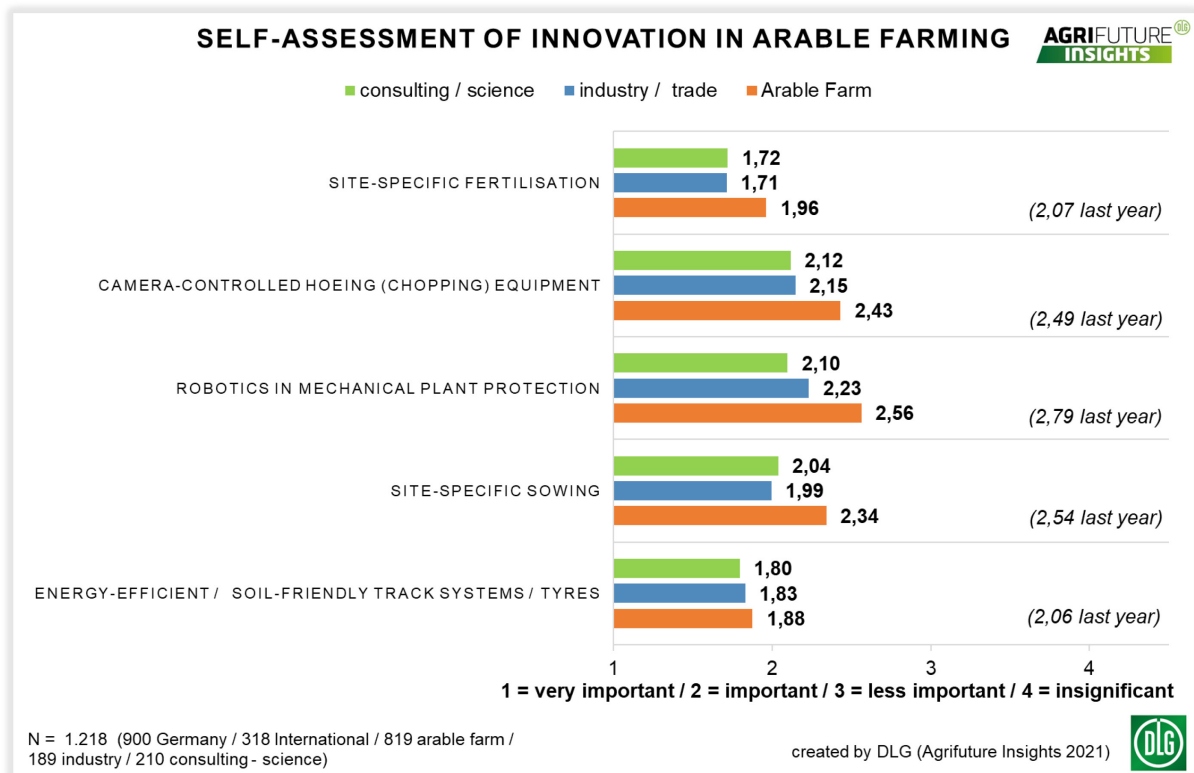


Bild 4: Selbsteinschätzung zu Innovationen im Ackerbau (I)

Figure 4: Self-assessment of innovation in arable farming (I)

Der Effizienzgedanke der Ackerbauern zeigt sich auch in der hohen Bedeutung der teilflächigen Düngung und Aussaat, denen die zweithöchste Wichtigkeit zugesprochen wird. Neben dem zielgerichteten Nutzen der Betriebsmittel erlauben diese beiden Techniken durch variable Aussaatstärken und Düngeraten auch eine gezielte Ausnutzung des natürlichen (Ertrags-) Potentials auf den Ackerflächen.

Restriktionen im Bereich des chemischen Pflanzenschutzes und der Wegfall von Wirkstoffen gelten als intensive Treiber alternativer Pflanzenschutztechnik. Dies äußert sich sowohl bei den befragten Landwirten, als auch bei der Industrie und der Forschung in einem gestiegenen Bewusstsein für Hack- und Striegeltechnik und autonome Feldroboter zur nicht-chemischen Unkraut- und Ungrasbekämpfung.

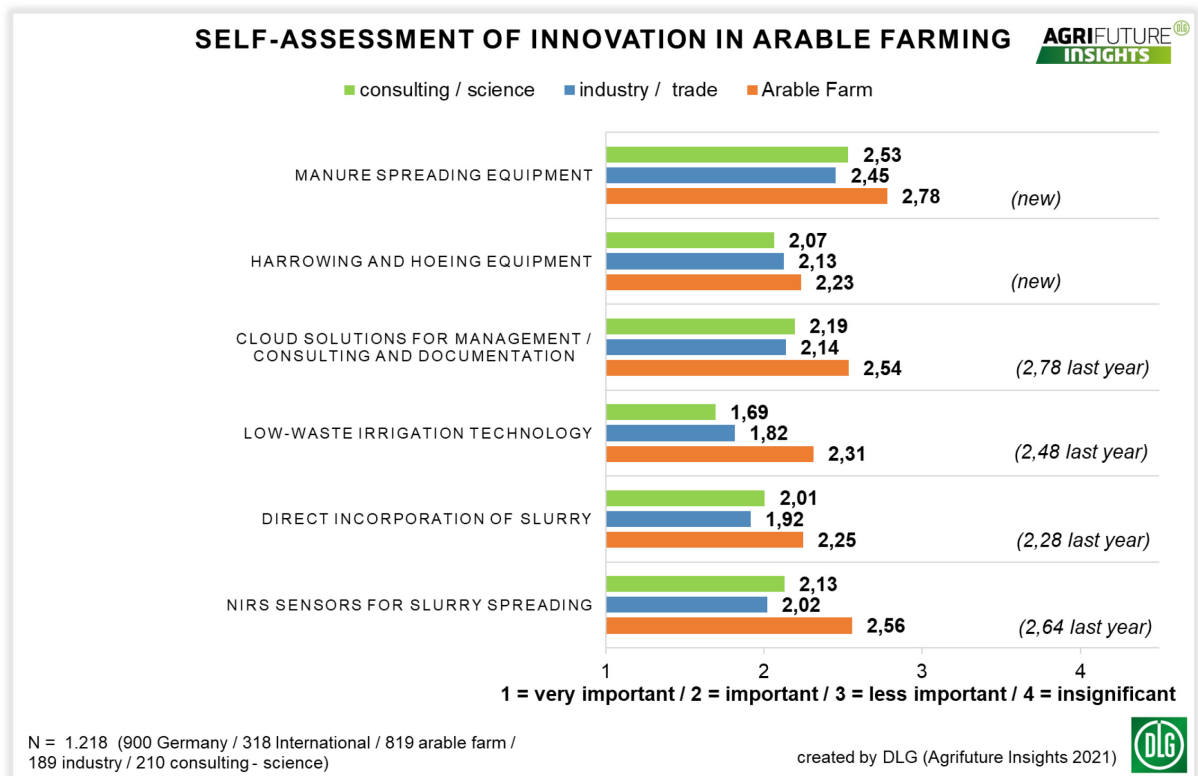


Bild 5: Selbsteinschätzung zu Innovationen im Ackerbau (II)
Figure 5: Self-assessment of innovation in arable farming (II)

Als weitere wichtige Innovation im Ackerbau steht auch eine effiziente Wirtschaftsdüngerapplikation (u.a. Nahinfrarot-Technik in der Gülleausbringung) im Fokus. Auch die verlustarme Berechnungstechnik hat an Bedeutung gewonnen. Gerade in trockenen Anbaujahren fällt dies ins Gewicht und der Fokus wird auf den effizienten und zielgerichteten Einsatz der Betriebsmittel und Ressourcen gerichtet.

Umwelt- und Klimaschutz im Ackerbau: Fruchtfolge und Betriebsmitteleffizienz im Fokus

Im Bereich der Umwelt- und Klimamaßnahmen zeigt sich, dass auf drei von vier Betrieben der Anbau von Zwischenfrüchten zur Erosionsminderung bereits umgesetzt wird. Neben dem Schutz vor Wind- und Wassererosion bietet der Zwischenfruchtanbau durch Nährstoffbindung, Bodenbelebung und Humusbildung zusätzliche ökologische Vorteile, weshalb weitere zehn Prozent der Betriebe die Umsetzung planen.

Rund zwei Drittel der befragten Ackerbauern setzen zudem auf eine erweiterte Fruchtfolge und das Anlegen von Blüh- und Wildblumenstreifen.

Der Einsatz von Technik zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (z.B. in der Mineraldüngung und im Pflanzenschutz) wird zukünftig deutlich zunehmen, zumindest plant nahezu die

Hälfte der befragten Betriebe eine Umsetzung dieser Techniken in den nächsten Jahren. Ähnliches gilt auch für den reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatz. Hier zeigt sich erneut, dass auch der Ackerbau vor einem Wandel hin zu einer Bewirtschaftung mit stärkerer Bedeutung von Ökologie und Ressourceneffizienz steht.

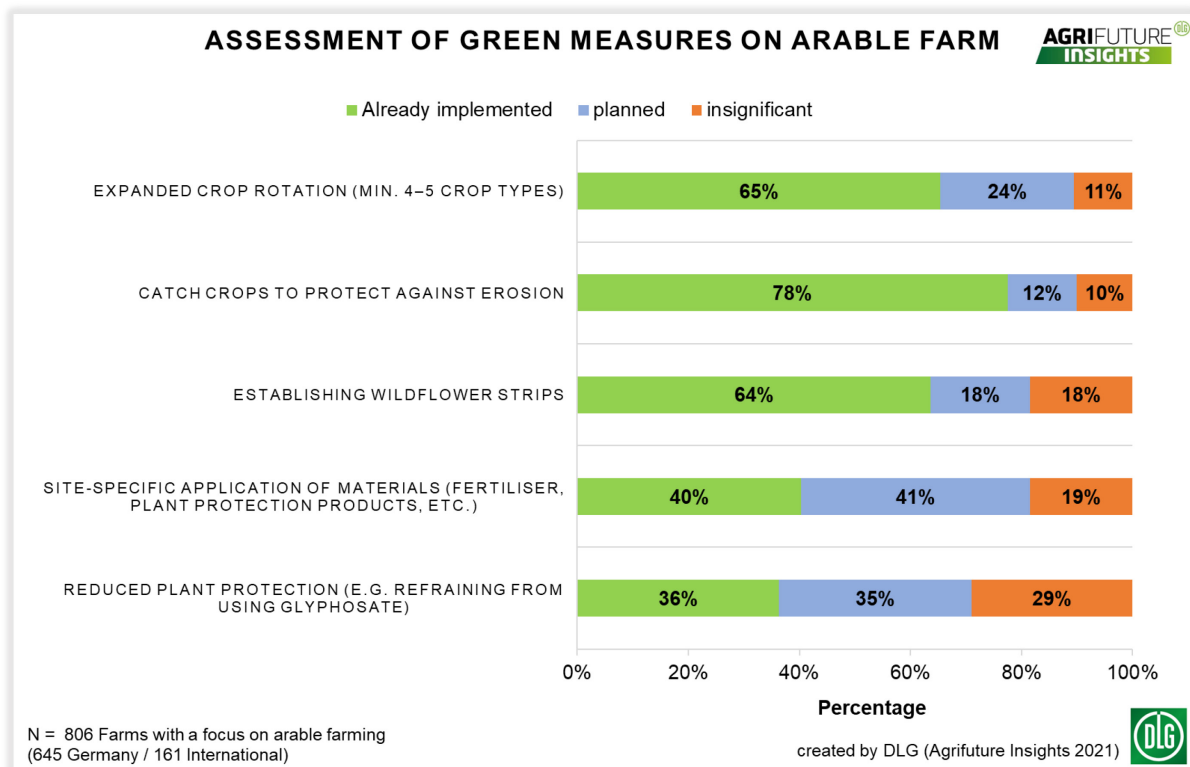


Bild 6: Selbsteinschätzung zu Umwelt- und Klimamaßnahmen im Ackerbau
Figure 6: Self-assessment of green measures on arable farm

Zusammenfassung

Der pandemische Einfluss durch Covid19 und die Afrikanische Schweinepest haben in 2021 erhebliche Auswirkungen auf die Geschäftslage der Landwirtschaft in Deutschland. Gerade schweinehaltende Betriebe hadern mit der Wirtschaftlichkeit der Produktion und brauchen Planungssicherheit für die Zukunft. Insgesamt steht die Branche vor einem tiefgreifenden Wandel in der Produktion hinsichtlich gesteigerter Ökologisierung und Nachhaltigkeit. Hierzu wird weiterhin investiert werden müssen. Im Fokus stehen hier die Verbesserung der Betriebsmittelfizienz und Energieeinsparung im Betriebsalltag. Das erhöhte Bewusstsein für verstärkte Klima- und Umweltschutzmaßnahmen zeigt sich im gesteigerten Interesse an teilflächenspezifischer (reduzierter) Betriebsmittelausbringung und dem Einsatz vielfältiger Fruchtfolgen zur Realisierung phytosanitärer und arbeitswirtschaftlicher Effekte.

Literatur

- [1] DLG e.V.: DLG-Agrifuture Insights – Auswertung der Studie vom Oktober/ November 2021.

Autorendaten

Erik Guttulröd ist Bereichsleiter Betriebsführung und Nachhaltigkeit im Fachzentrum Landwirtschaft, DLG e.V. in Frankfurt am Main.

Johannes Steinfort ist Projektleiter Junge DLG im Fachzentrum Landwirtschaft, DLG e.V. in Frankfurt am Main.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Guttulröd, Erik; Steinfort, Johannes: DLG-Agrifuture Insights: Klima- und Umweltschutz von zunehmender Bedeutung für die Landwirtschaft. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-8

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030934-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/landwirtschaftliche-rahmenbedingungen.html>

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

Die konjunkturelle Entwicklung der Landtechnikindustrie

Philip Nonnenmacher

Kurzfassung

Die Landtechnikhersteller am Produktionsstandort Deutschland haben ihre Umsätze im Jahr 2021 auf ein neues Allzeithoch gesteigert.

Schlüsselwörter

Konjunktur in der Landtechnik, Entwicklung der Landtechnikindustrie in Deutschland, Entwicklung der Rahmenbedingungen für Landtechnikhersteller

Economic Development of the Agricultural Machinery Industry

Philip Nonnenmacher

Abstract

Agricultural machinery manufacturers at the production location Germany have increased their turnover to a new all-time high in 2021.

Keywords

Economic climate for agricultural machinery, development of the agricultural machinery industry in Germany, development of overall conditions for agricultural machinery manufacturers

Die konjunkturelle Entwicklung der Landtechnikindustrie

Im vergangenen Jahr konnten die Landtechnikhersteller am Produktionsstandort Deutschland ihre Umsätze trotz des Rekordergebnisses im Vorjahr um weitere 16 Prozent steigern – und damit erstmalig die 10-Milliarden-Euro-Marke durchbrechen.

Das Exportgeschäft entwickelte sich mit einem Plus von 19 Prozent noch deutlich dynamischer als der Inlandsumsatz. Fast alle Segmente, inklusive die Traktoren, trugen dazu bei, dass der Umsatz aus dem Ausland insgesamt noch stärker als der Inlandsumsatz anstieg. Lediglich die Pflanzenschutztechnik weicht davon ab, dafür aber umso stärker: Die Hersteller konnten in diesem Segment im Inland ein Plus von 64 Prozent erzielen.

	2019	2020	2021	2021/20
Total Turnover				
Ag Machines	4.332,1	4.305,0	5.272,3	+22,5%
Tractors	4.272,3	4.742,9	5.234,9	+10,4%
Total	8.604,5	9.047,9	10.507,2	+16,1%
From Germany				
Ag Machines	1.122,3	1.155,5	1.263,0	+9,3%
Tractors	1.028,3	1.075,1	1.147,9	+6,8%
Total	2.150,6	2.230,6	2.411,0	+8,1%
From Export				
Ag Machines	3.209,8	3.149,5	4.009,3	+27,3%
Tractors	3.244,1	3.667,9	4.086,9	+11,4%
Total	6.453,9	6.817,4	8.096,2	+18,8%

Values in million Euro for the total calendar year
Source: VDMA Agricultural Machinery Association

Bild 1: Umsatz aus der Produktion am Standort Deutschland

Figure 1: Turnover of the Agricultural Machinery Industry in Germany

Als wichtigste Treiber der positiven Geschäftsentwicklung wirkten kräftig gestiegene Erzeugerpreise. Zusätzlich befeuert wurde die Entwicklung durch negative Realzinsen und starke Investitionsanreize von staatlicher Seite in Deutschland und in vielen anderen Ländern rund um den Globus: teilweise schlicht durch allgemeine Corona-Konjunkturpakete, teilweise über direkte Subventionsprogramme, speziell für die Landwirtschaft.

Das Umsatzergebnis hätte insgesamt sogar noch deutlich besser ausfallen können. Denn die Auftragseingänge lagen 2021 durchgängig auf einem doppelt so hohen Niveau wie das Umsatzplus des Gesamtjahres. Extreme Preissteigerungen und Engpässe auf der Liefer- und Logistikseite haben die Produktion jedoch, wie vom VDMA erwartet, zum Jahresende hin merklich abgebremst, wodurch der Umsatz im vierten Quartal nur noch 5 Prozent über dem Vorjahresniveau lag.

Die Auftragsbestände auch tatsächlich umzusetzen, bleibt weiterhin die größte Herausforderung für die Industrie. Die Branchevertreter erwarten zusätzliche Preissteigerungen und Engpässe auf der Lieferseite, nicht zuletzt infolge des russischen Angriffskrieges auf die Ukraine. Dagegen sind wegbrechende Aufträge aus Russland und der Ukraine vor dem Hintergrund rekordhoher Auftragsbestände aus Sicht der Industrie verkraftbar, zumal die Einbußen kurzfristig durch weiteres erzeugerpreisgetriebenes Wachstum in der übrigen Welt, insbesondere in Nord- und Südamerika sowie Westeuropa, mehr als überkompensiert werden können.

Autorendaten

M. Sc. Wirtschaftswissenschaften Philip Nonnenmacher ist Referent der Abteilung Märkte und Konjunktur beim VDMA Fachverband Landtechnik.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Nonnenmacher, Philip: Die konjunkturelle Entwicklung der Landtechnikindustrie. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-3

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030935-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/landtechnikmarkt.html>

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

Elektrische Hochleistungsschnittstelle zwischen Traktor und Anbaugerät

Hermann Buitkamp, Jürgen Rausch

Kurzfassung

Bisher übertragen Traktoren ihre Leistung überwiegend mechanisch und hydraulisch an Anbaugeräte. Landwirtschaftliche Arbeitsgeräte, die von elektrisch übertragener Energie angetrieben werden, bieten jedoch das Potential für einen höheren Automatisierungsgrad, höhere Präzision, effizientere Leistungsübertragung und besserer Steuerbarkeit. Mehrere Landtechnikfirmen arbeiten daher seit etwa zehn Jahren gemeinsam an einer elektrischen Hochleistungsschnittstelle, um elektrische Leistung von bis zu 150 kW zwischen Traktoren und Arbeitsgeräten unter Verwendung der vorhandenen ISOBUS-Kommunikation zu übertragen. Die Arbeit mündete im März 2018 bei der ISO in ein Standardisierungsverfahren.

Schlüsselwörter

Elektrische Hochleistungsschnittstelle, Elektrifizierung, elektrische Leistungsübertragung, ISO 23316, Traktor, Arbeitsgerät, Anbaugerät, Generator, Wechselstrom, Gleichstrom, ISOBUS

Electrical high-power interface between tractors and machinery

Hermann Buitkamp, Jürgen Rausch

Abstract

Until now, tractors have mainly transmitted power mechanically and hydraulically to implements. However, agricultural implements powered by electrically transmitted energy offer the potential for a higher degree of automation, greater precision, more efficient power transmission and better controllability. Several agricultural technology companies have therefore been working together for about a decade on a high-power electrical interface to transfer electrical power of up to 150 kW between tractors and implements using existing ISOBUS communications. The work resulted in a standardization procedure at ISO in March 2018.

Keywords

High power electric interface, electrification, electric power transmission, ISO 23316, tractor, implement, attachment, generator, AC, DC, ISOBUS

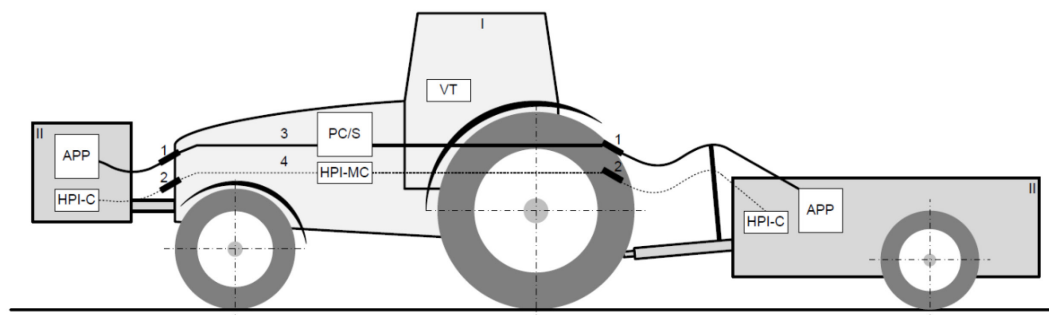
Allgemeine Beschreibung

Die ISO wird mit der Normenreihe „ISO 23316 Traktoren und Maschinen für die Land- und Forstwirtschaft – Elektrische Hochleistungsschnittstelle 700 V DC / 480 V AC“ sieben Konstruktions- und Anwendungsstandards zur Verfügung stellen, welche die Implementierung einer elektrischen Hochleistungsschnittstelle (HPI - High Power Interface) mit Gleich- oder Wechselstrom in der Landtechnik beschreiben.

Die Normenreihe ISO 23316 definiert die Schnittstelle zwischen einem Leistung liefernden Traktor oder landwirtschaftlichen Gerät I (Versorgungssystem) und einem Leistung konsumierenden Arbeitsgerät II (Verbrauchersystem), siehe **Bild 1**.

Sie beschreibt die elektrischen und mechanischen Vorgaben der Schnittstelle, und ist in Verbindung mit der Normenreihe ISO 11783, die das ISOBUS Kommunikationssystem beschreibt, zu verwenden.

Die Thematik einer 48 VDC Schnittstelle wird im AEF Projektteam „Medium Voltage Group PT12“ behandelt.



I	Versorgungssystem	<i>Supply system</i>
II	Verbrauchersystem	<i>Consumer system</i>
1	High Power Interface (HPI)	<i>High-Power Interface</i>
2	ISOBUS Stecker	<i>ISOBUS connector</i>
3	Energieleitung	<i>Power line</i>
4	ISOBUS Kabel	<i>ISOBUS cable</i>
PC/S	Leistungsumrichter, Leistungsschalter	<i>Power converter, switch</i>
HPI-MC	HPI - Master Controller	<i>HPI – master control</i>
HPI-C	HPI - Controller	<i>HPI – control</i>
VT	Virtuelles Terminal (Benutzerschnittstelle)	<i>Virtual terminal (user interface)</i>
APP	Anwendung	<i>Application</i>

Bild 1: Elemente der Hochleistungsschnittstelle

Figure 1: Elements of the high performance interface

Physikalische Schnittstelle HPI

Der Steckverbinder für die Energieübertragung ist Teil des elektrischen Antriebssystems. Seine Funktion ist es, externe Arbeitsgeräte (Verbraucher) mit elektrischer Energie zu versorgen. Die einzelnen Pins in dem Steckverbinder sind auf einen Nennstrom von 200 A ausgelegt.

Es können auch mehrere HPI Steckverbinder am Fahrzeug installiert werden. Sie werden außen am Fahrzeug montiert und besitzen ein Gehäuse, das ausreichenden Schutz vor Umwelteinflüssen bietet und gegen elektromagnetische Störungen abschirmt. Sie verfügen über eine Kabelzugentlastung und gleichen einen kleinen Versatz von Stift und Buchse aus.

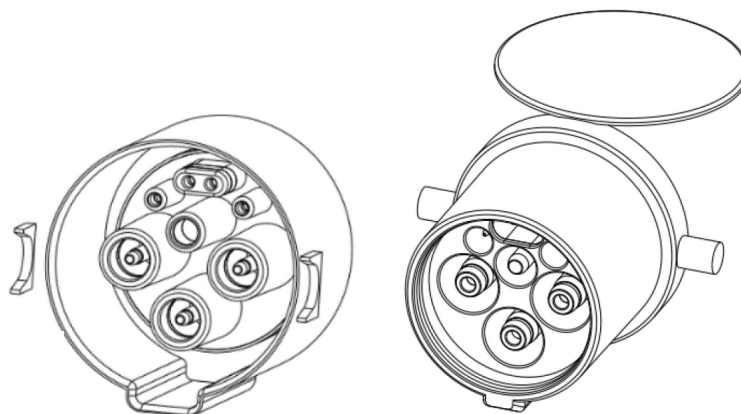


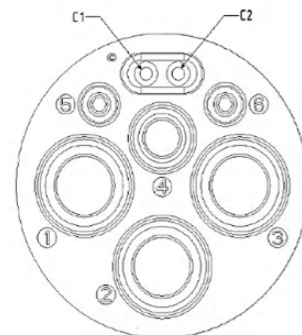
Bild 2: HPI-Steckverbinder am Traktor (links) und am Arbeitsgerät (rechts) [2]

Figure 2: HPI connector on tractor (left) and implement (right) [2]

Tabelle 1: Steckerbelegung [2]

Table 1: Pin assignment [2]

Pin	Steckerbelegung <i>Pin Assignment</i>
1	Phase L1 im AC-Betrieb oder (+) im DC-Betrieb <i>Phase L1 in AC mode or (+) in DC mode</i>
2	Phase L2 im AC-Betrieb <i>Phase L2 in AC mode</i>
3	Phase L3 im AC-Betrieb oder (-) im DC-Betrieb <i>Phase L3 in AC mode or (-) in DC mode</i>
4	Potentialausgleich <i>PBC</i>
5	Steckzustandserkennung im DC-Betrieb <i>DC interlock</i>
6	Steckzustandserkennung im DC-Betrieb <i>DC interlock</i>
C1	Steckzustandserkennung und Feldbuskommunikation im AC-Betrieb <i>Communication (used as interlock in AC mode)</i>
C2	Steckzustandserkennung und Feldbuskommunikation im AC-Betrieb <i>Communication (used as interlock in AC mode)</i>



Sicherheitsanforderungen

Die elektrische Hochleistungsschnittstelle darf nur verwendet werden, wenn das Gesamtsystem die Sicherheitsanforderungen der „ISO 16230-1 Landmaschinen und Traktoren – Sicherheit von elektrischen und elektronischen Bauteilen und Systemen mit höherer Spannung – Teil 1: Generelle Anforderungen“ erfüllt.

Die HPI-Steckverbinder verfügen über Schutzfunktionen (Abreißschutz, Steckzustandserkennung, IP-Schutzklasse), die bei gewaltsamem Trennen die elektrischen Gefährdungen durch Beschädigung von Stromleiter und Steckverbinder minimieren.

Auch sind die HPI-Steckverbinder gegen Staub, Feuchtigkeit und Wasser bei Hochdruck- und Dampfstrahlreinigung gemäß IP6K7 und IP6K9K geschützt. Das Stromkabel besitzt einen für entsprechende Anwendungen typischen, standardisierten orangefarbenen Außenmantel und ist gemäß den Umgebungsbedingungen in der Landwirtschaft ausgelegt.

Eine Unterbrechung der Verbindung wird erkannt und die anliegende Spannung innerhalb einer Sekunde auf unter 60 V DC oder 30 V AC gesenkt.

Das elektrische System der Hochleistungsschnittstelle ist als IT-System nach IEC 60364-1 ausgeführt.

Um Leistung aus Arbeitsgeräten abführen zu können, ist eine Umkehrung der Leistungsflussrichtung vom Arbeitsgerät zum Traktor möglich.

Für Traktoren und Arbeitsgeräte mit elektrischer Hochleistungsschnittstelle nach ISO 23316 müssen entsprechende Warnhinweise und Diagnoseintervalle in der Betriebsanleitung aufgeführt werden.

Der Standard Teil ISO 23316-3 beschreibt Fehlerkategorien und Schutzmaßnahmen und enthält dazugehörige Spezifikationen.

Betriebsarten

Das Versorgungssystem (Traktor, Zapfwellengenerator, etc.) stellt die Leistung für angeschlossene Verbrauchersysteme in den einzelnen Betriebsarten bereit.

Falls das Gesamtsystem einen höheren Gesamtleistungsbedarf benötigt, steuert das Steuergerät des Versorgungssystems (HPI-MC) die Leistungsverteilung und den Lastausgleich.

Betriebsart AC (Wechsel-/Drehstrom)

Eine typische elektrische Wechsel-/Drehstromkonfiguration besteht aus einem 3-phasigen Umrichter auf der Seite des Versorgungssystems, welcher über einen HPI-Steckverbinder mit Wechsel-/Drehstromverbrauchern (AC-Last, ACL) und/oder Gleichstromverbrauchern (DC-Last, DCL) verbunden ist. Der grundlegende Aufbau sieht folgendes vor:

- Der ISOBUS überträgt die anwendungsspezifische Kommunikation zwischen Traktor und Arbeitsgerät.
- Hierfür sind die Controller HPI-MC (TECU) und der HPI-Client (Job Controller) über ISOBUS verbunden.
- Der HPI-Feldbus überträgt die lastspezifische Kommunikation und überwacht die HPI-Steckverbindung.

- Es sind neben reinen Wechsel-/Drehstrom-Konfigurationen (ACL) auch gemischte Konfigurationen (ACL und DCL) möglich.

Der Ausgangsspannungsbereich des Wechsel-/Drehstroms liegt zwischen 0 V AC und 480 V AC. Das untenstehende Bild zeigt mehrere mögliche Konfigurationen zur Einbindung von AC-Lasten und DC-Lasten.

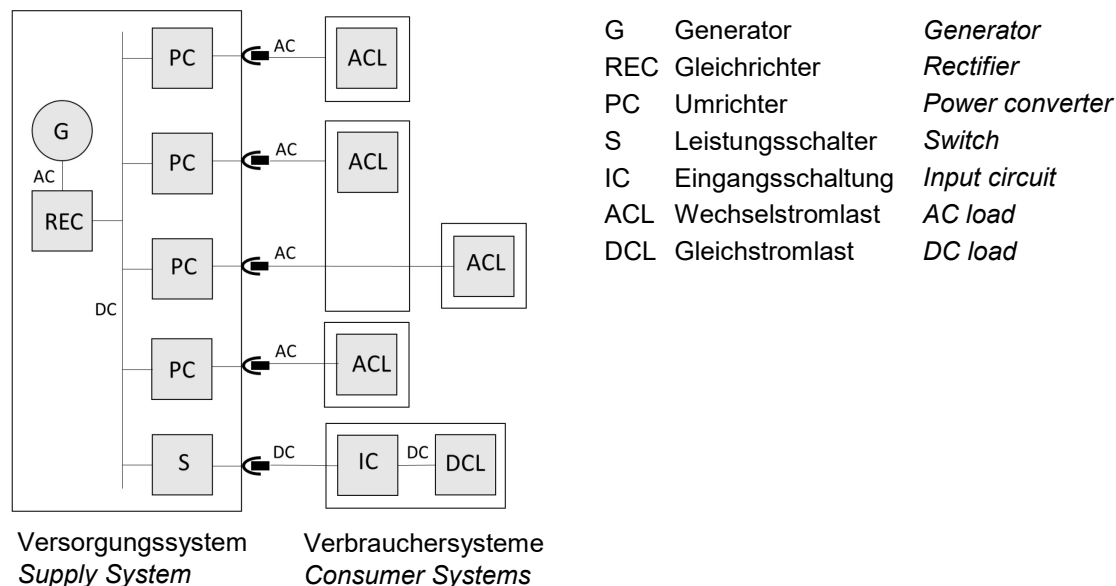


Bild 3: Mehrverbrauchersystem in den Betriebsmodi AC und DC (Beispiel)

Figure 3: Multi-consumer system in AC and DC operating modes (example)

Der Umrichter (PC) stellt mehrere Betriebsarten zur Verfügung. Die Hochleistungsschnittstelle unterstützt sowohl Drehmoment- und Drehzahlregelungen (closed loop) als auch Spannung-Frequenz-Steuerung und variable DC-Chopper-Versorgung (open loop). Diese werden von Steuergeräten des Versorgungssystems oder des Verbrauchersystems ausgewählt.

Betriebsart DC (Gleichstrom)

Eine typische Gleichstromkonfiguration besteht aus einer elektrischen Stromversorgung mit Generator, Gleichrichter und Steuerung, die über einen Zwischenkreis Gleichstrom liefert, und mindestens einem Verbrauchersystem, das über eine HPI-Schnittstelle und ISOBUS verbunden ist. Das Systemschema ist in **Bild 4** dargestellt.

Die Art der geregelten Verbrauchersysteme hängt von der jeweiligen Anwendung ab. Diese geregelten Verbraucher können aus verschiedenen Kombinationen von ohmschen, induktiven und kapazitiven Elementen bestehen. Gemeinsam sind die von dem Versorgungssystem bereitgestellte Ausgangsspannung und die ISOBUS-Schnittstelle.

In der einfachsten Ausbaustufe ist nur ein Verbrauchersystem am Versorgungssystem angeschlossen. Das Verbrauchersystem kann aber auch mehrere unabhängige Geräte beinhalten.

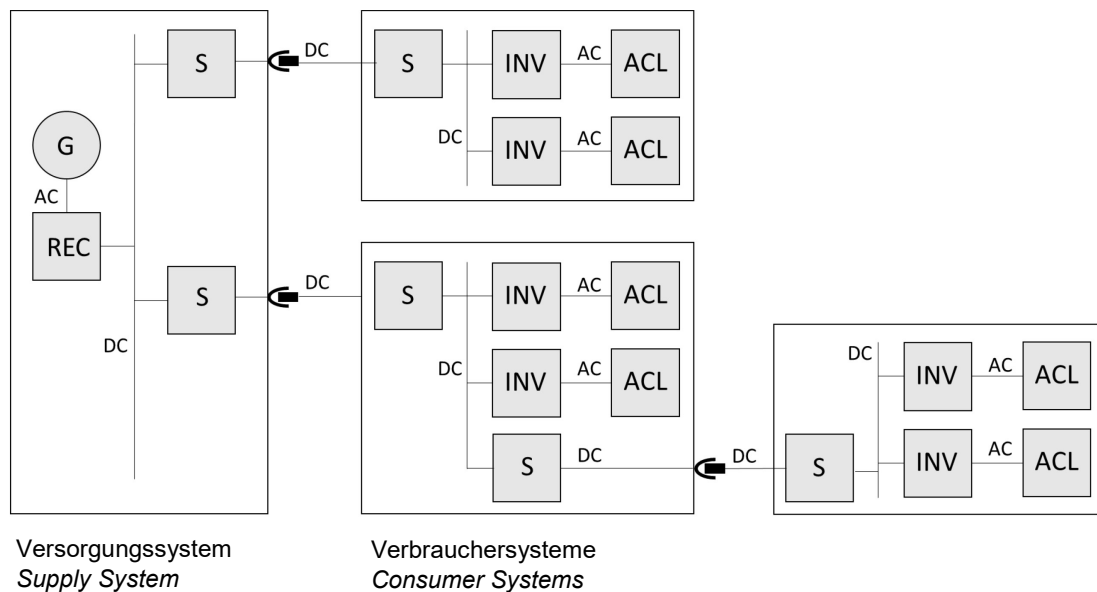


Bild 4: Mehrverbrauchersystem im Betriebsmodus Gleichstrom (Beispiel)

Figure 4: Multi-consumer system in DC operating mode (example)

Das Bild 4 zeigt beispielhaft eine Konfiguration, wie mehrere Verbrauchersysteme an ein Versorgungssystem angeschlossen werden können. Jedes Verbrauchersystem benötigt einen eigenen HPI-Controller (ISOBUS Job Controller).

HPI-Kommunikation

Der ISOBUS ist die Basis für die Kommunikation zwischen dem Steuergerät des Versorgungssystems (HPI-MC) und den Steuergeräten der Verbrauchersysteme (HPI-C).

HPI-Steuerung durch das Arbeitsgerät

Der Steuergerät HPI-C übernimmt im Allgemeinen die Steuerung des elektrischen Systems. Die Regelungs- und Steuerparameter werden vom HPI-C über ISOBUS an den HPI-MC übertragen.

HPI-Steuerung durch den Traktor

Der Steuergerät HPI-MC übernimmt in speziellen Anwendungsfällen die Steuerung des HPI Systems. Die Regelungs- und Steuerparameter werden vom HPI-MC über ISOBUS an HPI-C übertragen. Ein Beispiel hierfür ist die Traktionsunterstützung durch das Arbeitsgerät für den Traktor.

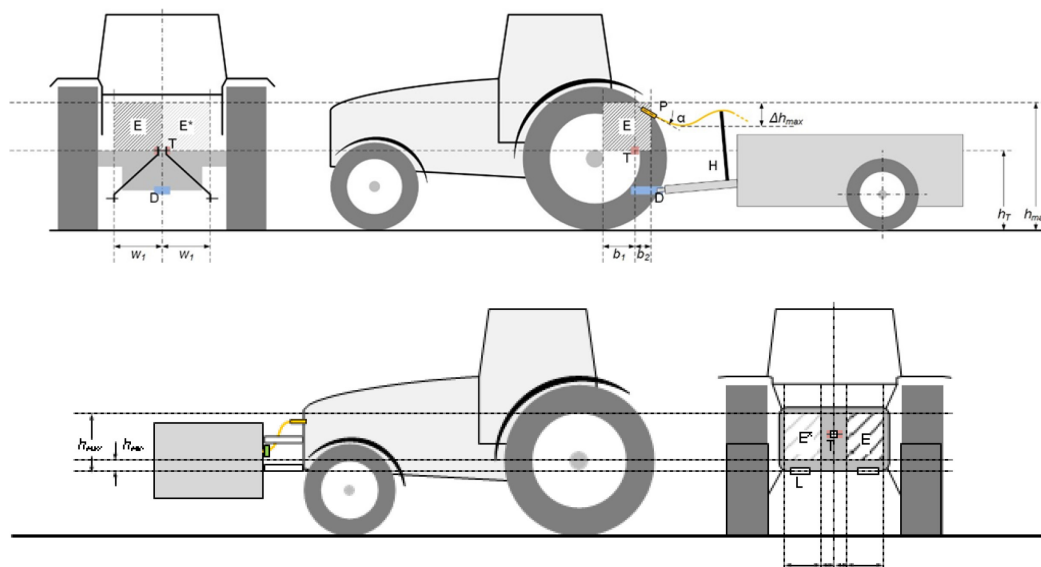
Der in der HPI Schnittstelle integrierte HPI-Feldbus ist die direkte und schnelle Verbindung zwischen dem Versorgungssystem und dem Verbrauchersystem. Im Betriebsmodus AC ist er notwendig, im Betriebsmodus DC optional. Im AC-Modus überträgt er die lastspezifische Kommunikation für Identifikation und Rückmeldungen der AC-Last zur Regelung der elektrischen Leistung im Verbrauchersystem.

Die Kommunikation zwischen dem Versorgungssystem und dem Verbrauchersystem erfolgt nach dem in ISO 23316-6 festgelegten Protokoll, welches Parameter und Signale für Initialisierung, Identifizierung, den laufenden Betrieb und das Abschalten definiert.

Mechanische Integration

Die HPI-Steckverbinder für den Traktor liegen bei Heckanbau über den Hydraulikanschlüssen und bei Frontanbau über dem Unterlenker-Kuppelpunkt. Ihr Anbau sollte im Rahmen der Angaben des untenstehenden Bildes erfolgen.

Eine genaue Steckverbinderposition festzulegen ist aufgrund der großen Vielfalt nicht möglich.



E	HPI-Anbauraum	Anbauraumgrenze oben	h_{max}	500 mm	2000 mm
P	HPI-Steckverbinder	Anbauraumgrenze unten	h_{min}	100 mm	1500 mm
L	Kupplungsunterlenker	Anbauraumgrenze rechts, links	w_1	200 mm	450 mm
T	Kupplungsoblerlenker	Anbauraumgrenze vorn	b_1	300 mm	
D	Deichsel	Anbauraumgrenze hinten	b_2	200 mm	
H	Kabelstütze	Kabelneigung	α	30° bis 35°	
		Kabeldurchhang	Δh_{max}	500 mm	
				Heckanbau	Frontanbau
<i>E</i>	<i>HPI envelope</i>	<i>Max. height for HPI mounting</i>	<i>h_{max}</i>	<i>500 mm</i>	<i>2000 mm</i>
<i>P</i>	<i>HPI plug</i>	<i>Min. height for HPI mounting</i>	<i>h_{min}</i>	<i>100 mm</i>	<i>1500 mm</i>
<i>L</i>	<i>Hitch lower link</i>	<i>Space claim width</i>	<i>w_1</i>	<i>200 mm</i>	<i>450 mm</i>
<i>T</i>	<i>Hitch top link position</i>	<i>Space claim forward</i>	<i>b_1</i>	<i>300 mm</i>	
<i>D</i>	<i>Drawbar</i>	<i>Space claim backward</i>	<i>b_2</i>	<i>200 mm</i>	
<i>H</i>	<i>Cable holder</i>	<i>HPI downward angle</i>	<i>α</i>	<i>30° to 35°</i>	
		<i>Max. cable slack</i>	<i>Δh_{max}</i>	<i>500 mm</i>	
				Tractor rear	Tractor front

Bild 5: Anbauräume der HPI-Steckverbinder am Traktorheck und an der Traktorfront [7]

Figure 5: Mounting spaces of the HPI connectors at the rear and front of the tractor [7]

Zusammenfassung

Die siebenteilige Normenreihe ISO 23316 beschreibt die elektrische Hochleistungsschnittstelle für 700 V DC und 480 V AC zwischen Traktor und Arbeitsgerät. Diesen Standard haben Vertreter führender Traktorhersteller und Hersteller von Arbeitsgeräten erarbeitet. Diese Normenreihe wird einen wichtigen Beitrag leisten, um viele Arbeiten in der Landwirtschaft präziser und ressourcenschonender durchzuführen.

Literatur

ISO/CD 23316 Tractors and machinery for agriculture and forestry — Electrical high-power interface 700VDC/480VAC (Komitee-Entwurf)

- [1] ISO/CD 23316 Part 1: General description
- [2] ISO/CD 23316 Part 2: Physical interface
- [3] ISO/CD 23316 Part 3: Safety requirements
- [4] ISO/CD 23316 Part 4: AC operation mode
- [5] ISO/CD 23316 Part 5: DC operation mode
- [6] ISO/CD 23316 Part 6: Controls communication
- [7] ISO/CD 23316 Part 7: Mechanical integration

Autorendaten

Dr.-Ing. Hermann Buitkamp ist Referent für Digitalisierung und Standardisierung beim VDMA Landtechnik in Frankfurt.

Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Rausch ist Entwicklungsingenieur für Fahrzeugelektrifizierung bei John Deere in Mannheim und Convenor der Arbeitsgruppe ISO/TC 23/SC 19/WG 9.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 04.03.2022

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Buitkamp, Hermann; Rausch, Jürgen: Elektrische Hochleistungsschnittstelle zwischen Traktor und Arbeitsgerät. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-8

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030937-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/technische-regelwerke.html>

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

Beispielhafte Entwicklungsprojekte zur Automatisierung

Thomas Herlitzius, Jens Fehrmann, Martin Hengst

Kurzfassung

Im Beitrag werden beispielhaft zwei Entwicklungsprojekte für teilautonome Maschinen beschrieben, die repräsentativ für den durch Digitalisierung unterstützten Automatisierungstrend stehen. Die Charakteristik dieser Trends ist nicht primär ein genereller Ersatz der Arbeitskräfte, sondern der Wandel der Arbeitsaufgaben weg von automatisierbaren Routinetätigkeiten hin zu Management- und Problemlösungskompetenz. Hierbei wird Potenzial gesehen, aktuellen Herausforderungen an Landtechnik deutlich besser begegnen zu können als das mit bestehenden Maschinenkonzepten gelingt. So zeigt das erste Beispiel – eine teilautonome Plattform für den Obst- und Weinbau – wie die prozessunspezifische Navigationsaufgabe mit den prozessspezifischen Aufgaben, z. B. dem Spritzen, verbunden werden kann. Die Energiebereitstellung ist modularisiert, einerseits dieselelektrisch und andererseits batterieelektrisch mit Brennstoffzelle. Im zweiten Beispiel wird der Werdegang des Feldschwarms dargestellt.

Schlüsselwörter

Feldroboter, Autonome Maschinen, Maschinenkonzepte, modulare Systeme

Exemplary development projects for automation

Thomas Herlitzius, Jens Fehrmann, Martin Hengst

Abstract

The article describes two development projects for semi-autonomous machines that are representative of the automation trend supported by digitalisation. Characteristics of these trends are described, which do not primarily aim at a general replacement of the workforce, but enable the change of work tasks away from routine activities that can be automated towards management and problem-solving skills. In this context, potential is seen for meeting current challenges in agricultural technology much better than possible with existing machine concepts. The first example – a semi-autonomous platform for fruit- and vineyards – shows how process-unspecific tasks such as navigation can be combined with process-specific tasks such as spraying. The energy supply is modularised, diesel-electric on the one hand and battery-electric with fuel cell on the other. The second example shows the development and the basic idea of the field swarm.

Keywords

Field robots, autonomous machines, machine concepts, modular systems

Allgemeine Entwicklung

Ein Einsatz autonomer Systeme ist dann sinnvoll, wenn durch die Automatisierung die Arbeit in der Landwirtschaft vereinfacht und Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion gesteigert werden. Neben zahlreichen Vorteilen für teilautonome Maschinen gibt es auch Nachteile, wie hohe Investitionskosten, Ausfallwahrscheinlichkeiten durch wechselnde Umweltfaktoren, rechtliche Unsicherheiten oder nicht auf autonome Agrarmaschinen ausgelegte Betriebsstrukturen, die verstanden werden müssen. Bei der Betrachtung hoch automatisierter Agrarsysteme muss die Bewertung des Nutzens differenziert nach Anwendungsbereichen erfolgen, wobei auch Arbeitsinhalt und Sozialaspekte zu berücksichtigen sind. Prinzipiell geht es bei Automatisierung / Autonomie primär nicht um einen Ersatz der Arbeitskräfte, sondern um die gewandelte Rolle der Arbeitsaufgaben weg von Routinetätigkeiten und hin zu Management- und Problemlösungskompetenz [1].

In der Landwirtschaft wird aktuell kontrovers über den Einsatz teilautonomer Agrarsysteme diskutiert. In den nächsten Jahren wird eine deutlich gesteigerte Verbreitung automatisierter und autonomer Landtechnik in der Praxis erwartet. Deshalb gilt es, die vielfältigen offenen Fragen hinsichtlich Nutzen, Zuverlässigkeit, Sicherheit, Verantwortlichkeit oder Rechtssicherheit zu analysieren. Um die Nutzbarkeit der Technik zu steigern, sind systemische Lösungen sowie praxistaugliche Systemintegration auf Verfahrens- und Betriebsebene wichtig. Vollständig autonome Systeme sind im freien Feld kurz- bis mittelfristig nicht realisierbar und möglicherweise auch nicht erstrebenswert und wirtschaftlich darstellbar. Im Gegensatz zum Straßenverkehr, der sechs Stufen auf dem Weg zur Autonomie definiert, muss die Landtechnik einen abgeleiteten eigenen Ansatz verwenden, weil zwischen verschiedenen Zuständen des Fahrens und der Prozessfunktionen unterschieden werden muss. Die Diskussion um autonome Maschinen hat sich in den letzten Jahren so in den Mittelpunkt geschoben, weil einerseits die notwendigen Technologien schrittweise verfügbar werden und weil das Potenzial gesehen wird, aktuellen Herausforderungen an Landtechnik deutlich besser zu begegnen zu können als das mit bestehenden Maschinenkonzepten gelingt. Die Technologietreiber sind besonders a) Sensor- und Aktuatortechnik, b) Bildverarbeitung und KI, c) drahtlose Kommunikationstechnologien und d) elektrifizierte Antriebe, während die anwendungsrelevanten Treiber folgende sind: a) Klimawandel, veränderte Anbausysteme und Fruchtfolgen, b) Verfahrenskostenmanagement und Profitabilität, c) Vertrauen und Akzeptanz der Landwirte in hoch automatisierte Technologien und d) politische Rahmenbedingungen und Regularien einschließlich der Einschränkungen in Düngerapplikation und Pflanzenschutz.

Produktivitätssteigerung durch Automatisierung

Automatisierung hilft heute, die technische installierte Prozessleistung besser abrufen zu können, und steigert damit Produktivität und senkt Verfahrenskosten, konnte aber den Trend zu immer weiterem Größenwachstum von Maschinen weder stoppen noch umkehren. Charakteristisch für Landtechnik ist eine kontinuierliche Produktivitätssteigerung verbunden mit wachsendem Leistungsbedarf; Gewicht und Größe bei gleichzeitigem Aufspreizen des Abstandes zwischen unterer und oberer Leistungsklasse. Allgemein setzt sich aber in der Fachwelt immer

mehr die Erwartungshaltung durch, dass sich in den kommenden zwanzig Jahren Maschinenkonzepte in Richtung hochautomatisierter, flexibel und teilautonom einsetzbarer Gerätesysteme mit vermehrt elektrifizierten Antriebssystemen ändern werden [2 - 9]. Wie in **Bild 1** gezeigt, könnten die bedienergeführten Traktor-Geräte-Systeme wie wir sie kennen in 10 bis 15 Jahren ernsthafte Konkurrenz durch überwachte autonome Maschinen bekommen.

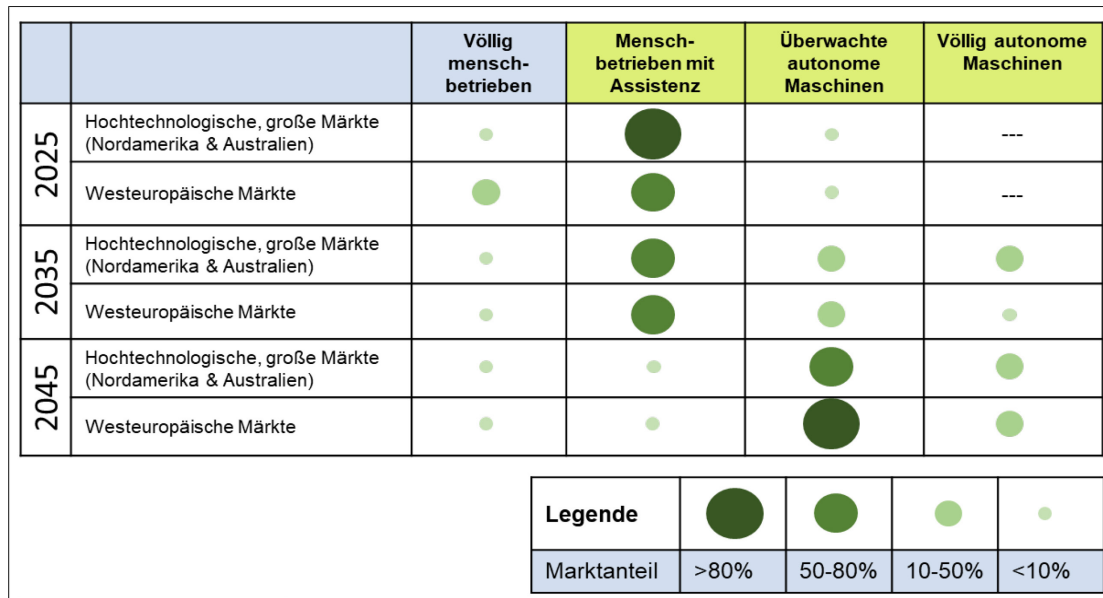


Bild 1: Expertenbefragung zu Entwicklungstrends in der Maschinenautonomie [10]

Figure 1: Expert survey about trends in machine autonomy [10]

Während die vollständig menschengesteuerten Systeme der heutigen Form ähnlich bleiben werden, sind für die anderen drei Klassen erhebliche Veränderungen zu erwarten. Assistierte Systeme werden in der Lage sein, komplexere Aktionen zu unterstützen und mit mehr Kameras und mehr Sicherheitsfunktionen ausgestattet sein. Die Klasse der überwachten autonomen Maschinen wird sich weiterentwickeln, wobei die Anforderungen an die Anwesenheit und Qualifikation des überwachenden Personals im Laufe der Zeit sinken werden und eine Zunahme von feld- und anwendungsspezifischen autonomen Aktionen hin zu universelleren Aktionen zu verzeichnen ist. Die Klasse der vollständig autonomen Maschinen entwickelt sich von Nischensystemen über Systeme, die mit definierten Plänen autonom auf dem Feld agieren, sobald sie dort sind, hin zu Systemen, die eine Grobplanung über andere Systeme erhalten und dann vollständig autonom agieren. Produktivität in hoch automatisierten Maschinensystemen ist dann nicht mehr alleine durch die Maschinengröße definiert, sondern kann bei verkleinerter Leistung der einzelnen Systeme durch die Anzahl der verwendeten Einheiten für den konkreten Einsatzfall konfigurierbar werden. Das seit Beginn der Mechanisierung der Agrarproduktion geltende Paradigma des kontinuierlichen Wachstums der Produktivität in einer Einheit (Maschine) könnte durch modulare Maschinensysteme in kleineren Einheiten und hohem Autonomiegrad abgelöst werden, wodurch Produktivität wieder skalierbar wird und besser an

Verfahrensketten und Betriebsstrukturen angepasst werden kann. Bei der Erfassung von Informationen zu Boden- und Pflanzeigenschaften besteht deshalb weiter großer Entwicklungsbedarf. Für eine vollständige Verfahrensautomatisierung ist der derzeitige Entwicklungsstand zur Umfeld- und Prozess-Sensorik noch unzureichend, weshalb kollaborative Automatisierung und Shared Control [11; 12] sinnvolle Lösungsansätze sind, die die Rolle des Bedieners zwar grundlegend in Richtung der Mehrmaschinenbedienung und der Überwachung und Diagnose des Systems [13] ändern, aber eben nicht abschaffen werden.

Beispielprojekt Robotik im Obst- und Weinbau eWObot / H2Bot

Der wachsende Wettbewerb im Wein- und Obstbau führt zu großem Druck auf die Erzeuger, welche immer weniger Menschen finden, die bereit sind körperlich anstrengende, monotone und mit gesundheitlichen Risiken verbundene Arbeiten zu übernehmen. Ziel des Projektes ist es daher, ein modular aufgebautes Roboterfahrzeug so zu entwickeln, dass Robotik im Obst- und Gartenbau für einen ökonomischen Einsatz als geeignet demonstriert werden kann. Das Projekt wird durchgeführt von den Professuren Agrarsystemtechnik und Technisches Design der TU Dresden sowie vom Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme in Dresden. Das Fahrzeug ist für eine Nutzlast von 1500 kg ausgelegt. Das Fahrwerk basiert auf einem modular aufgebauten elektrischen System mit vier elektrischen Einzelradantrieben und Einzelradlenkung (**Bild 2**). Die vier permanent erregten Synchronmaschinen sind luftgekühlt und haben jeweils eine installierte Leistung von 7 kW. Das modulare und skalierbare Konzept des Fahrzeuges ermöglicht es, dieses an die Erfordernisse in der Obstplantage und im Weinberg anzupassen. Elektrische Antriebe wurden vor allem für bessere Steuer- und Regelbarkeit und für die Modularität der Energiequelle ausgewählt. Die Primärenergieerzeugung hat zwei Module:

- vorhanden aus dem Vorprojekt eWObot [14; 15] – ein dieselelektrisches Konzept mit einem an den Dieselmotor angeflanschten, wassergekühlten Generator bei einer elektrischen Leistung von 30 kW,
- zusätzlich zu entwickeln – ein elektrisches, emissionsfreies Powermodul bestehend aus einem Batteriesystem mit automatisierter Schnellladeeinrichtung, einer Brennstoffzelle oder der Kombination von beiden.



Bild 2: Trägerplattform H2Bot
Figure 2: Plattform H2Bot

Die Elektrifizierung mittels Batteriesystemen von großen Agrarfahrzeugen, wie Ackerschleppern und Mähreschern, ist nach heutigem Stand nicht ohne große Einschränkungen und Kosten darstellbar. Dazu ist der Leistungsbedarf der Maschinen zu groß und die Energiedichte der verfügbaren Akkumulatoren zu klein. Bei Fahrzeugen kleinerer Leistungsklassen ist eine Elektrifizierung eher vorteilhaft. Der Vorteil eines batterieelektrischen Antriebskonzeptes liegt in dem einfachen Aufbau und dem hohen Systemwirkungsgrad von bis zu 80 %. Noch unbedeutend ist die Brennstoffzellentechnologie für landwirtschaftliche Anwendungen. Obgleich sie aufgrund der hohen Leistungsdichte für den Einsatz in der Landwirtschaft einem Batteriesystem überlegen ist, gibt es kaum Forschungsprojekte und keine serienreifen Fahrzeuge. Die Dynamik der Brennstoffzelle ist für landwirtschaftliche Anwendungen meist nicht ausreichend. Das wird im Projekt mit einem Batteriesystem von 10 kWh umgangen, das Lastspitzen abfangen kann. Eine Erweiterung des Batteriesystems und die Verwendung einer automatisierten Schnelladeeinrichtung erlaubt längeren vollelektrischen Betrieb. Besondere Herausforderungen sind die Kühlung von Brennstoffzelle und Batterie, der Wasserstofftank mit Befüllsystem sowie das Luftfiltersystem mit Wasserabscheider. Im Projekt soll das Antriebskonzept nicht nur für den hier vorliegenden konkreten Anwendungsfall H2bot entwickelt werden, sondern die Übertragbarkeit auf eine Vielzahl von elektrifizierten landwirtschaftlichen Geräten ist zu betrachten, sodass im Nachgang zum Projekt weitere Geräte nach gleichem Prinzip mit Brennstoffzellensystemen ausgestattet werden könnten.

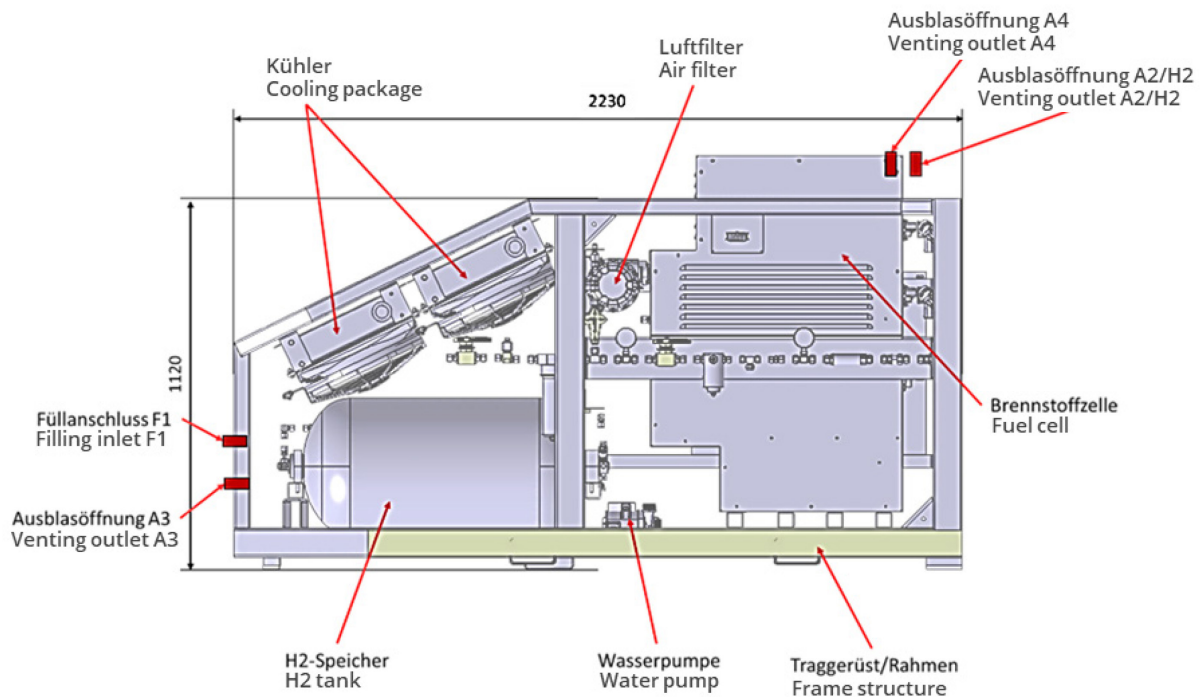


Bild 3: Seitenansicht und Abmessungen des Brennstoffzellensystems
Figure 3: Side view and dimensions of the fuel cell system

Das Herzstück der Brennstoffzelle (45 kW elektrisch) ist ein PM 400 Stack Modul der Fa. Proton Motors. **Bild 3** zeigt das Brennstoffzellen-Modul und die zum Betrieb des Brennstoffzellenstacks notwendigen Baugruppen. Das Stack arbeitet mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 37 bis 52 %, was eine Kühlleistung von 60 kW erfordert. Die Kühlmitteltemperatur am Einlass des Stacks soll 45°C nicht übersteigen, was eine Herausforderung für die Auslegung des Kühlsystems ist, das deshalb für den Prototyp nur bis 35°C Umgebungstemperatur ausgelegt wurde. Das Wasserstoff-Tanksystem, bestehend aus zwei Tanks mit je 78 l Fassungsvermögen bei 350 bar, kann nur 3,8 kg Wasserstoff speichern, was bei Volllast für 2 h Betrieb reicht.

Beispiel Feldschwarm

Mit dem Fokus auf zukünftige Herausforderungen und Technologietrends in der Agrarindustrie startete 2012 ein Team der TU Dresden, des Fraunhofer IVI und des Fraunhofer IWU gemeinsam mit acht Industriepartnern das Projekt Feldschwarm. Nach separaten Vorprojekten zur Elektrifizierung von Fahr- und Funktionsantrieben bildete sich ein vom BMBF gefördertes Konsortium, das von 2017 bis 2021 ein prototypisches System entwickelt und gebaut hat. Dies waren in alphabetischer Reihenfolge BITSz electronics GmbH, EIDAM Landtechnik GmbH, IAV Automotive Engineering GmbH, ILEAG e.V.-Institut für leichte elektrische Antriebe und Generatoren, IndiKar Individual Karosseriebau GmbH, John Deere GmbH & Co.KG, Raussendorf Maschinen- und Gerätebau GmbH, Reichardt Steuerungstechnik GmbH. Aktuell läuft eine vom Freistaat Sachsen geförderte Felderprobungsphase und Anträge zur Projektfortset-

zung sind eingereicht. **Bild 4** veranschaulicht den Ablauf und die erreichten Technology Reifegrade (TRL) auf System- und Komponentenebene. Das aktuelle Auffächern des TRL ist in den Förderumständen des sächsischen Landwirtschaftsministeriums für die Erprobung begründet, die keine Ressourcen für Weiterentwicklung, sondern nur für Feldtests in landwirtschaftlichen Betrieben bereitstellt.

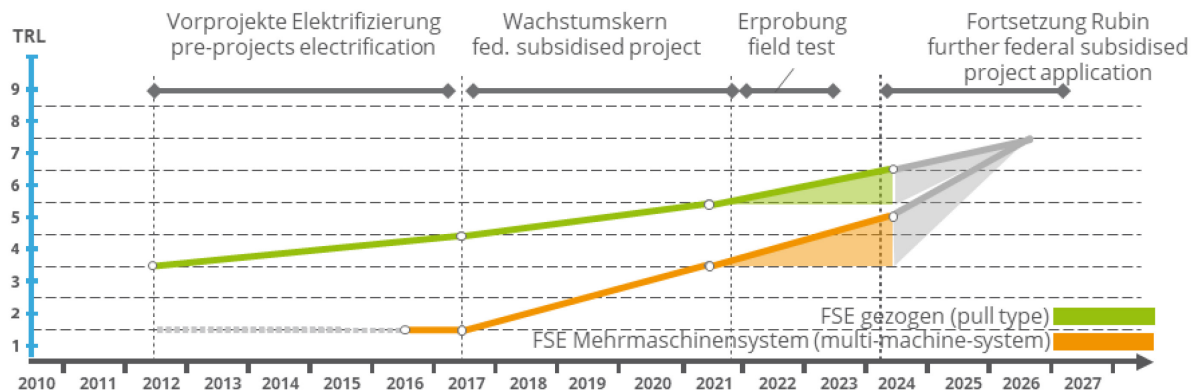


Bild 4: Entwicklungsgeschichte und Technologiereifegrad des Feldschwarm-Projekts
Figure 4: History and technology readiness level of the Feldschwarm development

Ziel der Feldschwarm Erprobung ist es, eingebettet in den normalen Betriebsablauf repräsentativer landwirtschaftlicher Betriebe, Grenzen und Potenziale einer maschinenübergreifenden Automatisierung im Mix von konventioneller und Feldschwarmtechnologie aufzuzeigen. Der erste Anwendungsbereich sind landwirtschaftliche Bodenbearbeitungs-, Aussaat- und mechanische Pflegeverfahren, bei denen Prozesswerkzeuge, Antriebe und Rahmen als modulare Komponenten mit gemeinsamen Schnittstellen für ein Geräteträgerkonzept konzipiert wurden, das später auch für Pflanzenschutz und Ernte geeignet ist. Die Module sind untereinander oder mit herkömmlichen Traktoren kombinierbar und werden in prozessspezifische und prozessunspezifische Komponenten unterteilt (**Bild 5**).



Bild 5: Modulares Konzept. Links: Werkzeugmodule erlauben eine prozessspezifische Konfiguration, Rechts: anstelle des Triebkopfes kann auch ein TIM-kompatibler Traktor benutzt werden

Figure 5: Modular concept. Left: different tool modules allow a process-specific configuration, Right: Instead of the power head a TIM-compatible tractor can be used

Ziel ist es, prozessspezifische Anforderungen und typische Prozessvariabilität landwirtschaftlicher Produktion durch eine spezifische Konfiguration für jede Prozessaufgabe bestmöglich abzudecken. Die Feldbearbeitung erfolgt mit einem weit höheren Automatisierungsgrad und bei deutlich geringerem spezifischen Leistungsbedarf, als es die heutige Gerätetechnik zulässt. Das Feldschwarm®-System, mit kleinteilig segmentierten Arbeitsbreiten, hoher Manövrierfähigkeit, präziser Navigation und integrierter Prozesssensorik bietet für zukünftige teilflächenspezifische Feldbearbeitung und Spot Farming notwendige Voraussetzungen.

Neben der autonomen selbstfahrenden Feldschwarmeinheit (FSE II) kommt dabei auch eine automatisierte traktorgebundene Einheit (FSE I) zum Einsatz. Bei der FSE I werden die erforderliche Zugkraft und Energie durch einen konventionellen Traktor bereitgestellt. Eine weitere im Projekt entwickelte Variante ist der vollelektrische Triebkopf, der extern mit elektrischer Leistung versorgt wird [16]. Der Arbeitsprozess selbst wird von der FSE I gesteuert. Die Arbeitsaufgaben und -parameter werden über eine drahtlose Datenverbindung ähnlich einer Applikationskarte auf die Feldschwarmeinheiten übertragen. Über eine ISOBUS-Verbindung und das TIM-Protokoll (Tractor Implement Management) steuert die FSE I ihren Traktor. Alle FSE werden von der Schwarmmanagement Software im automatischen Betrieb überwacht. Der Schwarmbediener im Traktor der FSE I überwacht das Gesamtsystem und übernimmt die Kontrolle vom Schwarmmanagementsystem, wenn die Prozessautomatisierung an ihre Grenzen gelangt oder wenn Störungen vorliegen.

Zusammenfassung

Am Beispiel von zwei Entwicklungsprojekten für hochautomatisierte mobile Plattformfahrzeuge, die für verschiedene Prozessapplikationen verwendbar sind, wird anschaulich gemacht, welche Antworten auf die Fragen des allgemeinen Umbruchs von Maschinenkonzepten in der Landtechnik gegeben werden könnten. Der allgemeine und immer noch aktuelle Trend von „Größer und Stärker“ schwenkt in Richtung „Intelligenter und Vernetzt“. Die große Mehrzahl der bekannten Prototypen und Entwicklungsstudien setzt auf kleinere Maschinen mit elektrifizierten Antriebssträngen, so auch die beiden gezeigten Beispiele. Wenn es sich um geförderte Projekte handelt, muss man sich in den Projektkonsortien auf wechselnde Beteiligungen und eine strategisch sinnvolle Verteilung von Zwischenzielen auf die verschiedenen möglichen Förderszenarien einstellen, weil der Entwicklungsumfang sehr interdisziplinär und komplex ist. Da es sich um neue Märkte handelt, in denen Anwenderanforderungen noch auf vielen Annahmen basieren, sind der wirtschaftliche Nutzen und die Wettbewerbsfähigkeit neuer Maschinenkonzepte und hochautomatisierter Maschinensysteme erst noch zu bestätigen. Von besonderer Bedeutung ist es, sich frühzeitig mit der neuen Rolle der Bediener zu befassen und das Automatisierungskonzept menschenzentriert aufzubauen. Nur wenn die neuen Systeme den Menschen weder unter- noch überfordern werden sie akzeptiert werden und ihr Potenzial entfalten können.

Literatur

- [1] Lorenz, S.; Krzywinski, J.; Schreiber, C.: Feldschwarm-HMI – a semistationary user interface for operating and monitoring highly automated systems. 77. International Conference on Agricultural Engineering. Hanover, 2019.
- [2] Böttinger, S.: Mähdrescher. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2015, Bd. 27, 2016, S. 158 – 170.
- [3] Karner, J.; Baldinger, M.; Schober, P.; Reichl, B.; Prankl, H.: Hybridsysteme für die Landtechnik. Agricultural Engineering, Bd. 68 H.1, pp. 22–25, 2013.
- [4] Gaus, C.; Minßen, T.; Urso, L.; de Witte, T.; Wegener, J.: Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen. Abschlussbericht FKZ 2814NA012, BMEL (BÖLN), Braunschweig, 2017.
- [5] Bangert, W.; Kielhorn, A.; Rahe, F.; Albert, A.; Biber, P.; Grzonka, S.; Haug, S.; Michaels, A.; Mentrup, D.; Hänsel, M.; Kinski, D.; Möller, K.; Ruckelshausen, A.; Scholz, A.; Sellmann, F.; Strothmann, W.; Trautz, D.: Field-Robot-Based Agriculture. In: Land.Technik, AgEng, Hannover, 2013.
- [6] Griepentrog, H. W.; Blackmore, B. S.: Autonomous Crop Establishment and Control System. Agricultural Engineering, Hannover, 2007.
- [7] Underwood, J.; Wendel, A.; Schofield, B.; McMurray, L.: Efficient in-field plant phenomics for row-crops with an autonomous ground vehicle. Field Robotics, Bd. 34 (6), S. 1061–1083, 2017.
- [8] Herlitzius, T.; Fehrmann, J.: Gutachten Stand und Tendenzen der Roboteranwendungen im Bereich der Pflanzen- und Tierproduktion. Wissenschaftlicher Dienst des Deutschen Bundestages, 2017.
- [9] Ruckelshausen, A.: Autonome Feldroboter. KTLB-Schrift 480 (pp. 146-155), 2010.
- [10] Dörr, J.; Fairclough, B.; Henningsen, J.; Jahić, J.; Kersting, S.; Menning, P.; Peper, C.; Scholten-Buschhoff, F.: Scouting the Autonomous Agricultural Machinery Market. IESE-Report Nr. 041.19/E, Kaiserslautern, 2019.
- [11] Kalyuga, S.: Instructional designs for the development of transferable knowledge and skills: A cognitive load perspective. Computers in Human Behavior 25(2), pp. 332-338, 2009.
- [12] Kirschner, P. A.: Do learners really know best? Urban legends in education in Educational Psychologist, 48(3), pp. 169-183, 2013.
- [13] Karkee, M.; Qin, Z.: Fundamentals of Agricultural and Field Robotics. Springer Nature, S. 387 - 414, 2021.
- [14] Herlitzius, T.; Ruckelshausen, A.; Krzywinski, J.: Mobile Cyber Physical System concept for controlled agricultural environments in Land-Technik, AgEng (2015).

- [15] Linz, A.; Brunner, D.; Fehrmann, J.; Herlitzius, T.; Keicher, R.; Ruckelshausen, A.; Schwarz, H.-P.: Modelling environment for an electrical driven selective sprayer robot in orchards. *Advances in Animal Biosciences*, 8(2), S. 848 - 853, 2017. DOI: 10.1017/S2040470017000723.
- [16] Pfaffmann, S.; Tarasinski, N.; de Moraes Boos, F.: Development of a Fully Electric Agricultural Machine with External Power Supply. 7th International Conference on Agricultural Engineering. Hanover, 2019.

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 und Dipl.-Ing. Jens Fehrmann sind wissenschaftliche Mitarbeiter der Professur für Agrarsystemtechnik, Institut für Naturstofftechnik, Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Herlitzius, Thomas; Hengst, Martin; Fehrmann, Jens: Beispielhafte Entwicklungsprojekte zur Automatisierung. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2021*. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-10

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030939-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/automatisierung.html>

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

Logistik

Heinz Bernhardt

Kurzfassung

Die letzten beiden Jahre unter Corona-Restriktionen haben auch die Entwicklung in der Agrarlogistik durch die fehlenden Fachmessen und -kongresse ausgebremst. Insgesamt ist eine Konsolidierung in der Entwicklung zu beobachten. Aus dem Bereich Gesetzgebung gab es keine neuen Anpassungen. Es ging viel mehr in der aktuellen Situation darum, dass überhaupt transportiert wurde. In der Logistiktechnik gibt es wenig Veränderungen. Wichtig für den Sektor ist die zukünftige Ausrichtung der Antriebssysteme. Hier sind als neue Systeme im gewerblichen Güterkraftverkehr Batterie-elektrische Antriebe und Wasserstoff-Brennstoffzellen zu beobachten. Agrarroboter verbreiten sich inzwischen auch in der praktischen Landwirtschaft. Erste Logistikroboter findet man hauptsächlich im Garten- und Obstbau. Digitale Systeme bilden inzwischen immer genauer die Einflussfaktoren in der Agrarlogistik ab, besonders über die Vernetzung verschiedener Modelle können die Ketten besser dargestellt werden.

Schlüsselwörter

Digitale Logistik, Antriebssysteme, Logistikroboter

Logistics

Heinz Bernhardt

Abstract

The last two years under Corona restrictions have also slowed down the development of agricultural logistics due to the lack of trade fairs and congresses. Overall, a consolidation in the development can be observed. There were no new adjustments in the area of legislation. In the current situation, it was much more a question of transport being carried out at all. There are few changes in logistics technology. What is important for the sector is the future orientation of the drive systems. Here, battery-electric drives and hydrogen fuel cells are to be observed as new systems in commercial freight transport. Agricultural robots are now also spreading in practical farming. The first logistics robots are mainly found in horticulture and fruit growing. Digital systems are now more and more accurately depicting the influencing factors in agricultural logistics, especially through the networking of different models, the chains can be better represented.

Keywords

Digital logistics, drive systems, logistics robots

Entwicklung der logistischen Rahmenbedingungen

Bezüglich der gesetzlichen Rahmenbedingungen kam es in den letzten beiden Jahren zu keinen bedeutenden Veränderungen für die Landwirtschaft. [1] Die Diskussion, in wie weit die landwirtschaftliche Logistik den Regelungen des gewerblichen Güterkraftverkehrs unterliegen sollte, ist abgeflacht.

Bezüglich der zulässigen Breite von Traktoren und Anhängern gab es im Rahmen der Änderung der 35. Ausnahmeverordnung zur StVZO entsprechende Diskussionen. Die Regelung, dass Traktoren und ihre Anhänger bei Verwendung von Breitreifen oder Gleisketten unter bestimmten Bedingungen einschließlich erforderlicher Verbreiterung der Radabdeckungen bis zu 3 m breit sein dürfen, ist weiterhin allgemein über das europäische Recht abgedeckt. [2; 3]

Transportfahrzeuge

Zugmaschinen

In der allgemeinen gesellschaftlichen Diskussion zur energetischen Ausrichtung der Mobilität weg von der Verbrennung fossiler Rohstoffe [4; 5] ergeben sich auch für die Agrarlogistik neue Herausforderungen [6]. Im Güterkraftverkehr zeigen sich aktuell eine entsprechende Bereitschaft [7] und verschiedene Diskussionsansätze.

Die Diskussion ist dabei sehr vielschichtig und aktiv. Teilweise wird für Wasserstoff mit Brennstoffzelle eine Präferenz für mittlere bis schwere LKW und Langstreckenverkehr gesehen [8; 9] und für elektrische Antriebe mit Batterie im Bereich kleiner und mittlerer LKW im Kurzstreckenverkehr. [10; 11]

In der Schweiz läuft aktuell ein größerer Versuch mit 46 LKW (36 t zGG) mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie. In der Versorgungslogistik sind dabei 400 km Reichweite bei einer Betankungszeit von 10 Minuten möglich. [12 - 14] Ein großes Problem für die Verbreitung von Wasserstoff stellt aktuell noch die fehlende Infrastruktur dar. [15; 16] Aktuell laufen auch erste Versuche mit batterieelektrischen LKW (40 t zGG). Hierbei sind Transporte bis 230 km Umkreis bei 2 Stunden Ladezeit möglich. [17; 18] Beide Ansätze könnten für Bereiche interessant sein, bei denen bereits jetzt LKW in der Agrarlogistik eingesetzt werden.

Bei anderen Logistikaufgaben stehen aber noch typische landwirtschaftliche Anforderungen im Weg, wie z.B. Gewicht und Bodendruck bei Batterien [19] oder Staub bei Brennstoffzellen. Hier könnten CO₂-neutrale Verbrennungskraftstoffe wie z.B. Pflanzenöle [20], E-Fuels [21; 22], Biomethan [23 - 25] oder Wasserstoff [26] eine Alternative bieten. Die Schwierigkeit ist hierbei: Findet man Motoren, die mit verschiedensten Treibstoffen auskommen oder stimmt man sich auf eine Alternative ab?

Eine Möglichkeit, die für die Infield-Logistik bei Erntegut oder Dünger zwischen Feldrand und Fläche interessant sein kann, ist der kabelgebundene Elektroantrieb. [27; 28] Hierbei wird die Transporteinheit über eine selbst regulierende Kabelrolle mit elektrischer Energie versorgt. Mit entsprechender Gestaltung ist hier bei gleicher Leistung eine Reduzierung des Fahrzeuggewichtes möglich, was besonders für Transportaufgaben und Bodenschutz interessant ist.

Transporter

Eine interessante Entwicklung im Bereich Transporter ist der Universal Transportwagen von Krone. [29] Bei diesem Rollbandwagen wird zur Entladung das Bodenband mit der Frontwand nach hinten bewegt. Damit ist eine gleichmäßige und schonende Entladung der verschiedensten Güter möglich.

Über die Entladeregelung wird das Band und die mit nach hinten laufende Frontwand so gesteuert, dass das Transportgut auf einer vorher festgelegten Strecke gleichmäßig verteilt werden kann. Dabei spielt die Geschwindigkeit des Gespanns innerhalb des Geschwindigkeitsfensters (bis 3,5 km/h) keine Rolle. Damit ist unabhängig vom Fahrer eine gleichmäßige Verteilung möglich und die Verdichtungsfahrzeuge brauchen weniger Gut zu verschieben. Dies trägt zu einer gleichmäßigeren Verdichtung und somit zu einer hohen Silagequalität bei. Außerdem werden Kraftstoff und Zeit gespart, der Silostock weniger durch den Radschlupf der Verteilfahrzeuge wieder gelockert und Kapazität für das qualitätsrelevante Verdichten gewonnen. [30]



Bild 1: Rollbandwagen

Figure 1: general-purpose wagon

Agrarroboter

Mit der immer stärkeren Akzeptanz von Robotern in der Landwirtschaft [31] spielen sie auch in der Logistik eine entsprechende Rolle. Dabei sind mehrere Entwicklungen in der Logistik zu sehen: die Versorgungslogistik für kleine Sä- und Pflanzroboter, die Maschinenlogistik und die Erntelogistik im Ackerbau sowie Garten- und Obstbau.

Bei der Versorgungslogistik wird an autonomen Systemen gearbeitet, die es ermöglichen, die aktuell kleinen Sä- und Pflanzroboter auch auf größeren Flächen durch eine entsprechende Materialversorgung einsetzen zu können. [32; 33] Da die Feldroboter aktuell größer werden

[34], sind auch neue Konzepte für den Maschinentransport über die Straße von Feld zu Feld gefragt. Beim Horsch RO 1 wird der Feldroboter an einen LKW angehängt, der auch als Versorgungsfahrzeug für das Saatgut dient. [35]



Bild 2: Horsch RO 1 beim Transport

Figure 2: Horsch RO 1 during transport

Bei Robotern in der Erntelogistik im Ackerbau stellen die Feldgrenzen aktuell in Europa auch die Einsatzgrenzen dar, da das Konstrukt des autonomen Fahrens im öffentlichen Raum bezüglich der Haftung noch nicht gesellschaftlich geklärt ist. [36] Somit stellt die Rechtsfrage hier noch vor technischen Aspekten den größten Forschungsbedarf dar. In Asien ist man besonders bei der Gemüseproduktion [37] in Städten bei Erntelogistikrobotern schon weiter. [38; 39] Im Obstbau werden aktuell mehrere Wege beschritten: Zum einen die Kombination von Ernte durch Menschen und Logistik durch Roboter [40; 41] oder zum anderen die Zusammenarbeit von Pflückroboter [42; 43] und entsprechenden Logistikrobotern [44; 45] als nächste Stufe.

Smart Farming in der Agrarlogistik

Die digitale Agrarlogistik verbreitet sich aktuell intensiv. Ein wichtiger Teil ist dabei die Optimierung von Sammelprozessen landwirtschaftlicher Rohstoffe, um die Prozesskosten und Arbeitszeit zu reduzieren. [46 - 49] Auch im Hinblick auf die 17 Sustainable Development Goals (SDGs) der UN werden digitale Logistikmodelle angewendet [50], um die Verluste von z.B. Frischgemüse auf der Transportkette zu reduzieren. Dies kann bei der Lebensmittelqualität durch die allgemeine Optimierung der Systeme geschehen [51] oder durch die Optimierung der Logistikprozesse hin zu kurzen Lieferketten [52]. Auch Modelle aus der Spieltheorie [53] werden angewendet, um die Frischgemüse-logistik zu optimieren.

Beim Thema Rückverfolgbarkeit in der Logistik zeigt sich häufig das Problem der geringen digitalen Technisierung von Transport- und Umschlagtechnik. Teilweise geht man hier den Weg, über die GNSS Positionsdaten den Gutstrom für die Rückverfolgbarkeit zurück zu modellieren [54]. Hierzu müssen aber auch alle GNSS-Daten durchgängig erfasst sein und besonders an Knotenpunkten wie der Getreideannahme kommt es leicht zu Unschärfen. Ziel muss es deshalb sein, trotz der großen Anzahl „nicht intelligenter“ Maschinen in der Agrarlogistik eigenständige Datenketten aufzubauen. [55] Eine interessante Technologielösung ist hier die Telematik-Box Krone Smart Collect (KSC) von Krone, die eigentlich für den gewerblichen Güterkraftverkehr entwickelt wurde, aber auch in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann [56]. Die robuste Box verfügt über GNSS, eine eigene Energieversorgung über Solarpanel, Bluetooth-Schnittstellen für externe Sensoren und offene Datenschnittstellen für verschiedenste Anwender. [57] Auch bei der Datenübertragung, die in den letzten Jahren häufig zusätzliche Aufgaben wie die Agrarlogistik ausgebremst hat, gibt es inzwischen neue Entwicklungen in Form von kabellosen Netzwerken auf der Fläche [58] und eines leistungsstärkeren ISOBUS [59; 60].



Bild 3: Smart Telematics - Einbindung von Navigation und Logistik in ein FMS
Figure 3: Smart Telematics - Integration of navigation and logistics in a FMS

Auch komplexe Logistiksysteme für die Landwirtschaft entwickeln sich. So stellt SRADI [61] ein Logistik-Metamodell dar, in das eine IoT Infrastruktur auf LoraWan Basis und verteilte Daten-Dienstleister auf Basis von OpenSource integriert sind.

Im Bereich Navigation auf der Fläche konzentriert sich die Entwicklung aktuell auf die Fahrspurplanung für Agrarroboter. Im technischen Bereich sind dies z.B. Mehrgelenkmodelle [62] oder eine Fuzzy-Logik [63].

Logistikroboter in der Obst- und Gemüseernte müssen teilweise über einen langen Zeitraum immer wieder die gleiche Fläche befahren. Dafür ist neben einer GNSS-Navigation auch eine Umfeld-Navigation notwendig. Aktuell sind die meisten Systeme beim Anlernen ferngesteuert oder basieren auf einer einmaligen Umgebungsanalyse. Diese festen Karten und Aktionsschemata schränken jedoch die Flexibilität der Systeme ein. Da sich innerhalb der Vegetationsperioden die Umgebung schnell ändern kann, ist eine kontextsensitive Navigation notwendig. Hierzu sind erste Systeme in der Entwicklung, die Bestandskarten über einen gesamten Vegetationszeitraum ohne Benutzereingriff erstellen können. [64]

Bei den digitalen Logistikunterstützungssystemen ist zu beobachten, dass die Einzelsysteme untereinander abgestimmt werden, um den Gesamtprozess zu optimieren. Beispiele dafür sind z.B. die Routenplanung auf dem Feld mit der Prozessoptimierung im Mähdrescher, um Fehloptimierungen zu verhindern [65], oder die Integration des Mengenmodells bei der Planung der In-Field-Wegstrecke zum Bodenschutz [66; 67]. Auch die Abstimmung zwischen Mähdrescher und Überladewagen durch ein Assistenzsystem für den Mähdrescherfahrer verringert die Zeit, die der Fahrer mit Beobachtung des Überladeprozesses beschäftigt ist um 1/3 und führt insgesamt zu einer deutlichen Arbeitsentlastung. [68]

Wichtig bei der Betrachtung der digitalen Modelle für die Agrarlogistik ist aber auch, dass diese gegenüber der Praxis geprüft werden müssen, um keine Einflussfaktoren zu übersehen. [69; 70]

Zusammenfassung

Die beiden Jahre Corona hatten auch Auswirkungen auf die Entwicklung im Bereich Agrarlogistik. In der den Bereich betreffenden Gesetzgebung gab es keine weitere Diskussion oder Veränderung. In der Transporttechnik gab es auch keine großen Veränderungen. Die meisten Transportketten sind über die letzten Jahre optimiert worden. Der Bereich Silagelogistik für Biogasproduktion, der früher häufig Veränderungen angetrieben hat, reduziert sich insgesamt. Interessant für die Transporttechnik wird die zukünftige Entwicklung in Richtung klimaneutraler Logistik. Hier sind im LKW-Bereich die beiden Entwicklungen Batterie-elektrische Antriebe und Antriebe auf Basis von Wasserstoff-Brennstoffzellen zu beobachten. Welche Auswirkungen dies auf das Universaltransportfahrzeug Traktor hat ist zu beobachten. Entwickelt sich die Technik auch in diese Richtung oder führen die Gesamtheit der Anforderungen zu einer anderen Ausrichtung? Auch eine Option wäre die noch stärkere Verschiebung der Agrarlogistik in Richtung LKW-Technologie und der dann dort genutzten Antriebssysteme.

Im Bereich Agrarrobotik spielt die Logistik auch eine entscheidende Rolle. Zum einen müssen Systeme entwickelt werden, die die aktuellen kleinen Robotereinheiten zukünftig auf der Fläche mit Verbrauchsmaterial (Energie, Saatgut, Dünger, Pflanzenschutz, ...) versorgen können, um sie weitestgehend autonom auf großen Flächen agieren zu lassen. Zum anderen werden Logistiksysteme benötigt, um Roboter zwischen verschiedenen Flächen transportieren zu können.

Abschließend wurde noch die Digitalisierung der Agrarlogistik betrachtet. Hier zeigt sich, dass die Modelle immer mehr die verschiedenen Einflussgrößen der Agrarlogistik integrieren können und somit Systemlücken schließen. Auch durch die Vernetzung mehrerer verschiedener Modelle kann die gesamte Kette besser abgebildet werden.

Literatur

- [1] Vaupel, M.: Merkblatt - Güterbeförderung in der Land- und Forstwirtschaft. Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.), Oldenburg Februar 2022, URL: www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/39174_Neues_Merkblatt_zur_Güterbeförderung_in_der_Land-_oder_Forstwirtschaft, Zugriff am: 12.04.2022.
- [2] Maschinenring Deutschland GmbH: Rechtslage zur zulässigen Breite von Traktoren und Anhängern. Neuburg a. d. Donau 09.02.2022.
- [3] Schauer, A.: Zulässige Breite von Traktoren und Anhängern – Erläuterung der geltenden Rechtslage. VDMA (Hrsg.), Frankfurt 07.02.2022.
- [4] Kramer, U.; Bothe, D.; Gatzen, C.; Reger, M.; Lothmann, M.; Dünnebeil, F.; Biemann, K.; Liebich, A.; Dittrich, M.; Limberger, S.; Rosenthal, M.; Fröhlich, T.: Zukünftige Kraftstoffe: FVV-Kraftstoffstudie IV – Transformation der Mobilität im klimaneutralen und postfossilen Zeitalter. FVV - Forschungsvereinigung Verbrennungskraft-maschinen e.V. (Hrsg.), Frankfurt a.M. 2021.
- [5] Breuer, J. L.; Scholten, J.; Koj, J. C.; Schorn, F.; Fiebrandt, M.; Samsun, R. C.; Albus, R.; Görner, K.; Stolten, D.; Peters, R.: An Overview of Promising Alternative Fuels for Road, Rail, Air, and Inland Waterway Transport in Germany. *Energies* 15 (2022) H. 4, S. 1443.
- [6] Kunz, A.: Alternative drives for agriculture machines – Legal frame, meaning, concepts, validation, conclusion. *Land.Technik* 2020, 3.-4.11.2020, Online. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): *Land.Technik 2020 – 78th International Conference on Agriculture Engineering*, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2020, S. 405-412.
- [7] Kluschke, P.; Uebel, M.; Wietschel, M.: Alternative Antriebe im straßengebundenen Schwerlastverkehr: Eine quantitative Ermittlung der Nutzeranforderungen an schwere Lkw und deren Infrastruktur. Working Paper Sustainability and Innovation, S05/2019, Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI; Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, 2019, URL: <https://www.econstor.eu/handle/10419/200218>.

- [8] Kast, J.; Morrison, G.; Gangloff, J. J.; Vijayagopal, R.; Marcinkoski, J.: Designing hydrogen fuel cell electric trucks in a diverse medium and heavy duty market. *Research in Transportation Economics* 70 (2018), S. 139-147.
- [9] Lee, D.-Y.; Elgowainy, A.; Kotz, A.; Vijayagopal, R.; Marcinkoski, J.: Life-cycle implications of hydrogen fuel cell electric vehicle technology for medium- and heavy-duty trucks. *Journal of Power Sources* 393 (2018), S. 217-229.
- [10] Powell, J. B.: Hydrogen's role in achieving net-zero carbon emission for the global economy. Stanford Energy Seminar, Stanford University, Stanford 1.03.2021.
- [11] Backhaus, R.: Wege zur Elektrifizierung schwerer Nutzfahrzeuge. *MTZ - Motortechnische Zeitschrift* 83 (2022) H. 4, S. 8-13.
- [12] Weinrich, R.: Täglich 10.000 Lkw-Kilometer in der Schweiz (2021).
- [13] Stahl, T.: Besser als Diesel? Wasserstoff-LKW knacken Millionen-Kilometer-Marke. *EFAHRER.com* (2021).
- [14] N.N.: Hyundai-Brennstoffzellenlaster im Schweizer Alltagseinsatz: Emmi auf Saubermann-Tour. *STERN.de* (2021).
- [15] Rose, P.; Wietschel, M.; Gnann, T.: Wie könnte ein Tankstellenaufbau für Brennstoffzellen-Lkw in Deutschland aussehen? Working Paper Sustainability and Innovation, S09/2020, Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, 2020, URL: <https://www.econstor.eu/handle/10419/225286>.
- [16] Liu, N.; Xie, F.; Lin, Z.; Jin, M.: Evaluating national hydrogen refueling infrastructure requirement and economic competitiveness of fuel cell electric long-haul trucks. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 25 (2020) H. 3, S. 477-493.
- [17] Leichsenring, S.: MAN stellt seinen ersten Elektro-Lkw als Prototyp vor. *InsideEVs Deutschland* (2022).
- [18] Richenhagen, S.: Elektrische Sattelzüge in der Lebensmitteldistribution: Cool Liner für Aldi in Ungarn, 07.01.2022.
- [19] Kissel, M.: Fully electric Tractor with 1000 kWh battery capacity. *Land.Technik* 2022, 25.02.2022, Online. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): *Land.Technik 2022 – 79th International Conference on Agriculture Engineering*, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2022.
- [20] Emberger, P.; Hinrichs, M.; Huber, G.; Emberger-Klein, A.; Thuneke, K.; Pickel, P.; Remmele, E.: Field tests and real-world exhaust gas emissions of a pure rapeseed oil-fuelled harvester in forestry: Testing a solution for combined water, soil, and climate protection. *Journal of Cleaner Production* 280 (2021), S. 124360.
- [21] Stein, A.; Pult, F.; Geimer, M.: Challenges in the Use of Alternative Fuels: Solutions to handle Boil-Off Gas in Agricultural Machines. *Land.Technik* 2022, 25.02.2022, Online. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): *Land.Technik 2022 – 79th International Conference on Agriculture Engineering*, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2022.

- [22] Peters, R.; Breuer, J. L.; Decker, M.; Grube, T.; Robinius, M.; Samsun, R. C.; Stolten, D.: Future Power Train Solutions for Long-Haul Trucks. Sustainability 13 (2021) H. 4, S. 2225.
- [23] Wohlfahrt, F.: Applicability Evaluations of Methane based Powertrain and Energy Storage Systems on High Performance Harvesting Machine Applications. Land.Technik 2022, 25.02.2022, Online. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): Land.Technik 2022 – 79th International Conference on Agriculture Engineering, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2022.
- [24] Owczuk, M.; Matuszewska, A.; Kruczyński, S.; Kamela, W.: Evaluation of Using Biogas to Supply the Dual Fuel Diesel Engine of an Agricultural Tractor. Energies 12 (2019) H. 6, S. 1071.
- [25] Mautner, S.; Emberger, P.; Thuneke, K.; Remmele, E.: Emission and operating performance of a biomethane tractor with dual fuel engine. 10 Rostock bioenergy forum Proceedings, Germany. In: Nelles, M. (Hrsg.): 10. Rostocker Bioenergieforum – Am 16. und 17. Juni 2016 an der Universität Rostock : Tagungsband, Schriftenreihe Umweltingenieurwesen, Band 58, Rostock: Universität Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät 2016, ISBN: 978-3-86009-433-4, S. 490.
- [26] Deutz AG: Der Wasserstoffmotor von DEUTZ ist reif für den Markt. Köln 12.08.2021.
- [27] Boos, F. d. M.: Grid CON Swarm - Development of a Grid Connected Fully Electric System. Land.Technik 2022, 25.02.2022, Online. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): Land.Technik 2022 – 79th International Conference on Agriculture Engineering, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2022.
- [28] Klein, A.: GridCON2 - Development of a Cable Drum Vehicle Concept to Power. Land.Technik 2022, 25.02.2022, Online. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): Land.Technik 2022 – 79th International Conference on Agriculture Engineering, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2022.
- [29] Bensing, T.: Krone dreht ab – Krone Bandwagen GX 440. profi (2021) 10-2021, S. 46-49.
- [30] Deutsche Landwirtschafts Gesellschaft: Innovations Magazin Agritechnica 2022. Deutsche Landwirtschafts Gesellschaft (Hrsg.), Frankfurt a.M. Februar 2022.
- [31] Spykman, O.; Gabriel, A.; Ptacek, M.; Gandorfer, M.: Farmers' perspectives on field crop robots – Evidence from Bavaria, Germany. Computers and Electronics in Agriculture 186 (2021), S. 106176.
- [32] Osten, J.; Weyers, C.; Bregler, K.; Emter, T.; Petereit, J.: Modular and scalable automation for field robots. at - Automatisierungstechnik 69 (2021) H. 4, S. 307-315.
- [33] Herlitzius, T.; Hengst, M.; Grosa, A.; Fichtl, H.: Fieldswarm technology for tillage and crop care. at - Automatisierungstechnik 69 (2021) H. 4, S. 316-324.
- [34] Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH & Co. KG: Combined Powers KRONE und Lemken präsentieren autonomes System. Spelle 03.2022.
- [35] Colman, L.: Horsch RO 1: Die Vision aus Schwandorf. profi 3-2022, S. 42-47.
-

- [36] Botthof, A.; Gabriel, P.; Straub, S.; Wischmann, S.: Digitale Technologien und Recht: aktuelle Herausforderungen im Innovationsprozess. DOI: 10.5771/9783748920984-153. In: Beck, S.; Kusche, C.; Valerius, B. (Hrsg.): Digitalisierung, Automatisierung, KI und Recht – Festgabe zum 10-jährigen Bestehen der Forschungsstelle RobotRecht, Robotik und Recht, Bd. 20, 1. Auflage, Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG 2020, S. 153-180.
- [37] Jin, Z.; Sun, W.; Zhang, J.; Shen, C.; Zhang, H.; Han, S.: Intelligent Tomato Picking Robot System Based on Multimodal Depth Feature Analysis Method. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 440 (2020) H. 4, S. 42074.
- [38] Chosa, T.; Kato, H.; Kikuchi, R.: New Technologies to Implement Precise Management of Farming in a City. DOI: 10.1007/978-981-32-9872-9_6. In: Recycle Based Organic Agriculture in a City, Springer, Singapore 2020, S. 113-145.
- [39] He, Y.; Nie, P.; Chu, B.; Kong, D.: Plant Factory IoT Management. DOI: 10.1007/978-3-030-65702-4_11. In: Agricultural Internet of Things, Springer, Cham 2021, S. 305-333.
- [40] Peng, C.: Predictive Scheduling of Collaborative Mobile Robots for Improved Crop-transport Logistics of Manually Harvested Crops 18.11.2021, URL: <https://arxiv.org/pdf/2111.09959>.
- [41] Chauhan, A.; Brouwer, B.; Westra, E.: Robotics for a Quality-Driven Post-harvest Supply Chain. Current Robotics Reports (2022), S. 1-10.
- [42] WU Jianqiao, FAN Shengzhe, GONG Liang, YUAN Jin, ZHOU Qiang, LIU Chengliang: Research Status and Development Direction of Design and Control Technology of Fruit and Vegetable Picking Robot System. Smart Agriculture 2 (2020) H. 4, S. 17.
- [43] Zhiheng Wang; Yi Xun; Yingkuan Wang; Qinghua Yang: Review of smart robots for fruit and vegetable picking in agriculture. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 15 (2022) H. 1, S. 33-54.
- [44] Wang, H.; Chen, W.; Wang, J.: Coupled task scheduling for heterogeneous multi-robot system of two robot types performing complex-schedule order fulfillment tasks. Robotics and Autonomous Systems 131 (2020), S. 103560.
- [45] Miao, Z.; Li, Z.; Li, N.; He, C.; Sun, T.: Logistics Service System for Agricultural Robot based on Multi-Machine Cooperation. DOI: 10.23919/CCC52363.2021.9550125. 2021 40th Chinese Control Conference (CCC), 7/26/2021 - 7/28/2021, Shanghai, China. In: Peng, C. (Hrsg.): Proceedings of the 40th Chinese Control Conference – July 26-28, 2021, Shanghai, China = Di si shi jie zhong guo kong zhi hui yi lun wen ji, Piscataway, NJ: IEEE 2021, S. 4242-4247.
- [46] Liao, J.; Wang, Y.; Yin, J.; Bi, L.; Zhang, S.; Zhou, H.; Zhu, D.: An Integrated Navigation Method Based on an Adaptive Federal Kalman Filter for a Rice Transplanter. Transactions of the ASABE 64 (2021) H. 2, S. 389-399.
- [47] Patel, P.; Vaezi, M.; Sebastian, R. M.; Kumar, A.: The Development of a GIS-Based Framework to Locate Biomass and Municipal Solid Waste Collection Points for an

- Optimal Waste Conversion Facility. Transactions of the ASABE 64 (2021) H. 5, S. 1671-1691.
- [48] Harbers, J.: Ein k-Means-basierter Algorithmus zur Bestimmung der optimalen Position eines Anhängers zur Heuballenbergung. 42. GIL-Jahrestagung, 21.-22.02.2022, Tänikon (Schweiz). In: Gandorfer, M.; Hoffmann, C.; El Benni, N.; Cockburn, M.; Anken, T.; Floto, H. (Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft – Künstliche Intelligenz in der Agrar- und Ernährungswirtschaft, Bonn: Gesellschaft für Informatik 2022, S. 111-116.
- [49] Utamima, A.; Reiners, T.; Ansaripoor, A. H.: Optimisation of agricultural routing planning in field logistics with Evolutionary Hybrid Neighbourhood Search. Biosystems Engineering 184 (2019), S. 166-180.
- [50] Yan, L.: The Research of Supply Chain Logistics Management on Fruit E-Commerce Website. American Society of Civil Engineers 2012, DOI: 10.1061/40996(330)315.
- [51] Ni, S.; Lin, Y.; Li, Y.; Shao, H.; Wang, S.: An evaluation method for green logistics system design of agricultural products: A case study in Shandong province, China. Advances in Mechanical Engineering 11 (2019) H. 1, S. 168781401881687.
- [52] Paciarotti, C.; Torregiani, F.: The logistics of the short food supply chain: A literature review. Sustainable Production and Consumption 26 (2021), S. 428-442.
- [53] Busato, P.; Berruto, R.: FruitGame: Simulation Model to Study the Supply Chain Logistics for Fresh Produce. DOI: 10.13031/2013.21922. Computers in Agriculture and Natural Resources, 23-25 July 2006, Orlando Florida. In: Zazueta, F. S. (Hrsg.): Computers in Agriculture and Natural Resources – Proceedings of the 4th World Congress: Orlando, Florida, USA, July 24-26, 2006, St. Joseph, Mich.: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2006, S. 488.
- [54] Zhang, Y.; Krogmeier, J. V.; Ault, A.; Buckmaster, D.: APT3: Automated Product Traceability Trees Generated from GPS Tracks. Transactions of the ASABE 63 (2020) H. 3, S. 571-582.
- [55] Kraatz, F.: Farming 4.0 ready telematics unit for basic, non-intelligent agricultural machines. Land.Technik 2022, 25.02.2022, Online. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): Land.Technik 2022 – 79th International Conference on Agriculture Engineering, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2022.
- [56] Schuhbauer, J.: Mit Smart Telematics und agrirouter - Digitale Features immer beliebter - auch bei Rundballenpressen -. Moderner-Landwirt.de (2021).
- [57] Fahrzeugwerk Bernard Krone GmbH & Co. KG: Krone Telematics: die All-in-One-Lösung – Offene Digitalstrategie für die Logistik. Werlte 06.07.2021.
- [58] Witte, J.: AEF Wireless In-Field communication – Common Coverage Map as a first application for interoperable cooperative fieldwork. Land.Technik 2022, 25.02.2022, Online. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): Land.Technik 2022 – 79th International Conference on Agriculture Engineering, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2022.

- [59] Smart, D.; Brill, V.: AEF – High Speed ISOBUS – Technology Readiness for a Next Generation Network. Land.Technik 2022, 25.02.2022, Online. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): Land.Technik 2022 – 79th International Conference on Agriculture Engineering, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2022.
- [60] Oksanen, T.; Brodie, S.: Virtual CAN Network for Remote Development of ISOBUS Devices. Land.Technik 2022, 25.02.2022, Online. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): Land.Technik 2022 – 79th International Conference on Agriculture Engineering, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2022.
- [61] Gackstetter, D.; Moshrefzadeh, M.; Machl, T.; Kolbe, T.: Smart Rural Areas Data Infrastructure (SRADI) – an information logistics framework for digital agriculture based on open standards. 41. GIL-Jahrestagung, 08.-09.03.2021, Potsdam. In: Meyer-Aurich, A.; Gandorfer, M.; Hoffmann, C.; Weltzien, C.; Bellingrath-Kimura, S.; Floto, H. (Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft – Informations- und Kommunikationstechnologien in kritischen Zeiten, Bonn: Gesellschaft für Informatik 2021, S. 109-114.
- [62] Yatskul, A.; Cointault, F.; Lemiere, J.-P.: Maneuverability of Wheeled Poly-Articulated Agricultural Vehicles: Modeling and Field Testing. Transactions of the ASABE 64 (2021) H. 6, S. 2111-2124.
- [63] Yao, L.; Pitla, S. K.; Zhao, C.; Liew, C.; Hu, D.; Yang, Z.: An Improved Fuzzy Logic Control Method for Path Tracking of an Autonomous Vehicle. Transactions of the ASABE 63 (2020) H. 6, S. 1895-1904.
- [64] Kisliuk, B.; Höllmann, M.; Tieben, C.; Krause, J. C.; Mock, A.; Pütz, S.; Igelbrink, F.; Wiemann, T.; Focke Martinez, S.; Stiene, S.; Hertzberg, J.: Erste Schritte zu einer kontextsensitiven Navigation in einem langzeitautonomen Field-Monitoring-System. 41. GIL-Jahrestagung, 08.-09.03.2021, Potsdam. In: Meyer-Aurich, A.; Gandorfer, M.; Hoffmann, C.; Weltzien, C.; Bellingrath-Kimura, S.; Floto, H. (Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft – Informations- und Kommunikationstechnologien in kritischen Zeiten, Bonn: Gesellschaft für Informatik 2021, S. 169-174.
- [65] Grever, A.; Müter, M.; Johanning, B.: Generic approach to bridge the gap bet. route optimization & motion planning. Land.Technik 2022, 25.02.2022, Online. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): Land.Technik 2022 – 79th International Conference on Agriculture Engineering, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2022.
- [66] Focke Martinez, S.; Wiemann, T.; Hertzberg, J.: Overview of a route-planning tool for capacitated field processes in arable farming. 41. GIL-Jahrestagung, 08.-09.03.2021, Potsdam. In: Meyer-Aurich, A.; Gandorfer, M.; Hoffmann, C.; Weltzien, C.; Bellingrath-Kimura, S.; Floto, H. (Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft – Informations- und Kommunikationstechnologien in kritischen Zeiten, Bonn: Gesellschaft für Informatik 2021, S. 97-102.
- [67] Focke Martinez, S.; Hertzberg, J.: Route-planning in output-material-flow arable farming operations aiming for soil protection. 42. GIL-Jahrestagung, 21.-22.02.2022, Tänikon
-

- (Schweiz). In: Gandorfer, M.; Hoffmann, C.; El Benni, N.; Cockburn, M.; Anken, T.; Floto, H. (Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft – Künstliche Intelligenz in der Agrar- und Ernährungswirtschaft, Bonn: Gesellschaft für Informatik 2022, S. 93-98.
- [68] Buchaca, R.: Quantification of operator features impact on grain cart operation. Land.Technik 2022, 25.02.2022, Online. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): Land.Technik 2022 – 79th International Conference on Agriculture Engineering, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2022.
- [69] Mederle, M.: Verfahrenstechnologische Analyse von Einflussfaktoren auf Befahrungsstrategien im Feld. 1. Auflage, München: Verlag Dr. Hut 2021, ISBN: 9783843948388.
- [70] Stettmer, M.; Treiber, M.; Heizinger, V.; Bernhardt, h.: Einfluss von schlagformspezifisch geplanten Befahrungsstrategien auf die Wendezeiten in der Bodenbearbeitung. 41. GIL-Jahrestagung, 08.-09.03.2021, Potsdam. In: Meyer-Aurich, A.; Gandorfer, M.; Hoffmann, C.; Weltzien, C.; Bellingrath-Kimura, S.; Floto, H. (Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft – Informations- und Kommunikationstechnologien in kritischen Zeiten, Bonn: Gesellschaft für Informatik 2021, S. 301-306.

Autorendaten

Prof. Dr. agr. Heinz Bernhardt ist Leiter des Lehrstuhls für Agrarsystemtechnik an der Technischen Universität München.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Bernhardt, Heinz: Logistik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-13

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030940-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/logistik.html>

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

Arbeitswissenschaft

Matthias Schick

Kurzfassung

Das Forschungsgebiet der modernen landwirtschaftlichen Arbeitswissenschaften entwickelt sich vom verfahrens- zum systemorientierten, interdisziplinären Ansatz. Digitale Technologien unterstützen hierbei sowohl bei der Datenerfassung als auch bei der Analyse und Zurverfügungstellung arbeitswissenschaftlicher Daten bis hin zur Übertragung in die Praxis des Landwirtschaftsbetriebes. Die wichtigste Erkenntnis hierbei ist immer, dass der Mensch mit seinen Ansprüchen an Gesundheit, Produktivität und Arbeitszufriedenheit im Rahmen der Betrachtungen im Mittelpunkt bleibt.

Schlüsselwörter

Digitalisierung, Mensch-Maschine-Schnittstelle, Technikgeschichte, Assistenzsystem, Betriebsführung, Ergonomie, Arbeitszeiterfassung, Modellierung

Work science

Matthias Schick

Abstract

The research field of modern agricultural labour science is increasingly developing into a system-oriented intra- and interdisciplinary approach. Digital technologies support both the collection of data and the analysis and provision of labour science data up to the transfer into the practice of the agricultural enterprise. The most important finding here is always that the human being with his or her demands on health, productivity and job satisfaction remains at the centre of the observations.

Keywords

Digitization, human-machine interface, history of technology, assistance system, operational management, ergonomics, working time recording, modelling

Arbeitszeitbedarf und Kennzahlen

Die arbeitswissenschaftliche Forschung im Bereich von arbeitswirtschaftlichen Grundlagendaten ist methodisch stark auf direkte Arbeitsbeobachtungen mit Zeitanalysen ausgerichtet [1]. In der Industrie ist dieser Prozess weniger verbreitet und mehrheitlich im Kontext von automatisierter Datenerfassung anzusehen. Dabei werden Mensch-Maschine-Systeme vermehrt in den Vordergrund gestellt [1]. Die Potentiale der Digitalisierung können auch vermehrt methodisch genutzt werden, um automatisierte Zeit- und quantitative Einflussgrößenerfassungen in großer Menge zu durchzuführen. Die erfassten Prozesszeiten sind sehr gut und mit geringem Auswertungsaufwand als Planzeiten verwendbar. Streuungen werden allerdings nicht gesondert berücksichtigt. Repetitive kurzzyklische Arbeitszeiten mit manueller Arbeit lassen sich auch weiterhin nur zum Teil automatisiert und damit allenfalls videobasiert erfassen.



Bild 1: Arbeitszeitmessungen können in der Außenwirtschaft weitestgehend automatisiert durchgeführt werden. In der Innenwirtschaft sind die Messungen aber weiterhin mehrheitlich händisch durchzuführen.

Figure 1: In arable farming and fodder production, working time measurements can be automated as far as possible. In animal husbandry, however, the majority of measurements still have to be carried out manually.

Arbeitsorganisation und Unternehmensführung

Die schlagkräftige Ernte von Massengütern (Futter, Getreide, Kartoffeln, Zuckerrüben, Biomasse, ...) ist in vielen Landwirtschaftsbetrieben auf Grund hoher logistischer Anforderungen ein Schwerpunkt im betrieblichen Ablauf. Die Transportkette soll dabei ein möglichst stillstandsfreies Arbeiten der eingesetzten Mechanisierung gewährleisten [2]. Bei bestimmten Kombinationen aus Betriebsgröße und Transportverfahren und Wegstrecken kann dies aber nur mit einer höheren Anzahl an Transporteinheiten und gleichzeitig umfangreichen Wartezeiten erreicht werden. Auf der Basis von kalkulierten Lademassenzykluszeiten und wartezeitfreien Umlaufzeiten ist es möglich, ablaufbedingte Wartezeiten bei Transportfahrzeugen zu identifizieren und damit auch zu klassifizieren. Über eine optimierte Verfahrensgestaltung kann dabei dazu beigetragen werden, Wartezeitanteile zu reduzieren (siehe **Bild 2**).

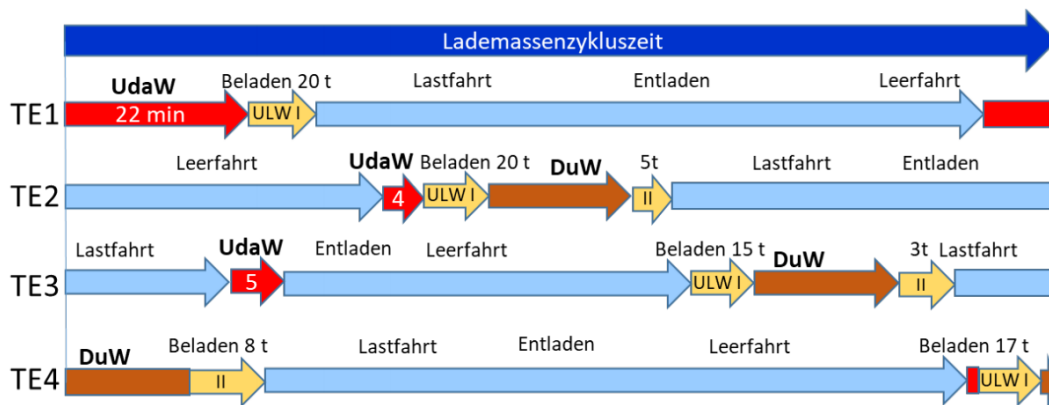


Bild 2: Ablaufdiagramm bei der Beladung von vier Transporteinheiten mit unterschiedlicher Lademasse durch einen Überladewagen in der Getreideernte mit druschleistungsunabhängiger Wartezeit (DuW) und unvermeidbarer druschleistungsabhängiger Wartezeit (UdaW) [2].

TE: Transporteinheit; ULW I: erster Überladevorgang des Überladewagens; UdaW: unvermeidbare druschleistungsabhängige Wartezeit; DuW: druschleistungsunabhängige Wartezeit

Figure 2: Flow diagram for the loading of four transport units with different load masses by a transfer wagon in the grain harvest with threshing performance-independent waiting time (DuW) and unavoidable threshing performance-dependent waiting time (UdaW) [2].

TE: transport unit; ULW I: first overloading process of the overloading wagon; UdaW: unavoidable threshing performance-dependent waiting time; DuW: threshing performance-independent waiting time

Ergonomie, Stress und Arbeitssicherheit

Zur Verbesserung der Gesundheit und gleichzeitiger Verringerung des Unfallrisikos in der Landwirtschaft wurden in den letzten Jahren Präventionsstrategien entwickelt und eingeführt. Zur Kategorisierung wird dabei vermehrt auf Gesetzgebung und Umsetzung, Ausbildung und Training sowie Forschung und Entwicklung hin fokussiert [3 - 7].

Der Einsatz von passiven und aktiven Exoskeletten in der Landwirtschaft, in Forst und im Gartenbau soll zur Verringerung der körperlichen Belastung und zur Verbesserung der Gesundheit dienen. Eine Pilotstudie im Gartenbau hat hierzu aufgezeigt, dass derzeit verfügbare Exoskelette bislang nur eingeschränkt für den Einsatz im Obst- und Gemüsebau zu empfehlen sind. Hervorzuheben ist hierbei, dass die verfügbaren Exoskelette nicht die Vorbeugetechnik unterstützen und nicht für den Einsatz bei wärmeren Lufttemperaturen ausgelegt sind. Zudem kann der auftretende Diskomfort einen längeren Einsatz erschweren. Jedoch zeigte sich ein erstes Akzeptanzverhalten bei Tätigkeiten, die die Versuchspersonen als geeignet ansehen. Hierzu sind aber noch weitere Forschungen notwendig, um hohe Körperbelastungen abzumildern [3; 4].

Smarte Technologien bieten das Potenzial, den Arbeits- und Gesundheitsschutz in der Landwirtschaft zu verbessern, zum Beispiel, indem Sicherheits-, Gesundheits- und Ergonomieaspekte in die Entwicklung und Gestaltung von neuen Technologien einbezogen werden. Dazu gehören der Einsatz von Drohnen, Sensoren, Ortungssystemen, Automatisierung und Robo-

tisierung, künstliche Intelligenz (KI) und Augmented Reality. In der Innenwirtschaft ist der Einzug von Robotersystemen zum Melken, Füttern, Futter nachschieben und Misten bereits weit fortgeschritten und hat die wesentlichen Belastungskomponenten deutlich von der physischen zu den psychischen verschoben. In der Außenwirtschaft sind Entwicklungen in Richtung Vor- gewende- und Fahrspurassistenten sowie Robotersysteme zur Aussaat, Pflege und Ernte noch in der Entwicklungsphase und haben bislang keinen flächendeckenden Einzug gehalten [8 - 11].

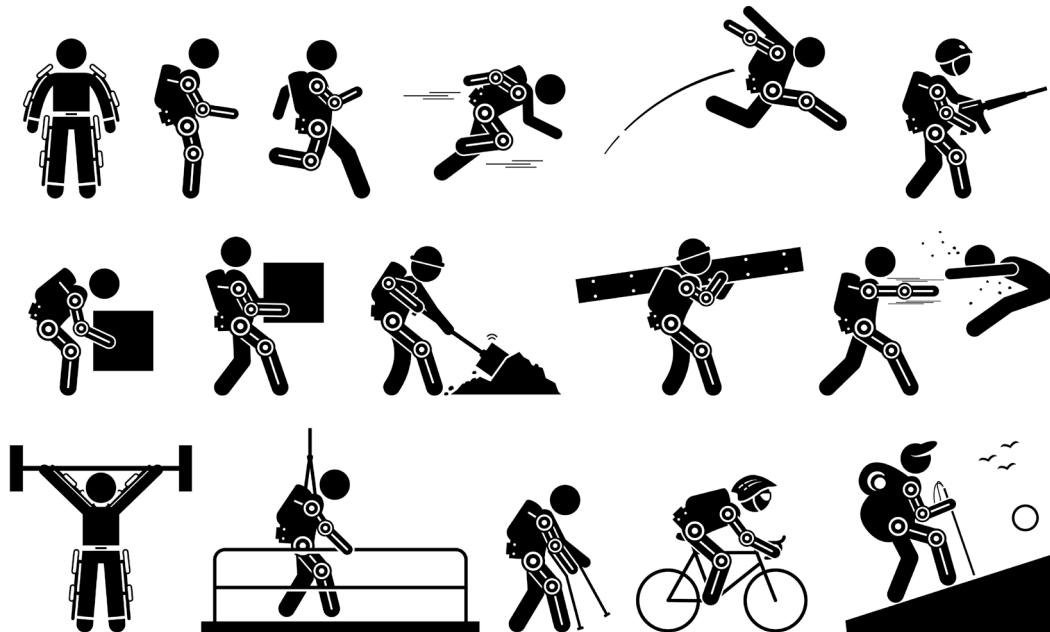


Bild 3: Einsatzmöglichkeiten von aktiven und passiven Exoskeletten [7].

Figure 3: Possible applications of active and passive exoskeletons [7].

Zusammenfassung

Die modernen landwirtschaftlichen Arbeitswissenschaften entwickeln sich weiter in Richtung Systemansatz. Zeiterfassung und -analyse werden durch digitale Hilfsmittel maßgeblich unterstützt. Digitale Technologien unterstützen bis hin zur Übertragung in den Landwirtschaftsbetrieb. Ergonomische Ansätze zur Verringerung der körperlichen Arbeitsbelastung mit körpergebundenen technischen Hilfsmitteln halten langsam Einzug, haben aber noch Entwicklungspotential. Der Mensch steht dabei weiterhin im Mittelpunkt.

Literatur

- [1] Hohagen, S.; Steckel, Th.: Entwicklung der landwirtschaftlichen Arbeitswissenschaft im Kontext der fortschreitenden Digitalisierung. In: 23. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium des VDI-Fachbereichs-MEG, S. 18 - 23, 2022.
- [2] Fechner, W.; Ube, N.: Ablaufbedingte Wartezeit in komplexen transportverbundenen Arbeitsverfahren am Beispiel Mähdrusch. In: 23. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium des VDI-Fachbereichs-MEG, S. 158 - 168, 2022.
- [3] Jakob, M.: 23. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium. 8.79.03.2022 Potsdam, 191 S. URL: <https://www.atb-potsdam.de/de/aktuelles-und-presse/veranstaltungen/termin-detailseite/8-9-maerz-2021-23-arbeitswissenschaftliches-kolloquium>, Zugriff am: 03.05.2022.
- [4] Frixen, F.: Einsatz von passiven Exoskeletten im Obst- und Gemüsebau. In: 23. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium des VDI-Fachbereichs-MEG, S. 43 - 62, 2022.
- [5] Brandon Martin, W.; Boehler, A.; Hollander, K. W.; Kinney, D.; Hitt, J. K.; Kudva, J.; Sugar, T. G.: Aerial Porter Exoskeleton (APEX) for Lifting and Pushing. In Moreno, J. C.; Masood, J.; Schneider, U.; Maufroy, C.; Pons, J. L. (Hrsg.): *Wearable Robotics: Challenges and Trends*, Biosystems & Biorobotics, Bd. 27, S. 529–533, Springer International Publishing, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-69547-7_85 Colombo 2000, 2022.
- [6] Hensel, R.; Keil, M.: Subjektive Evaluation industrieller Exoskelette im Rahmen von Feldstudien an ausgewählten Arbeitsplätzen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 72(4), 252–263, DOI: <https://doi.org/10.1007/s41449-018-0122-y>.
- [7] Schick, R.: Einsatz von Exoskeletten in Arbeitssystemen: Stand der Technik – Entwicklungen – Erfahrungen. 135. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 08.05.2018 im Institut ASER. Wuppertal-Vohwinkel: DGUV Fachbereich Handel und Logistik Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik. [Powerpoint-Folien] URL: https://www.suqr.uniwuppertal.de/fileadmin/site/suqr/Kolloquium/Kolloquium_Pr%C3%A4sentationen_Download/SS18/Schick_8-5-2018.pdf, Zugriff am: 24.08.2021
- [8] Busato, P.; Sopegno, A.; Pampuro, N.; Sartori, L.; Berruto, R.: Optimisation tool for logistics operations in silage production. *Biosystems Engineering* 180 (2019): 146–60.
- [9] Handler, F.; Blumauer, F.: Nebenzeiten und ablaufbedingte Wartezeiten beim Einsatz von Feldrobotern. *Agroscope Science* 94: 19–27, 2020.
- [10] Schmidt, C.: Landwirtschaft 4.0 – Digitalisierung als Chance für eine nachhaltige Landwirtschaft. In: Bär, C.; Grädler, T.; Mayr, R. (Hrsg.): *Digitalisierung im Spannungsfeld von Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Recht*, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018.
- [11] Quendler, E.; Leitner, C.: Tägliche manuelle Fütterungstätigkeiten bei Einsatz mobiler Fütterungsroboter in kleinstrukturierter Milchviehhaltung. In: 23. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium des VDI-Fachbereichs-MEG, S. 115 - 121, 2022.

Autorendaten

Prof. Dr. habil. Dipl. Ing. agr. Matthias Schick leitet den Bereich Tierhaltung und Milchwirtschaft der Abteilung Fachstellen und Dienstleistungen am Strickhof, dem Kompetenzzentrum für Bildung und Dienstleistungen in Land- und Ernährungswissenschaft, einer Abteilung des Amtes für Landschaft und Natur (ALN) der Baudirektion Kanton Zürich.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Schick, Matthias: Arbeitswissenschaft. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-6

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030941-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/arbeitswissenschaft.html>

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

Gesamtentwicklung Traktoren

Roger Stirnimann

Kurzfassung

Die Umsätze deutscher Traktorenhersteller erhöhten sich 2021 erneut und erreichten 5,234 Mrd. € (2020: 4,74 Mrd. €). Die inländischen Verkaufsstückzahlen stiegen an und John Deere konnte die Führungsposition zurückgewinnen. Es wurden zahlreiche neue oder überarbeitete Traktorbaureihen vorgestellt. In der Kompaktklasse stand weiterhin die Abgas-konformität im Vordergrund, die Neuerungen in den mittleren und oberen Leistungsklassen konzentrierten sich hingegen auf die Kabinen. Die Bedienkonzepte werden zunehmend von der Digitalisierung beeinflusst, z. B. durch Verteilung von Traktor-/Geräte-Informationen auf mehrere Bildschirme oder individuelle Funktionsbelegung von Bedientasten. Die bei früheren Modellwechseln beobachtbare Tendenz zu steigenden Motorleistungen war im Berichtsjahr weniger ausgeprägt. Alternative Antriebskonzepte und damit auch die Elektrifizierung sind in der Branche viel diskutierte Themen, Serienfahrzeuge gibt es aber weiterhin kaum.

Schlüsselwörter

Traktor, Traktorenmarkt, Traktorentechnik, Trends, Elektrifizierung

Agricultural Tractor Development

Roger Stirnimann

Abstract

Sales of German tractor manufacturers increased again in 2021, reaching € 5.234 billion (2020: € 4.74 billion). Domestic unit sales also increased and John Deere was able to regain the leading position. Once again, numerous new or revised tractor series were introduced. In the compact class, the focus continued to be on emissions compliance, while innovations in the medium and upper performance classes concentrated on the cabs. Operating concepts are increasingly influenced by digitalisation, e.g. by distributing tractor/implement information on several screens or individual function assignment of operating buttons. The tendency towards higher engine outputs, which could be observed in earlier model changes, was less pronounced in the year under review. Alternative drive concepts and thus also electrification are much-discussed topics in the industry, but there are still hardly any series-production vehicles.

Keywords

Tractor, tractor market, tractor technology, trends, electrification

Marktsituation

Die Umsätze deutscher Traktorenhersteller (ohne Claas) erhöhten sich 2021 erneut und überschritten mit 5,234 Mrd. € die 5-Mrd.-Marke (2020: 4,74 Mrd. €) [1]. Dies repräsentiert rund 50 % des Gesamtumsatzes deutscher Agrartechnikfirmen (10,51 Mrd. €). Das Produktionsvolumen stieg gegenüber dem Vorjahr um 20 % an, die Anzahl der Inlandzulassungen um 7,6 %, **Tabelle 1**. John Deere konnte die Führungsposition 2021 zurückgewinnen, allerdings mit einem beträchtlichen Anteil an Kompaktraktoren im Leistungsbereich unter 50 kW. Ansonsten ergaben sich bei den Marktanteilen keine großen Veränderungen, **Tabelle 2**.

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

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

Jahr/Year	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Produktion Production	60551	59213	63599	51349	47893	43487	46966	48587	49569	50368	60426
Neuzulassungen Newly registered	35977	36264	36248	34611	32220	28248	33695	27670	28979	32039	34472
Exporte Exports	47886	46301	49772	40056	37866	34828	37814	37814	39266	40289	66812
Besitzumschreib. Changing owner	96.597	95005	99468	102272	102988	103165	106294	107299	67271	116544	n.a.

Tabelle 2: Marktanteile der größeren Anbieter in Deutschland (basierend auf Stückzahlen in % der Gesamtzulassungen, Zahlen 2020 und 2021 nach [2])

Table 2: Market shares of the major tractor suppliers in Germany (based on unit numbers in % of total registrations, figures 2020 and 2021 according to [2])

Jahr/Year	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
J. Deere	19,3	19,7	20,9	20,9	21,3	19,4	19,5	18,2	18,4	23,4	21,4	17,5	17,9
Fendt	17,2	16,5	15,9	16,5	17,3	17,1	17,0	16,0	17,1	19,5	19,7	21,5	16,7
Deutz-Fahr	10,6	10,8	10,8	10,9	10,5	9,6	10,0	9,5	8,9	6,1	8,1	8,4	8,0
Case IH, Steyr	9,6	9,1	8,0	10,1	7,7	10,0	7,7	8,3	6,5	8,4	6,7	7,1	6,8
Claas	7,8	7,3	8,2	6,8	8,0	7,7	8,3	7,1	6,5	7,3	6,8	6,4	6,3
Kubota	3,3	4,5	5,2	3,7	5,0	5,0	6,0	7,0	8,1	4,8	7,2	6,9	7,0
New Holland	5,8	6,7	5,7	6,7	7,0	8,0	7,3	6,9	6,2	6,9	4,7	6,3	6,1
MF	4,0	3,7	4,1	5,0	4,2	4,3	3,8	4,0	4,5	3,5	3,8	4,0	3,7
Iseki	2,6	3,5	3,1	2,8	2,8	2,5	2,9	3,0	2,9	3,0	2,8	2,0	2,5
Valtra	1,8	1,5	1,9	2,1	2,1	2,0	2,4	2,5	3,0	3,1	3,5	3,2	3,0
S+L+H	3,0	2,5	2,3	2,3	1,9	1,8	1,4	2,1	1,9	1,0	1,4	1,8	1,7
Mercedes	1,7	1,5	1,5	1,3	1,4	1,2	1,2	1,6	1,2	1,5	1,3	0,9	0,9
Kukje (Korea)	-	0,5	0,9	0,9	1,0	1,1	1,0	1,4	1,8	1,6	2,1	2,8	2,7
Foton (China)	-	-	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	2,2	1,3	1,6	1,0	2,1

Detaillierte Zahlen zu den Zulassungen nach Herstellern, Konzernen, Leistungsklassen und den jeweiligen „Best-Seller“-Modellen gab es ebenfalls in [2], Marktzahlen zum Traktorenmarkt in Europa (2020) in [3].

Übersichten, Entwicklungsgrundlagen, Tests, Trends

Übersichten

Die Agritechnica 2021 konnte Corona-bedingt nicht wie üblich im November stattfinden. Das Zeitfenster wurde zuerst auf Februar/März 2022 verschoben, letztlich musste die Messe aber ganz abgesagt werden. Der bekannte Innovationswettbewerb „Agritechnica Innovation Award“ fand Ende 2021 trotzdem statt, allerdings mit wesentlich weniger Anmeldungen als in den vorherigen Jahren. Die Trendberichte sind auf der Agritechnica-Website verfügbar, darunter auch derjenige über Traktoren [4]. Publiziert wurde dieser u.a. in [5]. In diesem internationalen Sondermagazin ist auch der erste Teil des Kategorisierungsvorschlages für Standardtraktoren nach Baugrößen in englischer Sprache zu finden [6], der in [7; 8] erstmals veröffentlicht wurde. Darin enthalten sind ein Link und QR-Code, die zum kompletten Beitrag mit aktualisiertem Teil 2 führen [9].

Produktivität und Nachhaltigkeit gelten in der Landwirtschaft weiterhin als wichtige Pfeiler. Mit Konnektivität, Automatisierung, Robotisierung, Elektrifizierung und alternativen Treibstoffen in der Agrartechnik sollen diese weiter verbessert werden. Übersichten über Feldroboter und Schwarmtechnologien gab es u. a. in [10 - 12]. In [13] wird der aktuelle Stand der Elektrifizierung/Hybridisierung in der Landtechnik aufgezeigt. Die Frage „Was tanken Traktoren morgen?“ trieb die Fachwelt auch im Berichtsjahr um und war Leitthema von zahlreichen Veranstaltungen. Dazu gehörte auch ein Webinar vom TFZ Straubing, zu welchem es in [14] eine Zusammenfassung gab. Eine Übersicht über alternative Antriebskonzepte wurde in [15] veröffentlicht. Antriebe mit Wasserstoff-Brennstoffzellen gewinnen bei Nutzfahrzeugen weiterhin an Bedeutung. Auf Grund von relativ langsam ablaufenden chemischen Prozessen benötigen Brennstoffzellen „Puffer-Batterien“. Bei großer Speicherkapazität lassen sich auch längere Hochlastphasen (z. B. bergauf) überwinden – mit Downsizing-Effekt für die Brennstoffzelle. Allerdings steigt damit auch das Leergewicht. Groß ist zudem der Bauraumbedarf für die Wasserstoff-Druckbehälter, was insbesondere bei Standardtraktoren eine Herausforderung darstellt.

Entwicklungsgrundlagen

Garantiefälle und Kundenreklamationen interessieren vor allem nach Serienanläufen neuer Traktormodelle oder Komponenten. Statistische Modelle helfen, Frühphasen von Meldungen zu extrapolieren und bei Bedarf frühzeitig Maßnahmen einzuleiten. Eine Analyse für chinesische Traktoren zeigt die Treffsicherheit von vier statistischen Modellen mit Daten für etwa 600 Einsatzstunden [16]. Erneut erwies sich die Weibull-Verteilung als bestes Prognosemodell, allerdings dicht gefolgt von der logarithmischen Normalverteilung.

Tests

Im Berichtsjahr wurden von Fachzeitschriften-Redaktionen wiederum zahlreiche Vergleichstests durchgeführt. In [17; 18] gab es einen Testbericht über Großtraktoren von Claas, Fendt und John Deere mit Halb- resp. Vollraupenfahrwerken (zwei Teile). In [19] werden elf Traktoren in der Leistungsklasse 55 - 63 kW verglichen, acht davon mit Leistungen von knapp unter 56 kW. Bei dieser Marke gibt es in der EU-Abgasgesetzgebung einen relativ großen Vorschriftensprung bezüglich NOx-Emissionen [20], was dazu führt, dass Motoren mit weniger als 56 kW den Abgasstufe-V-Grenzwert ohne selektive katalytische Reduktion (SCR) und somit ohne AdBlue einhalten können. Durch die Verwendung von kompakten 3- und 4-Zylinder-Motoren mit einfacherer Abgastechnik weisen solche Traktoren ein attraktives Preis-/Leistungsverhältnis auf. Die elf Testtraktoren waren mit Frontladern ausgestattet, für welche zusätzliche Messungen gemacht wurden [21]. Die typischen maximalen Frontlader-Hubkräfte „unten“ lagen bei 15 - 16 kN (50 cm vor Gabelrücken), für einen „Vollhub“ von durchschnittlich etwa 3,5 m (am Gerätedrehpunkt) benötigten die Traktoren bei Vollgas durchschnittlich 4,3 s. Trotz der relativ einfachen Hydraulikausstattung in dieser Klasse ordnete das Testteam diese Ergebnisse als weitgehend zufriedenstellend ein. Vier Fachzeitschriften aus Skandinavien führten einen Vergleichstest mit sieben Traktoren in der 120-PS-Klasse (88 kW) durch. Veröffentlicht wurden die Ergebnisse in zwei Teilen auch in der Zeitschrift „profi“ [22; 23].

Interessante Publikationen gab es zudem im Bereich der Terramechanik. Die Auswirkungen von angepassten Reifendrücken auf Aufstandsfläche und Bodendrücke wurden in [24] bei einem VF-Reifen der Dimension 710/60R42 untersucht. Bei einer Absenkung des Reifeninnendruckes von 1,5 auf 0,9 bar vergrößerte sich die Aufstandsfläche um ca. 44 %, der mittlere Kontaktflächendruck verringerte sich um ca. 31 %. Bei den Messungen mit einer Bodensonde konnte die „Faustregel“ bestätigt werden, wonach der Sondendruck in 20 cm Tiefe und der Reifeninnendruck bei Treibradreifen oft sehr dicht beieinander liegen.

Sehr umfangreiche Messergebnisse zu inneren Wirkungsgraden bei Raupenlaufwerken mit zwei, drei und vier Antriebs-/Leiträdern wurden in [25] präsentiert. Bei den Varianten mit zwei Rädern liegen die Wirkungsgrade selbst bei hohen Fahrgeschwindigkeiten auf relativ hohem Niveau und der Einfluss von unterschiedlichen Bandspannungen ist relativ gering. Mit zunehmender Anzahl Antriebs-/Leiträdern (Anzahl Bandumlenkungen) nimmt der Wirkungsgrad ab und die Einflüsse von Bandspannung und Fahrgeschwindigkeit werden größer.

In [26] wurde eine Methodik zur effizienten und präzisen Rollwiderstandsmessung bei Traktoren vorgestellt (Ausrollversuche). Die Anwendung bei einem Traktor der 6-Zylinder-Mittelklasse mit unterschiedlichen Ballastierungen und Reifeninnendrücken zeigte, dass die Rollwiderstandsbeiwerte mit zunehmenden Fahrgeschwindigkeiten und Gesamtgewichten sowie mit abnehmenden Reifeninnendrücken von 2,4 bis 1,2 bar jeweils leicht zunahm. Bei der weiteren Druckabsenkung auf 0,8 bar stiegen die Beiwerte teilweise sprunghaft an, insbesondere bei den Varianten „mit Heckballast / ohne Frontballast“.

Trends

2021 wurden wiederum zahlreiche neue oder überarbeitete Traktorbaureihen vorgestellt. Während in der Kompaktklasse (Kategorien 1 bis 3 nach [6]) weiterhin die Abgaskonformität im Vordergrund stand, konzentrierten sich die Neuerungen in den mittleren und oberen Leistungsklassen auf die Kabinen. Der Übergang auf Motoren mit Stufe-V-Abgastechnik erfolgte bei Letzteren in den meisten Fällen schon in den vergangenen zwei Jahren. Die bei früheren Modellwechseln beobachtbare Tendenz zu immer höheren Motorleistungen war im Berichtsjahr weniger ausgeprägt.

Die Kabinenentwicklung wird stark von der Digitalisierung getrieben. Bedien- und Anzeigeterminals mit Touch-Screen und zusätzlichen Schnellzugriffstasten oder Dreh-Drückstellern sollen das Zusammenspiel zwischen Traktor und Anbaugeräten verbessern und überdies die Vernetzung mit dem Betriebsbüro erleichtern. Auftrags- und Felddaten (Feldgrenzen, Spurlinien, Applikationskarten usw.) lassen sich heute ortsunabhängig auf einem PC oder mobilen Endgerät vorbereiten und später auf dem Feld abrufen. Die „Clicks“ in der Kabine lassen sich damit weiter reduzieren und die Maschinen schneller einstellen. Teilweise stehen mehrere Terminals zur Verfügung, auf welche die Anzeigen beliebig verteilt werden können. Neu lassen sich diese auch auf handelsübliche Tablets übertragen. Zunehmend frei belegt werden können zudem die Tasten auf den Fahrhebeln, Armlehnen und zusätzlichen Joysticks. Ein Hersteller integriert neu auch Komforteinstellungen für den Fahrersitz in das Bedien- und Anzeigeterminal.



Bild 1: Massey Ferguson 8S als typischer Vertreter mit neuer Kabine ohne Armaturenbrett

Figure 1: Massey Ferguson 8S as a typical representative with new cab without dashboard

Die Armaturenbretter vor dem Lenkrad werden entweder „digitalisiert“ oder komplett in die rechte A-Säule verlegt, **Bild 1**. Auf Automobil-Niveau sind mittlerweile auch die Systeme für

Audio und Mobiltelefonie, die elektronischen Diebstahlschutzsysteme für Kabinentüren und Zündschlösser sowie die integrierten Kamerasysteme. Größere Verbreitung erfuhren in den letzten Jahren die variablen Lenkübersetzungen, bei welchen die Anzahl der Lenkradumdrehungen für das Einschlagen der Vorderräder von einem „Anschlag“ zum anderen vom Fahrer bestimmt werden kann. Gefedert werden moderne Traktorkabinen mechanisch, hydropneumatisch oder rein pneumatisch. Zur weiteren Komfortsteigerung werden diese Federungssysteme zunehmend mit denjenigen für die Vorderachse und mit der Schwingungstilgung für das Heckhubwerk verknüpft.

In [27] wurden die Arbeitshydraulikausstattungen der wichtigsten Traktorfabrikate untersucht. Die meisten Hersteller bieten mehrere Pumpenoptionen mit unterschiedlichen Förder volumina an. Traktoren der Kompaktklasse sind in den meisten Fällen nur mit Konstantstrom-Systemen (Open Center) bestellbar. Ab der 4-Zylinder-Mittelklasse bieten die meisten Hersteller Load-Sensing-Systeme mit Verstellpumpe (CCLS: Closed-Center-Load-Sensing) an; für Traktoren mit mittlerem Spezifikationslevel meistens als Option, für Premium-Modelle als Standard. Vereinzelt gibt es die einfacheren OCLS-Systeme (Open-Center-Load-Sensing) [28]. Ab der 6-Zylinder-Mittelklasse dominieren CCLS-Systeme. „Power Beyond“ [28] ist in den mittleren und oberen Leistungsklassen heute weit verbreitet. Die Ölhaushalte für Getriebe und Hydraulik sind zunehmend getrennt, wodurch einerseits höhere entnehmbare Ölmengen für die Hydraulik resultieren und andererseits die Gefahr von Vermischungen beim Getriebeöl verringert wird.

Elektrische Antriebssysteme kommen nur langsam voran. John Deere bietet das elektrisch-mechanisch leistungsverzweigte eAutoPowr-Getriebe seit Ende 2021 nun für das 8R-Topmodell 8R410 an, das bisher nur mit dem Volllastschaltgetriebe e23 verfügbar war (siehe Kapitel „Motoren und Getriebe bei Traktoren“). Landini präsentierte auf der EIMA 2021 die Konzeptstudie Rex4 Electra [29]. Die Vorderräder werden bei diesem Hybridtraktor über zwei separate, in den mittleren Achskörper integrierte, E-Motoren angetrieben, was u. a. einen permanenten Allradantrieb und eine Bremsenergie rückgewinnung ermöglicht. Ein Serientermin wurde nicht genannt.

Fendt kündigte die Markteinführung des zur Agritechnica 2017 vorgestellten batterieelektrischen Traktors e100 Vario jetzt für 2024 an. John Deere stellte im Frühjahr 2022 die batterieelektrische Konzeptstudie „SESAM 2“ vor. Die Fahrleistungsleistung liegt bei 500 kW, die Batteriekapazität bei 1.000 kWh. Das Zug- und Trägerfahrzeug soll primär autonom unterwegs sein, eine an-/abkoppelbare Kabine mit drahtloser Kommunikation ist als Option aber vorgesehen. Mit der Möglichkeit von „Power-Off-Boarding“ bis 1.000 kW soll das Fahrzeug auch als „Energieversorger“ für andere autonome Maschinen – beispielsweise elektrisch angetriebene Schwarmeinheiten – genutzt werden können.

Weitere autonome Traktoren und Trägerfahrzeuge, mit und ohne Kabine, wurden u. a. von AGXEED, Horsch, John Deere (8R410), Monarch und Krone/Lemken präsentiert.

Traktorentechnik nach Herstellern

Nachfolgend werden ausgewählte Neu- und Weiterentwicklungen vorgestellt, ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

John Deere überarbeitete und erweiterte die Baureihe 6R. Bei den 4- und den „kleinen“ 6-Zylindern kamen die Topmodelle 6R140/6R150 und 6R165/6R185 dazu (Boost-Maximalleistungen 122/130 resp. 157/172 kW nach ECE-R120). Mit maximal zulässigen Gesamtgewichten von 10,45 resp. 11,75 t bleiben diese aber typische Vertreter der Kategorien 6 und 7b (nach [6]). Die Umstellung auf die Abgasstufe V erfolgte bereits vor zwei Jahren, weshalb es bei den Leistungen der bisherigen Modelle kaum Änderungen gab. Für die ganze Baureihe steht ein „Hydraulic IPM“ zur Verfügung, mit dem neu 15 oder 29 kW (4- resp. 6-Zylinder) für den Antrieb von hydraulischen Geräten abgerufen werden können (siehe Kapitel „Motoren und Getriebe bei Traktoren“). Eine wichtige Neuerung in der Kabine ist das serienmäßige 1-Click-Go-AutoSetup, dank welchem sich die Traktoren mit weniger „Clicks“ einstellen lassen. Informationen wie Feldgrenzen, Spurlinien und Applikationskarten können vorab in der „Cloud“ geplant werden; das hinterlegte Profil wird an der Feldgrenze automatisch aufgerufen. Beim neuen E-Joystick kann die Tastenbelegung frei konfiguriert werden, das klassische Armaturenbrett vor dem Lenkrad wurde in die rechte A-Säule verlegt.

Für die Baureihe 8R kündigte John Deere eine optionale Reifendruckverstellanlage (CTIS) ab Werk an. Es handelt sich um ein 1-Leiter-System mit pulsgesteuertem Radventil und großen Leitungsquerschnitten. Die Drehdurchführungen sind sowohl hinten als auch vorne in die Achsen integriert. Gespeist werden kann das CTIS durch einen Zweikolbenkompressor auf dem Traktor oder über eine Pneumatik-Schnellkupplung im Heck auch durch externe Kompressoren, wie sie beispielsweise auf großen Güllefässern aufgebaut sind.



Bild 2: Neueste 9R-Generation von John Deere mit drei verschiedenen Fahrwerksvarianten

Figure 2: Latest 9R generation from John Deere with three different chassis variants

Überarbeitet wurden auch die 9R-Traktoren, die weiterhin mit Rad-, Vierraupen- oder Vollraupenfahrwerken angeboten werden, **Bild 2**. Die neuen Topmodelle 9R640/9RX640 (max. 508 kW / ECE-R120) werden von Cummins-Motoren mit 15 l Hubraum angetrieben. Darunter kommt der neue 13,6-l-Motor aus dem eigenen Hause (AGR/DOC/DPF/SCR) zum Einsatz, ab Modelljahr 2023 soll dieser auch die Topmodelle antreiben. Die von den Baureihen 7R/8R

her bekannte Kabine wird bei diesen großen Zugtraktoren jetzt ebenfalls verbaut, die HydraCushion-Vorderachsfederung ist neu für alle 9R-Modelle mit Radfahrwerk verfügbar.

Fendt stellte die überarbeiteten Baureihen 200 V/F/P, 500, 900 und 1000 mit bereits bekannten Motor-/Abgastechnologien (Stufe V) und unveränderten Motorleistungen vor. Wichtigste Neuerung ist das Kabineninnere mit dem Bedienkonzept FendtONE, das in den letzten zwei Jahren schon in den 200-, 300- und 700ern Einzug hielt. Darin integriert sind neu auch Komforteinstellmöglichkeiten für den Fahrersitz (z. B. Sitzbelüftung/-heizung, Lordosenstütze). Bei 200V/F/P werden Besonderheiten von Reihenkulturen (z. B. Spurführung) berücksichtigt.

Für die Großtraktoren (900/1000) bietet Fendt neu ein System zur automatischen Reinigung des Luftfilters während der Fahrt an (optional), Auslösung über Unterdruckmessung. Zehn Sekunden vor dem eigentlichen Ausblasen erhöht sich die Drehzahl des hydrostatisch angetriebenen Lüfters, danach werden über ein elektromagnetisches Pulsventil zwei sehr kurze, aber kräftige Luftstöße erzeugt. Dadurch wird der Staub gegen die Ansaugrichtung aus dem Luftfilter geblasen. Die Druckluft kommt aus einem separaten Behälter (10 l / 12 bar).

Deutz-Fahr stellte die Neuheiten 2021 gestaffelt vor, beginnend mit der Serie 5 (Nachfolger der Serie 5G). Die fünf Modelle sind mit FARMotion-Motoren aus dem eigenen Haus ausgestattet (3-/4-Zylinder, max. 70-93 kW nach ECE-R120), mit voller Abgastechnik (AGR/DOC/DPF/SCR) und Injektor-Drücken bis 2.000 bar. Die Stufengetriebe stammen weiterhin aus dem in [30] vorgestellten Baukasten.

Im Herbst präsentierte Deutz-Fahr die neuen Serien 6 (nur 6-Zylinder-Modelle) und 7. Bei allen Modellen kommt der Deutz-Motor TCD 6.1 mit bekannter Abgasstufe-V-Technik zum Einsatz, das Ölwechselintervall liegt neu bei 1.000 Betriebsstunden. Leergewichte und maximal zulässige Gesamtgewichte wurden im Vergleich zu den Vorgängern deutlich erhöht, die Leistungen hingegen nur wenig. Das 6er-Topmodell 6230HD und die Modelle 7250/7250HD weisen fast die gleichen Spezifikationen auf wie der 2020 vorgestellte 8280 TTV. Die neuen Traktoren werden ausschließlich mit Compound-Stufenlosgetrieben mit zwei leistungsverzweigten Fahrbereichen vorwärts und einem rein hydrostatischen Fahrbereich rückwärts angeboten. Damit werden die bisherigen CVTs von ZF (ECCOM, S-MATIC) abgelöst. Bei der Heckzapfwelle stehen drei Drehzahlen (540E/1000/1000E) zur Verfügung, vorne neu zwei (1000/1000E). Mit dem „CleanOil-System“ werden Hydraulik- und Getriebeöl voneinander getrennt, entnehmbare Ölmenge bis zu 90 l. Vom 8280 TTV übernommen wurde auch das aTBM (advanced Trailer Brake Management), welches das Bremsverhalten von Traktor und Anhänger optimiert (über den gesamten Geschwindigkeitsbereich).

Ende 2021 präsentierte Deutz-Fahr noch die Serie 6C mit Boost-Maximalleistungen von 93 - 105 kW (ECE-R120). Sie löst die bisherigen TTV-Modelle 6120/6130/6140 ab, ist aber etwas leichter und kompakter. Der 3,6 l Deutz-Motor hält mit AGR/DOC/DPF/SCR die Abgasstufe V ein, Getriebeoptionen siehe Kapitel „Motoren und Getriebe bei Traktoren“.

CNH überarbeitete die kompakten Großtraktoren-Baureihen Case IH Optum, New Holland T7 HD und Steyr Terrus. Die Leistungen der bekannten Stufe-V-Motoren blieben unverändert, der Fokus lag stark auf den Kabinen, die für mehr Innenraum vergrößert wurden. Schon

bei den bisherigen Modellen verzichtete CNH auf die klassischen Armaturenbretter vor dem Lenkrad, die Displays in der rechten A-Säule wurden jetzt aber noch verfeinert. Mit dem feststehenden CentreView-Display im Lenkrad bietet New Holland eine Exklusiv-Option an, **Bild 3**. Neu sind auch die rechten Armlehnen mit konfigurierbaren Bedienelementen, überarbeiteten Multifunktionshebeln und ISOBUS-kompatiblen Touchscreen-Monitoren. Vier Zapfwelldrehzahlen im Heck (540/540E/1000/1000E) und zwei in der Front (1000/1000E) stehen weiterhin zur Verfügung.



Bild 3: CentreView-Display als neues Exklusiv-Merkmal der Baureihe New Holland T7 HD

Figure 3: CentreView display as a new exclusive feature of the New Holland T7 HD series

In der Kompaktklasse (Case IH Farmall C, New Holland T5, Steyr Multi/Kompakt) stand der Übergang auf die Abgasstufe V im Vordergrund. Die 4-Zylinder-Motoren von FPT weisen neu 4-Ventiltechnik und Hubräume von 3,6 l auf und arbeiten mit AGR/DOC/DPF/SCR. Unter 56 kW verbaut man weiterhin das 3,4-l-Aggregat, das ohne SCR auskommt.

Claas nutzte den Übergang auf Abgasstufe-V-Motoren bei der Baureihe Arion 400 für ein größeres „Update“ und zur Einführung des neuen Topmodells 470. Die FPT-Motoren mit 4,5 l Hubraum arbeiten mit DOC/SCRoF und kommen auf Maximalleistungen bis 114 kW (ECE-R120). Claas stattete bisher nur die Topmodelle der Baureihen Arion 600 und Axion 800 mit einem Boost aus (660er/870er), bei der Baureihe Arion 400 erhalten neben dem 470er auch die Modelle 440, 450 und 460 rund 7 kW Zusatzleistung. Das maximal zulässige Gesamtgewicht wurde von 8,5 auf 9 t erhöht (Modelle 430-470).

Für die Baureihen Arion 500 und 600 bietet Claas die „Auto Stretch Brake“ jetzt in Serie an. Das System aktiviert automatisch die Druckluftbremse des Anhängers, sobald beim Traktor kritische Schubkräfte auftreten. Erkannt werden diese u. a. über Drucksensoren im hydrostatischen Zweig des stufenlosen CMATIC-Getriebes und über die Motorschleppmomente.

Basierend auf dem Assistenzsystem CEMOS bietet Claas als erster Hersteller eine direkte Anzeige für das Bodenverdichtungsrisiko unter aktuellen Einsatzbedingungen an. Zur Berechnung werden Parameter wie Bodenart/-zustand, dynamische Achslasten oder Reifendrücke mit Terranimo®, einem europaweit anerkannten Simulationstool für Bodenbelastung und -tragfähigkeit, verknüpft und zu Fahreranweisungen verarbeitet.

Mit der Einführung der Baureihe M6001 Utility löst **Kubota** die MGX-IV-Modelle komplett ab. Zwei kleinere Modelle mit kurzem Radstand (2,54 m) arbeiten mit dem 4-Zylinder-Motor mit 3,8 l Hubraum (77 und 81 kW, 97/68EG), drei größere mit dem „4-Zylinder-Big-Block“ mit 6,1 l Hubraum (90 - 105 kW). Damit gibt es Überschneidungen mit den Typen M6122, M6132 und M6142, die aber noch über einen Boost von 15 kW verfügen. Alle M6001-Utility-Modelle haben das konzerneigene 8-fach-Lastschaltgetriebe und die Bi-Speed-Vorderachse. Auch die Baureihen M4003 und M5002 erfüllen seit Anfang 2021 die Abgasstufe V.

Mit den Baureihen 6S und 7S präsentierte **Massey Ferguson** im Herbst 2021 die Nachfolger der bisherigen 6700S und 7700S. Die Neuerungen lagen auch hier primär bei der Kabineninnenausstattung. Ende 2021 wurde mit dem 7S.210 ein zusätzliches Modell mit max. 162 kW und serienmäßigem Dyna-VT-Getriebe nachgeschoben, um die Lücke zur Baureihe 8S zu schließen. Mit zwei zusätzlichen Topmodellen (8S285/8S305) wurde diese ebenfalls nach oben erweitert (max. bis 224 kW, ECE-R120). Für alle 8S-Modelle steht mit dem Dyna-VT jetzt auch eine stufenlose Getriebeoption zur Verfügung (AGCO ML260).

Modellpflege bei bekannter Abgastechnik und gleichgebliebenen Motorleistungen war auch bei den fünften Generationen der Baureihen N und T der Konzernschwester **Valtra** angesagt. Der Fokus lag hier ebenfalls auf dem Kabineninnern, u. a. mit dem Ziel, den Einsatz von Smart Farming-Technologien zu erleichtern. Auffälligste Neuerung ist das Display in der rechten A-Säule, welches das klassische Armaturenbrett vor dem Lenkrad ersetzt.

Die Vorstellung der fünften A-Serie-Generation Anfang 2021 war mit der Einführung von Abgasstufe-V-Motoren verknüpft (DOC/DPF/SCR). Die Serie ist weiterhin in drei „Baugrößen“ unterteilt: Die Modelle A75/A85/A95 haben 3-Zylinder-Motoren bei Radständen von 2,25 m, die Typen A105/A115 und A125/A135 4-Zylinder-Aggregate und Radstände von 2,43 resp. 2,50 m (analog Massey Ferguson 4700M und 5700M).

Mit der Vorstellung der Modelle Lintrac 80 und 100 stellte **Lindner** die Produktion der Geotrac-Baureihe komplett ein. Das Lintrac-Programm umfasst aktuell die LS-Modelle 75, 95 und 115 mit 2-fach-Lastschaltung sowie die LDrive-Modelle 80, 100 und 130 mit Stufenlosgetriebe. Alle haben 4-Zylinder-Motoren von Perkins mit 3,6 l Hubraum, welche die Abgasstufe V mit AGR/DOC/DPF/SCR erfüllen.

ARGO stellte im Berichtsjahr mehrere neue Baureihen vor, die an den Beispielen von McCormick erläutert werden. Die vor zwei Jahren präsentierte 6-Zylinder-Baureihe X7.6 wurde nach unten um zwei Short-Wheel-Base-Modelle (X7.617/X7.618) mit 2,76 m Radstand erweitert (Maximalleistungen 121/129 kW, ECE-R120). Mit den Modellen X7.417 und X7.418 werden zwei 4-Zylinder-Modelle mit gleichen Leistungen angeboten, die bis auf Motor und Radstand (2,65 m) baugleich sind – ähnlich wie bei CNH. Auf die Abgasstufe V

umgestellt wurden auch die Baureihen X4, X5, X6 und X6.4. In den X4-Modellen arbeiten neu 4-Zylinder-Motoren von Kohler mit 2,5 l Hubraum (bis 55 kW, ISO), in den X5 und X6 sind es solche von FPT mit 3,6 l Hubraum (bis 93 kW, ISO). Beim X5-Einstiegsmodell X5.085 mit knapp unter 56 kW kommt das FPT-Aggregat mit 3,4 l Hubraum und einfacherer Abgastechik zum Einsatz. Die Baureihe X6.4 erreicht mit dem 4,5-l-Motor von FPT neu Maximalleistungen bis 114 kW (ISO), das maximal zulässige Gesamtgewicht wurde auf 9,5 t erhöht.

Besondere Bauarten

Mit der Vorstellung der Modelle U435 und U535 steigert Daimler Truck die Spitzenleistung der Unimog-Baureihe um 40 kW auf 260 kW. Der 6-Zylinder-Motor OM936 mit 7,7 l Hubraum arbeitet hierfür mit zweistufiger Aufladung. Bei der neuen elektro-hydraulischen Lenkung von Bosch (Adaptive Power Steering) unterstützt ein elektrischer Stellmotor die hydraulische Servolenkung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit. An der Hinterachse löst ein hydropneumatisches Federungssystem mit Niveauregelung das bisherige System mit Spiralfedern und Stoßdämpfern ab.

Rigitrac überraschte mit der Vorstellung des Hanggeräteträgers SKH 60 mit Kabinenhangausgleich bis 30 %. Angetrieben wird dieser von einem Deutz-Motor TCD 2.9 L4 mit 55 kW, beim hydrostatischen Fahrantrieb kommt ein Axialkolbenmotor mit 32°-Winkel zur Anwendung. Zur Erhöhung der Sicherheit in Hanglagen wird eine hydraulische 2-Kreis-Bremsanlage mit Federspeicher-Feststellbremse für alle vier Räder verbaut.

Das litauische Agrarunternehmen AUGA stellte mit dem AUGA M1 einen gasbetriebenen Hybrid-Traktor mit 294 kW vor. Zur Erhöhung der Einsatzzeiten soll dieser mit auswechselbaren Gasbehältern ausgerüstet werden können. Genauere Informationen gibt es nicht.

Die niederländische Firma H2Trac BV entwickelte das Konzept ihres Hybrid-Geräteträgers EOX175 weiter. Das Fahrzeug mit vier gleich großen Rädern ermöglicht verschiedene Lenkungsarten, darunter auch die „Pirouette“ (Wenden auf der Stelle). Die Räder werden von vier E-Motoren mit Strom aus einer Li-Ionen-Batterie (35 kWh) angetrieben. Den 129-kW-Verbrennungsmotor für den Antrieb des Generators bezeichnet man als „Range Extender“.

Die Firma Kalverkamp überraschte mit der Vorstellung des All-In-One-Systemtraktors „NeXaT“, der ein gesamtheitliches Pflanzenproduktionssystem von der Bodenbearbeitung, über Saat und Pflanzenschutz bis zur Ernte ermöglichen soll. Die zwischen vier großen Bandlaufwerken angeordneten Geräte werden nicht gezogen, sondern getragen. Mit Arbeitsbreiten von zwölf und mehr Metern wird ein Beet-Modus angestrebt, dank welchem über 95 % der Ackerfläche nie überfahren wird. Der NeXaT ist als autonome Arbeitsmaschine konzipiert und mit einem Umfeld-Überwachungssystem ausgestattet. Die drehbare Kabine ermöglicht Prozessüberwachung und Straßenfahrt. Die Bandlaufwerke lassen sich hierfür um 90° drehen. Angetrieben wird der NeXaT von zwei unabhängigen Dieselmotoren mit je 400 kW. Bei diesem Fahrzeug gibt es Parallelen zum Gantry-Konzept, das zu Beginn der 1980er-Jahre in den USA vorgestellt wurde [31].

Traktor und Gerät

Zur Steigerung der Produktivität und Sicherheit bieten die Hersteller zahlreiche Assistenzsysteme und Automatikfunktionen an. Beispiele hierfür sind bei Frontladern die Systeme „E-Loader“ und „Precision Lift&Load“ von Massey Ferguson resp. Valtra. Diese beinhalten Funktionen wie Positionsrückführung der Schwinge, Horizontalrückführung der Werkzeuge und „Schaufelschütteln“ sowie ein Wiegesystem. Die jeweiligen Einstellungen können in den Traktor-Terminals gespeichert und bei der nächsten Ausführung wieder abgerufen werden.

Zur Erhöhung der Sicherheit bei Transportarbeiten bieten mittlerweile mehrere Hersteller automatische „Streckbremsen“ an. Damit soll ein allzu starkes Aufschieben der Anhänger auf den Traktor vermieden werden, wenn dieser nur über Motorschleppmoment und Getriebe verzögert wird (ohne Betätigung der Betriebsbremse). Über verschiedene Signale wird diese Situation erkannt und das elektronisch geregelte Anhängersteuerventil gibt daraufhin automatisch pneumatische Drücke bis etwa zwei bar auf die Bremsleitung aus. In [32] wird die Entwicklung des ISOBUS von 1987 bis 2020 sehr ausführlich dargestellt.

Zusammenfassung

Die Umsätze deutscher Traktorenhersteller erhöhten sich 2021 erneut und erreichten 5,234 Mrd. € (2020: 4,74 Mrd. €). Auch die inländischen Verkaufsstückzahlen stiegen an und John Deere konnte die Führungsposition zurückgewinnen. Es wurden wiederum zahlreiche neue oder überarbeitete Traktorbaureihen vorgestellt. In der Kompaktklasse stand weiterhin die Abgaskonformität im Vordergrund, die Neuerungen in den mittleren und oberen Leistungsklassen konzentrierten sich hingegen auf die Kabinen. Die Bedienkonzepte werden zunehmend von der Digitalisierung beeinflusst, was sich beispielsweise dadurch äußert, dass Traktor-/Geräte-Informationen auf mehrere Bildschirme verteilt und Bedientasten mit verschiedenen Funktionen belegt werden können. Auffallend ist die Verlagerung der Armaturenbretter vor dem Lenkrad in die rechte A-Säule. Die bei früheren Modellwechseln beobachtbare Tendenz zu immer höheren Motorleistungen war im Berichtsjahr weniger ausgeprägt. Alternative Antriebskonzepte und damit auch die Elektrifizierung sind in der Branche vieldiskutierte Themen, Serienfahrzeuge gibt es aber weiterhin kaum.

Literatur

- [1] N.N.: Informationen des VDMA Landtechnik, Frankfurt/M. Stand: Februar 2022.
- [2] Bensing, T.: Mehr Traktoren, weniger Fendt. Profi 34 (2022) H. 3, S. 102-105.
- [3] Neumann, O.: Achterbahnfahrt auf den Märkten. Eilbote 69 (2021) H. 11, S. 8-17.
- [4] Stirnimann, R.: Trends bei Traktoren. URL: <https://www.agritechnica.com/de/presse/downloads>, Zugriff am: 09.04.2022.
- [5] Stirnimann, R.: Everything about the driver is becoming increasingly digital. Trader (2022) H. February, S. 6-10. Verfügbar auch als e-Paper unter URL: <https://www.eilbote-online.com/magazin/trader>, Zugriff am: 09.04.2022.

- [6] Stirnimann, R.: Better to compare apples with apples. *Trader* (2022) H. February, S. 15-19. Verfügbar auch als e-Paper unter URL: <https://www.eilbote-online.com/magazin/trader>, Zugriff am: 09.04.2022.
- [7] Stirnimann, R.: Besser Äpfel mit Äpfel vergleichen. *Eilbote* 68 (2020) H. 36, S. 10-14.
- [8] Stirnimann, R.: Body-Mass-Index für Traktoren. *Eilbote* 68 (2020) H. 37, S. 6-12.
- [9] Stirnimann, R.: The body mass index for tractors. URL: <https://eil.to/bmitractors>, Zugriff am: 09.04.2022.
- [10] Albiero, D.; Pontin Garcia, A.; Kiyoshi Umezu, C.; Lame de Paulo, R.: Swarm robots in mechanized agricultural operations - A review about challenges for research. *Computers and Electronics in Agriculture* 193 (2022), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106608>.
- [11] Meyer, T.: Die Roboter kommen - ob ihr wollt oder nicht. *Eilbote* 69 (2021) H. 26, S. 10-13.
- [12] Meyer, T.: Helfende Hand ersetzt noch nicht das Traktorgespänn mit Fahrer. *Eilbote* 69 (2021) H. 45, S. 16-19.
- [13] Scolaro, E.; Beligoj, M.; Estevez, M. P.; Alberti, L.; Renzi, M.; Mettetti, M.: Electrification of Agricultural Machinery: A Review. *IEEE Access* (2021) Volume 9, S. 164520-164541, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3135037.
- [14] N.N.: Was tanken Traktoren morgen? *Eilbote* 69 (2021) H. 19, S. 10-11.
- [15] Stirnimann, R.: Alternative Antriebskonzepte - einer für alles auch in Zukunft? *Lohnunternehmen* 75 (2022) H. 3, S. 48-55.
- [16] Zhao, Z.; Cheng, F.: Field Reliability Estimation of Agricultural Tractors based on Warranty Data. *Transactions ASABE* 64 (2021) H. 2, S. 705-714.
- [17] Höner, G.: Stark mit Gummiband: Drei Raupen im Vergleich. *Top Agrar* 50 (2021) H. 1, S. 112-119.
- [18] Höner, G.: Raupen: Masse und Testprotokolle. *Top Agrar* 50 (2021) H. 2, S. 100-107.
- [19] Höner, G., Tastowe, F.: Die 75er in der Juniorklasse. *Top Agrar* 51 (2022) H. 1, S. 124-129.
- [20] Renius, K. Th.: *Fundamentals of Tractor Design*. Cham (CH): Springer Verlag 2019.
- [21] Tastowe, F.; Höner, G.: Die Schwingen der 75er. *Top agrar* 51 (2022) H. 2, S. 88-90
- [22] Wilmer, H.: 7 x 120 PS im Vergleich. *Profi* 33 (2021) H. 3, S. 16-21.
- [23] Wilmer, H.: Simple Technik, feine Elektronik. *Profi* 33 (2021) H. 4, S. 14-21.
- [24] Tastowe, F.: Hier ist die Luft raus. *Top Agrar* 50 (2021) H. 12, S. 100-102.
- [25] Cholodowski, J.; Dudzinski, P.; Ketting, M.: A method for predicting the internal resistance of rubber-tracked undercarriages (part 3). A research on bending resistance of rubber tracks. *Journal of Terramechanics* (2021) Volume 97, H. 5, S. 71-103.
- [26] Schwehn, J.; Ernst, V.; Böttinger, S.: Eine praxisoptimierte Methodik zur Messung des Rollwiderstandes von Traktorreifen. *Landtechnik* 76 (2021) H.4, S. 142-155. DOI: 10.1515/lt.2021.3271.
-

- [27] D'Autheville, M.: Étude des différents systèmes hydrauliques proposés par les tractoristes en Suisse. Semesterarbeit (2019), unveröffentlicht. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen.
- [28] Matthies, H. J.; Renius, K. Th.: Einführung in die Ölhydraulik. 9. Auflage, Wiesbaden: Springer Vieweg 2021, ISBN: 978-3-658-35672-9.
- [29] N.N.: Landini REX4 Electra - Evolving Hybrid. Pressemitteilung von ARGO Tractors, URL: <https://www.landini.it/as/landini-rex4-electra-evolving-hybrid/>, Zugriff am: 18.04.2022.
- [30] Geimer, M.; Renius, K. Th.; Stirnimann, R.: Motoren und Getriebe bei Traktoren. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2018. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2019, S. 1-10.
- [31] Renius, K. Th.: Traktoren. 2. Auflage, München: BLV-Verlag 1987.
- [32] Oksanen, T.; Auernhammer, H.: ISOBUS - The Open Hard-Wired Network Standard for Tractor-Implement Communication, 1987 - 2020. 2021 Agricultural Equipment Technology Conference, 8-10 February 2021 Louisville, Kentucky (USA).

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 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-14

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030942-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/gesamtentwicklung-traktoren.html>

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

Motoren und Getriebe bei Traktoren

Marcus Geimer, Roger Stirnimann, Karl Theodor Renius

Kurzfassung

Nach Ablauf der Übergangsfrist 2021 dürfen heute in Europa nur noch Abgasstufe-V-Motoren in Neufahrzeugen eingesetzt werden. Grundlegend neue Konstruktionen gab es 2021 nicht. Vor allem bei 4-Zylindern entstanden inzwischen aber deutlich mehr Varianten. Als nachhaltige Energieträger sind Methan und Wasserstoff derzeit bevorzugte Alternativen (Beispiele).

Neue Stufenlosgetriebe werden mit Getriebeplänen besprochen: TTV (Deutz-Fahr), eAutoPowr (J. Deere) und variaDRIVE (Pfanzelt). Der elektrische Variatorteil im eAutoPowr erlaubt elektrische Geräteantriebe. Batterie-getriebene Nutzfahrzeuge (und Traktoren) benötigen Zusatzgetriebe. Dazu wird der neue elektrische Achsantrieb von KESSLER gezeigt.

Kommentierte Konstruktionsgrundlagen betreffen „schnelle“ Synchronschaltungen, axiale PTO Gelenkwellenreibung, Schleppmomente, Öle und neue Off-Highway Fahrstrategien.

Schlüsselwörter

Dieselmotor, Getriebe, alternative Antriebe, Elektrik, Wirkungsgrad

Tractor Engines and Transmissions

Marcus Geimer, Roger Stirnimann, Karl Theodor Renius

Abstract

After the expiry of the transition period 2021, only exhaust stage V engines are allowed in new vehicles in Europe. Fundamentally new constructions were not seen in 2021. However, significantly more variants have been developed particularly for 4-cylinder engines. As sustainable energy sources, methane and hydrogen are currently preferred alternatives (examples).

New continuously variable transmissions are discussed with transmission maps: TTV (Deutz-Fahr), eAutoPowr (J. Deere) and variaDRIVE (Pfanzelt). The electric variator part in the eAutoPowr can drive electric implements. Battery driven commercial vehicles (and tractors) require additional transmissions, as, e. g., realized by KESSLER for an electric axle drive.

Annotated design fundamentals concern “fast” synchronous shifting, axial PTO driveshaft friction, drag torques, oils, and new off-highway driving strategies.

Keywords

Diesel engines, transmissions, alternative drives, electrics, efficiency

Dieselmotoren

Im Berichtszeitraum wurden kaum neue Dieselmotoren vorgestellt. Im Zentrum des Geschehens stand hingegen die Einführung von neuen Traktormodellen mit Abgasstufe-V-Motoren, die in den letzten Jahren bereits präsentiert wurden. **Tabelle 1** zeigt, dass gegenüber früher vor allem bei den 4-Zylinder-Motoren eine gewisse Vielfalt entstand (nicht bei DPS = John Deere). Die auf Grund von Covid-19 teilweise verlängerten Fristen für Übergangsmotoren liefen Ende 2021 für alle Leistungsklassen definitiv aus [1].

Tabelle 1: Typische Dieselmotoren, die in Standardtraktoren verwendet werden

Table 1: Typical diesel engines used in standard tractors

Hersteller	Anz. Zyl.	Hubraum [l]	Hersteller	Anz. Zyl.	Hubraum [l]
AGCO Power	3	3.3	FPT (Fortsetzung)	4	4.5
	4	4.4		6	6.7
	4	4.9		6	8.7
	6	6.6	DPS	3	2.9
	6	7.4		4	4.5
	6	8.4		6	6.8
Deutz	4	2.9	6	9.0	
	4	3.6	Kubota	4	3.3
	4	4.0		4	3.8
	6	6.1		4	6.1
6	7.8	MAN	6	9.0	
FARMotion (SDF)	3		2.9	6	12.4
	4	3.8	Perkins	4	3.4
FPT	3	2.9		4	3.6
	4	3.4		4	4.4
	4	3.6			

Source: R. Stirnimann

Die in der letztjährigen Jahrbuch-Ausgabe beschriebenen Trends bei Motor- und Abgastechologien gelten weiterhin. Im Zusammenhang mit der Elektrifizierung propagieren Zulieferer zunehmend eTurbolader, mit welchen sich einerseits das dynamische Verhalten von Dieselmotoren im unteren Drehzahlbereich verbessern lässt und mit denen andererseits Möglichkeiten zur Energierückgewinnung gesehen werden [2]. Konkrete Anwendungen sind aber noch nicht bekannt.

Mit der Stufe V wurden für die Topleistungsklasse $P > 560 \text{ kW}$ erstmals Abgasgrenzwerte eingeführt, diese liegen aber „nur“ etwa auf dem Niveau der Stufe IIIA der bisher höchsten reglementierten Leistungsklasse $130 \text{ kW} \leq P < 560 \text{ kW}$. Bei Maximalleistungen über 560 kW profitieren die Hersteller derzeit daher von den „milderen“ Abgasgrenzwerten und kommen z. B. ohne SCR-Katalysatoren aus. Ein Beispiel sind die neuen großen 6-Zylinder-Motoren von John Deere mit 18 l Hubraum [1], die man in den Feldhäckslern 9500 und 9600 einsetzt.

Viele Traktorenhersteller statten ihre Modelle mit einem „Boost“ aus. Für die Freischaltung der Zusatzleistung wurden bisher meistens einfache Kriterien wie „Mindestfahrgeschwindigkeit“

und „Mindestleistung an der Zapfwelle“ berücksichtigt, um den Fahrtrieb nicht zu überlasten. Nach Fendt mit dem Konzept „DynamicPerformance“ [3] bietet jetzt auch John Deere bei der neuesten 6R-Generation ein „smarteres“ Boost-Konzept an und berücksichtigt neu auch die Hydraulikleistung. Das „Hydraulic IPM“ arbeitet nicht nach dem Schwarz-Weiß-Prinzip, sondern misst den effektiven Leistungsbedarf an der Hydraulikpumpe und stellt dann exakt diese Leistung zusätzlich zur Verfügung – beispielsweise bei Sämaschinen mit hydraulisch angetriebenen Gebläsen, wo die üblichen Freischaltkriterien in der Regel nicht greifen. John Deere wertet die Hydraulik damit erneut auf – entgegen dem allgemeinen Elektrifizierungstrend.

Alternative Antriebe

Das Thema „Nachhaltigkeit“ steht bereits auf dem Titel des Koalitionsvertrags der neuen Bundesregierung. Auch das Ziel, den CO₂-Ausstoß bis 2030 um 55 Prozent im Vergleich zum Jahr 1990 zu reduzieren, wird fortgeschrieben [4]. Primärenergiespeicher und -wandler für nachhaltige Energieträger gewinnen daher an Bedeutung. Möglichkeiten für mobile Arbeitsmaschinen, unter die auch Traktoren fallen, wurden bereits in [5] diskutiert.

New Holland baut das zur Agritechnica 2019 vorgestellte Traktormodell T6.180 „Methane Power“ seit Ende 2021 in Serie. Erste Prüfstandmessungen zeigen, dass die maximalen Drehmoment- und Leistungswerte sowie der Drehmomentanstieg und Drehzahlabfall sehr ähnlich sind wie beim Diesel-Pendant. Auffallend ist das auf sehr hohem Niveau liegende Drehmomentplateau im unteren Drehzahlbereich, aus welchem u. a. sehr hohe Anfahrtdrehmomente resultieren. Berichtet wird im Vergleich zu aktuellen Dieselmotoren von über 99 % weniger Partikeln, 70 % weniger Stickoxiden, 90 % weniger Kohlenmonoxiden und 90 % weniger Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen [6]. Am Beispiel eines Mähdeschers werden in [7] CNG- und LNG-Konzepte verglichen.

Die Deutz AG kündigte an, ab 2024 mit einem Wasserstoffverbrennungsmotor (6 Zylinder, 7,8 l Hubraum) in die Serienproduktion zu gehen. Anwendung finden soll dieser vorerst aber nur in stationären Anlagen und im Bahnbereich. Mit Cummins und JCB arbeiten weitere Hersteller aus dem Off-Highway-Bereich an H₂-Verbrennungsmotoren.

Ganz allgemein ist ein steigendes Interesse am Energieträger Wasserstoff zu beobachten, wie der oben genannte H₂-Verbrennungsmotor der Firma Deutz [8] sowie die Publikation eines VDI Bezirksvereins [9] bestätigen.

Im Verbundprojekt H2Agrar soll gezeigt werden, wie die Verwendung des alternativen Energieträgers Wasserstoff mit dezentraler Stoffwirtschaft zur Dekarbonisierung der Landwirtschaft beitragen kann [10].

Mit Wasserstoff können auch Brennstoffzellen betrieben werden, deren erwartete Marktdurchdringung in einer Studie des VDMA in [11] für den On- und Off-Highway Bereich vorgestellt wurde. Betrachtete Märkte waren Europa, USA, China, Japan und Südkorea. Im Ergebnis wird für alle Off-Highway Anwendungen der Einsatz von Brennstoffzellen erwartet, außer derzeit beim Traktor [12].

Zur Charakterisierung der Nachhaltigkeit werden dem Wasserstoff Farben gegeben, obwohl das Gas eigentlich farblos ist. „Grün“ steht dabei für Wasserstoff, der durch Elektrolyse aus Wasser CO₂-neutral mittels Wind- oder Photovoltaikstrom hergestellt wurde. „Blauer“ Wasserstoff wird klimaneutral aus der Dampfreduzierung von Erdgas gewonnen, wobei das Zusatzprodukt CO₂ weiterverwendet oder in sogenannten Carbon Capture Storages gespeichert wird. Wird das CO₂ bei der Gewinnung von Wasserstoff aus Erdgas oder Kohle hingegen in die Atmosphäre abgegeben, spricht man von „grauem“ Wasserstoff. Auch wenn es weitere Farben gibt, sei zuletzt „weißer“ Wasserstoff genannt, der als Abfallprodukt chemischer Verfahren anfällt [13].

Gestufte Fahrtriebe und Zapfwellen

Neu entwickelte Stufengetriebe wurden im Berichtszeitraum nicht bekannt. Das Marktangebot an Teillastschaltgetrieben beinhaltet aktuell eine „durchgängig schaltbare“ Anzahl von Lastschaltstufen von 2 bis 8. In [14] gab es hierzu einen Beitrag mit Übersichtstabelle.

Das Erreichen der maximalen Fahrgeschwindigkeiten bei reduzierten Motordrehzahlen gehört bei Stufengetrieben heute zum Standard (wie bei Stufenlosgetrieben). Bei den Heckzapfwellen von Premium-Modellen bieten die meisten Traktorhersteller drei Drehzahlen an, einige sogar vier (z. B. 540/540E/1000/1000E). Damit sich die Vorteile der Eco-Zapfwellen auch bei Front-Heck-Kombinationen (z. B. mit Mähwerken) nutzen lassen, bietet man auch in der Front zunehmend zwei Drehzahlen an (1000/1000E).

Stufenlose Fahrtriebe

Nach dem 8280TTV stellte Deutz-Fahr mit den neuen Serien 6 und 7 weitere Modelle in der 6-Zylinder-Mittelklasse mit Compound-Stufenlosgetrieben vor. Diese weisen eine sehr ähnliche Grundstruktur auf wie das EQ220 von Claas, das im Arion-Topmodell 660 verbaut wird [15]. Getriebe mit Teillastschaltung werden für diese neuen Modelle nicht mehr angeboten.

Mit der Baureihe 6C stellte Same Deutz-Fahr eine weiterentwickelte Version des eigenen TTV-Stufenlosgetriebes vor. Die in [16] gezeigte „Urversion“ mit zwei Fahrbereichen (Eingangskopplung, automatischer FB-Wechsel im Synchronpunkt) wurde vor einigen Jahren um eine zusätzliche Übersetzungsstufe erweitert (Ziel: höhere Zugkräfte, geringere Hydrostatdrücke). Die Vorwahl der Gruppen „Normal“ und „Heavy-Duty“ erfolgte bisher schon elektro-hydraulisch, der Traktor musste hierfür aber stillstehen. Bei der neuesten Version erfolgt der Gruppenwechsel automatisch während der Fahrt. Dazu wird die spezielle Schaltmuffe bei rund 27 km/h auf neutral gestellt und der Schwenkwinkel der Hydropumpe im variablen Zweig schnell angepasst, bis der Synchrondrehzahlpunkt erreicht ist. Beim Anfahren und Beschleunigen auf die maximale Fahrgeschwindigkeit werden neu alle vier Fahrbereiche „durchfahren“.

Auf Basis dieser Struktur, **Bild 1**, bietet Deutz-Fahr für die Baureihe 6C neu auch die Getriebeversion RVshift an, die als Full-Powershift zwischen dem stufenlosen TTV und den Teillastschaltgetrieben mit zwei oder drei Lastschaltstufen positioniert wird [17]. Für übliche Feldar-

beiten und Straßenfahrten stehen insgesamt 20/16 V/R-Gänge mit fest programmierten Übersetzungen zur Verfügung, für Arbeiten zwischen 0,02 und 5 km/h gibt es hingegen eine stufenlose „Kriechgruppe“. Vier der 20 Vorwärtsgänge (Nennfahrgeschwindigkeiten 5,5, 11,5, 18,6 und 39,7 km/h) liegen im Interesse von optimalen Wirkungsgraden bei den Betriebspunkten mit rein mechanischer Leistungsübertragung (Pumpenschwenkwinkel null). Stufenlosgetriebe mit „Powershift-Modus“ werden schon seit Jahren auch von anderen Herstellern angeboten, neu beim RVshift ist aber, dass eine CVT-Einheit als Volllastschaltgetriebe „fix programmiert“ wird.

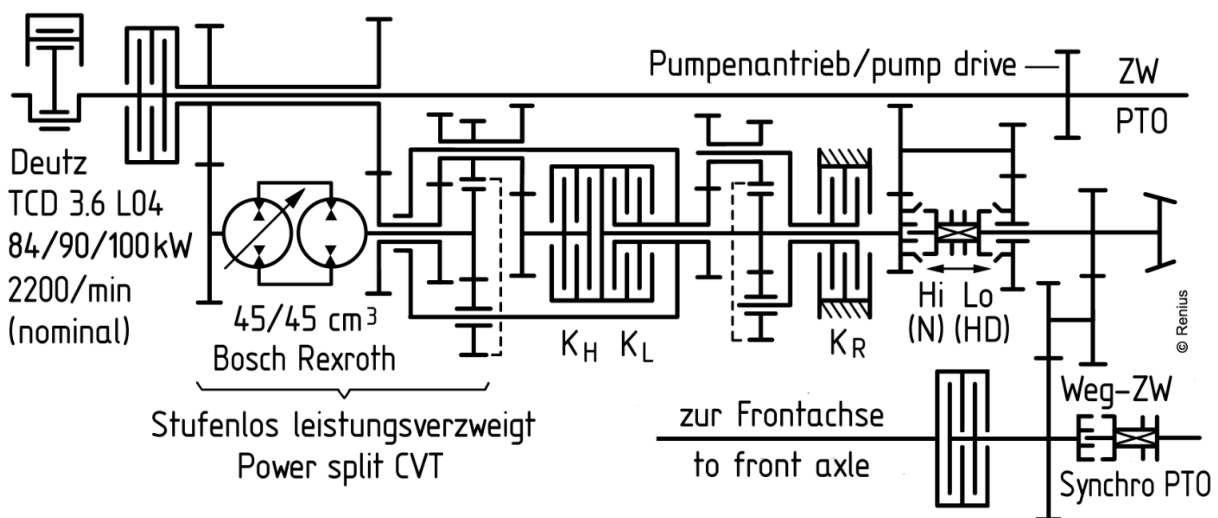


Bild 1: TTV-Stufenlosgetriebe für die neue Baureihe 6C von Deutz-Fahr
Figure 1: Continuously variable transmission TTV for the new 6C series from Deutz-Fahr

Das von John Deere auf der Agritechnica 2019 präsentierte eAutoPowr-Getriebe mit elektrisch-mechanischer Leistungsverzweigung wird seit Ende 2021 in einer Vorserie im Topmodell 8R410 verbaut. Der große Serienanlauf ist für Ende 2022 geplant. Für die stufenlose Verstellung des Übersetzungsverhältnisses werden hier nicht mehr hydrostatische, sondern elektrische Maschinen (Bauart PSM) verwendet. Die Generator-Motor-Einheiten sind dabei so dimensioniert, dass sie nicht nur den Fahrtrieb versorgen, sondern zusätzlich bis zu 100 kW elektrische Leistung für externe „Verbraucher“ bereitstellen können (z. B. E-Motoren auf Anbaugeräten und Anhängern oder elektrische Antriebe auf dem Traktor selbst). Die verfügbare „Off-Boarding-Power“ hängt von der Fahrgeschwindigkeit ab. Bei den entsprechenden elektrischen Schnittstellen stehen die Optionen „480 V AC“ und „700 V DC“ zur Verfügung. Der Erfolg dieser neuen Möglichkeiten wird vermutlich stark davon abhängen, wie schnell Hersteller von Traktorgeräten und Anhängern sich auf sie einstellen.

Der stufenlose Getriebeteil mit Reversiergetriebe und Leistungselektrik wurde bereits in [18] mit einem vereinfachten Getriebeplan besprochen. **Bild 2** beinhaltet nun das komplette System samt Funktionsplan. Die eingangsgekoppelte Grundstruktur hat als Summierung ein Doppelplanetengeräte mit zwei Abtrieben über das linke Hohlrad oder den rechten Steg nach

dem „Jarchow“-Prinzip [19]. Im ersten, rein elektrischen Fahrbereich bis ca. 5 km/h sind die Reversierkupplungen KV und KR geöffnet und die Motor/Generator-Einheit 2 treibt über die Kupplung K1 sowohl das Sonnenrad als auch das Hohlräder des Lo-Planetensatzes an, bei entgegengesetzter Drehrichtung. Die Drehzahlverhältnisse sind hier damit fix, die stufenlose Verstellung der Fahrgeschwindigkeit von 0,04 bis 5 km/h sowie der Fahrtrichtungswechsel erfolgen ausschließlich über die Drehzahl resp. Drehrichtung von Motor/Generator-Einheit 2. Damit unterscheidet sich das Getriebe von den eingangsgekoppelten Pendanten mit hydrostatisch-mechanischer Leistungsverzweigung, bei welchen das Durchschwenken der Pumpe im ersten Fahrbereich in der Regel zur Darstellung eines „aktiven Stillstandes“ verwendet wird. In den leistungsverzweigten Fahrbereichen 2 bis 5 erfolgt der Abtrieb abwechslungsweise über den Steg des Lo- oder das Hohlräder des Hi-Planetensatzes. Die Kupplungen K2 und K3 übertragen in den Fahrbereichen 4 und 5 keine Leistung, sind hier aber trotzdem geschlossen. Beim Reversieren wird immer zuerst der rein elektrische Fahrbereich 1 durchfahren, danach fließt die Leistung auch über die Kupplungen KV/KR, wobei der Fahrbereich 5 rückwärts nicht zur Verfügung steht.

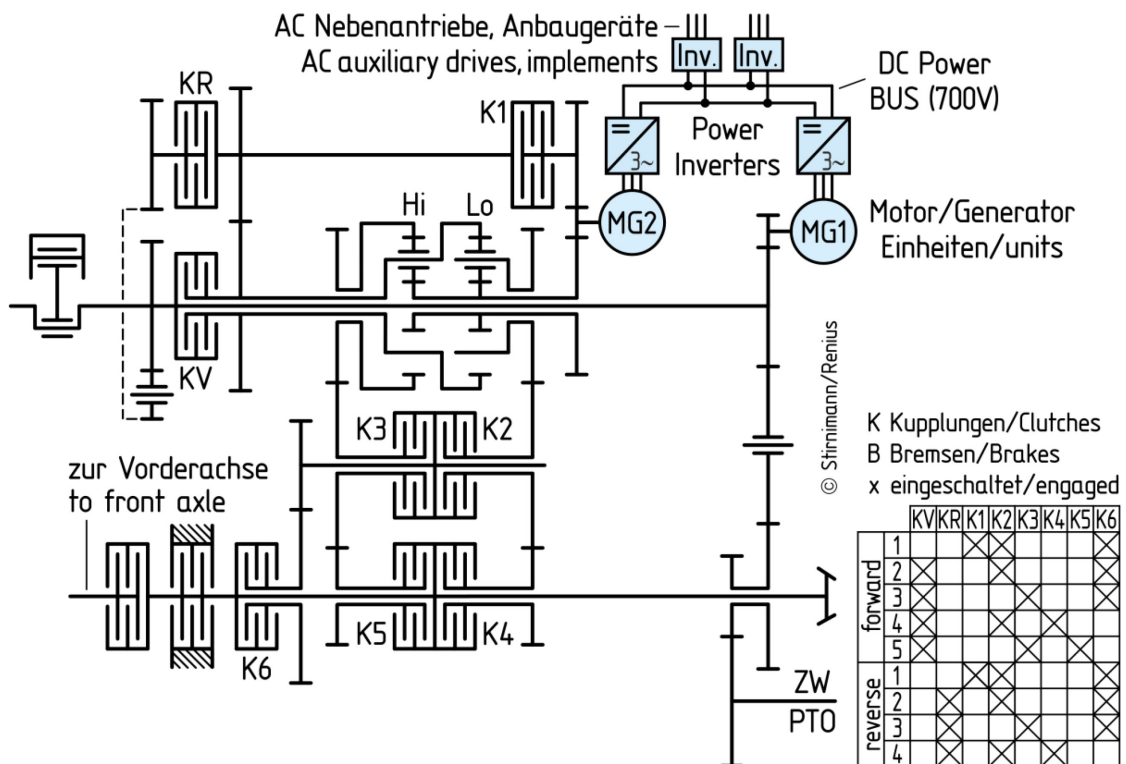


Bild 2: Elektrisch-mechanisch leistungsverzweigtes Stufenlosgetriebe John Deere eAutoPower
Figure 2: Electric-mechanical power split CVT transmission John Deere eAutoPower

In [20] wird ein weiteres elektrisch-mechanisch leistungsverzweigtes Getriebekonzept vorgeschlagen, bei dem man zwischen „eingangsgekoppelt“ und „ausgangsgekoppelt“ umschalten kann und so die Vorteile beider Modi kombiniert. Auch dieses Konzept sieht eine elektrische Schnittstelle für Geräte vor.

Diesen Gedanken findet man auch bei einem Hybridgetriebe (Prototyp) für einen chinesischen Traktor mit 132 kW [21], wobei dort die beiden Modi noch hydrostatisch-mechanisch arbeiten, jedoch zusätzlich ein rein elektrischer Antrieb integriert ist (E-Motor 45 kW, Batterie 16 kWh).

Pfanzelt entwickelte mit dem variaDRIVE ein neues Stufenlosgetriebe für den Forstraktor PM-Trac, **Bild 3**. Es basiert auf dem VTP1750 1RH2F von VDS und wird für einen flexiblen Einbau in Leichtbauweise ausgeführt. Die Leistungsflüsse zu den Achsen und zum Zapfwellengetriebe erfolgen über Gelenkwellen. Für das Anflanschen von Hydraulikpumpen stehen mehrere Nebenabtriebe zur Verfügung. Der Fahrtrieb weist drei Fahrbereiche vorwärts und zwei rückwärts auf. Wie bei VDS-Getrieben üblich, wird die Leistung im ersten Fahrbereich (V/R) rein hydrostatisch über den rechten Teil des Twin-Planetensatzes übertragen, was auch eine einfache Reversierung über die Hydropumpe ermöglicht. Bei ca. 7 km/h erfolgt über K1 resp. KR die automatische Umschaltung in die leistungsverzweigten Fahrbereiche 2 (V/R, bei Synchron-drehzahlen, ohne Leistungsunterbrechung). Vorwärts steht noch ein dritter, ebenfalls leistungsverzweigter Fahrbereich zur Verfügung. Während der Umschaltung auf K2 ist eine Anpassung des Pumpenschwenkwinkels erforderlich, was zu einer kurzen Reduktion des Leistungsflusses führt.

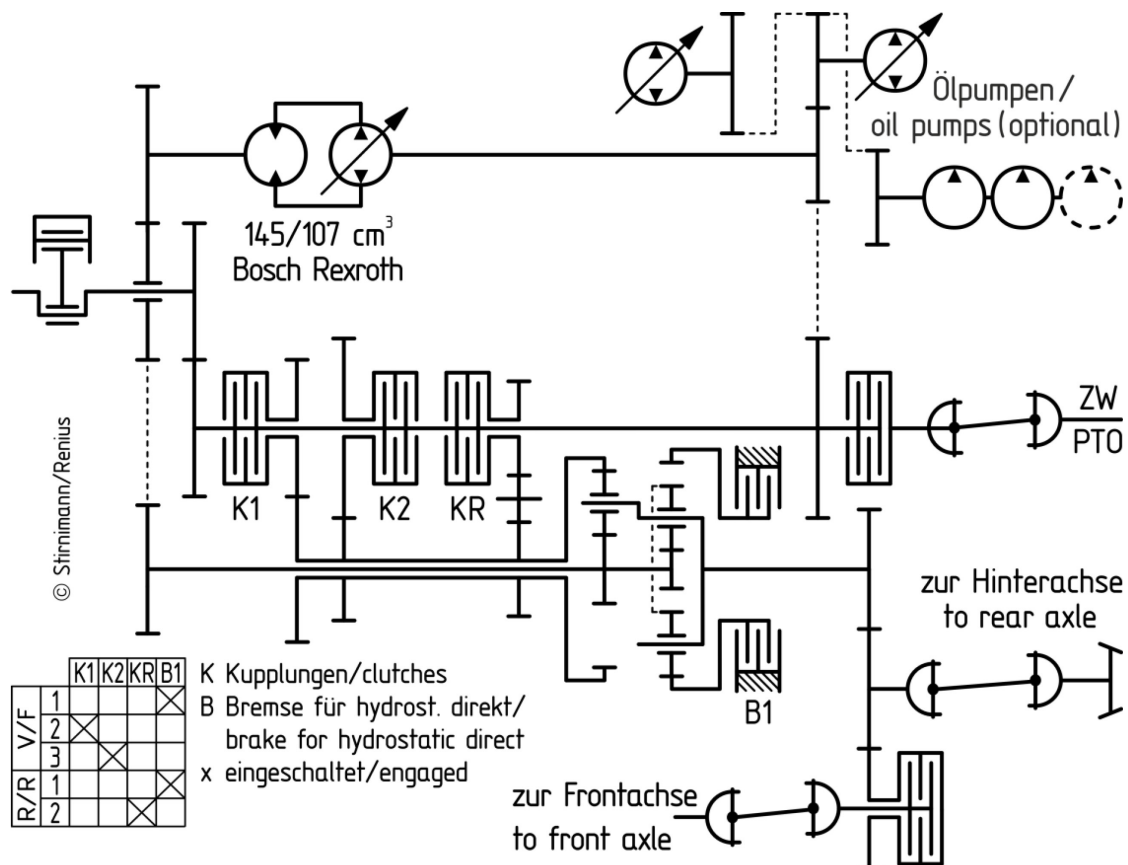


Bild 3: Stufenlosgetriebe variaDRIVE für Forstraktor Pfanzelt PM-Trac

Figure 3: Stepless transmission variaDRIVE for forestry tractor Pfanzelt PM-Trac

Bei der Hinterachse des PM-Tracs handelt es sich um eine Eigenentwicklung von Pfanzelt mit speziellen Achstrichergehäusen, die als Ölbehälter verwendet werden. Auf der einen Seite ist das Hydrauliköl untergebracht, auf der anderen das Getriebeöl.

Der Bau des von New Holland 2009 für die Boomer-Kompakttraktoren vorgestellten Kettenwandlergetriebes „EasyDrive“ wurde 2018 nach etwa 400 Einheiten eingestellt. Die neueren Boomer-Modelle haben wieder einen hydrostatischen Fahrtrieb.

Elektrische Antriebstechnik bei Traktoren

Krone und Lemken stellten unter dem Motto „Combined Powers“ Anfang 2022 die gemeinsame Konzeptstudie eines autonomen „Roboter-Traktors“ vor (ca. 170 kW, keine Kabine), der stufenlos diesel-elektrisch fährt (2 E-Motoren 700 V, 0 bis 20 km/h). Er ist für Bodenbearbeitung, Bestellung und Futterernte vorgesehen und bietet dafür über einen dritten E-Motor eine stufenlose elektrische Zapfwelle [22]. John Deere überraschte mit der Studie eines autonomen Elektro-Traktors mit 1.000 kWh Batterie, siehe Kapitel „Gesamtentwicklung Traktoren“ in diesem Jahrbuch.

Bei dem im letzten Bericht besprochenen Getriebe von Roth für elektrisch angetriebene Nutzfahrzeuge werden drei unter Last schaltbare Bereiche mit einem Stufenplaneten realisiert [1]. Bei Beschränkung auf zwei Bereiche (z. B. für kleine Traktoren [23]) reichen für die Schaltung zwei außenliegende Bremsen aus. Um auch deren Schalthydraulik einzusparen, wird in [24] eine synchronisierte mechanische Schaltung vorgeschlagen, die sehr kurze Lastunterbrechungen ermöglichen soll – Betätigung elektrisch über ein Schneckengetriebe. Dessen Steuerung soll dabei ferner ein stützendes Restmoment aus der Rotationsträgheit des E-Motors ausnutzen.

Für elektrisch angetriebene, schnelle Baumaschinen und Feuerlöschfahrzeuge (bis 11 t Achslast) entwickelte KESSLER eine elektrische Antriebsachse mit zwei integrierten, schaltbaren Fahrbereichen [25], **Bild 4**. Das linke Planetengetriebe arbeitet als Standgetriebe. Drehzahlniveau und Hi-Lo Stufensprung (3,69) könnten auch für Traktoren passen. Zusätzlich müsste man dafür aber möglichst noch eine Lösung für den „aktiven Stillstand“ finden.

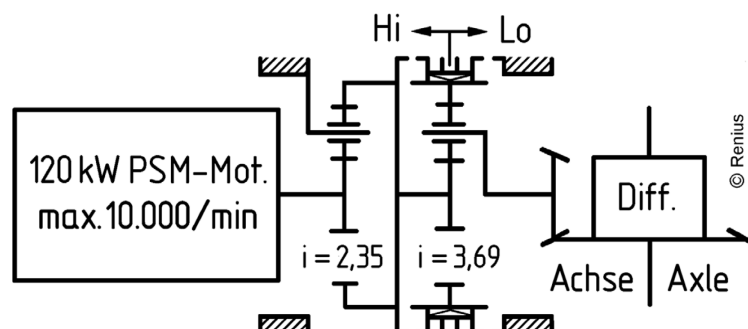


Bild 4: Kompaktes elektrisch angetriebenes Achssystem mit integriertem, mechanischen Hi-Lo Bereichsgetriebe von KESSLER 2022 [25]

Figure 4: Compact electric driven axle system with integrated mechanical Hi-Lo range gearbox, by KESSLER 2022 [25]

Durch gezieltes Ölstandsmanagement und Abschirmungen minimiert man gezielt die lastunabhängigen Verluste. Die Klauenschaltung erfordert eine sehr genaue und schnelle Synchronisierung über den Antriebsmotor. Das System ist nach Aussage von KESSLER bei einem Kunden seit 2022 in Serie, bei einem weiteren noch im Prototypstadium. Es gibt eine modifizierte Version für Hydromotoren, die ohne die linke Standübersetzung auskommt.

Dreiphasen-Asynchronmotoren sind kostengünstig und robust. Gewisse Effizienz Nachteile werden permanent reduziert, u. a. getrieben durch EU-Effizienzklassen. Seit dem 1.7.2021 müssen Festdrehzahlmotoren von 0,75 bis 1.000 kW (4- und 8-polig) in der EU nach Ökodesignverordnung 2019/1781 die strenge Effizienzklasse 3 erfüllen. Diese fordert z. B. für 75 kW Nennleistung einen Wirkungsgrad von 95 % (ohne Konverter). Für den Bereich von 0,75 bis 375 kW findet man in [26] dazu ein Übersichtsdiagramm.

Im Internet gibt es unter „Steyr Hybrid“ Informationen über die neueste Stufe des bereits auf der Agritechnica 2019 vorgestellten Konzept-Traktors [27]. Man arbeitet mit Superkondensatoren, die z. B. für eine Minute 60 kW (oder für 4 Minuten 15 kW) Boostleistung bereitstellen können und bergab oder beim Bremsen wieder aufgeladen werden. Eine variable Leistungsverteilung zwischen Hinterachse und Frontachse soll z. B. auf dem Acker „pull-in-turn“ ermöglichen und den Wendekreisradius verringern.

Autoagri stellt einen neuen diesel-elektrischen Geräteträger vor [28]. Ein 44 kW Dieselmotor treibt dabei einen Generator an, der die Lithium-Batterien lädt. Jedes Rad besitzt einen eigenen Elektromotor, ebenso die Zapfwelle.

Entwicklungswerkzeuge und konstruktive Grundlagen

Die Auslegung formschlüssiger Fahrbereichsumschaltungen stellt insbesondere bei Kombinationen mit Teillastschaltmodulen sehr hohe Anforderungen. In [29] wird dazu aus Korea für einen 75 kW-Traktor ein Getriebe mit 4 Lastschaltstufen, 2 Fahrbereichen und synchronisierter Reversierung untersucht. Die Lastschaltstufen bestehen aus zwei separaten Hi-Lo-Modulen, zwischen denen sich zentral je eine elektrisch betätigte, synchronisierte Doppelschaltstelle für die 2 Vorwärtsfahrbereiche und das Reversieren befindet. Zu deren Mechanik werden Grundlagen erarbeitet und mit einem Mehrkörper-Modell Synchronisationszeiten für vorgegebene Schaltkräfte errechnet. Die Schleppmomente der Lamellenkupplungen werden mit einem Zwei-Platten-Modell von S. Iqbal berücksichtigt und bestätigen das z. B. in [30] gemessene (hilfreiche) Freischleudern bei Drehzahlsteigerung. Theoretisch werden Schaltzeiten um 0,10 - 0,15 s erreicht – allerdings ohne Berücksichtigung einer thermischen Auslegung.

In Gelenkwellen zwischen Traktor und Gerät können beim Teleskopieren unter Last infolge von Reibung große Längskräfte auftreten, die an Traktor und Gerät Lager und Gehäusewände belasten. ISO 5673-1 definiert dazu Grenzwerte in 3 Klassen, z. B. für < 48 kW +/-9 kN Axialkraft am Stummel. In Indien wurden Axial- und Querkraft an Traktoren der 25 kW-Klasse (540er Zapfwelle) in der hinteren Lagerebene beim Fräsen gemessen [31]. Man ermittelte Axialkräfte bis 7,5 kN (Querkraft geringer) – also noch normgerecht. Nach einem Rechenmodell

in [23] sind im Teleskopierbereich von Gelenkwellen große Durchmesser, optimierte Profile und eine gute Schmierung günstig. Dieses wird in [29] bestätigt.

Die Schadensart „Fressen“ tritt bei Traktorgetrieben eher selten auf, lässt sich aber bei niedrigen Nennviskositäten, hohen Temperaturen und mäßigen Ölqualitäten nicht völlig ausschließen. In [32] wird das problemorientierte Arbeiten mit Schadenskraftstufen am FZG Verspannungsprüfstand geschildert. Ergebnisse zeigen den positiven Einfluss geeigneter Additive.

Vorausschauende Fahrstrategien für Off-Highway Fahrzeuge können nach [33] Kraftstoffverbrauch und Emissionen reduzieren. Mittels Radar- und GPS-Sensoren werden Steigungen und Gefälle im Gelände erkannt und gespeichert. Vor Erreichen der Steigung oder des Gefälles können Verbrennungsmotor und Getriebe bereits so verstellt werden, dass der Verbrauch zur Bewältigung des Höhenunterschiedes minimiert wird.

Im Buch „Miterlebte Landtechnik“ [34] berichten Akteure über ihre Erlebnisse und Erkenntnisse aus der Landtechnik. Unter anderem wird auf eine über 70-jährige Lehrtradition von John Deere und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) verwiesen, die mit Anton Lentz, Konstruktions- und Versuchsleiter bei Lanz, im Jahre 1951 begann [35; 36].

Zusammenfassung

Nach Ablauf der Übergangsfrist dürfen ab Ende 2021 in Europa nur noch Abgasstufe-V-Motoren in Neufahrzeugen eingesetzt werden. Oberhalb von 560 kW gilt noch ein relativ mildes Niveau, man kommt ohne SCR aus. Grundlegend neue Konstruktionen gab es 2021 nicht. Vor allem bei 4-Zylindern entstanden aber inzwischen auffällig viele Varianten. Als nachhaltige Energieträger gelten Methan und Wasserstoff derzeit als bevorzugt (Beispiele).

Neue Stufenlosgetriebe werden mit Getriebeplänen besprochen: TTV (Deutz-Fahr), eAutoPowr (J. Deere) und variaDRIVE (Pfanzelt-VDS). Beim nun serienreifen eAutoPowr arbeitet der Variatorteil erstmalig elektrisch, wobei auch elektrische Leistung an Geräte und Anhänger abgegeben werden kann. Das Pfanzelt-Getriebe in Leichtbau (für Pfanzelt Forstraktoren) basiert auf Entwicklungen der Firma VDS.

Elektrische Fahrtriebe gibt es in kleinen Stückzahlen für kleine Traktoren. Leistungsstärkere Lösungen, wie z. B. Studien von Steyr oder Krone-Lemken, befinden sich noch in einem frühen Stadium. Elektro-Fahrtriebe benötigen meistens Bereichsgetriebe. Ein solches führte KESSLER für elektrische Nutzfahrzeuge in Serie ein.

Kommentierte Konstruktionsgrundlagen betreffen automatisierte „schnelle“ Synchronschaltungen, Messergebnisse für axiale Gelenkwellenreibung, Schleppmomente von Lamellenkupplungen, Öleinflüsse auf Fressen von Zahnrädern und neue vorausschauende Off-Highway Fahrstrategien.

Literatur

- [1] Stirnimann, R.; Renius, K. Th.; Geimer, M.: Motoren und Getriebe bei Traktoren. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2020, Bd. 32, Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge 2021, DOI: 10.24355/dbbs.084-202012111207-0, S. 1-13.
- [2] Buckley, J.: Performance enhancer. Diesel Progress International (2021) H. 6, S. 26-28.
- [3] Stirnimann, R.; Renius, K. Th.: Gesamtentwicklung Traktoren. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2019, Bd. 31, Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge 2020, DOI: 10.24355/dbbs.084-202001201504-0, S. 1-13.
- [4] N.N.: Mehr Fortschritt wagen – Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/gesetzesvorhaben/koalitionsvertrag-2021-1990800>, Zugriff am: 08.02.2022.
- [5] Geimer, M.; Ays, I.: Nachhaltige Energiekonzepte für mobile Arbeitsmaschinen - in welche Richtung gehen Sie? Mobile Maschinen 7 (2014) H. 6, S. 18-25.
- [6] N.N.: New Holland: T6-Methangas-Traktor fährt CO2 neutral. URL: <https://www.agrarheute.com/technik/traktoren/new-holland-t6-methangas-traktor-faehrt-co2-neutral-584588>, Zugriff am: 25.02.2022.
- [7] Wohlfahrt, F.; Göres, T.; Terörde, S.; Frerichs, L.: Applicability Evaluation of Methane based Powertrain and Energy Storage Systems on High Performance Harvesting Machine Applications. Vortrag Land.Technik AgEng 2022, 25. Februar 2022. In: VDI-Bericht 2395, Düsseldorf: VDI-Verlag, S. 423-429.
- [8] N.N.: Der Wasserstoffmotor von DEUTZ ist reif für den Markt – Pressemitteilung der DEUTZ AG. URL: <https://www.deutz.com/media/pressemitteilungen/der-wasserstoffmotor-von-deutz-ist-reif-fuer-den-markt>, Zugriff am: 21.01.2022.
- [9] Frerichs, L.; Reuter, L.: Grüner Wasserstoff für Traktoren. iQ-Journal (2022) H. 01, S. 6-7.
- [10] N.N.: Entwicklung einer grünen Wasserstoffmobilität für das Agrarland Niedersachsen. URL: <https://h2agrarniedersachsen.de/>, Zugriff am: 08.02.2022.
- [11] Geimer, M.; Synek, P.-M. (Hrsg.): 8. Fachtagung Hybride und energieeffiziente Antriebe für mobile Arbeitsmaschinen, 23. Februar 2022 Karlsruhe. Tagungsband KIT Scientific Publishing Bd. 85. Karlsruhe: KIT 2021. DOI: 10.5445/KSP/1000127640.
- [12] Raßmann, A.: Antrieb im Wandel – Die Auswirkungen der Brennstoffzellentechnologie auf den Maschinen- und Anlagenbau und die Zulieferindustrie (Keynote Speech, nicht im Tagungsband). Vortrag 8. Fachtagung Hybride und energieeffiziente Antriebe für mobile Arbeitsmaschinen, Karlsruhe 23. Februar 2021.
- [13] N.N.: Die Farben des Wasserstoffs. URL: <https://www.ewe.com/de/zukunft-gestalten/wasserstoff/die-farben-des-wasserstoffs>, Zugriff am: 08.02.2022.
- [14] Stirnimann, R.: Entwicklung bei Lastschaltgetrieben. Schweizer Landtechnik 84 (2022) H. 1, S. 12-17.

- [15] Renius, K. Th.; Stirnimann, R.: Traktoren 2016/2017. ATZoffhighway 10 (2017) H. 4, S. 8-17.
- [16] Geimer, M.; Renius, K. Th.: Motoren und Getriebe bei Traktoren. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2012, Bd. 24, Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge 2013, S. 1-9.
- [17] Geimer, M.; Renius, K. Th.; Stirnimann, R.: Motoren und Getriebe bei Traktoren. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2018, Bd. 30, Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge 2019, DOI: 10.24355/dbbs.084-201901211121-0, S. 1-10.
- [18] Geimer, M.; Renius, K.Th.; Stirnimann, R.: Motoren und Getriebe bei Traktore. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2019, Bd. 31, Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge 2020, DOI: 10.24355/dbbs.084-202001201504-0, S. 1-10.
- [19] Renius, K. Th.; Pfab, H.: Traktorgetriebe: Anforderungen und neuere Entwicklungen. Landtechnik 45 (1990) H. 10, S. 358-363.
- [20] Hannon, B.: Electro-Mechanical Infinitely Variable Transmission and their Applications in Agriculture (Video zur Tagung Land.Technik AgEng 2022, 25. Februar 2022).
- [21] Zhu, Z.; Yang, Y.; Wang, D.; Cai, Y.; Lai, L.: Energy Saving Performance of Agricultural Tractor Equipped with Mechanic-Electric-Hydraulic Powertrain System. agriculture 12 (2022), S. 1-22.
- [22] Höner, G.: Krone und Lemken stellen gemeinsamen Roboter-Traktor vor. Top agrar 51 (2022) H. 4, S. 114.
- [23] Renius, K. Th.: Fundamentals of Tractor Design. Cham (CH): Springer 2019.
- [24] Höhn, B. R.: Zweiganggetriebe für Elektromotoren. DE 10 2019 128 160 B3.
- [25] Bittlingmeier, G.: Entwicklung eines elektrisch getriebenen Zweigang-Achssystems für schnell fahrende Baumaschinen und Feuerlöschfahrzeuge. VDI-MEG Seminar Landtechnik, TU München 28.01.2021.
- [26] Matthies, H.-J.; Renius, K. Th.: Einführung in die Ölhydraulik. 9. Auflage, Wiesbaden: Springer Vieweg 2021.
- [27] Wilmer, H.: Neues zum Steyr Hybrid-Traktor. URL: <https://www.profi.de/aktuell/neuheiten/neues-zum-steyr-hybrid-traktor-28997.html>, Zugriff am: 5. April 2022.
- [28] N.N.: Autonomer-Traktor: Das kann der neue elektrische Geräteträger Autoagri. URL: <https://www.agrarheute.com/technik/traktoren/autonomer-traktor-neue-elektrische-geraetraeger-autoagri-583526>, Zugriff am: 25.03.2022.
- [29] Han, H.-W.; Han, J.-S.; Chung, W.-J.; Park, Y.-J.: Prediction of Synchronization Time for Tractor Power Shift Transmission Using Multi-Body Dynamic Simulation. Transactions ASABE 64 (2021) H. 5, S. 1483-1498.
- [30] Reiter, H.: Verluste und Wirkungsgrade bei Traktorgetrieben. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 14, Bd. 46, Düsseldorf: VDI-Verlag 1990.
-

- [31] Hensh, S.; Tewari, V. K.; Upadhyay, G.: An instrumentation system to measure the loads acting on the tractor PTO bearing during rotary tillage. *Journal of Terramechanics* 96 (2021), S. 1-10.
- [32] Kadach, D.; Michaelis, K.; Hein, M.; Tobie, T.; Stahl, K.: Fresstragfähigkeit von Schmierstoffen für Doppelkupplungsgetriebe. *Antriebstechnik* 60 (2021) H. 4, S. 60-66.
- [33] Traub, S.; Birk, M.; Brehmer, U.; Auer, M.: Intelligente Fahrstrategie für Off-Highway Getriebe. In: Geimer, M.; Synek, P.-M. (Hrsg.): 8. Fachtagung Hybride und energieeffiziente Antriebe für mobile Arbeitsmaschinen, 23. Februar 2022 Karlsruhe. Tagungsband KIT Scientific Publishing Bd. 85. Karlsruhe: KIT 2021. DOI: 10.5445/KSP/1000127640, S. 1-11.
- [34] Krombolz, K.; Giesen, G. (Hrsg.): *Miterlebte Landtechnik. Band IV*, Frankfurt: DLG-Verlag 2021, ISBN: 978-3-7690-0858-6.
- [35] Kremmer, M.: 70 Jahre landtechnische Ausbildung in Karlsruhe - Beziehungen zu einem 100-Jährigen. In: Krombolz, K.; Giesen, G. (Hrsg.): *Miterlebte Landtechnik, Band IV*, Frankfurt: DLG-Verlag 2021, ISBN: 978-3-7690-0858-6, S. 85-87.
- [36] Kremmer, M.: Ein Rückblick auf 70 Jahre landtechnische Ausbildung in Karlsruhe und 100 Jahre LANZ Bulldog. URL: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000130884>, Zugriff am: 21.01.2022.

Autorendaten

Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer ist Institutsleiter des Institutsteils Mobile Arbeitsmaschinen am Karlsruher Institut für Technologie.

Dipl.-Ing. agr. FH, Dipl.-Ing. Wirtschaft FH, Executive MBA Roger Stirnimann ist Dozent für Agrartechnik 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.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 09.04.2022

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Geimer, Marcus; Stirnimann, Roger; Renius, Karl Theodor: Motoren und Getriebe bei Traktoren. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2021*. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-13

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030943-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/motor-getriebe.html>

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

Reifen / Reifen-Boden-Interaktion

Stefan Böttinger

Kurzfassung

Unterschiedliche Reifentypen wurden in mehreren Tests miteinander verglichen. Der Einsatz von Raupenlaufwerken wird weiterhin stark diskutiert. Die Bedeutung von Reifendruckregelanlagen wird vielfach betont. Bodendruck und Befahrbarkeit werden in der Forschung verstärkt mit Hilfe von Simulationsmodellen bearbeitet. Mehrere Praxis-Lösungen für die Vorhersage der Befahrbarkeit wurden vorgestellt.

Schlüsselwörter

Traktorreifen, Raupenlaufwerk, Reifendruckregelanlagen, Traktion, Reifenmodell, Bodenmodell

Tyre / Tyre-Soil-Interaction

Stefan Böttinger

Abstract

Different types of tyres have been compared in several tests. The use of crawler tracks continues to be strongly discussed. The importance of tyre pressure control systems is often emphasised. Ground pressure and trafficability are increasingly dealt with in research with the help of simulation models. Several practical solutions for predicting trafficability were presented.

Keywords

Tractor tyres, rubber tracks, pressure control systems, traction, tyre modelling, soil modelling

Markt

Die auf das Frühjahr 2022 verschobene Agritechnica musste aus Pandemiegründen abgesagt werden. Dennoch wurden die Innovationen mit einer Gold- und 16 Silbermedaillen ausgezeichnet. Im Bereich Reifen erhielt Continental für ihr Agro ContiSeal eine Silbermedaille. Auf der Innenseite der Lauffläche von landwirtschaftlichen Reifen ist ein viskoses Polymer aufgetragen. Durchdringt ein spitzer Gegenstand wie ein Nagel oder ähnliches die Lauffläche, dann dichtet das Polymer das Luftleck ab. Es kann weitergefahren werden. Ein Reifenwechsel im Gelände oder auf der Straße ist nicht nötig, er kann später in der Werkstatt erfolgen [1], **Bild 1**.



Bild 1: Durchstichtest an einem Ackerschlepper-Reifen mit Agro ContiSeal [2]

Figure 1: Puncture test on an agricultural tyre with Agro ContiSeal [2]

Drei weitere Silbermedaillen wurden vergeben für Systeme zur Vorhersage der Bodenbefahrbarkeit und der Warnung bei Überschreitung von Schwellwerten. Agtech 2030, eine Ausgründung der Universität Linköping, Schweden, stellte das Compaction Prevention System CPS vor. Dieser Service ermittelt das aktuelle Verdichtungsrisiko eines Feldes und somit die Befahrbarkeit im Voraus. Basis der Berechnungen sind Bodeninformationen (Bodenart, Bodenfeuchte, Bewuchs), das Gewicht und/oder der Kontaktflächendruck des Fahrzeugs [1].

Claas nutzt für die Anzeige des aktuellen Risikos zur Bodenschadverdichtung das Simulationsmodell Terranimo. Auf dem Traktor-Assistenzsystem Cemos wird das Simulationsergebnis aus Bodendaten, aktuellen Achslasten und Reifendrücken angezeigt. Der Fahrer kann Gegenmaßnahmen, wie eine Änderung der Ballastierung oder der Reifendrücke, ergreifen [1].

Rauch und AgriCircle, ein auf Modellierungen mit Fernerkundungsdaten spezialisiertes Unternehmen, berechnen für ihren Terraservice im Voraus die Befahrbarkeit. Genutzt werden eingegebene oder bereits gespeicherte Maschinendaten, die auf Basis von Radarmessungen der

Sentinel-1-Satelliten und von Wetterdaten geschätzte Bodenfeuchte sowie die Bodenstruktur. Daraus wird teilflächenspezifisch die Befahrbarkeit ermittelt und als Karte angezeigt [1].

Die Alliance Tire Group ATG mit den Marken Alliance, Galaxy und Primex wurde von der Yokohama Rubber Company übernommen. Diese bündelt nun in der neuen Unternehmenseinheit Yokohama Off-Highway Tires (YOHT) das Programm der land- und forstwirtschaftlichen Reifen. Die Marken sollen erhalten bleiben, der Firmenname ATG wird aber nicht mehr weitergeführt werden [3].

Rad, Raupe, Bodendruck

Wegen der Düngeverordnung wird ein großer Teil der Gülleausbringung auf das Frühjahr auf verdichtungsanfälligeren Böden verschoben werden. Zur Unterstützung der Landwirte wurde vom Thünen-Institut eine Entscheidungsmatrix entwickelt. Sie verknüpft die standortabhängige Verdichtungsempfindlichkeit mit der mechanischen Belastung der Böden durch Landmaschinen. Dadurch wird die Planbarkeit von Maschineneinsatzzeiten verbessert. Eine Online-Anwendung ist in Arbeit [4].

Bei der Konstruktion der Profile für Traktorreifen muss ein Kompromiss zwischen der Triebkraftübertragung auf dem Feld und dem Komfort bei der Fahrt auf der Straße eingegangen werden [5]. Der Reifen Tractor King von Nokian ist ein Forstreifen, der die große Aufstandsfläche eines Blockprofils mit der guten Traktion eines Ackerstollen-Reifens verbindet. In einem Praxisbericht wird über die Eigenschaften dieses Reifens berichtet. Er besitzt Zwischenstollen, die auch das Risiko zur Beschädigung der Karkasse reduzieren. Er ist kein Reifen für die Straßentransport. Längere Straßenfahrten führen zu einer entsprechenden Wärmeentwicklung. Der für Transport und Ackerarbeit geeignetere Reifen dieses Herstellers ist der Ground King von Nokian [6], **Bild 2**.



Bild 2: Profile des Nokian Tractor King (links) und des Nokian Ground King (rechts), Firmenbilder
Figure 2: Profiles of the Nokian Tractor King (left) and the Nokian Ground King (right), Company pictures

Drei verschiedene Traktorreifen von Michelin wurden im Einsatz untersucht. Alle drei Reifen mit ihren unterschiedlichen Profilen sind für ihren jeweiligen Einsatz sehr gut geeignet, **Bild 3**. Gegenüber dem MachXBib, dem Reifen mit Traktionsprofil, ist der EvoBib um ca. 60 % teurer. Um dessen Vorteile bei der Straßenfahrt und bei dem Feldeinsatz nutzen zu können, ist eine Reifendruckregelanlage notwendig. Es wird betont, dass für alle Reifenmodelle der Einsatz einer Reifendruckregelanlage vorteilhaft ist [7].



Bild 3: Profile des Michelin MachXBib (links), des Michelin RoadBib (mittig) und des Michelin EvoBib (rechts), Firmenbilder

Figure 3: Profiles of the Michelin MachXBib (left), the Michelin RoadBib (center) and the Michelin EvoBib (right), Company pictures

In verschiedenen Beiträgen in Fachzeitschriften werden in praxisnahen Beschreibungen die wichtigsten Grundlagen und neueren Entwicklungen zu Reifen beschrieben. Auf die Notwendigkeit zur Anpassung des Reifendrucks und die Vorteile von Reifendruckregelanlagen wird mehrmals eingegangen [8 - 10].

Bei einem Praxisversuch wurden zwei verschieden breite Reifen mit unterschiedlichen Luftdrücken, Ballastierungen und Traktionsverstärker am zu ziehenden Grubber untersucht. Es zeigte sich, dass der breitere Reifen nur mit reduziertem Luftdruck seinen Vorteil gegenüber dem schmaleren Reifen geltend machen kann. Bei angepasster Ballastierung und niedrigem Luftdruck kann in der besten der untersuchten Varianten eine bis zu 14 % größere Flächenleistung bei reduziertem Schlupf erreicht werden [11].

An dem Beispiel zweier landwirtschaftlicher Großbetriebe werden die Vor- und Nachteile von Zwillings- oder Drillingsbereifung gegenüber Raupenfahrwerken aufgezeigt. Die Mehrfachbereifungen sind kostengünstiger als ein Halbraupenfahrwerk, aber nur für arrondierte Betriebe geeignet. Die Fahreigenschaften des Traktors mit Halbraupe werden als fast vergleichbar mit Radtraktoren bezeichnet. Raupenfahrwerke sind aber nicht nur in der Anschaffung, sondern auch im Unterhalt teurer als Reifen [12].

Auf den Vorteil einer angepassten Ballastierung bei Traktoren wurde schon hingewiesen. Um das An- und Abbauen von Ballastgewichten zu erleichtern und damit das Fahren mit unnötigem Ballast zu vermeiden, wurde das John Deere EZ-Ballast erprobt. Mit diesem System wird innerhalb einer Minute ein Gewicht von 1,7 t unter den Traktor hochgezogen. Die Mehrkosten

gegenüber mitrotierenden Radgewichten lohnen sich durch den geringeren Verbrauch und die reduzierten Rüstzeiten [13].

Forschung und Entwicklung

Experimentelle F & E

Die Einflüsse von Triebkraft und wiederholter Überfahrt auf die Bodenverdichtung sind noch nicht völlig verstanden. Deshalb wurde in einer Untersuchung die Quantifizierung dieser beiden Beanspruchungsarten unabhängig voneinander auf die Bodenstruktur (Dichte, Porosität, Luftdurchlässigkeit) ermittelt. Bei dem reinen Überrollen des Bodens konnte ein linearer Zusammenhang zwischen der Anzahl der Überrollungen und den sich ändernden Bodeneigenschaften festgestellt werden. Nach sechs Überrollungen waren die Bodeneigenschaften ähnlich wie bei der einmaligen Überfahrt eines Traktorrades mit hoher Zugkraft. Die Mechanismen, die zu diesem Verhalten führen, sind nicht klar, da die Ausbreitung horizontaler Spannungen im Boden noch nicht genug verstanden ist. Allerdings wurden die Untersuchungen nur auf einem Feld mit unterschiedlichen Reifen und Lasten für die angetriebenen und für die gezogenen Räder durchgeführt [14].

Michelin hat ein Sensorsystem entwickelt, mit dem im Reifen dessen Deformation ermittelt werden kann. Auf der VDI-MEG Online-Tagung Land.Technik AgEng 2022 wurde präsentiert, wie aus der Echtzeitmessung der inneren Verformung des Reifens beim Eintritt und Austritt aus dem Bodenkontakt relevante Eigenschaften des Oberbodens, wie Wasserhaushalt, mechanische Festigkeit und überrollungsbedingte Verdichtung, geschätzt und kartiert werden können [15], **Bild 4**.

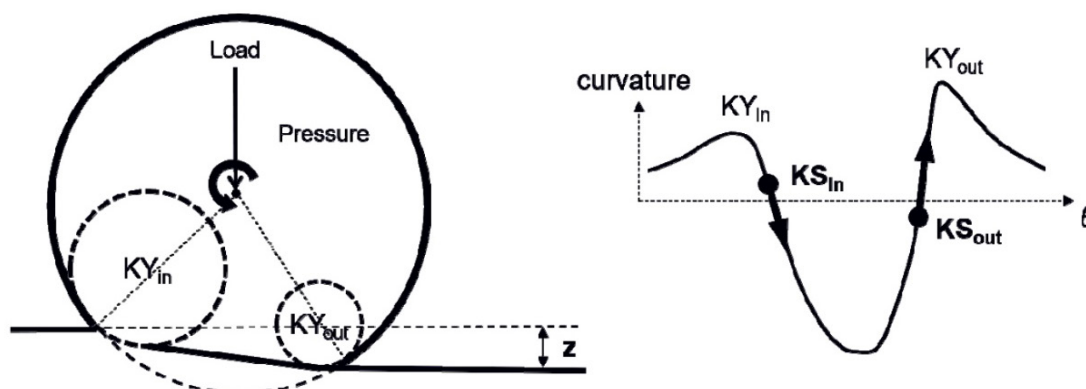


Bild 4: Reifenkrümmung KY und Geschwindigkeit der Krümmungsänderung KS am Ein- und Auslauf der Aufstandsfläche [15]

Figure 4: Tyre curvature KY and speed of curvature change KS at the entry and exit of the contact patch [15]

An der Iowa State University wurde eine neue Labortesteinrichtung zur Untersuchung von Reifen- und Bandlaufwerken auf weichen Böden in Betrieb genommen. Mit ihr kann neben der Triebkraftübertragung auch die Reifen-Boden-Interaktion untersucht werden. Die Einrichtung

ist geeignet für Reifendurchmesser von bis zu 1,2 m und 700 mm Breite. Die Versuchsergebnisse sind auch wichtig zur Parametrierung und Validierung von Modellierungen und Simulationen [16].

Für die meisten Kräfte, die auf ein Fahrzeug wirken, ist der Reifen-Boden-Kontakt verantwortlich. Die direkte Messung der an dieser Schnittstelle auftretenden Kräfte ist schwer möglich. Deshalb wurden an der Universität in Pretoria, Südafrika, mit Hilfe von Dehnmessstreifen punktuell in einem Reifen die Dehnungen im Einsatz gemessen. Ergänzt um eine Stereokamera in dem Reifen konnten die Dehnungen und Verformungen bei dem Einsatz auf einem Rollenprüfstand ermittelt werden. Es wurde ein linearer Zusammenhang zwischen den aufgebrachten Radkräften in vertikaler und in seitlicher Richtung mit den Dehnungen des Reifens ermittelt [17].

Rollwiderstandsmessungen bei Pkw und Lkw werden häufig mit Ausrollversuchen durchgeführt. Die Übertragung dieser Versuchsart auf Traktoren wurde durchgeführt und dessen Praxisauglichkeit nachgewiesen. Versuche mit unterschiedlichen Reifensätzen, Reifenluftdrücken und Ballastierungen wurden durchgeführt. Die ermittelten Rollwiderstände steigen leicht mit der Fahrgeschwindigkeit an. Insbesondere bei geringem Luftdruck ist dieser Effekt zu beobachten. Der Reifenluftdruck zeigte einen nichtlinearen Einfluss auf den Rollwiderstand. Es konnten kaum Unterschiede im Rollwiderstand bei höheren Luftdrücken von 1,6 bis 2,4 bar gemessen werden. Bei diesen Luftdrücken ergaben sich nur minimale Unterschiede durch die Ballastierung [18].

Bei Feldversuchen wurden Einfach-, Doppelt- und Dreifachbereifungen an einem Steiger 580 Traktor sowie an einem Case IH Quadtrac mit 915 mm breiten Raupenlaufwerken miteinander verglichen. Die Einfachbereifung war 1100 mm breit, die Doppelbereifung bestand aus zwei 800 mm und die Dreifachbereifung aus drei 480 mm breiten Reifen, die in den Versuchen mit unterschiedlichen Luftdrücken gefahren wurden. Es wurden der Kraftstoffverbrauch und die Flächenleistung beim Einsatz mit einer 6,7 m breiten Scheibenegge bei verschiedenen Arbeitstiefen ermittelt. Gegenüber dem Mittelwert aller Varianten war der Traktor mit Raupenfahrwerk immer besser. Die verschiedenen Reifenvarianten waren manchmal im Verbrauch, manchmal in der Flächenleistung besser als der Mittelwert [19].

Simulation

Zur Vorhersage der Mobilität von Fahrzeugen auf den weltweit möglichen weichen Böden wird das NATO Reference Mobility Model verwendet. Für genauere Ergebnisse muss dieses Modell neu entwickelt werden. Zuerst wurden die Anforderungen an die Software beschrieben und beispielhafte Simulationen mit einem Software-Prototyp durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass damit die Anforderungen erfüllt werden [20]. Anschließend wurden das NATO Reference Mobility Model und die Software neu entwickelt. In ihr arbeiten einfache und komplexe Terramechanik-Modelle mit Mehrkörpermodellen für unterschiedliche Fahrzeuge zusammen [21].

Das Power-Hop-Phänomen verschlechtert drastisch die Flächenleistung und die Fahrqualität des Traktors. Es kann zu Schäden am Fahrzeug, zur Verletzung des Fahrers und zu Bodenverdichtungen führen. Die Dynamik von Power-Hop ist durch drei typische Elemente gekennzeichnet: ein vertikales Springen oder Hüpfen, die Stick-Slip-Dynamik in Längsrichtung und ein freies Spiel im Gelenk zwischen Traktor und zu ziehendem Gerät. Es wurde ein neuartiges Power-Hop-Modell erstellt, in dem diese nichtlinearen Elemente miteinander verknüpft sind. In der Simulation wurden Parametervariationen durchgeführt. Dabei konnte gezeigt werden, dass Power-Hop eher bei hohen Zugkräften, trockeneren Böden, eher steifen Vorderreifen und eher weicheren Hinterreifen auftritt. Diese Ergebnisse stimmen mit Praxiserfahrungen überein [22].

Zusammenfassung

Weiterentwicklungen der Reifenprofile und Reifenkonstruktionen führen zu spezialisierten Traktorreifen. Das Potential der Reifen kann mit Reifendruckregelanlagen leichter ausgenutzt werden. Raupenlaufwerke zeigen in mehreren Versuchen ihre Vorteile auf. Für die Beurteilung der Befahrbarkeit von Böden sind mehrere beratende Systeme für die Praxis verfügbar.

Literatur

- [1] N.N.: 16 Silbermedaillen für den Fortschritt – Agritechnica 2022. Profi 32 (2022) H. 2, S. 84-88.
- [2] N.N.: Agro ContiSeal -New patented polymer technology against tire punctures. URL: <https://www.continental-tires.com/specialty/agriculture/agricultural-tires-and-technology/agro-contiseal>, Zugriff am: 23.04.2022.
- [3] N.N.: Alliance Tire Group verschwindet. top agrar 50 (2021) H. 2, S. 87.
- [4] Brunotte, J.; Lorenz, M.; Weise, M.: Bodenschonend Fahren - aber wann? Eilbote 69 (2021) H. 14, S. 10-13.
- [5] N.N.: Die Anwendung bestimmt das Profil – Reifenkonstruktionen. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 10–11.
- [6] N.N.: Stabil und durchstichsicher – Nokian Tractor King. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 12-13.
- [7] N.N.: Mit Straßenprofil auf den Acker – System-Vergleich. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 14–17.
- [8] N.N.: Alles rund um Reifen – 9 Antworten auf wichtige Reifen-Fragen. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 4-8.
- [9] N.N.: Die Luft ist raus – Reifendruck-Anpassung. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 22–23.
- [10] N.N.: Breite Puschen für wenig Druck – Neue Bereifung und Reifendruckregelanlage. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 32-35.

- [11] N.N.: Mehr Grip, mehr Fläche, gleicher Verbrauch – Die Zugkraft verbessern. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 18–21.
- [12] N.N.: Kurz und breit oder land und schmal? – Mehrfachbereifung oder Raupenlaufwerk. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 24–27.
- [13] N.N.: Hydraulisch mehr Ballast - schnell und wirksam? – EZ-Ballast Unterflurgewicht. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 28–31.
- [14] Damme, L. ten; Schjønning, P.; J. Munkholm, L.; Green, O.; K. Nielsen, S.; Lamandé, M.: Soil structure response to field traffic: Effects of traction and repeated wheeling. *Soil and Tillage Research* 213 (2021), Aufsatz 105128.
- [15] Paturle, A.; Pinet, F.; Duparque, A.; Martin, D.; Tomis, V.; Scheurer, O.; Ugarte, C.; Lefebvre, M.: A tyre integrated sensor to monitor real time soil physical properties. DOI: 10.51202/9783181023952-327. VDI-MEG Tagung LAND.TECHNIK AgEng 2022, 25.02.2022. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK 2022, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 327-334.
- [16] N.N.: New soil testing equipment at Iowa state University. *Resource* 28 (2021) H. 3, S. 14-16.
- [17] Pegram, M. S.; Botha, T. R.; Els, P. S.: Full-field and point strain measurement via the inner surface of a rolling large lug tyre. *Journal of Terramechanics* 96 (2021), S. 11-22.
- [18] Schwehn, J.; Ernst, V.; Böttinger, S.: Eine praxisoptimierte Methodik zur Messung des Rollwiderstands von Traktorreifen. *Landtechnik* 76 (2021) H. 4, S. 142-155.
- [19] Klopfenstein, A. A.; Dean, C. R.; Venkatesh, R.; Shearer, S. A.: New Tire Technologies vs. Tracks. VDI-MEG Tagung LAND.TECHNIK AgEng 2022, 25.02.2022. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK 2022, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, DOI: 10.51202/9783181023952, S. 335-341.
- [20] Wasfy, T.; Jayakumar, P.: Next-generation NATO reference mobility model complex terramechanics - Part 2: Requirements and prototypeliterature review. *Journal of Terramechanics* 96 (2021), S. 59-79.
- [21] Wasfy, T.; Jayakumar, P.: Next-generation NATO reference mobility model complex terramechanics - Part 1: Definition and literature review. *Journal of Terramechanics* 96 (2021), S. 45-57.
- [22] Watanabe, M.; Sakai, K.: Novel power hop model for an agricultural tractor with coupling bouncing, stick-slip, and free-play dynamics. *Biosystems Engineering* 204 (2021), S. 156-169.

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 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022 S. 1-9

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030945-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/reifen-boden.html>

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

Hydraulische Antriebstechnik

Philipp Winkelhahn

Kurzfassung

2021 wurden Komponenten und Systeme hydraulischer Antriebe entwickelt, die vor allem der zunehmenden Vernetzung sowie gestiegenen Effizienzanforderungen Rechnung tragen. Die gezeigten Lösungen betreffen den gesamten hydraulischen Antriebsstrang, angefangen bei Hydrostaten über Ventile bis hin zu elektronischen Bauteilen und Softwarelösungen.

Schlüsselwörter

Hydrostaten, Ventile, Elektronik

Hydraulic drive technology

Philipp Winkelhahn

Abstract

2021, components and systems of hydraulic drives were developed, which above all take into account the increasing networking as well as increased efficiency requirements. The solutions on display cover the entire hydraulic drivetrain, from hydrostats and valves to electronic components and software solutions.

Keywords

hydrostats, valves, electronics

Hydrostaten

Mit der Innenzahnradpumpe **QXEHX** erweiterte **Bucher Hydraulics** das Produktportfolio primär für den Bereich Stationärhydraulik und Aggregatebau. Typisches Merkmal des nicht kompensierten Hydrostaten ist die lange Druckaufbaustrecke über den gesamten, symmetrisch angeordneten Halbmond. Neben einer Weiterentwicklung der hydrodynamischen Schmierung wurde der Drehzahlbereich bis 6050 1/min erweitert. Daraus folgen eine höhere Leistungsdichte sowie eine verbesserte Betriebssicherheit. [1]

Die kompakte Getriebepumpe **shark** stellte **Danfoss Power Solutions** vor. Hauptaugenmerk lag bei der Entwicklung auf der Geräuschreduzierung um bis zu 10 dB(A), sodass Maßnahmen zur Geräuschreduzierung außerhalb der Anlage überflüssig werden sollen und somit Kosten und Platz eingespart werden können. Darüber hinaus werden durch die Pumpe Belastungen durch Lärm und Vibrationen am Arbeitsplatz reduziert, um somit mehr Komfort und Sicherheit für das Bedienpersonal zu realisieren. Hauptanwendung sind Elektro- und Hybridmaschinen, bei denen Geräusche stärker wahrnehmbar sind, sowie Anwendungen wie Schmierung, Lenkung und Schwerlastbetrieb. [2]

HAWE Hydraulik führte mit der Axialkolbenpumpe **C40V** das Nachfolgemodell des Typs V40M ein. Die Pumpe wurde für den Einsatz in offenen Hydraulikkreisläufen mobiler Arbeitsmaschinen entwickelt und versorgt Anlagen mit Systemdrücken von bis zu 280 bar. Die baugrößenbedingten maximalen Fördervolumina betragen 28 ccm, 45 ccm und 85 ccm. Die Axialkolbenpumpe ist im Vergleich zum Vorgängermodell leichter und besitzt eine höhere maximale Selbstsaugdrehzahl von bis zu 3200 1/min. Die verfügbaren Regler orientieren sich an den Bedarfen der diversen Einsatzmöglichkeiten und umfassen Load-Sensing-Regler mit integrierter oder elektro-proportionaler Druckabschneidung, mechanisch einstellbare Druckregler sowie elektroproportionale Druck- und Volumenstromregler. Einsatzgebiete der Mitteldruckpumpe sind Land- und Forstmaschinen, Kommunalfahrzeuge, Lüfterantriebe, Hubarbeitsbühnen oder auch Lenkungen von Baumaschinen. [3]

Von **Danfoss Power Solutions** wurde die digitale Verdrängerpumpe **Digital Displacement pump** eingeführt. Diese erzeugt mittels Magnetventilen, über die jeder Zylinder bei jeder Drehung der Welle aktiv gesteuert wird, eine hydraulische Fluidleistung. Der Aufbau sorgt für schnelle Reaktionszeiten und reduzierte Verluste. Zudem können Gruppen von Zylindern an die Endplatte gebracht und unabhängig voneinander gesteuert werden, wodurch eine Mehrzweckpumpe im kompakten Format entsteht. Bis zu drei separat ansteuerbare Ausgänge sind in einem Pumpengehäuse möglich. [4]

Bosch Rexroth stellte die Hydraulik-Architektur **electronic Open Circuit** (Abk.: eOC) vor. Hierunter sind Pumpen für den offenen Kreis sowie eine entsprechende Software zu verstehen. Die elektrohydraulische eOC-Pumpe mit Schwenkwinkelsensor und Drucksensoren sorgt für die Regelung der Sollwerte bzgl. Drehmoment, Druck oder Volumenstrom. Dabei regelt die Pumpe im Millisekundenbereich, um beispielsweise den Druck modulieren zu können. In Kombination mit der eOC-Software sind Kenngrößen wie Dynamik und Leistungsregelung manipulierbar. Durch die Kombination aus Pumpe und Software und den damit anpassbaren Steuerungsmodi soll der Hardware-Aufwand durch Wegfall von Ventiltechnik möglich sein. Zudem

beinhaltet das System eine automatische Kalibrierung, sodass Themen wie Alterungseffekte oder Temperatureinflüsse für das Gesamtmaschinenverhalten berücksichtigt werden können. Somit wird für das Systemverhalten eine erhöhte Reproduzierbarkeit erreicht. Ein wesentliches Feature darüber hinaus ist, dass die Fahr- und Arbeitshydraulik in einem Hydraulikkreis zusammengeführt werden können, wobei die Komplexität des Systems in die Software verlagert wird. Fahrtrichtungsventile und Bremsventile können auf diesem Wege entfallen. [5; 6]

Motorseitig präsentierte **Bosch Rexroth** den **Hägglands Atom**. Der Hydraulikmotor weist ein maximales Drehmoment von bis zu 13,6 kNm, ein spezifisches Drehmoment von 40 Nm/bar und eine maximale Drehzahl von bis zu 400 1/min auf. Der Anwendungsfokus liegt auf Winden- und Recycling-Applikationen. [7]

Ventile

Ein neues Wegesitzventil vom Typ **ROLV** mit NG6 Normanschluss bietet **HAWE Hydraulik** an. Dieses kann als aufbaubarer Steuerblock in Ventilverbände integriert werden, aber auch Anschlussblöcke für den Rohrleitungseinbau sind verfügbar. Die Kombination aus Wegeventil und Sperrventil bietet Einsparpotenziale bei der Anzahl der benötigten Komponenten und damit für Einbauraum und Montageaufwand. Das Ventil ist für Maximaldrücke von bis zu 400 bar und Volumenströme von bis zu 25 l/min ausgelegt. Die Konstruktion mit Kegelsitz ist schmutzunempfindlich, wodurch eine hohe Schaltsicherheit gewährleistet werden soll. [8]

Linde Hydraulics führt mit dem Ventilblock **VW 22/18 M5-03** eine neue Generation von Regelventilen ein. Die Basis dieses für den offenen Kreis entwickelten Baukastensystems zeichnet sich in der Grundausstattung durch den Monoblock mit fünf Sektionen und Druckbegrenzungsventil aus. Optional können auf jeder Seite des Blocks drei weitere Sektionen hinzugefügt werden. Für die zusätzlichen Sektionen können verschiedene, spezifische Funktionen ausgewählt werden wie z.B. Ausleger- oder Hubregeneration, Anti-Drift und Rücklaufbypass für die Anwendung Mobilbagger. [9]

Eaton stellte ein **Sektions-Load-Sense-Druckbegrenzungsventil** (Abk.: LSRV) für sein CLS-Mobilhydraulikregelventil vor. Das LSRV begrenzt den Druck innerhalb der einzelnen Sektionen durch eine Reduzierung der Ölzufuhr und macht ineffiziente Druckentlastungen an den Arbeitsanschlüssen zur Ablaufseite überflüssig. Sobald das LSRV den Volumenstrom stoppt, wenn eine Funktion einen bestimmten Druck erreicht, der niedriger als der maximale Systemdruck sein kann, steht dieser Durchfluss den anderen Sektionen bei vollem Systemdruck zur Verfügung. Dadurch wird verhindert, dass Maschinenfunktionen verlangsamt werden, wenn mehrere Abschnitte gleichzeitig in Betrieb sind. [10]

Ein neues Lasthalteventil **OSCA** mit einem Einstelldruck von bis zu 500 bar und neuer, schmutzunempfindlicher Konstruktion bietet **HAWE Hydraulik** an. Das Einschraubventil erlaubt Lastdrücke bis zu 420 bar und ist als Ergänzung zu dem Proportional-Wegeschieber PSL zu sehen. Hierzu stehen diverse Kegelausführungen und Aufsteuerverhältnisse zur Verfü-

gung, um eine Feinabstimmung auch schwingungsanfälliger Systeme zu ermöglichen. Hauptapplikationen sind Krane, Hubarbeitsbühnen und Baumaschinen, bei denen vermehrt Schwingungen infolge langer Auslegerarme entstehen können. [11]

Ein neu entwickeltes Senkbremsventil **MotionOne** wurde von **Wessel Hydraulik** vorgestellt. Dieses Ventil für hohe Lasten von bis zu 420 bar und maximale Volumenströme von bis zu 600 l/min kommt in Kran- und Windenantrieben zum Einsatz, um das Voreilen hydraulischer Verbraucher gegenüber dem zulaufenden Volumenstrom zu verhindern. [12]

Speicher

Liebherr erweitert das Produktportfolio um **Kolbenspeicher**, die am Standort Kirchdorf an der Iller hergestellt werden. Es stehen Speicher mit Kolbendurchmessern von 100 bis zu 360 mm zur Auswahl, womit Ölvolumina bis zu 400 l realisiert werden können. Neben einer Auswahl unterschiedlicher Öl- und Gasanschlüsse besteht die Möglichkeit, ein Wegmesssystem zu integrieren. Die Lösungen sind sowohl für mobile als auch stationäre Anwendungen konzipiert. Hauptanwendungen werden bei der Energiespeicherung, für den Notbetrieb, aber auch zur Absorption von Stößen gesehen. [13]

Sensoren und Elektronik

Eine elektronische Steuereinheit für die Steuerung von ein- oder zweimagnetischen Proportionalventilen in einem offenen Regelkreis ohne Rückführung wurde von **ARGO-HYTOS** unter der Bezeichnung **EL7** eingeführt. Die Steuereinheit bietet Signaleingangsklemmen für bis zu neun analoge bzw. CAN-Eingangssignale. Dabei werden Funktionen wie z.B. benutzerdefinierte PID-Regelung, Dither-Funktion für jede Spule separat und Ausgangs-PWM bis zu 1 kHz realisiert. Über Bluetooth ist die Steuerung mit der ARGO-HYTOS-App parametrierbar. [14]

Danfoss Power Solutions stellte das Steuergerät **XM100** und die Autonomous Control Library vor. Durch die Kombination aus Hard- und Software sollen Funktionen wie Navigation, Positionierung, Wahrnehmung, Hindernisvermeidung und Sensorintegration für autonome mobile Arbeitsmaschinen ermöglicht werden. Mittels Ethernet- und CAN-Konnektivität kann das Steuergerät komplexe Aufgaben bewältigen und Teilsysteme der Maschine steuern, z.B. die Antriebs-, Lenkungs- und Arbeitsfunktionen. Die Bibliothek bietet Software-Algorithmen für Sensorfusion und autonome Navigation und umfasst vorprogrammierte Funktionsblöcke, die die Entwicklungszeit reduzieren sollen. [15]

Bosch Rexroth stellte eine neue digitale **On-Board-Elektronik** vor, die zunächst in Proportional-Druckregelventilen zur Anwendung kommt. Hierdurch sollen eine volumenstromunabhängige Druckregelung sowie eine lineare Sollwert-Druck-Kennlinie in vier Druckstufen erzielt werden. Die Ventile verfügen über einen integrierten Drucksensor sowie einen Anschluss für externe Drucksensoren. Bei der Erstinbetriebnahme identifizieren sich die Komponenten über ihr digitales Namensschild selbst, sodass bereits nach kurzer Zeit mit der Parametrierung über das Smartphone begonnen werden kann. Zudem sollen Endanwender Condition Monitoring

ohne Zusatzaufwand nutzen können, indem per App Betriebsdaten wie Temperatur oder Betriebsstunden abgerufen werden können. [16]

Parker Hannifin zeigte den Drucksensor **SCPSi** mit IO-Link-Funktion. Der Sensor ermöglicht mittels der IO-Link-Schnittstelle eine einfache und schnelle Inbetriebnahme und Parametrierung. Somit sollen Daten schneller und in standardisierter Form z.B. in einem ERP-System zur Verfügung stehen. Die Datenübertragung basiert auf einem digitalen 24-V-Signal, wodurch die Signalübertragung sicher gegen äußere Einflüsse sein soll. [17]

Peripherie

Ebenfalls aus dem Hause **Parker Hannifin** kommt eine optimierte **FEM-Schnellkupplungsreihe**, die einen erhöhten Arbeitsdruck von bis zu 350 bar und einen verringerten Druckabfall für bessere Durchflusseigenschaften bieten soll. Die Kupplungen sollen eine leckagefreie Trennung sowie minimalen Ölverlust beim Entkuppeln gewährleisten und sind dank der flachen Ventile/Gehäuse einfach zu reinigen. [18]

Aggregate

Ein neues Hydraulikaggregat mit der Bezeichnung **INKA** stellte **HAWE Hydraulik** vor. Ein besonderes Merkmal ist die Kommunikationsbox mit integriertem Echtzeit-Betriebssystem, mit der eine Erfassung und Speicherung von Betriebsdaten, Diagnosemöglichkeiten sowie ein Selbsttest für alle Messfunktionen möglich sein soll. Die Messwerte des integrierten Multi-sensors können inklusive der Motordrehzahl über eine IO-Link Schnittstelle an eine übergeordnete Maschinensteuerung weitergegeben und dort verarbeitet werden. Das Aggregat kann mit einer Radialkolbenpumpe für Drücke bis 700 bar oder mit einer Zahnradpumpe mit Drücken bis 200 bar ausgestattet werden. Der maximal mögliche Volumenstrom beträgt 2,2 l/min. [19]

Dissertationen

Mit prinzipbedingten Kontakten zwischen Kolbentrommel und Steuerspiegel von Axialkolbenmaschinen beschäftigte sich **Stephan Wegner** in seiner Dissertation mit dem Titel **Experimental and simulative investigation of the cylinder block/valve plate contact in axial piston machines**. Die Arbeit beschreibt die analytische, experimentelle und simulative Untersuchung der beeinflussenden Bedingungen am Beispiel einer modifizierten 140 cm³ Axialkolbenpumpe mit Fokus auf dem Kolbentrommel-Steuerspiegelkontakt. Das Ergebnis ist der Vergleich der Untersuchungsmethoden, eine Darstellung der wesentlichen Einflussfaktoren, sowie eine Diskussion der Unterschiede und Abweichungen. [20]

Einen **Beitrag zur ganzheitlichen Toleranzbetrachtung bei Wegeventilen** leistete **Ralf Tautenhahn**, indem er die Auswirkungen von Fertigungsschwankungen, Streuungen der Materialeigenschaften und Umwelteinflüsse auf die charakteristischen Produktmerkmale eines Wegeventils wie Ansprechdynamik, Leckagestrom oder Volumenstromverstärkung untersuchte. [21]

Zusammenfassung

Für den Berichtszeitraum 2021 kann zusammenfassend formuliert werden, dass vor allem Produktportfoliopflege in den klassischen Bereichen Hydrostaten, Ventile und Elektronik betrieben wurde. Die Vernetzung und Zustandsüberwachung einzelner Komponenten und Systeme ist mittlerweile zu einer festen Produkteigenschaft geworden.

Literatur

- [1] Menden, N.: QXEHX Innenzahnrad-Pumpen. URL: <https://www.bucherhydraulics.com/de/newsblog/uebersicht/qxehx-innenzahnrad-pumpen-?adblogyear=2021-01-01&adblogpos=10>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [2] N.N.: shhark® low noise Aluminium-Zahnradpumpe Gr. 2. URL: <https://www.danfoss.com/de-de/products/dps/pumps/gear-pumps/aluminum-gear-pumps/shhark-aluminum-low-noise-gear-pump-gr-2/#tab-overview>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [3] N.N.: Die neue HAWE-Pumpe für den Mitteldruckbereich. URL: <https://www.hawe.com/de-de/unternehmen/news/presse/detail/c40v-die-neue-hawe-pumpe-fuer-den-mitteldruckbereich/>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [4] N.N.: Digital Displacement® pumps. URL: <https://www.danfoss.com/en/products/dps/pumps/digital-displacement-pumps/digital-displacement-single-and-multiple-outlet-pumps/#tab-overview>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [5] N.N.: Vielseitige Arbeitsmaschinen durch elektronische Steuerung der offenen Kreislaufpumpen. URL: <https://www.boschrexroth.com/de/de/unternehmen/presse/press-detail-1-168064>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [6] Guo, J.; Frerichs, L.: Development of a hydrostatic transmission with integrated supply for working hydraulics. 12th International Fluid Power Conference, Dresden, Germany.
- [7] N.N.: Bosch Rexroth präsentiert schnellen leistungsstarken Hydraulikmotor Häßglunds Atom. URL: <https://www.boschrexroth.com/de/de/unternehmen/presse/press-detail-1-163904>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [8] N.N.: Wegesitzventil optimiert in Performance und Design. URL: <https://www.hawe.com/de-de/unternehmen/news/presse/detail/wegesitzventil-optimiert-in-performance-und-design/>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [9] N.N.: Linde Hydraulics bringt die nächste Generation der Steuerventile auf den Markt. URL: <https://www.linde-hydraulics.com/de/neuigkeiten/linde-hydraulics-introduces-the-next-generation-of-control-valves-to-the-market/>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [10] N.N.: Die neuen CLS Sektions-Load-Sense-Druckbegrenzungsventile von Eaton sorgen bei nachgeschalteten Hydraulikventilen für eine effiziente Druckregelung. URL: <https://www.eaton.com/de/de-de/company/news-insights/news-releases/2021/eatons-new-cls-sectional-load-sense-relief-valve.html>, Zugriff am: 26.04.2022.

- [11] N.N.: Lasthalteventil für schwingungsanfällige Systeme und hohe Betriebsdrücke. URL: <https://www.hawe.com/de-de/unternehmen/news/presse/detail/lasthalteventil-fuer-schwingungsanfaellige-systeme-und-hohe-betriebsdruecke/>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [12] N.N.: WESSEL SENKBREMSVENTIL TYP MotionOne. URL: <https://www.wessel-hydraulik.de/produkte/lasthalteventile/senkbremsventile/lhw/motionone/>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [13] N.N.: Liebherr erweitert Portfolio mit Serienbaureihe für Kolbenspeicher. URL: https://www.liebherr.com/de/deu/aktuelles/news-pressemitteilungen/detail/liebherr-erweitert-portfolio-mit-serienbaureihe-f%C3%BCr-kolbenspeicher.html?start_date=01.01.2021&end_date=31.12.2021&news.category=CP, Zugriff am: 26.04.2022.
- [14] N.N.: Mit unserer BRANDNEUEN elektronischen Steuereinheit eröffnen wir neue Perspektiven. URL: <https://www.argo-hytos.com/de/news/produkt-news/product-news-view/el7.html>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [15] N.N.: Drei Produkte von Danfoss Power Solutions sind als Finalisten für die Agritechnica Systems & Components Trophy 2022 nominiert. URL: <https://www.danfoss.com/de-de/about-danfoss/news/dps/three-danfoss-power-solutions-products-nominated-as-finalists-for-agritechnica-systems-components-trophy-2022/>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [16] N.N.: Mit Smartphone und Bluetooth analoge Hydraulikventile parametrieren und auslesen. URL: <https://www.boschrexroth.com/de/de/unternehmen/presse/press-detail-1-162880>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [17] N.N.: Parker SensoControl präsentiert den neuen Drucksensor SCPSi mit IO-Link-Funktionalität für den Einsatz in intelligenten Internet of Things-Anwendungen. URL: <https://www.parker.com/portal/site/PARKER/menuitem.31c35c58f54e63cb97b11b10237ad1ca/?vgnextoid=ef5943d980b9b710VgnVCM100000e6651dacRCRD&vgnnextchannel=9383fdbc71fd7310VgnVCM100000200c1dacRCRD&vgnnextfmt=DE&newsroom=Y&vgnnextcat=News%20Release%20Details>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [18] N.N.: Parker High Pressure Connectors Europe führt neue optimierte FEM-Schnellkupplungsserie ein. URL: <https://www.parker.com/portal/site/PARKER/menuitem.31c35c58f54e63cb97b11b10237ad1ca/?vgnextoid=740848ee1719d710VgnVCM100000e6651dacRCRD&vgnnextchannel=9383fdbc71fd7310VgnVCM100000200c1dacRCRD&vgnnextfmt=DE&newsroom=Y&vgnnextcat=News%20Release%20Details>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [19] N.N.: Intelligentes Hydraulikaggregat mit Zukunft sucht Einsatz. URL: <https://www.hawe.com/de-de/unternehmen/news/presse/detail/intelligentes-hydraulikaggregat-mit-zukunft-sucht-einsatz/>, Zugriff am: 26.04.2022.
- [20] Wegner, S.: Experimental and Simulative Investigation of the Cylinder Block/Valve Plate Contact in Axial Piston Machines. Shaker Verlag GmbH, April 2021, ISBN: 978-3-8440-7957-9.

- [21] Tautenhahn, R.: Ein Beitrag zur ganzheitlichen Toleranzbetrachtung bei Wegeventilen. Shaker Verlag GmbH, Juni 2021, ISBN: 978-3-8440-8044-5.

Autorendaten

Dipl.-Ing. Philipp Winkelhahn ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge der TU Braunschweig.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Winkelhahn, Philipp: Hydraulische Antriebstechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-8

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030946-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2020/chapter/hydraulik.html>

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

Fahrndynamik – Fahrsicherheit – Fahrerplatz

Conrad Klose, Henning Jürgen Meyer

Kurzfassung

Aktuelle Untersuchungen zielen auf einen voranschreitenden Erkenntnisgewinn zu klassischen Themen der Fahrndynamik und Fahrsicherheit von Traktoren ab. Stärker in den Fokus rücken jedoch vor allem Herausforderungen im Kontext hochautomatisierter und autonomer Systeme, einer rückläufigen Zahl an qualifizierten Beschäftigten im landwirtschaftlichen Sektor und nicht zuletzt im Zusammenhang mit Umwelt- und Klimaschutzaspekten. Potenziale ergeben sich durch verbesserte Assistenzsysteme, Prüfmethode und ein vertieftes Systemverständnis. Hochspezialisierte und pragmatische Lösungsansätze werden in diesem Zusammenhang gleichermaßen diskutiert.

Schlüsselwörter

Fahrndynamik, Fahrsicherheit, Fahrkomfort, Fahrerassistenzsysteme

Ride Dynamics – Ride Safety – Driver's Place

Conrad Klose, Henning Jürgen Meyer

Abstract

Current studies are targeted towards gaining knowledge regarding conventional topics of driving dynamics and driving safety in agricultural tractors. However, the focus is also shifting increasingly towards challenges in the context of highly automated and autonomous systems, a shrinking number of qualified employees in the agricultural sector and, last but not least, environmental and climate protection aspects. Potentials arise from improved assistance systems, testing methods and a deeper system understanding. Highly sophisticated and pragmatic approaches are discussed equally.

Keywords

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

Fahrdynamik

Traktoren und deren fahrdynamische Charakteristika sind nach wie vor Gegenstand aktueller Forschung. Untersuchungen zielen auf Effizienz- und Leistungssteigerungen sowie verbesserte Simulationsansätze und Prognosemöglichkeiten ab. Jedoch findet ebenfalls die Erschließung von Nischenbereichen mittels pragmatischer Lösungen statt und nicht zuletzt rücken auch Umwelt- und Klimaschutzaspekte stärker in den Fokus.

Gegenstand der Untersuchungen von Saetti, Mattetti et al. sind Energieverbräuche von Nebenaggregaten in landwirtschaftlichen Traktoren, die in Feldversuchen untersucht wurden. Die Aufzeichnungen wurden im Rahmen von 137 Betriebsstunden mit einem Steyr 6230 CVT auf 1212 Kilometern Fahrstrecke vorgenommen. Während der Versuche lag der Kraftstoffverbrauch allein durch die Nebenaggregate bei 462 Liter. Im Leerlauf benötigten die Nebenaggregate einen Anteil von 38 Prozent der Gesamtenergie. Die größten Energieverbraucher sind über den Motorriemen direkt mit der Kurbelwelle gekoppelt und dadurch direkt abhängig von der Motordrehzahl. Dies kann zu einem zum sogenannten „accessory overdrive“ führen – also einer Energieversorgung der Nebenaggregate, die über dem tatsächlichen Bedarf liegt – und zum anderen kann sogenanntes „parasitic loading“ auftreten – der Energieverbrauch von Nebenaggregaten, ohne eine sinnvolle Funktion zu erfüllen. Die Autoren gehen davon aus, dass Traktoren in Bezug auf deren Energieverbrauch stark von elektrisch angetriebenen Nebenaggregaten profitieren würden [1]. Einen ähnlichen Untersuchungsgegenstand hat die Veröffentlichung von Mattetti, Varani et al. [2]. Diese befasst sich mit der Möglichkeit und dem Nutzen einer Start-Stopp-Automatik für Traktoren zur Reduktion des Treibstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen. Hintergrund der Untersuchung ist, dass Traktoren 10 % bis 43 % der Betriebszeit im Leerlauf betrieben werden [3] und 67 % der Leerlaufzeit ausschließlich durch das Verhalten der fahrzeugführenden Personen bedingt sind [4]. Als minimal erforderliche Standzeit, für die ein Ausschalten des Motors energetisch sinnvoll ist, wird eine Zeit von 4 Sekunden ermittelt. Eine tatsächliche Umsetzung einer Start-Stopp-Automatik würde eine gewisse Überarbeitung des Antriebsstrangs, insbesondere der elektrischen Anlage nach sich ziehen. Die Autoren wollen aber unabhängig von einer tatsächlichen Umsetzung das Bewusstsein für die Schädlichkeit und den Einfluss von Leerlaufzyklen schaffen [2].

Ebenfalls verantwortlich für den Energiebedarf von Traktoren sind Erkenntnisse über den Rad-Boden-Kontakt, als Schnittstelle zum überfahrenen Gelände. Diese sind wertvoll, um auftretende Kräfte besser abschätzen zu können und Maßnahmen sowie aktive Sicherheitssysteme zur Steigerung der Fahrsicherheit implementieren zu können. Pegram, Botha et al. führen mit diesem Ziel Untersuchungen an Stollenreifen mit Hilfe eines Trommelprüfstands durch. Die Reifenverformung beim Abrollen wird mittels Dehnungsmessstreifen gemessen, während die Kontaktzone mit der Hilfe von Stereokameras bei Last-, Schlupf- und Innendruckvariationen aufgenommen wird. Lineare Zusammenhänge zwischen Radlast und Reifendehnung können potentiell zur Vorhersage von Reaktionskräften verwendet werden. Bei der Dehnungsmessung sind jedoch die Charakteristik und der Einfluss der Stollen zu berücksichtigen [5]. Im Rahmen von Ausrollversuchen unter Variation der Reifeninndrucke und Ballastierung wählen

Schwehn, Ernst et al. einen Ansatz zur Rollwiderstandsermittlung von Traktorreifen auf Asphaltuntergründen. Die Untersuchungen zeigen, dass bei niedrigen Reifeninnendrücken Walkverluste verstärkt zum Tragen kommen, während im Bereich zwischen 1,6 und 2,4 bar nur geringere Einflüsse zu verzeichnen sind. Mit Hilfe des praxisnahen Ansatzes wird eine Kompromissfindung zwischen Rollwiderstand, Gesamtenergiebedarf und Fahrkomfortaspekten bei Transportfahrten unterstützt [6]. Weitere Untersuchungen an Off-Road Reifen auf weichen Untergründen bei mehreren Überfahrten führen He, Sandu et al. durch und untersuchen Boden deformationen in Abhängigkeit des Reifenschlupfs sowie die Traktionsleistung [7]. Einen Modellierungsansatz von Rad-Boden-Kontakten von Off-Road Reifen in Dynamiksimulationen für ein breites Untergrundspektrum schlagen Peiret, Karpman et al. vor. Die Formulierungen erfolgen auf Basis des Cone-Index – Bodenreaktionskräfte werden mittels Zwangsbedingungen implementiert [8].

Prüfstandsversuche bieten Vorteile wie eine hohe Wiederholgenauigkeit, eine Unabhängigkeit von Witterungseinflüssen sowie die Automatisierung und Beschleunigung von Testzyklen. Der Erkenntnisgewinn und die Verwertbarkeit von Ergebnissen und Messdaten ist jedoch vom Praxisbezug bzw. der Realitätsnähe abhängig. Mit Inkrafttreten der Stufe V der EU-Verordnung 2016/1628 wurde die Überwachung von Realemissionen mittels portabler Emissionsmesssysteme (PEMS) eingeführt. In diesem Zusammenhang beschäftigen sich Ettl, Emberger et al. mit der geeigneten Abbildung von Realemissionen bei verkürzter Messdauer in einer Prüfstandsumgebung. Die CAN-Bus Daten realer Traktorfahrzyklen werden in diesem Zusammenhang in einem Versuch über die gesamte Zeitdauer reproduziert und in einem weiteren Versuch segmentiert, um ausschließlich relevante Segmente zur Reproduktion der Zyklen in der Prüfstandsumgebung zu verwenden. Die anfallenden Emissionen werden auf dem Prüfstand mit Hilfe eines PEMS und eines stationären Gasanalyse systems erfasst und mit den PEMS-Daten bei realen Fahrzyklen verglichen. Im Rahmen der Untersuchungen konnte die Testdauer mit der beschriebenen Methode zur Bestimmung der anfallenden Emissionen von 8,5 Stunden Realdaten auf 55 Minuten reduziert werden [9].

In **Bild 1** sind ein Antriebsstrang-Prüfstand sowie der schematische Aufbau der Interaktion mit einem korrespondierenden Traktormodell zur Ansteuerung zu sehen. Schoerghuber, Ortner et al. validieren für diese Konfiguration das zur Anwendung kommende Traktormodell zur Ansteuerung der Prüfstandsperipherie anhand realer Fahrscenarien. Die vorgestellten Validierungsmanöver umfassen eine Pendelfahrt bei 10 km/h, eine Fahrt mit Anbaugerät unter Abgriff einer Zapfwellenleistung und Belastung der Traktorhydraulik bei 6 km/h sowie eine Transportfahrt mit Anhänger auf einer Fahrbahn mit zunehmender Steigung. Der Prüfstand soll zukünftig im Zuge von Applikationen und Validierungen zum Einsatz kommen, wodurch Stör- und Umwelteinflüsse realer Kalibrierungen vermieden und automatisierte Kalibrierungsprüfungen ermöglicht werden [10].

Eine Methode zur beschleunigten strukturmechanischen Prüfung von Traktoren unter Verwendung eines Rollenprüfstands stellen Wen, Xie et al vor [11]. Eine Abbildung eines Lastspektrums zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Zapfwellen, auf der Basis von Messungen an Traktorzapfwellen mit Hilfe eines patentierten Zapfwellenprüfstands,

stellen Wang et al. vor. Im Fokus der Untersuchung steht eine Kombination aus Fuzzy- und PID-Regler zur Abbildung variabler Lastmomente mittels zweier Wirbelstrombremsen [12]. Zur Rekonstruktion und Extrapolation von Lastsignalen in Bezug auf Festigkeits- und Ermüdungsuntersuchungen diskutieren Yang, Song et al. einen Ansatz. Vorgeschlagen wird von den Autoren, auch dynamische Lastwechsel zu berücksichtigen [13]. Eine Modellierung von Belastungsspektren von angetriebenen Traktorvorderachsen wird durch Yang, Song et al. durchgeführt. Im Fokus sind hier Parameteridentifikationen bezogen auf die gesamte Einsatz- bzw. Lebensdauer [14].

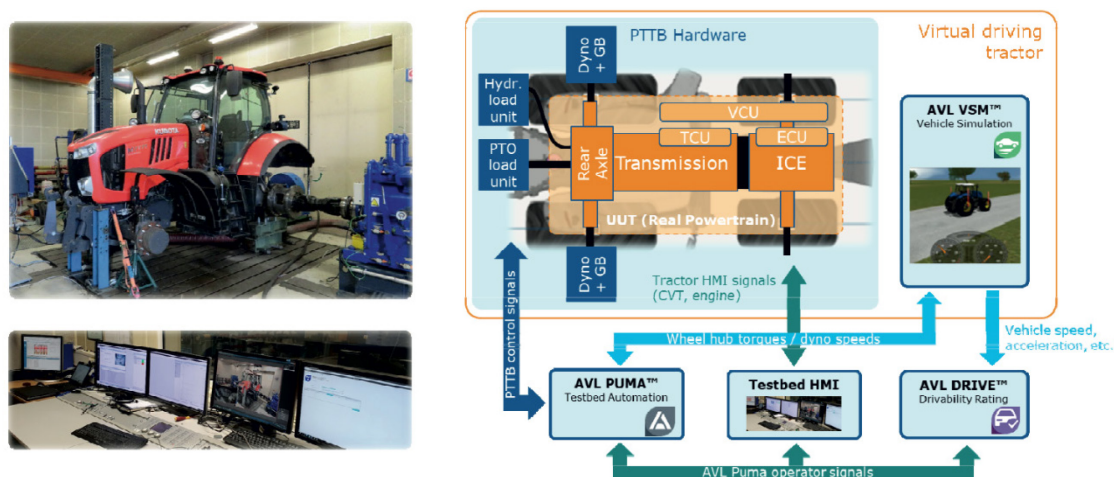


Bild 1: Realer Aufbau des Antriebsstrangprüfstands des Kubota M7 Traktors und schematische Übersicht des Signalfusses für den modellbasierten Prüfstandsbetrieb [10]

Figure 1: Real powertrain test bed setup of the Kubota M7 tractor and schematic overview of signal flow for model-based operation [10]

Optimierungspotential im Konfliktfeld zwischen Traktionsleistung und Bodenverdichtung zeigen Bulgakov et al. auf. Durch den Einsatz einer zusätzlichen Antriebsachse gekoppelt mit der Wegzapfwelle eines Traktors kann die Traktionsleistung vergrößert werden, ohne gleichzeitig die Bodenverdichtung zu erhöhen. In Versuchen wird die genannte Konfiguration mit einem 5-Schar Pflug einem Standardtraktor mit 3-Schar Pflug gegenübergestellt. Gegenüber der Standardtraktorkonfiguration wird in den Tests eine gleichmäßigere Bodenbearbeitung bei geringerer Fluktuation der Bearbeitungstiefe ermittelt. Weiterhin wird durch gezielte Zugpunkteinstellung bei vergleichbarer Bearbeitungsqualität der Kraftstoffverbrauch verringert [15].

Einen Prototypingansatz zur aktiven Schlupfkontrolle bei der Bodenbearbeitung unter Verwendung eines Fuzzy-Reglers implementieren Soylu und Çarman. Der Schlupf wird in Relation zur nicht angetriebenen Traktorvorderachse bestimmt und durch die Tiefeneinstellung des Pflugs geregelt. In Feldtests wird das Assistenzsystem auf Arduino-Mikrocontrollerbasis gegenüber der Feldbearbeitung ohne Assistenzsystem bei manueller Tiefeneinstellung des Pflugs verglichen. Bei der Bearbeitung eines lehmig-tonigen Weizenstoppelfelds mit einer geplanten Arbeitstiefe von 25 Zentimetern konnte durch den Einsatz des Assistenzsystems eine zehnpromtente Abnahme der Arbeitstiefe, bei einer Verringerung des Kraftstoffverbrauchs um

44 % sowie einer Erhöhung der Flächenleistung um 5 % ermittelt werden [16]. Einen ähnlichen Ansatz zur Schaffung eines kostengünstigen Assistenzsystems für eine Überwachung des Antriebschlupfs, des Geschwindigkeitsverhältnisses eines Bodenbearbeitungsgeräts sowie des Zapfwellenmoments und Zugkraftbedarfs wählen Nataraj, Sakar et al. Das System ist so konzipiert, dass der fahrenden Person durch 3 LEDs signalisiert wird, ob sich Schlupf und Geschwindigkeitsverhältnis bei der Bodenbearbeitung in einem günstigen Bereich befinden. Versuche zur Systemverifizierung wurden auf einem abgeernteten Reisfeld mit sandigem Lehmboden in Indien unternommen [17].

Weitere Ansätze für sensortechnische Maschinenaktualisierungen stellen Gabitov, Insafudinov et al. im Rahmen einer Methode zur Überwachung und Vorhersage von Maschinenausfällen vor, die auf der Grundlage aktueller Maschinenbetriebsdaten erfolgt [18].

Aspekte der Fahrndynamik von Traktoren im Feld hochautomatisierter Maschinen sind Gegenstand der Veröffentlichung von Stasewitsch, Schattenberg et al. Hierzu werden Einsatzgrenzen eines kinematischen Einspurmodells zur Pfadfolgeregelung untersucht. Diese werden mit den komplexeren Ansätzen dynamischer Modelle verglichen und in Feldtests an einem Fendt Vario 724 untersucht. Anhand der Untersuchungen werden Einsatzgrenzen hinsichtlich der Fahrgeschwindigkeit und des Lenkwinkels angegeben, für die in Abhängigkeit der untersuchten Einsatzbedingungen eine vertretbare Abweichung des kinematischen Modells gegenüber dem dynamischen Modell gegeben ist [19]. Ebenfalls mit der Pfadfolgeregelung unter fahrdynamischen Gesichtspunkten beschäftigen sich Xu, Chen et al. Untersuchungsgegenstand ist die Charakteristik eines elektro-hydraulischen Lenksystems und die geeignete Berücksichtigung im Rahmen einer Regelungsstrategie. Zur Anwendung kommt ein kaskadierter Algorithmus, bestehend aus modellprädiktiver Regelung (model predictive control), Gleitregimeregelung (sliding mode control), und PID-Regelung für die korrespondierenden Hierarchiestufen der Pfadfolge-, Lenkwinkel- und Lenkmomentregelung. Untersucht wird der vorgeschlagene Algorithmus in Simulationen und Hardware in the Loop Tests [20].

Fahrsicherheit

Aktuelle Untersuchungen bezüglich auftretender Unfälle und Unfallursachen verdeutlichen, dass der landwirtschaftliche Bereich mit seinen zum Teil rauen und schwer einzuschätzenden Umweltbedingungen ein erhöhtes Risiko für Personen, Material und Umwelt darstellt und ein unveränderter, wenn nicht zunehmender Entwicklungsbedarf nach sicherheitstechnischen Maßnahmen und Einrichtungen auf Organisations-, Einsatz- sowie Maschinen- und Personenebene gegeben ist.

Den Zusammenhang zwischen Personenalter und einer Häufung von Unfällen im landwirtschaftlichen Sektor untersuchen Faust, Castell et al. Probandenversuche in einem realitätsnahen Traktorsimulator zeigen eine deutlich erhöhte Reaktionszeit bei älteren Probanden [21]. Niu, Li et al. veröffentlichen Untersuchungen zu Einflussfaktoren für unsicheres Fahrverhalten von LKW-Fahrern. Die Analysen unter Zuhilfenahme der Methoden maschinellen Lernens decken hier Korrelationen und individuelle Risikofaktoren auf und beziehen insbesondere auch

organisationstechnische und soziale Aspekte mit ein [22]. Die Erkenntnisse und Diskussionsansätze sind für den landwirtschaftlichen Bereich im Rahmen der Unfallprävention ebenfalls relevant.

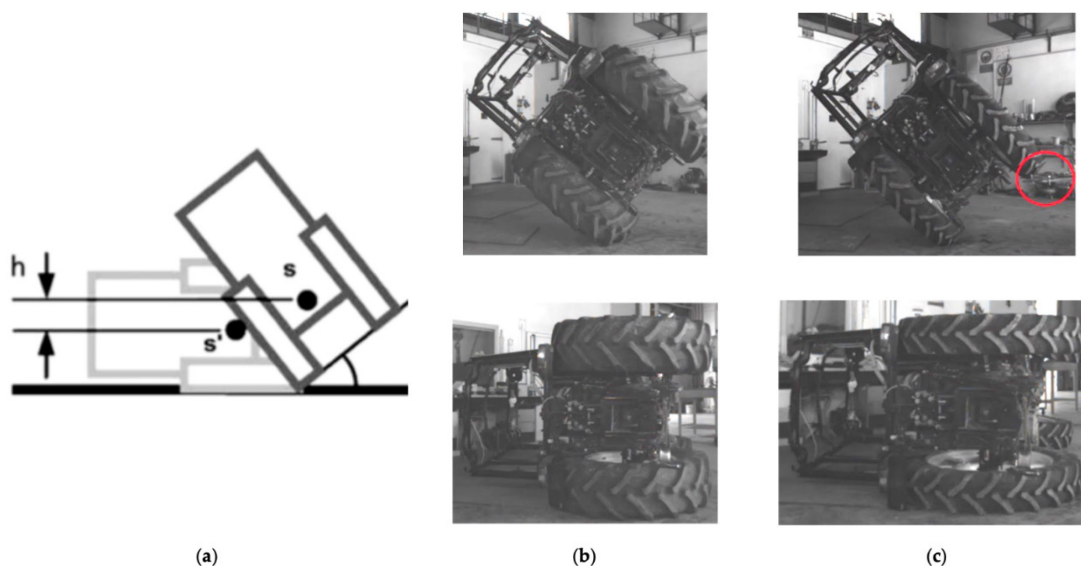


Bild 2: Seitlicher Überschlag des Traktors auf eine horizontale Fläche: (a) Schematische Darstellung, mit s und s' als Ausgangs- und Endlage des Massenschwerpunkts; Versuchsfahrzeug in T1 (b) und T2 (c) Konfiguration [23]

Figure 2: Lateral tractor rollover onto a horizontal surface: (a) Schematic representation where s, s' indicate the COG initial and rest positions respectively; actual tested tractor in T1 (b) and T2 (c) configuration [23]

Überschläge stellen nach wie vor besonders kritische Unfallereignisse dar. In diesem Zusammenhang untersuchen Khorsandi, Ayers et al. einen Querschnitt an Maßnahmen und Technologien zur Vermeidung von Überschlägen sowie auch Bedienerschutzeinrichtungen und Informationssystemen zur Benachrichtigung von Ersthelfern im Off-Road Bereich [24]. Effektive Bedienerschutzeinrichtungen zur Vermeidung tödlicher Unfälle stellen in diesem Zusammenhang Überrollschutzsysteme (roll over protective structures - ROPS) dar. Das Energieabsorptionsvermögen des mit Dämpfungsblöcken montierten ROPS eines Schmalspurtraktors mit unterschiedlichen Radkonfigurationen untersuchen Capacci et al. Repräsentiert werden die Traktortypen T1 und T2 der EU-Verordnung 167/2013/EU mit der Reifengröße 420/70R30 in T1-Konfiguration und 270/95R36 in T2-Konfiguration auf der Hinterachse. Im Rahmen der Untersuchungen wurde der Versuchstraktor quasi-statisch zum Kippen gebracht. Die umgewandelte Energie ergibt sich aus der Traktormasse und der Höhenänderung des Massenschwerpunkts beim Überschlag (s. **Bild 2 a**). Die Kräfte und Verformungen des ROPS wurden an der Kontaktzone des Aufpralls erfasst. Die Überschlagsversuche (vgl. Bild 2) zeigen eine negative Auswirkung der schmalen Räder, sowohl bezüglich der Aufprallenergie (durch einen höherliegenden Massenschwerpunkt), als auch bezüglich der Energiedissipation in den Reifen, was

zu einem erhöhten Anteil der Aufprallenergie für den Überrollschutz führt. Die Autoren schlagen vor, den Einfluss von Dämpfungsblöcken und Reifenkonfigurationen bei Überschlagsmodellen und dem Design von ROPS mit zu berücksichtigen, zum Teil veraltete Testszenarien zu überarbeiten und kritische Fahrzeugkonfigurationen im Rahmen von Zertifizierungen zu berücksichtigen [23].

Das Ziel, Überschlagssituationen nachzubilden, Mechanismen zu identifizieren und das Verhalten fahrzeugführender Personen zu untersuchen, verfolgen Watanabe und Sakai mit der Entwicklung eines Fahrsimulators. Der Fahrsimulator ist auf der Basis von CarSim und MATLAB/Simulink aufgebaut und umfasst einen hydraulischen Shaker mit 6 Freiheitsgraden sowie weitere Peripheriegeräte als Benutzerschnittstelle. Fokus des Simulators ist die Abbildung von Überschlags- und Kippszenarien verursacht durch niedrige Radaufstands- und Seitenführungskräfte rutschender und springender Reifen. Abgebildet wird das Szenario eines tatsächlichen Traktorunfalls in Japan bei der Befahrung eines steilen Kurvenstücks als Übergang zwischen einem Reisfeld und einem Wirtschaftsweg (s. **Bild 3**) [25].

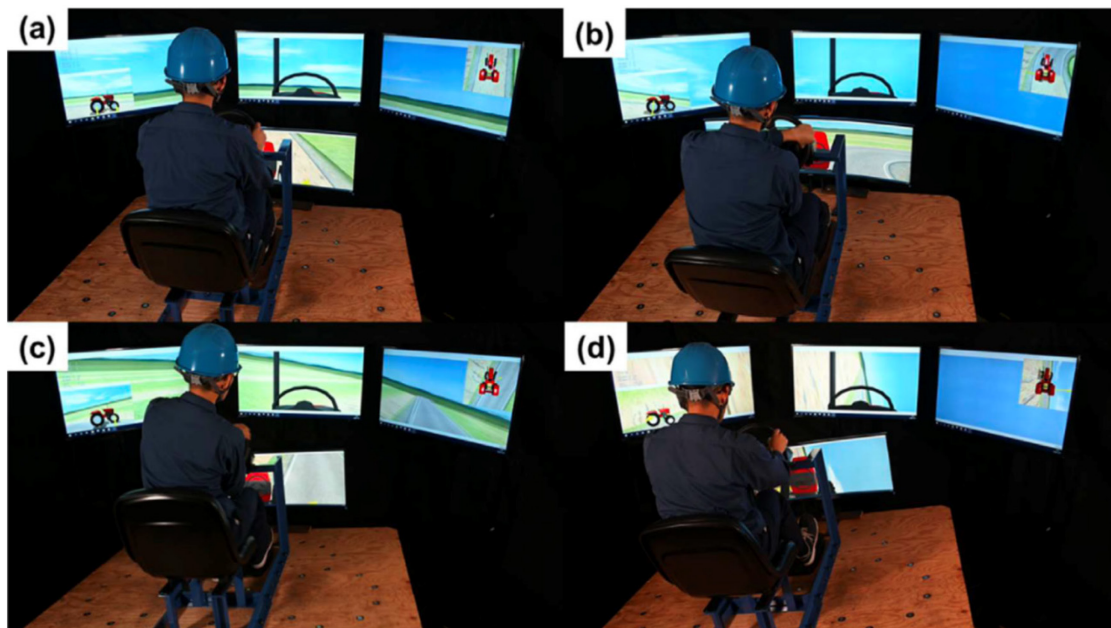


Bild 3: Verhalten des Simulators bei der Simulation eines umkippenden Traktors. (a): Traktor vor dem steilen Übergangsweg; (b): Traktor bei Auffahrt auf den Übergangsweg; (c): Rutschen des Traktors; (d) Sturz des Traktors von der Straße [25]

Figure 3: Behaviour of the motion system during the simulation of tractor overturning. (a): Tractor before entering the passage slope; (b): Tractor enters into the passage slope; (c): Sliding occurrence; (d) Tractor fall from the road [25]

Im Rahmen einer weiteren Veröffentlichung untersuchen Watanabe und Sakai die als Power-Hop bezeichnete Instabilität – eine selbsterregte Schwingung, die sich durch das Springen der vorderen Traktorreifen äußert und vorrangig bei 4WD-Traktoren unter hohen Zuglasten auf

trockenem Untergrund auftritt. Das implementierte Zeitdomänenmodell beschreibt das vertikale Reifenspringen, Stick-Slip-Effekte sowie das Gelenkspiel zwischen Traktor und Anbaugerät. Das Modell kann die Charakteristika vorausgegangener Feldexperimente in Parameterstudien reproduzieren. Mit Hilfe des entworfenen Modells soll laut den Autoren eine weitergehende Untersuchung von Power-Hops möglich sein, um zukünftig Vermeidungs- und Regelungsstrategien zu entwickeln [26]. Einen analytischen Ansatz zur Abschätzung der statischen und dynamischen Kippstabilität landwirtschaftlicher Fahrzeuge stellen Petrović, Cerović et al. vor. Berechnet und anhand skaliertes Modellversuche verifiziert werden maximale Geländesteigungen ideal ebener Untergründe, für die in Abhängigkeit verschiedener Geschwindigkeiten und Kurvenradien ein Überschlag vermieden werden kann [27]. Mit der Neigung zum seitlichen Kippen beschäftigen sich ebenfalls Song, Zhang et al. im Rahmen von numerischen Parameterstudien am Beispiel eines Mähdreschers bei kurzen Straßenfahrten [28].

Um die Verletzung von Personen und Materialschäden zu vermeiden, die im Falle eines Überschlags unweigerlich entstehen, stellen Qin, Wu et al. einen aktiven Ansatz zur Fahrzeugstabilisierung vor. Hierzu entwickeln die Autoren ein nichtlineares zeitvariables Modell, mit welchem die Kipp- bzw. Rolldynamik von Traktoren beschrieben werden kann. Als Intervention werden sowohl ein geregeltes Schwungrad als auch ein aktiver Lenkassistent verwendet. Die Umsetzbarkeit des Regelalgorithmus und der Stabilitätskriterien wird anhand von Simulationen und skalierten Versuchen überprüft. Die Erkenntnisse sollen laut den Autoren als Ansatz zur Stabilisierung für zukünftige Robotersysteme und Straßenfahrzeuge genutzt werden [29].

Weitere Gefährdungen gehen für maschinenführende Personen von hör- und spürbaren Maschinenschwingungen aus (noise, vibration, harshness - NVH). Diese stellen je nach Expositionsdauer und -stärke sowohl Komfortbeeinträchtigungen als auch Gesundheitsgefährdungen dar. Zur Bewertung der Exposition bezogen auf einen 8-Stunden-Arbeitstag kommt häufig die Methode nach ISO 2631-1 [30] zur Anwendung. Im Rahmen der ISO 2631-5 [31] werden zwei verschiedene weitere Methoden in Abhängigkeit von der Expositionscharakteristik definiert, wodurch die Wahrscheinlichkeit chronischer Erkrankungen abgeschätzt werden soll. De la Hoz Torres et al. führen einen Vergleich der beiden genannten Normen durch und kritisieren in diesem Zusammenhang eine unzureichende Abstimmung dieser sowie eine zu geringe Basis an Studien bezüglich der Anwendung und Durchführbarkeit. Vor diesem Hintergrund schlagen die Autoren eine neue Methode vor, um insbesondere auch die Exposition und vorhandene Risiken während des gesamten Berufslebens zu evaluieren. Die Methode wird beispielhaft auf eine Fallstudie angewendet, um den realen Einsatz zu demonstrieren. Untersucht wurden Traktorfahrten (Class II Category A - 78/764/EEC) in einem Geschwindigkeitsbereich von 5-25 km/h im Gelände, auf unbefestigten Straßen sowie asphaltierten Straßen [32].

NVH-Phänomene können verschiedene Ursachen haben. Eine Untersuchung und Modellierung von Schallemissionen im Antriebsstrang von Traktorzapfwellen deckt Kollisionen durch Verzahnungstoleranzen als Quelle von Geräuschemissionen auf. Zur Vorhersage der Schallabstrahlung wurden eine 1D-Simulation erstellt sowie Versuche durchgeführt. Dadurch konnte gezeigt werden, dass sich das dynamische Verhalten und die Geräuschemissionen mit veränderter Drehzahl des Antriebsstrangs ändern. Hierbei wurde ein sprunghaft verändertes

Verhalten, mit einer Verringerung der Schallabstrahlung um ca. 10,9 dB(A), in einem spezifischen Drehzahlbereich bei höher werdender Drehzahl identifiziert [33].

Die zunehmende Ausstattung von Traktoren mit Vorderachsfederungen zur Schwingungsdämpfung des Fahrzeugaufbaus treibt auch Neuentwicklungen entsprechender Feder-Dämpfer-Aggregate voran, die für einen möglichst großen Einsatzbereich konzipiert sind und den Fahrkomfort erhöhen sollen. Janoschek und Hillesheim stellen ein hydropneumatisches Federungssystem für Traktorvorderachsen mit regelbarem Ringraumdruck vor. Das Aggregat des Unternehmens Freudenberg Sealing Technologies wird aktuell mit zwei Ringraumdruckstufen angeboten und kann so in Abhängigkeit der auftretenden Achslasten die Federrate variieren und so den verfügbaren Federweg anpassen. Ein Aggregat mit individuell durch die bedienende Person einstellbarem Ringraumdruck befindet sich in der Testphase [34].

Im Rahmen einer Dissertation wird das Verhalten eines vollgefederten Systemtraktors mit semi-aktiver hydropneumatischer Federung in Kombination mit einem über den Heckkraftheber gekoppelten Anbaugerät untersucht. Sieting untersucht den Einfluss des Federungssystems auf das vertikaldynamische Verhalten des Fahrzeugs, die Auswirkung auf Fahrsicherheit und Fahrkomfort, die Systemdynamik unter Einsatz eines Anbaupflugs sowie die Beeinflussbarkeit der Fahrzeugschwingungen mittels gekoppelter Sky-Hook-Regelalgorithmen. Unter anderem wird ein Mehrkörpersimulationsmodell des vollgefederten Traktors als Einspurmodell aufgebaut, parametrisiert und für Untersuchungen verwendet. Vergleichend werden Versuche am Realfahrzeug auf einer 4-Stempel-Hydropulser-Anlage durchgeführt. Der spezielle Fahrzeugaufbau wird für die tiefe Bodenbearbeitung durch eine ungünstige Rückwirkung des Anbaugeräts auf den Fahrzeugaufbau als ungeeignet eingeschätzt. Mögliche Potentiale ergeben sich jedoch für den Einsatz von Anbaugeräten, die keine starken vertikaldynamischen Reaktionskräfte hervorrufen. In Simulationen wird dazu das mögliche Potential zur Tilgung von Nickschwingungen mit einem erweiterten Regelungsansatz unter Einbeziehung des Heckkrafthebers aufgezeigt [35].

Weitere Potentiale der Regelung von Federungssystemen ergeben sich durch das Einbeziehen der Fahrbahnunebenheiten in die Regelungsstrategie. Hamersma und Els entwerfen zu diesem Zweck einen modellbasierten Ansatz zur Abschätzung auftretender Federungsreaktionskräfte unter Verwendung von a priori Wissen über die Fahrbahnunebenheiten am Beispiel eines Off-Road Fahrzeugs mit dem Ziel, Auswirkungen geänderter Feder-Dämpfer-Einstellungen abzuschätzen. Untersuchungen werden in Simulationen an einem linearen Viertelfahrzeugmodell, einem nicht-linearen Vollfahrzeugmodell sowie in Experimenten mit konstanter Fahrgeschwindigkeit durchgeführt [36].

Fahrerplatz

Im Umfeld des Fahrerplatzes und der Fahrerplatzgestaltung wird die Implementierung hochautomatisierter Systeme sowie autonomer Ansätze weiter vorbereitet und fortgeführt. Jedoch werden auch notwendige Zwischenschritte vollzogen. Übergänge zwischen der Fahrerplatzgestaltung, der Prozessoptimierung und der Fahrsicherheit sind hierbei fließend.

Ein besonderes Augenmerk liegt in der Verortung, Umgebungswahrnehmung und Gefahrenerkennung. Die als 3D-Terrain-Mapping vorgestellte Methode soll zur Hinderniserkennung dienen und mittels Oberflächenscans die Umgebungs- und Untergrundstruktur erfassen. Aufgenommen werden 3D-Punktwolken mittels Stereo-Kameras, Radar und Lidar-Sensoren, die anschließend mit Machine-Learning- und Deep-Learning-Algorithmen aufbereitet werden. In diesem Zusammenhang geht es um Gefahrenerkennung, Kollisionsvermeidung sowie die Ableitung von Befahrbarkeits- und Durchführbarkeitsanalysen. Als ein mögliches Einsatzfeld im landwirtschaftlichen Bereich wird von den Autoren die Detektion eines Schwads beim Ballenpressen genannt. Mit der vorgestellten Methode können unabhängig von GNSS-Systemen automatisierte Fahraufgaben ermöglicht werden und sie können z. B. auch in besonderen Umgebungen wie Hanglagen zum Einsatz kommen [37]. Ein weiteres Multi-Sensor-System der Bosch Engineering GmbH besteht aus einer Radareinheit, Ultraschallsensoren sowie einem 360°-Kamerasystem. Das aktuell für Prototypingzwecke angebotene System soll fahrende Personen im Off-Highwaybereich durch eine Objekterkennung und Visualisierung sowie die Überwachung verschiedener Peripheriebereiche wie z. B. toter Winkel unterstützen [38; 39]. Eine Methode zur möglichst objektiven Auswahl geeigneter Sensoren oder Sensorkombinationen im Kontext von Objekt- und Hinderniserkennungen stellen Lee, Schätzle und Lang vor. Die technische Performanz (messbare Kernkriterien zur Erfüllung von Anforderungen und Zielen) sowie die Detektionszuverlässigkeit werden als Auswahlkriterien exemplarisch auf den Einsatzbereich eines autonomen Rasenmähers angewendet [40].

Möscher stellt einen Anbaugerätefeldhäcksler der Firma Krone und ein damit im Zusammenhang stehendes Assistenzsystem vor. Anbaugerätefeldhäcksler haben gegenüber konventionellen Feldhäckslern das Problem eines eingeschränkten Sichtfeldes. Dieses wird durch Kameras und Displays bzw. ein Head-Mounted-Display erweitert, um so die Nachteile gegenüber selbstfahrenden Feldhäckslern zu minimieren und Anbaugerätefeldhäcksler für den Nischen-einsatz attraktiver zu machen [41]. Ein bereits 2019 auf der LAND.TECHNIK AgEng Konferenz in Hannover vorgestelltes Konzept [42] ist eine radarbasierte Anstiegserkennung mit daraufhin abgestimmter Fahrstrategie [43].

Automatisierungslösungen und Assistenzsysteme werden auch eingesetzt, um den zunehmenden Mangel qualifizierter Arbeitskräfte zu kompensieren. Zur Evaluierung eines visuellen Assistenzsystems beim Speicher-Entladen einer Erntemaschine werden mit erfahrenen sowie unerfahrenen Personen Versuche mit und ohne Assistenzsystem durchgeführt. Die Auswertung der Aufzeichnungen von Eye-Tracking Brillen in Kombination mit NASA TLX Fragebögen konnte zeigen, dass durch den Einsatz eines Assistenzsystems eine stärkere Fokussierung auf den eigentlichen Aufgabeninhalt bei einer Verringerung der Nutzerbeanspruchung sowohl für erfahrene als auch unerfahrene Nutzer erreicht werden konnte. Gleichzeitig konnten ungünstige Körperhaltungen minimiert werden, die sich zum Beispiel durch ein Zurückdrehen der fahrenden Personen beim Blick durch das Heckfenster ergeben. Darüber hinaus konnte eine starke Korrelation der Nutzerbeanspruchung mit einem häufigen Blick durch das Heckfenster der Erntemaschine identifiziert werden. Beides konnte durch den Einsatz des Assistenzsys-

tems reduziert werden [44]. Ebenfalls mit Eye-Tracking Metriken in Bezug auf die Arbeitsbelastung beim Ausführen sekundärer Aufgaben während des Fahrzeugführens beschäftigen sich Bitkina, Park et al. [45].

Assistenzsysteme wie das CEMOS-System von Claas zielen ebenfalls darauf ab, die Komplexität für fahrzeugführende Personen in verschiedenen Szenarios zu reduzieren und bei der Wahl geeigneter Maschinenkonfigurationen zu unterstützen. Ehlert stellt in diesem Zusammenhang die überarbeitete Softwarestruktur sowie die Mobilgerätenwendung Claas connect app vor [46]. Eine Integration des Bodenverdichtungswarnsystems TERRANIMO in das Assistenzsystem CEMOS nehmen Birkmann, Wieckhorst et al. vor. TERRANIMO ist ein webbasiertes Werkzeug zur Berechnung des Bodenverdichtungsrisikos, anwendbar für Traktorreifen und Raupenfahrwerke. Zur Anwendung kommt ein Approximationsansatz zur Berechnung der Spannungsverteilung im Boden. Diese wird mit der Lastaufnahmefähigkeit des Bodens verglichen, um das Risiko der Bodenverdichtung abzuschätzen. Berechnungsdaten und Benutzereingaben werden aus dem CEMOS System übernommen und an die Berechnung zur Abschätzung des Bodenverdichtungsrisikos übergeben. Benutzereingaben zu Bodenparametern werden dazu intern geeignet quantifiziert. Das Berechnungsergebnis des Bodenverdichtungsrisikos wird der maschinenführenden Person direkt in drei verschiedenen Tiefenschichten angezeigt (s. **Bild 4**) [47].

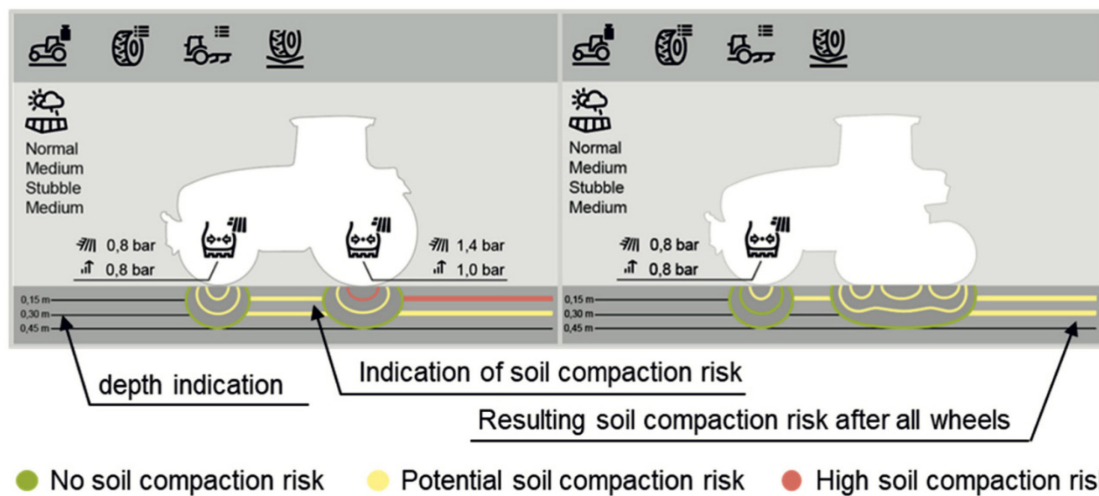


Bild 4: CEMOS Anzeige des Bodenverdichtungsrisikos für Traktoren mit Reifen und Raupenlaufwerken [47]

Figure 4: CEMOS illustrations to indicate the soil compaction risk for wheel tractors and for half-track tractors [47]

Assistenzsysteme und Systemkonzepte dienen jedoch zunehmend nicht nur zur Einstellung und Überwachung der Parameter einer einzelnen, isoliert betrachteten Maschine, sondern kommen im Rahmen der Parametereinstellung und Überwachung ganzer Maschinenverbände zum Einsatz. Diese Verbände sollen dabei kollaborativ und möglichst effizient gemeinsame Aufgabenstellungen verfolgen. Dies ist für hochautomatisierte und autonome Maschinen

gleichermaßen essenziell. Ein wichtiges Element ist in diesem Zusammenhang die Kommunikation und Aufgabennachverfolgung. Ein Ansatz wird durch das AEF Projektteam Wireless In-Field Communication (WIC) vorgestellt. Demonstrationsbeispiel ist eine von mehreren Maschineneinheiten gemeinsam genutzte und in Echtzeit aktualisierte Bearbeitungskarte, die die Information der einzelnen Task-Controller zusammenführt. Der Fokus liegt hier auf einem markenunabhängigen Kommunikationsprozess. Betrachtungsschwerpunkte sind unter anderem der kontinuierliche Datenaustausch sowie eine Synchronisation bei Verlust und Wiederaufnahme des Kommunikationskanals. Hierzu wurden erste Feldtests durchgeführt [48]. Eine Überwachung von Maschinenverbänden wird künftig nicht nur aus einer fahrenden Maschine heraus erfolgen, sondern im Rahmen der Überwachung autonomer Systeme auch entkoppelt von diesen. Kissel, Tarasinski et al. stellen im Zusammenhang mit einer vollelektrischen Traktoreinheit zur Energieversorgung eines Maschinenverbands im Zuge des Projekts GridCon2 eine separierbare Fahrerkabine vor, die zum Manövrieren der vollelektrischen Einheit außerhalb der Einsatzszenarien dienen kann. Durch die eigenständige Energieversorgung kann die Kabine auch entkoppelt als eine Art mobiler Leitstand zur Überwachung des Maschinenverbands genutzt werden [49]. Einen Diskussionsbeitrag zu Umsetzung und Voraussetzungen hochautomatisierter Arbeitsgeräte, als Vorstufe zur autonomen Bewirtschaftung, aus Sicht der Prozessautomatisierung liefern Röttgermann und Haverkamp [50].

Änderungen der Einsatzkonzepte im Kontext hochautomatisierter Maschinen und Maschinenverbände erfordern auch Anpassungen sowie Neudefinitionen der Aufgabenstruktur des Bedien- bzw. Überwachungspersonals sowie auch Ansätze zur gänzlichen Überarbeitung des Arbeitsplatzes. Eine zunehmende Systemkomplexität mit stärkeren Automatisierungsgraden befördert die Prozessintransparenz und ist problematisch für das Situationsbewusstsein. Lorenz kritisiert in diesem Zusammenhang, dass der Automatisierungsgrad und die Aufgabenteilung aktuell durch die technologischen Grenzen zu Lasten der bedienenden Personen bestimmt werden. Daraus ergibt sich unter anderem eine starke Unregelmäßigkeit der Überwachungsaufgaben und notwendiger Eingriffe sowie der allgemeine Rückgang direkter Eingriffs- und Steueraufgaben. Hierzu untersucht Lorenz systematisch Bediener szenarien, am Beispiel eines Bodenbearbeitungsprozesses, untergliedert diese und definiert eine Aufgabenstruktur im geänderten Arbeitsumfeld. Der Fokus liegt hier auf dem Wandel der Rolle maschinenführender Personen, den aufgabenbezogenen Tätigkeiten sowie deren Häufigkeit und Nutzerbeanspruchung der Mensch-Maschine-Interaktionen [51].

Im Rahmen des Projekts Fahrerkabine 4.0 mit einem Fokus auf adaptive Mensch-Maschine-Schnittstellen für Mähdrescher untersuchen Metzger, Lehr und Geimer aktuell Beanspruchungsgrade sowie Möglichkeiten beanspruchungsadaptiver Schnittstellen. Auf der Basis von Personenumfragen und CAN-Bus-Daten von Einsatzszenarien werden Belastungssituationen und Arbeitstätigkeiten ermittelt und quantifiziert. Die Analysen ergeben, dass Arbeitseinsätze geprägt sind von Situationen hoher Arbeitsbelastung einerseits und Bereichen der Unterforderung andererseits. Damit im Zusammenhang stehende Gefahren sind Unaufmerksamkeit und Ermüdung sowie eine Beeinträchtigung des Wohlbefindens. Künftiges Ziel ist es, Benutzerschnittstellen zu schaffen, die sowohl Überforderung als auch Unterforderungen vermeiden. Letzteres soll durch gezielte Aktivierung z. B. mittels unterstützender Handlungsempfehlungen

erfolgen. Ein notwendiger Aspekt ist in diesem Zusammenhang auch die Nutzerzustandserfassung [52].

Maßnahmen der Effizienz- und Leistungssteigerung müssen neben der Rolle des Menschen im System auch verstärkt Klima- und Umweltschutzaspekte berücksichtigen, um die damit in Verbindung stehenden Herausforderungen erfolgreich bearbeiten zu können, aber auch, um der damit in Verbindung stehenden Verantwortung gerecht zu werden und die sich bietenden Entwicklungschancen zu nutzen. Neben einem verstärkten Trend zur Teil- und Vollelektrifizierung gilt es, auch bislang ungenutzte Potentiale aufzudecken und zu nutzen. Diskussionsansätze in Bezug auf eine nachhaltige Implementierung autonomer agrartechnischer Maschinen sowie Ansätze einer nachhaltigeren Gestaltung von Maschinen und landwirtschaftlichen Prozessen liefern Holovač und Krzywinski [53].

Zusammenfassung

Optimierungen und Untersuchungen in den Bereichen Fahrndynamik, Fahrsicherheit und Fahrkomfort zielen darauf ab, Entwicklungs-, Bearbeitungs- und Prüfprozesse effizienter zu gestalten und durch das Einbringen eines tiefergehenden Systemverständnisses bislang ungenutzte Potentiale und Möglichkeiten zu erschließen. In diesem Zusammenhang spielen auch pragmatische Lösungen und die Erschließung von Nischenbereichen eine wichtige Rolle.

Darüber hinaus werden Versuche unternommen, um das Spannungsfeld zwischen erhöhter Systemkomplexität und -automatisierung, einer nutzerzentrierten, attraktiven und sicheren Arbeitsumgebung sowie einer klima- und umweltgerechten Entwicklung aufzulösen. Zukünftig sind hierfür jedoch zum Teil Perspektivwechsel und eine Revision vorhandener Optimierungskriterien notwendig.

Literatur

- [1] Saetti, M.; Mattetti, M.; Varani, M.; Lenzini, N.; Molari, G.: On the power demands of accessories on an agricultural tractor. *Biosystems Engineering* 206 (2021), S. 109-122.
- [2] Mattetti, M.; Varani, M.; Molari, G.; Fiorati, S.; Lenzini, N.: Feasibility study of an idling-stop device on agricultural tractors – LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: VDI-Berichte 2395, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 529-534.
- [3] Perozzi, D.; Mattetti, M.; Molari, G.; Sereni, E.: Methodology to analyse farm tractor idling time. *Biosystems Engineering* 148 (2016) H. 9, S. 81-89.
- [4] Molari, G.; Mattetti, M.; Lenzini, N.; Fiorati, S.: An updated methodology to analyse the idling of agricultural tractors. *Biosystems Engineering* 187 (2019) H. 9, S. 160-170.
- [5] Pegram, M. S.; Botha, T. R.; Els, P. S.: Full-field and point strain measurement via the inner surface of a rolling large lug tyre. *Journal of Terramechanics* 96 (2021), S. 11-22.
- [6] Schwehn, J.; Ernst, V.; Böttinger, S.: Eine praxisoptimierte Methodik zur Messung des Rollwiderstands von Traktorreifen. *LANDTECHNIK* (2021) 76 Nr. 4, S. 142-155.

- [7] He, R.; Sandu, C.; Shenvi, M. N.; Mousavi, H.; Carrillo, J.; Osorio, J. E.: Laboratory experimental study of tire tractive performance on soft soil: Towing mode, traction mode, and multi-pass effect. *Journal of Terramechanics* 95 (2021), S. 33-58.
- [8] Peiret, A.; Karpman, E.; Kovács, L. L.; Kövecses, J.; Holz, D.; Teichmann, M.: Modeling of off-road wheeled vehicles for real-time dynamic simulation. *Journal of Terramechanics* 97 (2021), S. 45-58.
- [9] Ettl, J.; Emberger, P.; Thuneke, K.; Remmele, E.: Praxisnahe Traktor-Fahrzyklen zur Ermittlung von Realemissionen. *ATZheavy duty* 15 (2022) H. 1, S. 10-15.
- [10] Schoerghuber, C.; Ortner, M.; Resel, M.; Schantl, R.; Puster, S.: Analysis of the tractor behavior on a powertrain test bed for tractor-specific maneuvers – LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: *VDI-Berichte 2395*, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 521-528.
- [11] Wen, C.; Xie, B.; Song, Z.; Yang, Z.; Dong, N.; Han, J.; Yang, Q.; Liu, J.: Methodology for designing tractor accelerated structure tests for an indoor drum-type test bench. *Biosystems Engineering* 205 (2021), S. 1-26.
- [12] Wang, Y.; Wang, L.; Zong, J.; Lv, D.; Wang, S.: Research on Loading Method of Tractor PTO Based on Dynamic Load Spectrum. *Agriculture* 11 (2021) H. 10, S. 982.
- [13] Yang, Z.; Song, Z.; Zhao, X.; Zhou, X.: Time-domain extrapolation method for tractor drive shaft loads in stationary operating conditions. *Biosystems Engineering* 210 (2021), S. 143-155.
- [14] Shao, X.; Song, Z.; Yin, Y.; Xie, B.; Liao, P.: Statistical distribution modelling and parameter identification of the dynamic stress spectrum of a tractor front driven axle. *Biosystems Engineering* 205 (2021), S. 152-163.
- [15] Bulgakov, V.; Nadykto, V.; Ivanovs, S.; Dukulis, I.: Improving the performance of a ploughing tractor by means of an auxiliary carriage with motorized axle. *Journal of Agricultural Engineering* 52 (2021) H. 1.
- [16] Soyly, S.; Çarman, K.: Fuzzy logic based automatic slip control system for agricultural tractors. *Journal of Terramechanics* 95 (2021), S. 25-32.
- [17] Nataraj, E.; Sarkar, P.; Raheman, H.; Upadhyay, G.: Embedded digital display and warning system of velocity ratio and wheel slip for tractor operated active tillage implements. *Journal of Terramechanics* 97 (2021), S. 35-43.
- [18] Gabitov, I.; Insafuddinov, S.; Kharisov, D.; Gaysin, E.; Farhutdinov, T.: Diagnostic method and device for evaluating and forecasting the technical condition of farm machinery in operation. *Journal of Agricultural Engineering* 52 (2021) H. 4.
- [19] Stasewitsch, I.; Schattenberg, J.; Frerichs, L.: Scope of application of a kinematic model for path tracking control. In: Technische Hochschule Köln; University of Wroclaw (Hrsg.): *7th International Conference on Machine Control and Guidance – Machine Control & Guidance Proceedings*, Köln 2021, S. 92-100.

- [20] Xu, G.; Chen, M.; He, X.; Pang, H.; Miao, H.; Cui, P.; Wang, W.; Diao, P.: Path following control of tractor with an electro-hydraulic coupling steering system: Layered multi-loop robust control architecture. *Biosystems Engineering* 209 (2021), S. 282-299.
- [21] Faust, K.; Casteel, C.; McGehee, D. V.; Peek-Asa, C.; Rohlman, D.; Ramirez, M. R.: Examining the Association Between Age and Tractor Driving Performance Measures Using a High-Fidelity Tractor Driving Simulator. *Journal of agricultural safety and health* 27 (2021) H. 3, S. 159-175.
- [22] Niu, Y.; Li, Z.; Fan, Y.: Analysis of truck drivers' unsafe driving behaviors using four machine learning methods. *International Journal of Industrial Ergonomics* 86 (2021) H. 15, S. 103192.
- [23] Capacci, E.; Franceschetti, B.; Guzzomi, A.; Rondelli, V.: Energy Absorption in Actual Tractor Rollovers with Different Tire Configurations. *International journal of environmental research and public health* 18 (2021) H. 12.
- [24] Khorsandi, F.; Ayers, P. D.; Myers, M. L.; Oesch, S.; White, D. J.: Engineering Control Technologies to Protect Operators in Agricultural All-Terrain Vehicle Rollovers. *Journal of agricultural safety and health* 27 (2021) H. 3, S. 177-201.
- [25] Watanabe, M.; Sakai, K.: Identifying tractor overturning scenarios using a driving simulator with a motion system. *Biosystems Engineering* 210 (2021), S. 261-270.
- [26] Watanabe, M.; Sakai, K.: Novel power hop model for an agricultural tractor with coupling bouncing, stick-slip, and free-play dynamics. *Biosystems Engineering* 204 (2021), S. 156-169.
- [27] Petrović, D. V.; Cerović, V. B.; Radojević, R. L.; Mileusnić, Z. I.: An approach to characterization of the agricultural self-propelled machines stability. *Journal of Terramechanics* 93 (2021), S. 51-63.
- [28] Song, Y.; Zhang, X.; Wang, W.: Rollover dynamics modelling and analysis of self-propelled combine harvester. *Biosystems Engineering* 209 (2021), S. 271-281.
- [29] Qin, J.; Wu, A.; Song, Z.; He, Z.; Suh, C. S.; Zhu, Z.; Li, Z.: Recovering tractor stability from an intensive rollover with a momentum flywheel and active steering: System formulation and scale-model verification. *Computers and Electronics in Agriculture* 190 (2021) H. 2, S. 106458.
- [30] International Organisation for Standardization: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General Requirements. ISO 2631-1, 1997.
- [31] International Organisation for Standardization: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks. ISO 2631-5, 2018.
- [32] de la Hoz-Torres, M. L.; Aguilar, A. J.; Martínez-Aires, M. D.; Ruiz, D. P.: A methodology for assessment of long-term exposure to whole-body vibrations in vehicle drivers to propose preventive safety measures. *Journal of safety research* 78 (2021), S. 47-58.

- [33] Choi, C.; Ahn, H.; Park, Y.; Kim, S.; Yu, J.: Dynamic behavior of an agricultural power take-off driveline for rattle noise reduction: Part 1. Effect of spline tolerance on the power take-off rattle noise. *Journal of Terramechanics* 98 (2021), S. 7-14.
- [34] Janoschek, P.; Hillesheim, T.: Modulares Federungssystem für Traktoren. *ATZheavy duty* 15 (2022) H. 1, S. 18-23.
- [35] Sieting, M.: Untersuchungen zum dynamischen Verhalten vollgefederter System-Traktoren in Kombination mit am gefederten Aufbau angekoppelten Anbaugeräten und die Möglichkeiten der Schwingungsbeeinflussung durch das Fahrwerk. Dissertation, 25.02.2022, Technische Universität Berlin, Institut für Maschinenkonstruktion und Systemtechnik - Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen.
- [36] Hamersma, H. A.; Els, P. S.: Vehicle suspension force and road profile prediction on undulating roads. *Vehicle System Dynamics* 59 (2021) H. 10, S. 1616-1642.
- [37] Astor, C.; Hirsch, K.; Pfeifer, L.: Steigende Funktionalität in Land- und Baumaschinen. *ATZheavy duty* 14 (2021) H. 2, S. 46-51.
- [38] Wesle-Zehetmair, M.; Engelhart, C.; Marbach, C.: Innovative surround sensing conquers the agricultural market! Vision System - a pioneering sensor system for diverse use – LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: VDI-Berichte 2395, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 171-175.
- [39] Wesle-Zehetmair, M.; Marbach, C.; Engelhart, C.: Systeme und Sensoren für Assistenzfunktionen. *ATZheavy duty* 14 (2021) H. 4, S. 52-55.
- [40] Lee, C. J.; Schätzle, S.; Lang, S. A.: Evaluation of perception sensors for safety of highly automated machine operations – LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: VDI-Berichte 2395, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 163-170.
- [41] Mösker, M.: Current Developments and Challenges in the Range of Tractor Mounted Forage Harvesters – LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: VDI-Berichte 2395, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 465-471.
- [42] Birk, M.; Volpert, B. und Auer, M.: Predictive driving strategy for radar-based slope detection in tractors. *LAND.TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations*. In: VDI-Berichte 2361, Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 179–186.
- [43] Traub, S.; Birk, M.; Volpert, B.; Auer, M.: Umsetzung einer prädiktiven Fahrstrategie durch radarbasierte Steigungserkennung in Traktoren. *LANDTECHNIK* 76 (2021) H. 3, S. 113-123.
- [44] Buchaca, R.; Langer, T.: Quantification of operator assist features impact on grain cart operation – LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: VDI-Berichte 2395, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 227-233.
- [45] Bitkina, O. V.; Park, J.; Kim, H. K.: The ability of eye-tracking metrics to classify and predict the perceived driving workload. *International Journal of Industrial Ergonomics* 86 (2021) H. 4, S. 103193.
- [46] Ehlert, Y.: A Modular Approach for a Dialog Based Assistance System to Adjust and Optimize Machines and Machine Combinations for Different Agricultural Applications –

- LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: VDI-Berichte 2395, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 273-277.
- [47] Birkmann, C.; Wieckhorst, J.; Pieper, J.; Ehlert, C.; Stirnimann, R.; Stettler, M.: The Integration of a Scientific Soil Compaction Risk Indicator (TERRANIMO) into a Holistic Tractor and Implement Optimization System (CEMOS) – LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: VDI-Berichte 2395, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 29-35.
- [48] Rothmund, M.; Witte, J.; Wolniak, N.; Nothdurft, T.: AEF Wireless In-Field Communication – Common Coverage Map as a first application for interoperable cooperative field work – LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: VDI-Berichte 2395, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 397-403.
- [49] Kissel, M.; Tarasinski, N.; Klein, A.; Kegel, V.; Moraes Boos, F. de: Fully electric Tractor with 1000 kWh battery capacity – LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: VDI-Berichte 2395, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 23-28.
- [50] Röttgermann, S.; Haverkamp, S.: Fundamental Concept for Highly Automated Implements with Distinct Regard To Process Automation – LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: VDI-Berichte 2395, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 359-364.
- [51] Lorenz, S.: Machine operation task analysis. A deeper look into the shift of task profiles within operating agricultural cyber-physical production systems – LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: VDI-Berichte 2395, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 473-484.
- [52] Metzger, S.; Lehr, P.; Geimer, M.: Beanspruchungsadaptive Nutzerschnittstelle für die vernetzte Landwirtschaft. ATZheavy duty 15 (2022) H. 1, S. 48-52.
- [53] Holovac, M.; Krzywinski, J.: Aspects of sustainability improvement in the design of future agricultural systems – LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: VDI-Berichte 2395, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 203-218.

Autorendaten

M. Sc. Conrad Klose 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

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Klose, Conrad; Meyer, Henning Jürgen: Fahrdynamik – Fahrsicherheit – Fahrerplatz. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-18

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030949-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/fahrsicherheit.html>

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

Bodenbearbeitungstechnik

Thomas Herlitzius, Martin Hengst, Tim Bögel, Sören Geißler, Stefan Schwede

Kurzfassung

In der öffentlichen und politischen Diskussion bleibt die Landwirtschaft präsent. Im Rahmen der Farm to Fork- und der Biodiversitätsstrategie der Europäischen Union sollen der Pflanzenschutzmitteleinsatz reduziert, der Düngereinsatz effizienter sowie die Freisetzung von im Boden gebundenem CO₂ vermieden werden [1]. Eine zentrale Rolle kommt dabei der Bodenbearbeitung zu. Erosionsminderung, mechanische Unkrautregulierung sowie ein zielgerichtetes Zwischenfruchtmanagement stellen die Entwicklungsziele für die Bodenbearbeitungstechnik dar. Neben der exakten, ultraflachen Bearbeitung sind neue Maschinenkonzepte durch Kombination von Verfahren und der Elektrifizierung von Traktionselementen Trends. Hochautomatisierte und teilautonome Maschinen und Maschinensysteme für den Ackerbau geraten zunehmend ins Blickfeld. Derzeit liegt der Schwerpunkt dabei auf der mechanischen Unkrautregulierung, wobei sich das Anwendungsspektrum kontinuierlich auf weitere Bereiche ausdehnt.

Schlüsselwörter

Bodenbearbeitung, Bodenbearbeitungstechnik, mechanische Unkrautregulierung, Kombinierte Bodenbearbeitung, Feldroboter

Tillage

Thomas Herlitzius, Martin Hengst, Tim Bögel, Sören Geißler, Stefan Schwede

Abstract

Agriculture remains present in the public and political discussion. Within the framework of the farm to fork and biodiversity strategies of the European Union, the use of pesticides should be reduced, the use of fertilizers should be more efficient and the release of CO₂ bound in the soil should be avoided [1]. A central role is played by tillage. Erosion reduction, mechanical weed control and intercrop management are development goals for tillage technology. In addition to exact, ultra-flat tillage, new machine concepts based on the combination of processes and the electrification of traction elements represent trends. Highly automated and partly autonomous machines and machine systems for agricultural applications are increasingly gaining attention. Currently, the focus is on mechanical weed control, although the range of applications is continuously expanding to other areas.

Keywords

Tillage, tillage technology, mechanical weed control, combined tillage, field robotics

Allgemeine Entwicklung

Die Ausgangssituation für die Landwirte stellt sich durch die herausfordernden wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen, kombiniert mit niedrigen Schweinepreisen und deutlich gestiegenen Betriebsmittelpreisen schwierig dar. Zudem sind die Landwirte aufgrund des Politikwechsels in Berlin besorgt. Trotz dieser Situation planen laut des Konjunkturbarometers Agrar 20 % der Landwirte, bis Erntebeginn neue Maschinen und Geräte anzuschaffen. [2]

Durch die genannte Investitionsbereitschaft erreichte die Landtechnikindustrie im Jahr 2021 ein Rekordergebnis. Mit einer Umsatzsteigerung von 16 % erreichten die in Deutschland produzierenden Landtechnikhersteller mit 10,5 Mrd. € einen neuen Umsatzrekord. Im aktuellen Jahr wird auch durch Nachholeffekte der Corona-Pandemie mit einer weiteren Umsatzsteigerung gerechnet [3]. Durch den weiterhin prognostizierten Mehraufwand in der Bodenbearbeitung durch mechanische Unkrautregulierung ist auch in diesem Bereich mit einem Zuwachs zu rechnen.

Mit dem Ziel einer nachhaltigen Intensivierung der Landwirtschaft rücken alternative Pflanzbausysteme und Verfahrenskombinationen zunehmend in den Fokus von Untersuchungen. Ein Beispiel dafür ist das Spot-Farming [4] oder Patchanbau [5; 6]. Hier werden die teilflächenspezifischen Eigenschaften der Anbaufläche in den Mittelpunkt der Pflanzenbaustrategie gestellt. Für den dadurch entstehenden kleinstrukturierten Ackerbau sind neue Maschinensysteme und -konzepte notwendig. Ein Lösungsansatz ist dabei der Einsatz von autonomen Feldrobotern mit Arbeitsbreiten kleiner oder gleich 3 m.

Grundbodenbearbeitung

Das Leibnitz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. greift im Forschungsprojekt „Krumensenke“ die Idee der partiellen Krumenvertiefung auf [7]. Die partielle Krumenvertiefung wurde bereits in der DDR in den 1960er und 1980er Jahren untersucht. Schwerpunkt war damals die Ertragssteigerung auf verdichtungsempfindlichen, humusarmen Sandböden, indem Verdichtungen streifenweise aufgebrochen und mit humushaltigem Oberboden verfüllt werden. Mit dem Verfahren wurde auf den Versuchsflächen ein durchschnittlicher Mehrertrag von $3 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ Getreide erzielt [8]. Im aktuell noch laufenden Projekt wird an die Untersuchungen angeknüpft mit dem zusätzlichen Fokus, humushaltigen Oberboden in einem gewissen Grad in tiefere Bodenschichten einzulagern und den im Humus gespeicherten Kohlenstoff und Stickstoff über lange Zeit zu binden. Umgekehrt reichert sich der an der Oberfläche befindliche Unterboden mit Humus an und steigert so den Gesamtvorrat im Boden. Nach 5 Jahren kann der Vorgang in diagonaler Richtung wiederholt werden. Für das Projekt wurde von der Firma Lemken ein Versuchsmuster mit speziellen Pflugkörpern entwickelt, bei dem sich tief arbeitende Pflugkörper mit Standard-Pflugkörpern abwechseln und auf diese Weise die Bodenkrume streifenweise vertiefen, siehe **Bild 1** [9]. Das Aufbrechen der Pflugsohle durch tiefer arbeitende Werkzeuge, wie dem Zweischichtpflug von Gassner, wird bereits auf dem Markt angeboten. Durch das Mischen der Bodenschichten unterscheidet sich das Konzept von bereits bekannten Geräten. Das Potenzial einer bleibenden Erhöhung des Humusgehalts wird unterschiedlich diskutiert und es gibt bisher wenig belastbare Zahlen dazu.



Bild 1: Lemken Carbon Farming Pflug [9]

Figure 1: Lemken carbon farming plough [9]

Dass der Pflug seine Bedeutung in der Landwirtschaft behält, zeigen auch die Markteinführungen von neuen Pflug-Modellen. Die bis zu 9-scharigen Aufsatteldrehpflüge Servo T 6000 der Firma Pöttinger [10] und Tyrok 400 der Firma Amazone [11] sind der 400 - 500 PS Traktorklasse zuzuordnen und setzen den Trend zu leistungsstarken Maschinen fort.

Das Aufbrechen und Lockern von Verdichtungszone im Boden stellt eine der Kernaufgaben der Grundbodenbearbeitung dar. Neben natürlichen Verdichtungsprozessen beeinflussen hohe Kontaktflächendrücke, durch das Befahren mit schweren Maschinen, die Lagerungsdichte des Bodens. Zur Agritechnica 2022 wurden gleich drei Systeme zur Vorhersage des Bodenverdichtungsrisikos mit der Silbermedaille prämiert [12]. Darunter waren das System TerraService der Firma Rauch (zusammen mit AgriCircle AG), das Terranimo System von Claas und das Compaction Prevention System (CPS) von Agtech. Die Systeme können teilflächenspezifisch das Risiko einer Verdichtung durch schwere Maschinen unter beispielsweise ungünstigen Witterungsbedingungen vorhersagen. Damit wird ein Hilfsmittel angeboten um abzuschätzen, zu welchem Zeitpunkt das Risiko von Schadverdichtungen hoch ist und keine Bodenbearbeitung oder Befahrung durchgeführt werden sollte.

Konservierende Boden- und Stoppelbearbeitung

Geräte mit Zinkenwerkzeugen

Bodenbearbeitungsgeräte werden von den Herstellern kontinuierlich auf den neuesten Stand gebracht. So zum Beispiel bringt Lemken den überarbeiteten Grubber Karat 10 auf den Markt [13]. Die angebotenen Werkzeuge reichen von der Grundboden- bis hin zur flachen Bodenbearbeitung. Die Firma Amazone stellt den für die flache Bodenbearbeitung neuen Flachgrubber Cobra vor [14]. Bemerkenswert sind die Verteilung der 220 mm breiten Gänsefußschare auf 6 Balken, um die Verstopfungsgefahr zu minimieren, und ein Strichabstand von nur 133 mm, um einen ganzflächigen Schnitt sicherzustellen. Der Trend der ultraflachen Bodenbearbeitung mit

Arbeitstiefen von wenigen Zentimetern wurde bereits in den letzten Ausgaben beschrieben und setzt sich weiter fort. So auch bei der Firma Knoche, die für die mechanische Beikrautregulierung den Knoche Ökogrubber in ihr Produktprogramm aufgenommen hat [15].

Geräte mit Scheibenwerkzeugen

Kurzscheibeneggen haben sich am Markt durch die große Flächenleistung bei geringem Zugkraftbedarf etabliert. Nahezu alle Hersteller bieten entsprechende Geräte mit Arbeitsbreiten bis zu 12 m an. Kettenscheibeneggen wurden bislang vorrangig durch die australische Firma Kelly angeboten und in Sachsen produziert. Neuerdings findet sich im Produktprogramm der Firma Fliegl [16] eine eigene Kettenscheibenegge und die Firma Dalbo hat ebenfalls eine Variante vorgestellt [17]. Charakteristisch ist die spezielle Verbindung von einzelnen Scheibenelementen zu Ketten. Die Ketten bilden zusammen eine Rautenform und werden über einen teleskopierbaren Rahmen gespannt, siehe **Bild 2**. Über das Eigengewicht der Ketten und zusätzlich montierbare Gewichte kann die Arbeitstiefe und Zerkleinerungswirkung eingestellt werden. Die Geräte werden als kostengünstig, leichtzügig und schlagkräftig beworben.



Bild 2: Fliegl Kettenscheibenegge KSE 680 [18]

Figure 2: Fliegl disc chain harrow KSE 680 [18]

Das Einsatzgebiet der Kettenscheibenegge ist die flache Bodenbearbeitung, wie zum Beispiel die Stoppelbearbeitung oder das Zerkleinern und Einarbeiten von Zwischenfrüchten. Hier wurden Kettenscheibeneggen als sehr verstopfungsunempfindlich bewertet. Ebenso können in Kombination mit aufgebauten Sägeräten Zwischenfrüchte ausgebracht werden. Das Arbeitsergebnis in Form eines gleichmäßig tiefen Bearbeitungshorizontes wird nicht angeführt.

Amazone stellte für die Kompaktscheibenegge die neue X-Cutter Disc vor. Die wellenförmigen Scheiben können bei flacher Bodenbearbeitung die komplette Arbeitsbreite abdecken [19].

Wellenförmige Scheiben von anderen Herstellern wurden bereits im Jahrbuch 2019 beschrieben [20].

Striegel

Striegel werden zur ganzflächigen Unkrautregulierung vor oder nach Auflauf der Hauptkultur, sowie auch zunehmend zur ersten Stoppelbearbeitung nach Raps und Getreide zur Auflaufbeschleunigung eingesetzt. Dabei kommen Zinken- und Rollstriegel zum Einsatz. Es werden von verschiedenen Herstellern hydraulisch klappbare, angebaute Maschinen mit Arbeitsbreiten bis zu 18 m angeboten. Aufgesattelte Maschinen sind mit bis zu 27 m Arbeitsbreite erhältlich. Die Firma Einböck stellte die neue Baureihe Aerostar Fusion vor [21], die Firma Carré die Baureihe Pressius [22].

Verfahrenskombinationen

Zunehmende Trockenphasen und häufigere Starkregenereignisse verändern das Anforderungsprofil an Ackerbausysteme. Erosionsschutz und die Bindung von CO₂ im Boden sowie die Förderung der Infiltrations-Speicher und Dränfähigkeit der Böden gewinnen an Bedeutung. Der Anbau von Zwischenfrüchten sorgt für die Unterdrückung von Unkraut, Aufbau von organischer Substanz im Boden und eine Verminderung der Erosionsgefahr.

Von der Firma Mühling GmbH & Co. KG wurde das Gerät Coverseeder vorgestellt und von der Agritechnica-Neuheitenjury mit einer Silbermedaille ausgezeichnet. Der Coverseeder kombiniert die Zerkleinerung von Ernteresten und die gezielte Ausbringung und Bedeckung von Zwischenfrucht-Saatgut in einem Arbeitsgang [23]. Der Boden und das ausgebrachte Saatgut zur Etablierung einer Zwischenfrucht oder Begrünung werden durch das Verfahren mit zerkleinertem Pflanzenmaterial bedeckt. Da keine Einarbeitung des organischen Materials in den Boden erfolgt, wird nach Herstellerangaben dem hohen Nährstoffbedarf der Strohrotte entgegengewirkt. Die Verrottung erfolgt entsprechend langsamer, sodass die Mulchschicht den Boden bis zum Bestandsschluss vor Erosion und Austrocknung schützt [24; 25]. Das Gerät (**Bild 3**) besteht aus einem Mulchgerät mit Mulchrotor (2) und variabler Schneidschiene (3), vorlaufender Striegeleinheit (1), nachlaufender Prismenwalze (5) und einer Säschiene (4) im Rotorbereich des Mulchers.



Bild 3: Der Müthing Coverseeder im Feldeinsatz (links) und als Schnittmodell (rechts) [26]
Figure 3: The Müthing Coverseeder during field operation (left) and as a cutaway model (right) [26]

Elektrische Traktion für Bodenbearbeitungsgeräte

Ergebnis eines Forschungsprojektes der Fa. Vogelsang GmbH & Co. KG und der ZF Friedrichshafen AG in Kooperation mit der TU München sowie der TU Dresden war die Entwicklung einer neuen Generation von Werkzeugen zur Gülle- und Gärrestearbeitung (**Bild 4**). Der Fokus lag dabei auf der Entlastung des Zugfahrzeuges von schwerer Zugarbeit bei gleichzeitiger Ablage der Flüssignährstoffe in Tiefen > 15 cm.



Bild 4: Traktor-Tankwagen-Applikationsgerät während der Feldversuche (Quelle: TU Dresden)
Figure 4: Tractor-tanker application device during field tests (source: TU Dresden)

Durch die Nutzung der Vertikalkräfte der Zinkenwerkzeuge sowie des Geräteeigengewichtes konnte mittels elektrisch angetriebener Stützorgane zusätzliche Traktion durch das Gerät selber erzeugt werden. Durch den elektrischen Antriebsstrang war eine entsprechende Regelbarkeit möglich. In der Kopplung Applikationsgerät-Tankwagen waren Sensoren verbaut, welche die Kräfte zwischen Gerät und Anhänger kontinuierlich messen. Basierend auf diesen Informationen wurde die Triebkraft des Applikationsgerätes in Echtzeit geregelt und ggf. beschränkt, um kritische Fahrzustände des Gespanns zu verhindern. Der Wirtschaftsdünger wurde mittels streifenweiser Bodenbearbeitung injiziert (**Bild 5**). Die gesamte Arbeitsbreite des

vorgestellten Funktionsmusters betrug 6 m, es wurden Arbeitsgeschwindigkeiten bis 10 km/h erreicht. Basierend auf den Feldversuchen konnte ermittelt werden, dass die Zugmaschine dauerhaft um 30 % ihrer aufzubringenden Zugkraft im Vergleich zum reinen passiv-gezogenen Betrieb entlastet werden konnte. Je nach Einsatzbedingungen waren auch über 50 % möglich. Dabei steigt die Gesamtleistung des Gespanns Traktor-Tankwagen-Applikationsgerät nicht über die notwendige installierte Motorleistung im Vergleich zum konventionell passiv gezogenen Gerät. Daher ist entweder ein Einsatz von leichteren, leistungsstarken Zugmaschinen bei gleicher Arbeitsbreite oder gleichbleibenden Zugmaschinen mit größerer Arbeitsbreite bzw. schwereren Einsatzbedingungen möglich.



Bild 5: Streifenförmiges Applikationsgerät mit elektrisches Traktionserzeugung mittels vorgelagerter Stützorgane (Quelle: TU Dresden)

Figure 5: strip-shaped applicator with electrical traction generation by upstream support elements (source: TU Dresden)

Das vorgestellte System ergänzt beispielsweise die vorgestellte Lösung von der Agritechnica 2019 der Firmen John Deere und Joskin. Bei diesem System wurden bei einem Güllefass zwei Achsen elektrisch angetrieben, um das Gewicht des Fasses für die Zugkraftübertragung zu nutzen. Laut John Deere bietet dieses Lösung eine höhere Traktion, weniger Schlupf und eine bessere Spurführung [27]. Die notwendige elektrische Leistung kommt in diesem Fall vom Traktorgetriebe „John Deere eDrive“, während sie bei dem vorgestellten System von Vogel-sang und ZF per Anbau-Generator der Firma Kronos an der Frontzapfwelle bereitgestellt wird.



Bild 6: Elektrische Traktion am Güllefass von John Deere und Joskin [27]

Figure 6: Electric traction at John Deere and Joskin slurry tanker [27]

Hochautomatisierte Systeme in der Bodenbearbeitung – Technik und Forschung

Die Weiterentwicklung und die Verbreitung von Digitalisierungs- und Automatisierungslösungen in der landwirtschaftlichen Feldbearbeitung, speziell im Bereich der Bodenbearbeitung, Pflanzenpflege und Aussaat, ist weiterhin ungebrochen. Gerade im Hinblick auf die Arbeitserleichterung und die Verbesserung der Arbeitsqualität sowie die Entlastungen beim Datenmanagement (Dokumentationserleichterungen und Rückverfolgung von Arbeitsabläufen) versprechen sich potentielle Nutzer einen Mehrwert. Dem gegenüber stehen Hemmnisse in Form von großen Anfangsinvestitionen, Kompatibilitätsproblemen mit unterschiedlichen vorhandenen Systemen sowie den laufenden Kosten [28]. Diese müssen im Besonderen durch Normen und Gesetze, aber vor allem auch durch Priorisierung der Interoperabilität durch die Hersteller von Maschinen und Managementsystemen abgebaut werden.

Einen guten Überblick zum Markt und dem Stand der Entwicklung gab die „World FIRA 2021“ in Toulouse [29]. Es präsentierten sich zahlreiche Robotikkonzepte und Automatisierungslösungen für diesen Bereich. Der Fokus liegt nach wie vor besonders auf der mechanischen Pflanzenpflege und Aussaat. Dabei war zu beobachten, dass der Trend von den kompakten und spezialisierten Robotern hin zu Trägerplattformen mit größeren Arbeitsbereichen und teils standardisierten Schnittstellen geht. Wurden in zurückliegenden Jahren häufig Konzepte wie der Naïo „Oz“ [30], der Fendt „Xaver“ [31] oder der „FD20“ von Farmdroid [32] präsentiert, hält mit Systemen vergleichbar dem Autoagri „IC20“, dem Naïo „Orio“ und dem „Robotti LR“ von Ag-robotelli ein herstellerübergreifender Kompatibilitätsgedanke Einzug [29].

Der „Orio“ von Naïo (**Bild 7**) ist ein 100 % elektrisch angetriebener Feldroboter, der im Zwischenachsenanbau die Schnittstelle zur Werkzeugaufnahme aufweist. Er verfügt über einen Zentralrohrrahmen in U-Bauweise und gewährleistet so einen Freiraum von ca. 1600 mm. Es können Geräte sowohl mit einem Standarddreipunktanbau als auch proprietären Schnittstellen gekoppelt werden. Das Hauptanwendungsgebiet ist die mechanische Pflanzenpflege in Form von Hacken. Dazu wird der „Orio“ über RTK GNSS navigiert und kann die eingebauten Hackwerkzeuge zusätzlich in der Reihe verschieben. Die Arbeitsbreite kann für diesen Anwendungsfall bis zu 3 m betragen. Die Flächenleistung wird mit ca. 12 ha/24 h angegeben, wobei die maximale Geschwindigkeit bei ca. 6 km/h liegen kann. Der Roboter verfügt über austauschbare Akkus und ist somit nicht an Ladezyklen oder das Vorhandensein von Tageslicht

gebunden [33; 34]. Der vollständige Nutzen setzt allerdings ein entsprechendes Logistikkonzept voraus.



Bild 7: Naïo Orio im Feldeinsatz [35]

Figure 7: Naïo Orio in field operation [35]

Das Maschinenkonzept selbst wurde erstmals im Rahmen eines gemeinsamen Projektes von Naïo mit der Firma Strube D&S GmbH und dem Fraunhofer Institut IIS gezeigt. Dabei wird ein Verfahren entwickelt und im Feld untersucht, mit dem Beikraut in und zwischen den Nutzpflanzenreihen entfernt werden soll. Dazu sollen die Zuckerrübenpflanzen mit Hilfe spezieller Sensorik und KI-Algorithmen von Beikraut unterschieden werden [36].

Mit Standardschnittstellen zur Gerätekopplung erreichen auch die Maschinen von Agrobotelli, aus Dänemark, der „Robotti LR“ und der „Robotti 150D“ (**Bild 8**) eine hohe Kompatibilität zur bestehenden Maschinen-Geräte-Welt. Beide Maschinen sind identisch aufgebaut. Der Dreipunktanbau befindet sich an der quer zur Hauptfahrtrichtung orientierten Haupttraverse. Zu beiden Seiten sind die Einrichtungen zur Energiebereitstellung und Energiespeicherung untergebracht. Der „150D“ verfügt dabei über zwei Dieselmotoren mit je 75 kW. Ein Motor dient zur Realisierung des Fahrantriebes, der zweite versorgt den Standard-PTO. Im Gegensatz dazu ist beim „LR“ lediglich ein Motor mit einer Leistung von 72 kW installiert. Eine Möglichkeit zum Betreiben eines Standard-PTO besteht nicht. Jedoch verfügt er über einen großen Dieseltank, der es der Einheit ermöglichen soll, bis 60 h ohne Nachtanken zu arbeiten. Aufgrund des Aufbaus und der installierten Leistung ist der Robotti vorwiegend für leichte Feldarbeit geeignet. Es können Geräte mit zu 3 m Arbeitsbreite eingesetzt werden. Agrobotelli besitzt bereits ein großes Händlernetz in Mittel- und Osteuropa. So sind die „Robotti's“ bereits in Deutschland, Österreich, Polen und Ungarn verfügbar [37].



Bild 8: Autonomes Robotersystem „Robotti 150D“ von Agointelli [37]
Figure 8: Autonomous robot systems “Robotti 150D“ by Agointelli [37]

Eine Maschine, die in Ihrem Aufbau stark an einen Traktor erinnert, ist die Konzeptstudie „Combined Powers“ von Krone und Lemken. Das dieselektrische Antriebskonzept verfügt über eine installierte Leistung von ca. 170 kW und ist sowohl für die Grünfütterverarbeitung als auch Bodenbearbeitung/Aussaat optimiert. Dabei stehen zum einen Mähen, Schwaden und Wenden, zum anderen Grubbern, Pflügen und Säen im Mittelpunkt. Die dafür notwendigen Arbeitsschritte und Prozesse sollen selbstständig und ohne Präsenz des Bedieners geregelt werden. Die erforderlichen Informationen erhält die Maschine über installierte Umfeld- und Prozesssensoren. Zum Erreichen eines bestmöglichen Arbeitsergebnisses steuern die Anbaugeräte das Zugfahrzeug und bilden so eine Einheit. Dazu müssen Anbaugeräte und Zugfahrzeug miteinander kommunizieren und Informationen und Befehle austauschen, bspw. auf Basis des ISOBUS/TIM-Standards [38; 39].

Ebenfalls auf den TIM-Standard zur Geräteautomatisierung setzt das BMBF-geförderte Projekt Feldschwarm® (Laufzeit 08.2017 - 09.2021). Dabei wurde ein Maschinenkonzept bestehend aus zwei hochautomatisierten Einheiten entwickelt (**Bild 10**). Die selbstfahrende Einheit (FSE II, Bild 10 links) agiert selbstständig und ohne Eingriff eines Bedieners auf dem Feld. Die zweite traktorgebundene Einheit (FSE I, Bild 10 rechts) verfügt weder über einen eigenen Antrieb noch über eine eigene Energieversorgung. Beides wird von dem Zugfahrzeug bereitgestellt. Die Routen und der Arbeitsprozess selbst werden vorgeplant und an das Arbeitsgerät (die FSE I) übergeben. Diese führt alle prozessspezifischen Arbeitsschritte selbstständig aus. Die Lenkbefehle für das Zugfahrzeug werden von der FSE I bereitgestellt. Dazu kommuniziert

das Gerät über den ISOBUS/TIM-Standard mit dem Zugfahrzeug und übermittelt die notwendigen Informationen. Nach wie vor befindet sich ein Bediener in dem Zugfahrzeug, der bspw. für die Kontrolle des Fahrtweges der FSE I und die Überwachung des gesamten Maschinenschwarms zuständig ist [40; 41].



Bild 9: Konzeptstudie „Combined Powers“ von Krone und Lemken [39]
Figure 9: Concept study “Combined Powers“ by Krone und Lemken [39]



Bild 10: Feldschwarm® FSE I (rechts) und FSE II (links) im Feldeinsatz [FhG IVI | TU Dresden]
Figure 10: Feldschwarm® FSE I (right) and FSE II (left) in field operation [FhG IVI | TU Dresden]

Zusammenfassung

Die Bodenbearbeitung stellt nach wie vor den landwirtschaftlichen Arbeitsprozess mit dem höchsten Zugkraftbedarf dar. Umso wichtiger ist es, mit intelligenten Antriebs- und Gerätelösungen einen Beitrag zu dessen Reduktion zu leisten und die tatsächliche Arbeitstiefe der Maschinen und Werkzeuge auf das minimal erforderliche Maß zu reduzieren [42]. Einen Ansatz dazu können auch Automatisierungslösungen bieten, die kleinteilig und sensorgestützt die Felder teilflächenspezifisch und bedarfsgerecht bearbeiten. Darüber hinaus kommt der Bodenbearbeitung auch eine immer größer werdende gesellschafts- und umweltpolitische Bedeutung zu. So kann durch entsprechende Verfahren und Werkzeuge direkt Einfluss auf den Beikrautbesatz und das Schädlingsaufkommen sowie die Emission und Reduktion von Treibhausgasen genommen werden. Für die Zukunft gilt es, diese Methoden und Technik weiterzuentwickeln und in die landwirtschaftliche Praxis zu integrieren [43].

Literatur

- [1] N. N: Farm to Fork strategy. URL: https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en, Zugriff am: 30.03.2022.
- [2] N. N: Konjunkturbarometer Agrar – Sorgen wegen des Berliner Politikwechsels. Eilbote 2022 H. 05, S. 7.
- [3] N. N: VDMA: Landtechnikindustrie erzielt weiteres Rekordergebnis. URL: <https://www.vdma.org/viewer/-/v2article/render/45728883>, Zugriff am: 28.03.2022.
- [4] 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).
- [5] Bellingrath-Kimura, S. D.: Pflanzenvielfalt und Innovationen – Neue Anbausysteme der Zukunft. URL: <https://www.wissenschaftsjahr.de/2020-21/aktuelles-aus-der-biooekonomie/koepfe-des-wandels/pflanzenvielfalt-und-innovationen-neue-anbausysteme-der-zukunft>, Zugriff am: 09.04.2022.
- [6] Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung: Auftakt für Forschungsprojekt DAKIS: Die Zukunft der Landwirtschaft ist digital. URL: www.zalf.de/de/aktuelles/Seiten/Pressemitteilungen/2019-04-11_PM_DAKIS_FINAL.aspx, Zugriff am: 09.04.2022.
- [7] Sommer, M.; Augustin, J.: PARTIELLE KRUMENVERTIEFUNG FÜR KLIMASCHUTZ, BODENFRUCHTBARKEIT UND ERTRAG. Jahresbericht 2019 - Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., S. 21.
- [8] Baur, A.; Herzog, R.; Weinkauf, H.: Krumenbasispflüge B 205A - umgerüstete Aufsattelbeetpflüge B 200/B 201 zur partiellen Krumenvertiefung auf sandigen Böden. agrartechnik 38 (1988) H. 12.
- [9] N.N.: Lemken Carbon Farming. 2022, URL: <https://lemken.com/de/lemken-aktuell/news/detail/detail/gemeinsames-forschungsprojekt-zu-carbon-farming/>, Zugriff am: 18.02.2022.

- [10] PÖTTINGER Landtechnik GmbH: SERVO T 6000: neuer PÖTTINGER Pflug PÖTTINGER Österreich News. URL: https://www.poettinger.at/de_at/newsroom/artikel/13081/servo-t-6000-neuer-poettinger-pflug, Zugriff am: 31.03.2022.
- [11] KG, AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co: Aufsattel-Volldrehpflug Tyrok 400. 2021, URL: <https://amazone.net/de/agritechnica/unsere-agritechnica-neuheiten-2022/neuheiten-details/aufsattel-volldrehpflug-tyrok-400-975120>, Zugriff am: 31.03.2022.
- [12] N.N.: INNOVATION AWARD AGRITECHNICA 2022. URL: <https://www.agritechnica.com/de/ausgezeichnete-innovationen-und-konzepte/innovation-award/medaillen-gold-und-silber-2022>, Zugriff am: 18.03.2022.
- [13] N. N: Der neue Karat 10. URL: <https://lemken.com/de/lemken-aktuell/news/detail/detail/der-neue-karat-10/>, Zugriff am: 30.03.2022.
- [14] N. N: Anhängelflachgrubber Cobra-2TX. URL: <https://amazone.de/de-de/agritechnica/unsere-agritechnica-neuheiten-2022/anhaengeflachgrubber-cobra-2tx-997794>, Zugriff am: 31.03.2022.
- [15] KNOCHE Maschinenbau: Grubber - Ökogrubber. URL: <https://knoche-maschinenbau.de/produkte/grubber/grubber-oekogrubber/>, Zugriff am: 31.03.2022.
- [16] Schmailzl, E.: Eine Kette, die verbindet. 2021, URL: <https://www.agrarheute.com/traction/tests-technik/kette-verbindet-583031>, Zugriff am: 18.02.2022.
- [17] Holzhammer, A.: DALBO Powerchain 800: Kettenscheibenegge zur flachen Bodenbearbeitung. 2022, URL: <https://www.topagrar.com/technik/news/dalbo-powerchain-800-kettenscheibenegge-zur-flachen-bodenbearbeitung-12847205.html>, Zugriff am: 18.02.2022.
- [18] N.N.: Fliegl Agro-Center KSE680« disc chain harrow Your agricultural Onlineshop in XXL. URL: <https://agro-center.de/en/kse680-disc-chain-harrow-ksefilm000005.html>, Zugriff am: 24.03.2022.
- [19] KG, AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co: X-Cutter-Disc für die sehr flache Bodenbearbeitung. 2021, URL: <https://amazone.de/de-de/agritechnica/unsere-agritechnica-neuheiten-2022/x-cutter-disc-fuer-die-sehr-flache-bodenbearbeitung-997866>, Zugriff am: 18.02.2022.
- [20] Herlitzius, T.; Grosa, A.; Hengst, M.; Przybyla, M.: Bodenbearbeitungstechnik (2019), S. 15.
- [21] N.N.: AEROSTAR-FUSION. URL: <https://www.einboeck.at/newsroom/innovationen-2022>, Zugriff am: 28.03.2022.
- [22] N. N: Carré Pressius Präzisionsstriegel. URL: <https://www.pool-agri.com/carre/product/carre-pressius-praezisionsstriegel-neu/?lang=de/>, Zugriff am: 30.03.2022.
- [23] Brüse, C.: Agritechnica: 16 Silbermedaillen für Innovationen. PROFI.
- [24] Deter A.: Agritechnica-Silber: Müthing Coverseeder sät Zwischenfrüchte ohne Bodenbearbeitung. URL: <https://www.topagrar.com/technik/news/agritechnica-silber-muehthing-coverseeder-saet-zwischenfruechte-ohne-bodenbearbeitung-12766659.html>, Zugriff am: 30.03.2022.
-

- [25] N. N.: CoverSeeder. Eilbote 2021 H. 50, S. 22.
- [26] N. N.: Produktinformation Mühling Coverseeder. Mühling GmbH 6 Co. KG (Hrsg.), 2022.
- [27] N. N.: John Deere Pressemitteilung. URL: <https://www.deere.de/de/unser-unternehmen/news-und-medien/pressemeldungen/2022/maerz/john-deere-8R-410-jetzt-auch-mit-eAutoPowr-verfuegbar.html>, Zugriff am: 23.03.2022.
- [28] Gabriel, A.: Akzeptanz von digitalen Technologien in der Gesellschaft und in der landwirtschaftlichen Praxis. DOI: 10.3220/REP1634803385000. In: Dirksmeyer, W.; Menrad, K. (Hrsg.): Aktuelle Forschung in der Gartenbauökonomie : Digitalisierung und Automatisierung - Welche Chancen und Herausforderungen ergeben sich für den Gartenbau? Tagungsband zum 3. Symposium für Ökonomie im Gartenbau am 15. November 2019 in Freising / Weihenstephan, Thünen Rep, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut 2021, S. 190.
- [29] N.N.: Konferenz: World FIRA 2021 (07. - 09.12.2021). Toulouse.
- [30] N.N.: Autonomous Oz weeding robot. URL: <https://www.naio-technologies.com/en/oz/>, Zugriff am: 28.03.2022.
- [31] N.N.: Fendt Xaver Fendt FutureFarm - Fendt. URL: <https://www.fendt.com/de/xaver>, Zugriff am: 28.03.2022.
- [32] N.N.: Produkt. URL: <https://farmdroid.dk/de/produkt-2/>, Zugriff am: 28.03.2022.
- [33] Future Farming: VIDEO: These 6 ROBOTS were presented at FIRA 2021 Part 1. 2021, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=2-0Cthfl8jl>, Zugriff am: 28.03.2022.
- [34] N.N.: Naïo Orio agricultural robot demo at World Ag Expo. 2022, URL: <https://mobilerobotguide.com/2022/02/15/naio-orio-agricultural-robot-launches-at-world-ag-expo/>, Zugriff am: 28.03.2022.
- [35] N.N.: Fira 2021: Neues aus der Agrarroboter-Szene. 2022, URL: <https://www.profi.de/technisch/elektronik/fira-2021-neues-aus-der-agrarroboter-szene-28847.html>, Zugriff am: 28.03.2022.
- [36] N.N.: Unkrautbekämpfung mit KI statt Chemie. URL: <https://www.iis.fraunhofer.de/de/profil/jb/2021/unkrautbekaempfung-mit-ki-statt-chemie.html>, Zugriff am: 2022-03-28.
- [37] N.N.: Agointelli - Precision farming & agricultural robot - We automate farming. URL: <https://www.agointelli.com/>, Zugriff am: 28.03.2022.
- [38] N.N.: COMBINED POWERS. URL: <https://combined-powers.com/>, Zugriff am: 29.03.2022.
- [39] Katrin Fischer, a.: Lemken und Krone: Gemeinsam in die Zukunft - Combined Powers. 2022, URL: <https://www.agrarheute.com/technik/lemken-krone-gemeinsam-zukunft-591367>, Zugriff am: 29.03.2022.
- [40] N.N.: Autonome Landmaschinen im Feldschwarm. 2021, URL: <https://www.profi.de/aktuell/aktuelle-meldungen/autonome-landmaschinen-im-feldschwarm-12710364.html>, Zugriff am: 29.03.2022.

- [41] N.N.: Feldschwarm® – autonome Feldmodule für den ressourcenschonenden Landbau. URL: <http://www.feldschwarm.de/>.
- [42] Wilhelm, B.; Pforte, F.; Hensel, O.; Drücker, H.; Hartung, E.: Intensität teilflächenspezifisch anpassen. Neue Landwirtschaft 2010 (2010) H. 6, S. 5.
- [43] Bossio, D. A.; Cook-Patton, S. C.; Ellis, P. W.; Fargione, J.; Sanderman, J.; Smith, P.; Wood, S.; Zomer, R. J.; Unger, M. von; Emmer, I. M.; Griscom, B. W.: The role of soil carbon in natural climate solutions. Nature Sustainability 3 (2020) H. 5, S. 391-398.

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, Dipl.-Ing. Stefan Schwede und Dr.-Ing. Tim Bögel sind wissenschaftliche Mitarbeiter der Professur für Agrarsystemtechnik, Institut für Naturstofftechnik, Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Herlitzius, Thomas; Hengst, Martin; Geißler, Sören; Schwede, Stefan; Bögel, Tim: Bodenbearbeitungstechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-15

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030950-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/bodenbearbeitung.html>

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

Sätechnik

Till Meinel

Kurzfassung

Die aktuellen weltpolitischen Entwicklungen werfen ein Schlaglicht auf die zentrale Bedeutung der Pflanzenproduktion für die menschliche Ernährung. Die Aussaat als wichtiger Teilprozess wird aktuell intensiv in die Optimierung der Pflanzenproduktion als Gesamtsystem einbezogen. Neue Antriebskonzepte wie z. B. Nexat oder autonome Antriebseinheiten eröffnen für die Sätechnik praxistaugliche Perspektiven einer Integration in ganzheitliche Maschinensysteme. Drill- und Einzelkornsämaschinen erhalten neue Möglichkeiten, um Saatgut, Dünger und chemische Wirkstoffe zeitgleich in verschiedenen Kombinationen und räumlichen Zuordnungen auszubringen. Die Einzelkornsäat von Getreide bekommt durch aktuelle Entwicklungen weitere Impulse. Detailverbesserungen an zentralen Baugruppen wie Vereinzeln- und Tiefenführungssystemen bilden wichtige Innovationen der Sätechnik.

Schlüsselwörter

Drillmaschinen, Einzelkornsämaschinen, Saatgutablage, Düngerablage, Saatgutvereinzelnung

Seeding Technology

Till Meinel

Abstract

Current global political developments highlight the central importance of plant production for human nutrition. Sowing as an important sub-process is currently being intensively included in the optimization of plant production as an overall system. New drive concepts such as Nexat or autonomous drive units open up practical perspectives for integration into integrated machine systems for sowing technology. Seed drills and precision seed drills are given new opportunities to apply seeds, fertilizers and chemical agents in different combinations and spatial allocations at the same time. The precision sowing of grain is getting further impetus from current developments. Improvements in the details of central assemblies such as singulation and depth control systems represent important innovations in sowing technology.

Keywords

Seed drills, Precision planters, Seed placement, Fertilizer placement, Seed singulation

Einleitung

Die Aussaat ist ein wesentlicher Teilprozess der Pflanzenproduktion. Vielen aktuellen Entwicklungen im Bereich Sätechnik liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass eine ökonomisch und ökologisch zukunftsfähige Pflanzenproduktion nur ganzheitlich optimiert werden kann. Der mit der Goldmedaille beim DLG Innovation Award AGRITECHNICA 2022 ausgezeichnete Nexat-Systemtraktor realisiert Einzelkornsaat mit der CTF-Technologie. Mehrere Sätechnikhersteller präsentierten erstmals flexibel einsetzbare autonome Antriebseinheiten. Sie dokumentieren damit ebenso wie die Erfinder des Nexat eine Strategie, Technik anzubieten, die möglichst viele Teilprozesse der Pflanzenproduktion ökonomisch und ökologisch sinnvoll durchführen kann.

Weitere Entwicklungen ermöglichen dem Landwirt, flexibel auf Klimaveränderungen und geänderte politische Rahmenbedingungen zu reagieren. Beispiele hierfür sind die Weiterentwicklung der Einzelkornsaat von Getreide oder neue Möglichkeiten der gleichzeitigen Ausbringung von Saatgut und Dünger.

Neue Antriebskonzepte

Nexat stellte ein neuartiges Wide-Span-Wechselträgerfahrzeug mit bis zu 24 m Arbeitsbreite vor, das über wechselbare Werkzeugmodule alle Arbeiten der Pflanzenproduktion von der Bodenbearbeitung bis zum Mähdrusch ausführen kann [1]. Die Werkzeugmodule werden von spezialisierten Partnerfirmen entwickelt. Väderstad ist Partner für Bodenbearbeitung und Saat [2]. Bisher realisierten die Projektpartner die Einzelkornsaat, wobei Säeinheiten der Tempo-Maschinen zum Einsatz kommen, **Bild 1**.



Bild 1: Nexat mit Tempo Einzelkornsämaschine [1]

Figure 1: Nexat with Tempo planter units [1]

Der Sätechnikspezialist Horsch arbeitet an Zukunftskonzepten auch im Bereich autonomer Antriebe für Sämaschinen. **Bild 2** zeigt den Prototypen einer autonomen Zugmaschine mit Raupenlaufwerken bei der Arbeit in Kombination mit einer 24reihigen Maestro während der

Maisaussaat 2021. Die Firmen Lemken und Krone stellen ein vergleichbares Konzept vor, das das TIM-Konzept (Tractor Implement Management) konsequent umsetzt und sowohl zum Drillen als auch zur Einzelkornsaat einsetzbar ist [3].



Bild 2: Autonome Zugmaschine von HORSCH bei der Maisaussaat mit 24 Reihen [4]

Figure 2: Autonomous tractor from HORSCH sowing maize with 24 rows [4]

Drillsaat

Mehrere Saatgüter und/oder Dünger gleichzeitig präzise und in verschiedenen Kombinationen auszubringen – dieses Ziel hat bei vielen Herstellern hohe Priorität [5 - 7]. Eine Ursache dafür ist der Green Deal, der in Europa den Einsatz von Düngemitteln stärker reglementiert und Umweltaspekte fokussiert. Ein weiterer Treiber sind die stark steigenden Düngemittelpreise.

Lemken stellt für die Drillmaschine Solitair 9+ eine Version mit geteiltem Saatgutbehälter vor. Der Saatgutbehälter der Solitair 9+ Duo fasst 1.850 Liter und lässt sich im Verhältnis 50/50 oder 60/40 aufteilen. Die gleichzeitige Ausbringung von Saatgut, Dünger oder auch Zwischen-saaten ist mittels Single-Shoot oder Double-Shoot-System möglich [5]. Ein ähnliches System ist in [8] beschrieben und wurde im Jahr 2021 auch von Pöttinger auf den Markt gebracht [9].

In der Single-Shoot-Ausführung werden die mit jeweils zwei elektrischen Dosiereinheiten getrennt dosierten Komponenten vor der Steigleitung zum Verteiler zusammengeführt und in einer Saatsfurche abgelegt. Diese Technologie eignet sich bei der Winteraussaat zur Düngerstartgabe oder bei Sommerungen für eine vollständige Düngung gleichzeitig mit der Aussaat.

Das Double-Shoot-System ermöglicht weitere Ablagemöglichkeiten, da die beiden Komponenten über jeweils separate Verteiler getrennt zu den Doppelscheibenscharen gefördert werden. Die Ausbringung ist ähnlich dem Single-Shoot-Verfahren in einer Reihe, aber mit getrenntem Abgabeort im Säschar möglich. Alternativ kann getrennt und wechselweise in zwei Saatreihen ausgebracht werden, **Bild 3**. Die Umstellung geschieht durch den Tausch der Fahrgassenpatrone im Verteiler. Zusätzlich sind unterschiedliche Ablagetiefen bis zu einer Differenz von 5 cm an jedem Säschar individuell über die Andruckrolle einstellbar. Daraus ergeben sich Möglichkeiten der gleichzeitigen Zwischenreihendüngung oder der Ablage zweier unterschiedlicher Saatgüter in der jeweils optimalen Tiefe.

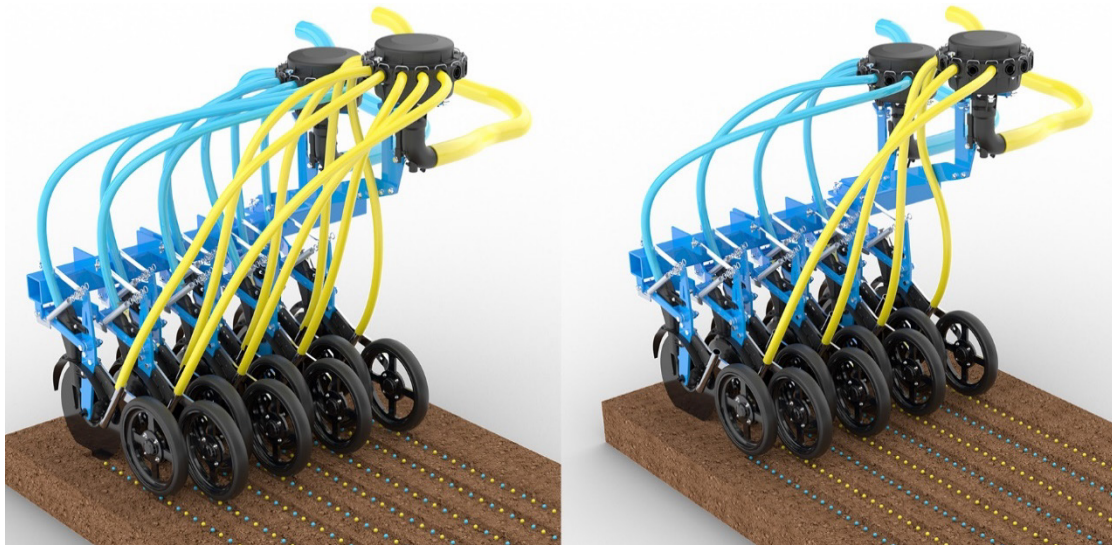


Bild 3: Double-Shoot-System bei der Lemken Solitair 9+: getrennte Ablage in einem Säschar (links); getrennte Ablage in getrennten Säscharen (rechts) [5]

Figure 3: Double-shoot system on the Lemken Solitair 9+: separate placement in one seed coulter (left); separate placement in separate seed coulters (right) [5]

Väderstad bietet für das Double-Shoot Verfahren eine zusätzliche Differenzierungsmöglichkeit. Der Dünger kann in 5 cm breiten Bändern mit 12,5 cm Reihenweite oder mit aggressiven Düngerscheibenscharen mit 25 cm Reihenabstand zwischen die Säreihen platziert werden. Letztere Möglichkeit ist besonders für trockene Aussaatbedingungen geeignet [7].

Väderstad entwickelte eine Universaleinzelkornsämaschine, die neben Mais, Bohnen und Zuckerrüben auch Getreide mit einer Saatkornvereinzelung säen kann, **Bild 4** [10]. Die Säeinheiten sind einzeln mit Parallelogrammen in der Tiefe geführt und mit einem großen Scharschritt auf zwei Säschienen angeordnet. Die Reihenweiten betragen 22,5 oder 25 cm, durch Ausheben einzelner Säeinheiten ergeben sich die doppelten oder dreifachen Werte z. B. für die Aussaat von Zuckerrüben oder Mais. Vor jeder Säreihe ist eine einzeln aufgehängte, hydraulisch belastbare Druckrolle montiert. Die Hydraulikzylinder dieser Druckrollen sind über ein gemeinsames Ölreservoir verbunden, sodass der Bodendruck jeder Druckrolle auch in unebenem Gelände annähernd konstant bleibt [11].



Bild 4: Väderstad Proceed [10]

Figure 4: Vaderstad Proceed [10]

Angebaute klappbare Säkombinationen bestehend aus Kreiselegge und Säschiene müssen bei Transportfahrten auf öffentlichen Straßen zur Einhaltung rechtlicher Vorschriften für maximale Achslasten in Deutschland mit einem Zusatzfahrwerk ausgerüstet sein. Lemken stellte für die Säkombination aus Frontbehälter Solitair 23+, Kreiselegge Zirkon 12 und Säschiene Optidisc 25 ein solches Zusatzfahrwerk vor, dessen Stützräder die Hinterachse des Traktors um bis zu 3,5 Tonnen entlasten. Zum Umbauen von Transport- in Arbeitsstellung lässt sich das System mit wenigen Handgriffen ver- und entriegeln. Der Koppelvorgang erfolgt direkt vom Traktor aus [5].

Müller-Elektronik entwickelt einen Blockage-Sensor für die Anwendung in Säleitungen pneumatischer Drillmaschinen [12]. Der Sensor arbeitet nach dem piezoelektrischen Messprinzip und erkennt nach Herstellerangaben auch Verstopfungen der Säleitungen bei feinen Saatgütern sowie granulierten Düngersorten wie NPK; Entec 26 oder Microgran P. Bei internen Tests mit einer Arbeitsgeschwindigkeit von 10 km/h und einer Aussaatmenge von 150 kg/ha Winterweizen zeigte der Sensor Verstopfungen binnen einer Sekunde an. Aktuell laufen Tests mit Raps. Die Kommunikation des Sensors erfolgt über CAN mit der ECU der Sämaschine. Der Hersteller plant die Weiterentwicklung dieser Kommunikation bis zur vollen Integration der Sensordaten in den ISOBUS.

Einzelkornsaat

Horsch entwickelte für die Maestro - Baureihe zwei annähernd baugleiche Vereinzlungssysteme, die unter der Bezeichnung AirVac (Vakuum-System Maestro V) und AirSpeed (Überdruck-/Schussystem Maestro X) angeboten werden, **Bild 5** [13]. Man hat diese „Doppelstrategie“ gewählt, um den Kunden die Stärken beider Vereinzlungssysteme anzubieten.

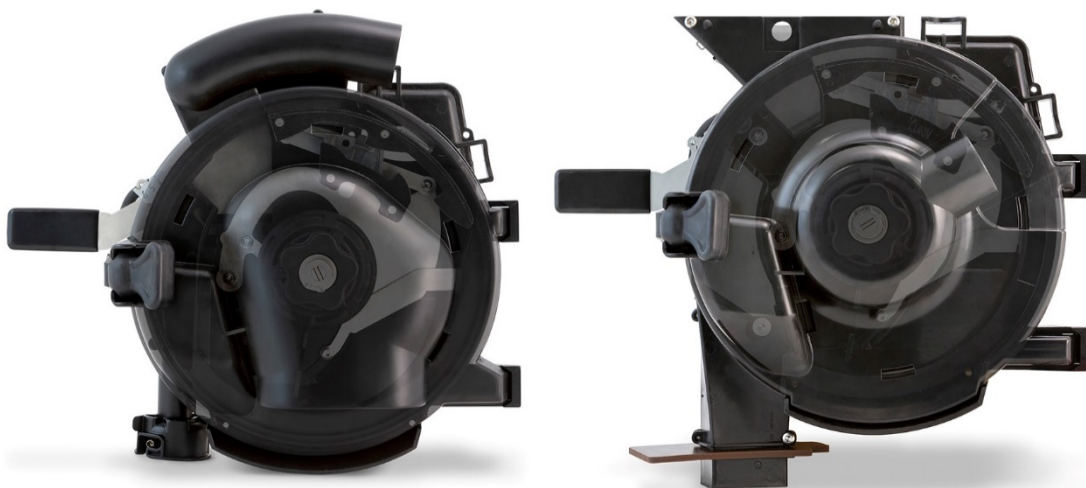


Bild 5: AirSpeed- Vereinzlungssystem mit Überdruck-/Schussystem (links); AirVac-Vereinzlungssystem mit Vakuum-System (rechts) [14]

Figure 5: AirSpeed singulation system with overpressure/shot system (left); AirVac singulation system with vacuum system (right) [14]

Vakuum-Systeme erreichen bei ca. 12 km/h Arbeitsgeschwindigkeit systembedingt die Grenze einer guten Ablagegenauigkeit. Demgegenüber erzielen Überdrucksysteme bei Geschwindigkeiten bis 20 km/h gute und sehr gute Ergebnisse. Hier bildet die Bodenfeuchte die Einsatzgrenze, da diese Systeme auf eine korrekt funktionierende Fangrolle angewiesen sind. Saatgutsorten von Sonnenblumen oder Leguminosen mit sehr großem Kaliber eignen sich nach den Erfahrungen von Horsch schlecht für die Überdruckvereinzelung. Horsch nutzt beim AirSpeed-System zwei unterschiedliche Luftdrucksysteme, die in Zukunft bei Bedarf zur weiteren Verbesserung der Ablagegenauigkeit separat geregelt werden sollen. Daran wird aktuell noch gearbeitet [13].

Die Düngeeffizienz spielt in der gesellschaftlichen Diskussion weiterhin eine wichtige Rolle. Bei Kulturen, die mit Einzelkornsaat etabliert werden, kann eine vergleichsweise kleine Menge Mikrogranulat den ersten Nährstoffbedarf gut decken. Mehrere Hersteller wie z. B. Kverneland [15] und Lemken [5] bieten neu entwickelte oder überarbeitete Microgranulatstreuer für ihre Einzelkornsämaschinen an. In Deutschland ist für den Einsatz dieser Technik eine amtliche Prüfung durch das Julius Kühn-Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz erforderlich [16]. Auch für das Drillsaatverfahren bieten mehrere Hersteller neu entwickelte Säaggregate an, die für die Ausbringung von Zwischenfrüchten und Mikrogranulaten gleichermaßen geeignet sind. Das Zwischenfrucht-Säaggregat „Tegosem“ von Pöttinger kann sowohl im Single-Shoot-Verfahren als auch zur oberflächlichen Ausbringung verwendet werden [17]. Die BioDrill von Väderstad bringt Startdünger bis zu 120 kg/ha bei einer Geschwindigkeit von 15 km/h aus [7].

Lemken rüstet die Azurit 10 mit einer schwingungsgedämpften Aufhängung der Vereinzelungseinheit aus, **Bild 6** [5]. Die separate Aufhängung umfasst ein zweites Parallelogramm und ein passives Dämpfungssystem. Das System reduziert dynamische Einflüsse auf die Vereinzelungseinheit aus den bodengeführten Komponenten der Säeinheit und reduziert die Anzahl von Fehl- und Doppelbelegungen.

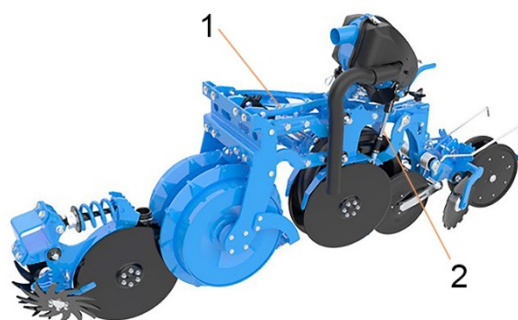


Bild 6: Schwingungsgedämpfte Aufhängung der Vereinzelungseinheit der Lemken Azurit 10
1...zweites Parallelogramm; 2...Dämpfer [5]

Figure 6: Anti-vibration suspension of the singulation unit of the Lemken Azurit 10
1...second parallelogram; 2...damper [5]

Die exakte Einhaltung der Ablagetiefe gehört zu den wesentlichen Anforderungen an Einzelkornsämaschinen. Aus konstruktiver Sicht gibt es mehrere Möglichkeiten, die Säscharre exakt in der Tiefe zu führen, vgl. [18]. Eine besonders präzise Form der Tiefenführung ist eine Kombination aus gelenkig miteinander verbundenen vor- und nachlaufenden Stützrollen, die als Tandemwagen bezeichnet werden. Kverneland stellt dieses System für die mechanische Einzelkornsämaschine Monopill in der Mulchsaatausführung vor, **Bild 7** [19]. Das Unternehmen reagiert mit diesem Angebot auf die zunehmende Verbreitung der Mulchsaat beim Anbau von Zuckerrüben. Der Anpressdruck der nachlaufenden Druckrollen ist einstellbar, um unter allen Aussaatbedingungen einen guten Bodenschluss der abgelegten Saatkörner zu gewährleisten.



Bild 7: Kverneland Monopill Mulchsaat-Tandemausrüstung [19]

Figure 7: Kverneland Monopill mulch tandem sowing unit [19]

Forschungsergebnisse

Die Regelung des Auflagedrucks der Tiefenführungsrollen bei Einzelkornsämaschinen wird von mehreren Herstellern angeboten. Ein Team amerikanischer Wissenschaftler untersuchte die Auswirkungen zweier Betriebsmodi (statisch und dynamisch) auf Bodenverdichtung und Ablagetiefe bei der Aussaat von Baumwolle [20]. Zum Einsatz kam eine sechsstufige John Deere Max Emerge Plus-Maschine. In jedem Modus wurden vier Sollwerte der Auflagekraft vorgegeben. Im statischen Modus lagen die gemessenen Werte vor allem im oberen Sollwertbereich über den eingestellten Kräften. Im dynamischen Modus stimmten Soll- und Istwerte gut überein. Bodendichte, Cone Index und Ablagetiefe nehmen mit den Auflagekräften zu, mit stärkeren Anstiegen im dynamischen Modus.

Die Auswirkungen der Auflagedruckregelung auf Ablagetiefe und Auflaufgeschwindigkeit bei Mais sind in [21] dokumentiert. Die Sollwerte des Auflagedrucks korrelieren im statischen und dynamischen Modus positiv mit der Ablagetiefe. Die Auflaufgeschwindigkeit (Emergence Velocity Index) korreliert im statischen Modus positiv mit der Ablagetiefe und damit mit dem Auflagedruck. Im dynamischen Modus ist dieser Zusammenhang schwächer ausgeprägt.

Messungen und Simulationsergebnisse zur Verteilung der Vertikalkräfte auf Schneidscheiben, Tiefenführungsrollen und Andruckrollen einer Säeinheit der Einzelkornsämaschine „Maestro“ von Horsch sind in [22] dokumentiert. Ein Prüfstand zur Messung der genannten Größen unter Laborbedingungen wird vorgestellt. Die Mess- und Simulationsergebnisse umfassen Aussagen zur Regelgüte der Auflagedruckregelung sowie zu den Antwortzeiten auf dynamische Belastungsänderungen der Schneidscheiben.

Mehrere Autorenteamen untersuchten physikalische Eigenschaften von Hafersaatgut [23] sowie von Mischungen aus Saatgut, biologischen Fungiziden und granulierten Düngemitteln [24]. Margapuri und Neilsen [25] stellen eine Studie zur Anwendung neuronaler Netze für die Phänotypisierung verschiedener Saatgüter vor. Ziel des Projektes war die Vorhersage mechanischer Eigenschaften der untersuchten Saatgüter basierend auf einer möglichst geringen Zahl von Trainingsdaten und mit niedrigem Zeitaufwand.

Die optimale Gestaltung von Zellendosierern für die Bohneaussaat untersuchten Kus und Yildirim [26]. Ein Schwerpunkt der zugehörigen Laborexperimente war die Reduzierung des Bruchkornanteils während des Dosierprozesses.

Forschungsprojekte zu verschiedenen Fragestellungen der Sätechnik wurden in China durchgeführt, deren Ergebnisse die Forschenden in den USA veröffentlichten. Den Stand der Technik beim Einsatz von Drohnen zur Aussaat in China stellt ein Team der China Agricultural University in Peking dar [27]. Den Einfluss der Höhe des Saatgutspiegels im Behälter auf die Dosiergenauigkeit einer Drillmaschine untersuchten Hu et. al [28]. Sie entwickelten eine Drehzahlregelung des Dosierers, die bei der Aussaat von Weizen die Dosiergenauigkeit konstant hält. Die Genauigkeit eines pneumatischen Dosier-, Förder- und Verteilsystems bei der Weizenaussaat wird in [29] untersucht. Die Positioniergenauigkeit einer Reispflanzmaschine verbessert sich durch die Ergänzung des GPS - Systems durch weitere Sensoren, die ihre Informationen über einen neu entwickelten Filter in das Gesamtsystem geben [30]. Ein Simulationsmodell der Vereinzelnung von Sojasaatgut in zwei mechanischen Vereinzelnungssystemen wird in [31] vorgestellt. Die CAD-Modelle basieren auf der Software CATIA, die Prozesssimulation erfolgte mit EDEM. In einem weiteren Projekt entwickelten Wissenschaftler ein mechanisches Vereinzelnungssystem für Soja [32]. Das System wurde zunächst mittels DEM-Simulation optimiert. In Labortests erreichte es eine Ablagegenauigkeit von 93 % in einem Geschwindigkeitsbereich zwischen 8 und 15 km/h. Eine Säkombination zur Rapsaussaat in Reisstopeln wird in [33] beschrieben. Die Maschine besteht aus passiven und aktiven Bodenbearbeitungswerkzeugen zur Einarbeitung großer Mengen Reisstroh und legt Dünger und Rapsaatgut getrennt in unterschiedlicher Tiefe ab.

Zusammenfassung

Neue Antriebskonzepte von Landmaschinen verfolgen einen ganzheitlichen Ansatz. Der Beitrag stellt den Systemtraktor Nexat in Verbindung mit der 2021 getesteten Einzelkornsätechnik vor. Mehrere Sätechnikhersteller entwickelten autonome Antriebseinheiten, die im gleichen Jahr erstmals zum praktischen Einsatz während der Aussaat kamen.

Die Entwicklung bei Drillmaschinen zielt weiter in Richtung einer flexiblen, gleichzeitigen Ausbringung mehrerer Saatgüter und Dünger. Damit erhalten die Landwirte zusätzliche Möglichkeiten, ihre Fruchtfolgen und Düngestrategien an geänderte Rahmenbedingungen anzupassen. Eine im Beitrag ebenfalls vorgestellte Universalsämaschine kann zusätzlich zu den bekannten Fruchtarten für Einzelkornsaat auch Getreide vereinzeln und könnte zur Kosteneinsparung bei der Aussaat beitragen. Ein piezoelektrischer Blockagesensor erkennt verstopfte Säleitungen sowohl bei feinen Saatgütern als auch bei granuliertem Dünger.

Bei Einzelkornsämaschinen gibt es neue Vereinzlungssysteme, die mit nur wenigen Änderungen zur Vereinzlung mit Unter- oder Überdruck verwendbar sind. Eine neuartige Schwingungsdämpfung der Vereinzlungssysteme reduziert dynamische Einflüsse auf die Ablagegenauigkeit. Mehrere Hersteller stellen weiter entwickelte Mikrogranulatstreuer vor, die zunehmend auch für die präzise Düngung zum Einsatz kommen. Eine neue Säeinheit für die Mulchsaat von Zuckerrüben ermöglicht eine exakte Tiefenführung auch bei schwierigen Aussaatbedingungen.

Forschungsergebnisse betreffen die Wirkungen von Auflagedruck-Regelsystemen bei der Einzelkornsäat, physikalische Eigenschaften von Saatgütern und Mischungen mit Herbiziden und Dünger sowie die Optimierung der Kornvereinzlung bei Bohnen. Chinesische Wissenschaftler stellen Ergebnisse zum Drohneneinsatz bei der Aussaat in China sowie zu mehreren weiteren Themen im Bereich der Sätechnik vor.

Literatur

- [1] Kalverkamp, K.; Kalverkamp, F.: Das System Nexat. URL: <https://www.nexat.de/das-system/>, Zugriff am: 29.03.2022.
- [2] Dalskog, S.: Väderstad partner in the DLG gold medal winning Nexat system. Väderstad 07.12.2021, URL: <https://www.vaderstad.com/en/about-us/news/news-archive/2021/international/vaderstad-announces-partnership-with-nexat/>, Zugriff am: 29.03.2022.
- [3] Lemken GmbH: Combined Powers. URL: <https://lemken.com/de/lemken-aktuell/news/detail/detail/combined-powers-1/>, Zugriff am: 29.03.2022.
- [4] Horsch, M.; Horsch, P.: HORSCH treibt unterschiedliche Aspekte der Autonomie voran. In: terraHorsch, 22-2021, S. 22-24.
- [5] Kisters, J.; Heier, L.; Sagemüller, B.: Wesentliche Produktneuheiten Sätechnik aus dem Jahr 2021. E-Mail, 26.11.2021.
- [6] Steibl, I.: TERRASEM: Perfekt und effizient aussäen – Pöttinger bringt neue pneumatische Mulchsaatmaschinen. Griesheim 01.10.2021, URL: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.poettinger.at%2Flandtechnik%2Fdownload%2Fpresstexte%2FPOETTINGER_TERRASEM_D_2021-11_DE.docx&wdOrigin=BROWSELINK, Zugriff am: 30.03.2022.
- [7] Jeansson: Väderstad Product News Model year 2021 & 2022. E-Mail, 29.10.2021.
- [8] Meinel, T.: Sätechnik. In: Jahrbuch Agrartechnik 2018, Bd. 32, Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge 2019, S. 1-12, DOI: <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-201901211140-0>.
- [9] Steibl, I.: AEROSEM VT: Neue pneumatische, gezogene Säkombination – Bodenschonend, kompakt und wendig zum besten Arbeitsergebnis. Griesheim, 24.09.2021, URL: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.poettinger.at%2Flandtechnik%2Fdownload%2Fpresstexte%2FPOETTINGER_AEROSEM_VT_2021-09_DE.docx&wdOrigin=BROWSELINK, Zugriff am: 30.03.2022.

- [10] Künsberg, M.: Väderstad Proceed zeigt die Aussaat der Zukunft. Väderstad, 03.03.2022, URL: <https://www.vaderstad.com/de/uber-uns/news/neuheiten-archiv/2021/international/vaderstad-proceed-zeigt-die-aussaat-der-zukunft/>, Zugriff am: 30.03.2022.
- [11] Schulz, S.: Einzelkorn für alles – Mit der Proceed setzt Väderstad Akzente im Bereich der Sätechnik. profi 1 (2022), S. 34-37.
- [12] Liebich, M.: Blockage Sensor from Müller-Elektronik. E-Mail, 14.10.2021.
- [13] Horsch, P.: Maestro V versus Maestro X - wo stehen wir? URL: <https://terra.horsch.com/ausgabe-21-2020/aus-dem-unternehmen/maestro-v-versus-maestro-x-wo-stehen-wir-philipp-horsch>, Zugriff am: 30.03.2022.
- [14] Horsch Maschinen GmbH: Airvac und Airspeed Dosierer. URL: <https://www.horsch.com/produkte/einzelkornsaeemaschinen/maestro/airvac-und-air-speed-dosierer>, Zugriff am: 30.03.2022.
- [15] Homann, C.: Kverneland micro-drill for Kverneland Monopill and Unicorn. Soest, November 2021.
- [16] JKI: Anerkannte Pflanzenschutzgeräte. URL: <https://psmv6.julius-kuehn.de/index.php>, Zugriff am: 28.03.2022.
- [17] Steibl, I.: TEGOSEM auf TERRASEM – Zwischenfrucht-Säaggregat auf Mulchsaatmaschine. Griesheim, 23.04.2021, URL: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.poettinger.at%2Flandtechnik%2Fdownload%2Fpresstexte%2FPOETTINGER_TEGOSEM-auf-TERRASEM_2021_de.docx&wdOrigin=BROWSELINK, Zugriff am: 30.03.2022.
- [18] Meinel, T.: Sätechnik. In: Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion. 1. Auflage, Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2019, 58-87.
- [19] Homann, C.: Kverneland Monopill - New Mulch Tandem Sowing Unit. Soest, November 2021.
- [20] Oliveira, L. P.; Ortiz, B. V.; Silva, R. P.; Way, T. R.; Oliveira M. F.; Pate, G.: Does the Applied Gauge-Wheel Loads Have Influence on Seeding Depth and Soil Structure? 2021 Annual International Meeting ASABE July 12 - 16, 2021, DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.202101211>, Zugriff am: 30.03.2022.
- [21] Oliveira, L. P.; Ortiz, B. V.; Silva, R. P.; Way, T. R.; Oliveira M. F.; Pate, G.: Variability of Gauge-Wheel Loads Resulting from a Hydraulic Downforce System and the Impacts on Corn Seeding Depth and Emergence. 2021 Annual International Meeting ASABE July 12-16, 2021, DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.202101200>, Zugriff am: 30.03.2022.
- [22] Strasser, R.; Badua, S. A.; Sharda, A.; Rothmund, M.: Development of a test stand to quantify the response of a planter's automatic downforce control system. In: Transactions of the ASABE. 64 (5), S. 1533-1543, DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.14047>, Zugriff am: 30.03.2022.
-

- [23] Geng, L.; Zuo, J.; Lu, F.; Jin, X.; Sun, C.; Ji, J.: Calibration and experimental validation of contact parameters for oat seeds for discrete element method simulations. In: Applied Engineering in Agriculture. 37(4), S. 605-614, DOI: <https://doi.org/10.13031/aea.14381>, Zugriff am: 27.03.2022.
- [24] Liao, Y.; Gao, L.; Chen, H.; Liao, Q.; Liu, J.: Study on the physical properties of mixture of fertilizer granules and Coniothyrium Minitans of combined precision seeder for rapeseed. 2021 Annual International Meeting ASABE, July 12-16, 2021, DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.202100327>, Zugriff am: 30.03.2022.
- [25] Margapuri, V.; Neilsen, M.: Seed Phenotyping on Neural Networks using Domain Randomization and Transfer Learning. 2021 Annual International Meeting ASABE, July 12-16, 2021, DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.202100174>, Zugriff am: 27.03.2022.
- [26] Kuş, E.; Yıldırım, Y.: Laboratory scale of seed damage of coarse grain depending on groove diameter and depth in roller devices. In: Applied Engineering in Agriculture 37(3), S. 411-416, DOI: <https://doi.org/10.13031/aea.14484>, Zugriff am: 27.03.2022.
- [27] Wan, J.; Qi, L.; Zhang, H.; Lu, Z.; Zhou, J.: Research status and development trend of UAV broadcast sowing technology in China. 2021 Annual International Meeting ASABE, July 12-16, 2021, DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.202100017>, Zugriff am: 27.03.2022.
- [28] Hu, J.; Zhao, X.; Liu, W.; Yao, M.; Zhao, J.: Development of a seeding control method based on seed height in the hopper of a precision wheat drill. In: Applied Engineering in Agriculture 37(6), S. 1131-1138, DOI: <https://doi.org/10.13031/aea.14441>, Zugriff am: 27.03.2022.
- [29] Li, Y.; Liu, L. (c. a.); Chen, J. Zhao, J.; Yu, S.; Ma, C.: Experimental Study on Seeding Wheat Performance of the Wide Planter Pneumatic Seeding System. 2021 Annual International Meeting ASABE July 12-16, 2021, DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.202100777>, Zugriff am: 30.03.2022.
- [30] Liao, J.; Wang, Y.; Yin, J. N.; Bi, L. L.; Zhang, S.; Zhou, H. Y.; Zhu, D. Q.: An integrated navigation method based on an adaptive federal Kalman filter for a rice transplanter. In: Transactions of the ASABE. 64(2), S. 389-399, DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.13682>, Zugriff am: 29.03.2022.
- [31] Lin, H.; You, Y.; Wang, D. (C. a.): Performance simulation of seed metering device based on edem. 2021 Annual International Meeting ASABE, July 12-16, 2021, DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.202100392>, Zugriff am: 30.03.2022.
- [32] Shen, H.; Zhang, J.; Chen, X.; Dong, J.; Huang, Y.; Shi, J.: Development of a guiding-groove precision metering device for high-speed planting of soybean. In: Transactions of the ASABE 64(3), S. 1113-1122, DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.14307>, Zugriff am: 27.03.2022.
- [33] Wei, G.; Zhang, Q.; Wang, B.; Liao, Q.: Rapeseed direct seeder integrated with plowing-rotating combined tillage. In: Applied Engineering in Agriculture 37(6), S. 1005-1014, DOI: <https://doi.org/10.13031/aea.14536>, Zugriff am: 30.03.2022.
-

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 13.04.2022

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Meinel, Till: Sätechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-12

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030951-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/saetechnik.html>

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

Innovationen in der Pflanzenschutztechnik

Daniel Herrmann, Eva-Marie Dillschneider, Jan-Uwe Niemann, Magnus Tomforde, Jens Karl Wegener

Kurzfassung

Selektive Düsenschaltungen für den chemischen Pflanzenschutz und sensorgesteuerte Hacktechnik, auch in Kombination, ermöglichen, wie gesetzlich und gesellschaftlich gefordert, eine effektive Verringerung des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel. Als technische Plattform werden, neben Schleppern und Selbstfahrern, immer häufiger autonome Roboter entwickelt. Diese kombinieren häufig eine Präzisionsaussaat und späteres mechanisches Hacken mittels GPS oder Kameratechnik. Neben den bekannten Herstellern von mechanischen und chemischen Pflanzenschutzgeräten gibt es eine Reihe von Start-Ups und weiteren Institutionen, die an sensorgestützter Technologie und Automatisationsmöglichkeiten forschen.

Schlüsselwörter

Chemischer Pflanzenschutz, mechanischer Pflanzenschutz, selektiver Pflanzenschutz, Automatisierung, Feldroboter

Innovations in crop protection technology

Daniel Herrmann, Eva-Marie Dillschneider, Jan-Uwe Niemann, Magnus Tomforde, Jens Karl Wegener

Abstract

Selective nozzle switching for chemical crop protection and sensor-controlled hoeing technology, also in combination, enable an effective reduction in the use of chemical crop protection agents, as required by law and society. In addition to tractors and self-propelled vehicles, autonomous robots are increasingly being developed as a technical platform. These often combine precision sowing and later mechanical hoeing by using GPS or camera technology. In addition to the well-known manufacturers of mechanical and chemical plant protection equipment, there are a number of start-ups and other institutes researching sensor-based technology and automation options.

Keywords

Chemical crop protection, mechanical crop protection, selective crop protection, automation, field robots

Einleitung

Die Pflanzenschutztechnik ist möglicherweise der Bereich mit dem größten Innovationspotential in der gesamten Landtechnik. Wo in anderen Bereichen hauptsächlich die Devise schneller, größer und weiter als Neuerung angepriesen wird, bildet der Einsatz von smarter Technik, künstlicher Intelligenz und kleinen, behaglichen Robotern im Pflanzenschutz einen Kontrast. Dabei sind die Möglichkeiten der intelligenten Technik beim Pflanzenschutz auch andere: ein Mähdrescher, der nur 10 % der Fläche beerntet wird keinen Absatz finden – spart ein Pflanzenschutzgerät jedoch 90 % des eingesetzten Pflanzenschutzmittels ein, sind die Auswirkungen auf Ökonomie und Ökologie sofort ersichtlich.

Geräte und Innovationen zur mechanischen Unkrautbekämpfung mit Anbaugeräten

Die zunehmende gesellschaftliche Kritik am chemisch-synthetischen Pflanzenschutz – wie nicht zuletzt das Verbot des Totalherbizids Glyphosat ab 2024 zeigt – ist ein weiterer Innovationstreiber der Pflanzenschutztechnik. Auch stehen dem Anwender stetig weniger Wirkstoffe zur Verfügung, sei es durch Zulassungsentzug oder auch durch ausbleibende Wirkung bei zunehmenden Resistenzen. So wundert es nicht, dass es in den letzten Jahren im Bereich der Unkrautbekämpfung zu einer Renaissance der mechanischen Verfahren gekommen ist. Immer mehr Hersteller bieten Lösungen an und längst nicht nur ökologisch wirtschaftende Betriebe setzen Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung auf Ihren Flächen ein.

Die Wirkprinzipien der mechanischen Unkrautregulierung sind dabei jedoch seit Jahrhunderten unverändert. Die Unkräuter werden durch Abschneiden, Ausreißen oder Verschütten physikalisch beschädigt, sodass sie im Optimalfall absterben. Als Werkzeuge kommen dabei hauptsächlich schneidende Werkzeuge, wie Gänsefußschare, aber auch Schmalschare, Rollhacken oder Striegel zum Einsatz.

Die Innovation der mechanischen Pflanzenschutzgeräte findet sich dabei mehr in der Optimierung der Arbeitsgeräte und der Schaffung neuer Einsatzbereiche, bspw. durch die Digitalisierung. Zuerst sind die Geräte der mechanischen Unkrautregulierung auf heutige Schleppergrößen und die geforderte Schlagkraft optimiert; die Geräte sind breiter, stabiler und verschleißfester. So bietet die Firma Treffler ihren Präzisionsstriegel bis zu einer Arbeitsbreite von 29 Metern an, **Bild 1**. Hacktechnik ist bei den gängigen Herstellern bis 12 Meter Arbeitsbreite erhältlich. Der Einsatz von Kunststoffen, bspw. bei Fingerhacken, eröffnet weitere Anwendungsfelder. Insbesondere jedoch der Fortschritt bei der Kameratechnik und Bildverarbeitung sowie GPS-Technik sorgt zur Verbreitung der mechanischen Unkrautbekämpfung.

Die Fortschritte bei der Steuerungstechnik ermöglichen es im Wesentlichen, deutlich näher an die Kulturpflanzen heranzuarbeiten und als Ersatz für manuell gesteuerte Hacktechnik Personal einzusparen. So wird die Wirkungsrate der mechanischen Unkrautbekämpfung – im Vergleich zur manuellen Steuerung – deutlich erhöht und zuverlässiger, auch bei schlechter Sicht und über den kompletten Arbeitstag. Durch Pflanzenerkennung sind auch Hackwerkzeuge innerhalb der Reihe immer besser in der Lage, Unkräuter zu beseitigen. Einen

anderen Ansatz bieten GPS-gesteuerte Saatmuster, die es ermöglichen, quer zur Saatrichtung durch den Bestand zu fahren und so ebenfalls in der Reihe Unkraut zu regulieren.



Bild 1: Treffler Präzisionsstriegel mit 29 Metern Arbeitsbreite. [1]

Figure 1: Treffler Precision tine harrow with 29 meters working width. [1]

Bei der Kamertechnik ist zwischen Geräten, die lediglich die Kulturreihe optisch verfolgen und solchen, welche die Kulturpflanzen erkennen, zu unterscheiden. Letzteres ermöglicht beispielsweise die Firma Steketee mit dem IC-Weeder: ein Bordrechner erkennt die Kulturpflanze, steuert sichelförmige Hackmesser zwischen die Pflanzen und ermöglicht so eine exakte Unkrautbekämpfung in der Reihe, **Bild 2**.



Bild 2: Steketee IC-Weeder mit Pflanzenerkennung. [2]

Figure 2: Steketee IC-Weeder with crop-detection. [2]

Von zunehmender Bedeutung sind ebenfalls die Gerätekombinationen aus Hacke und Bandspritze. Diese Hacke-Bandspritzten nutzen gezielt die Vorteile der einzelnen Gerätegattungen, wie die einfache mechanische Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen und der Herbizidapplikation in der Reihe, um eine schlagkräftige und wirksame Unkrautbehandlung mit deutlich reduziertem Herbizideinsatz zu ermöglichen, **Bild 3**.



Bild 3: Hacke-Bandspritze der Firmen Amazone und Schmotzer. [3]

Figure 3: Hoe-band spraying combination from Amazone and Schmotzer. [3]

Geräte und Innovationen zur mechanischen Unkrautbekämpfung mit Robotern

Neben der Optimierung schleppergezogener Geräte zur mechanischen Unkrautbekämpfung ergänzen zunehmend autonome Feldroboter dieses Aufgabengebiet.

Das derzeit bekannteste Gerät zum autonomen mechanischen Pflanzenschutz ist der Farmdroid [4]. Insbesondere für den Rübenanbau bietet dieser Roboter einen ganzheitlichen Ansatz zur Aussaat und zur Unkrautbekämpfung. Bei der Aussaat werden die Positionen der Saatgutablage erfasst und diese Positionen bei der nachfolgenden mechanischen Unkrautbekämpfung ausgelassen. So ist auch eine Bearbeitung in der Reihe möglich und zusätzlicher Aufwand an manueller Hackarbeit wird deutlich reduziert. Die damit einhergehende Kostenersparnis führte nicht zuletzt zu einer starken Verbreitung des Farmdroids, von dem inzwischen mehr als 150 Stück auf europäischen Äckern zu finden sind, **Bild 4**.



Bild 4: Farmdroid bei der mechanischen Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben. Die Position der Pflanzen wurde zuvor bei der Aussaat aufgezeichnet. [5]

Figure 4: Farmdroid at mechanical weeding in sugar beets. The position of the plants is recorded during seeding. [5]

Die Firma Naïo bietet verschiedene autonome Feldroboter an, die alle elektrisch betrieben sind. Das kleinste Modell „Oz“ (130 cm x 47 cm x 83 cm) ist mit einem Präzisionssägerät und mit verschiedenen Bodenbearbeitungswerkzeugen sowie Geräten zur mechanischen Unkrautbekämpfung erhältlich, **Bild 5**. Der Oz verfügt über vier einzeln ansteuerbare Räder und operiert GPS-gesteuert, auch ein Einsatz „im Schwarm“ ist möglich [6]. So können Transportaufgaben, bspw. bei der Gemüseernte, übernommen werden. Die maximale Geschwindigkeit beträgt 1,8 km/h.

Der Dino ist ein Roboter für Reihen- und Beetkulturen mit einer Arbeitsbreite von 160 bis zu 220 cm, **Bild 6**. Der Dino enthält zusätzlich umfangreiche Kamera- und Sensortechnik für die Pflanzenerkennung und Feineinstellung der Arbeitswerkzeuge [7]. Dies ermöglicht eine Arbeitsgeschwindigkeit beim Hacken von bis zu 4 km/h. Die umfangreiche Kamera- und Sensortechnik ermöglicht auch einen Einsatz zum Bonitieren und Phänotypisieren. Erprobt wird diese Einsatzmöglichkeit bspw. bei der bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau [8]. Zudem ist der Dino als „PhenoBob®“ bei der Firma Strube DS GmbH zur Erkennung und phänologischen Datenerhebung in Zuckerrüben auf dem Feld im Einsatz [9]. Der BlueBob® ist ein weiterer autonomer Feldroboter der Firma Naïo, der aktuell ebenfalls bei der Firma Strube DS GmbH getestet wird. Der BlueBob® ermöglicht das Querhacken innerhalb der Reihe und bietet die Möglichkeit, verschiedene Arbeitsgeräte im Front- oder Mittelanbau zu adaptieren. Eine Serienfertigung des BlueBob® ist in Planung.



Bild 5: Feldroboter Oz mit Grubber. [6]

Figure 5: Fieldrobot Oz with cultivator. [6]



Bild 6: Fingerhacke am autonomen Feldroboter Dino. [7]

Figure 6: Finger hoe at autonomous fieldrobot Dino. [7]

Für den Weinbau bietet Naïo den Ted an [10]. Der tunnelförmige Aufbau erlaubt es, über den Reben zu fahren und macht das Gerät sehr standfest. Der Ted ist dabei kein Sprühgerät, sondern für die mechanische Unkrautbekämpfung optimiert. Dazu gibt es verschiedene Hackwerkzeuge.

Der ROBOTTI 150D der Firma Agointelli ist mit zwei Dieselmotoren á 75 PS der wohl stärkste autonome Feldroboter und mit einem kompakten Standardschlepper vergleichbar, **Bild 7**. Dabei wiegt der ROBOTTI 150D nur gut die Hälfte. Er ist als Geräteträger konstruiert und verfügt über eine konventionelle Dreipunktaufnahme im Mittelanbau, Zapfwelle und Hydraulikanschlüsse. So ist man bei der Wahl der Arbeitsgeräte nicht auf einen Hersteller angewiesen und kann die vorhandenen Anbaugeräte weiterverwenden. Die maximale Arbeitsge-

schwindigkeit beträgt 6 km/h. Der Mittelanbau verhindert jedoch eine ganzflächige Bearbeitung, da die Radspuren unbearbeitet bleiben.



Bild 7: Agointelli 150D mit Striegelanbau zur Unkrautbekämpfung. [11]

Figure 7: Agointelli 150D with harrow for weeding. [11]

Für die Nutzung im Ackerbau sind die Geräte aktuell eher noch klein dimensioniert und eine Nutzung ist auch standortabhängig zu beurteilen. Neben dem Getreideanbau sind aber mit den aktuell verfügbaren Geräten die meisten ackerbaulichen Kulturen, mit Einschränkungen, zu bewirtschaften. Ihre Stärken spielen die Roboter aktuell vor allem in Reihen-, Beet- und Raumkulturen mit hohem Deckungsbeitrag und bei hohen Arbeitserledigungskosten aus. Anzumerken bleibt, dass alle Angaben zu Akkulaufzeiten und Geschwindigkeiten auf leichte, krümelige Böden ohne Steigung bezogen sind.

Spot-Spraying mit herkömmlichen Pflanzenschutzgeräten

Die Möglichkeiten der digitalen Bilderkennung eröffnen auch bei herkömmlichen Feldspritzgeräten neue Anwendungsgebiete. Bei der „green on brown“ Technik werden über optische Sensoren grüne Pflanzen auf unbewachsenem Boden erkannt. Die Teilbreiten oder die pulsweitengesteuerten Düsen werden so gezielt über der Zielpflanze geöffnet und auch nur dort Herbizid appliziert. So ergeben sich – je nach Unkrautbedeckungsgrad – Herbizideinsparungen von bis zu 90 % bei voller Wirkung. Angeboten wird diese Lösung unter anderem von der Firma Amazone mit dem Produkt UX AmaSpot [12], dem Trimble WeedSeeker [13] oder John Deere See & Spray [14; 15]. Diese Technik ermöglicht jedoch keinen Einsatz in der Kultur, da eine Unterscheidung des Unkrauts von der Kulturpflanze nicht möglich ist.

Der Einsatz künstlicher Intelligenz ermöglicht jedoch genau das und somit einen teilflächen-spezifischen Einsatz selektiver Herbizide im Bestand. Kameras und Sensoren liefern die Daten, mit der durch Softwareverarbeitung das Unkraut von der Kulturpflanze unterschieden und teilweise sogar jede Unkrautart einzeln identifiziert wird. Diese „green on green“ genannte Technik bietet das Produkt SmartSprayer von Amazone, Bosch und Xarvio [16; 17]. In

Reihenkulturen wird das Unkraut erkannt und der Herbizideinsatz gezielt nach dem Schadschwellenprinzip geregelt. Die Entwicklung der EXEL-Gruppe mit dem 3S Spot Sprayer Sensor [18] geht dabei einen Schritt weiter und ermöglicht es, neben der Detektion von Unkräutern auch den Nährstoffversorgungsgrad und Krankheitsbefall der Pflanzen zu erkennen, **Bild 8**.



Bild 8: Agrifac Camera sprüht „green on green“. [19]

Figure 8: Agrifac Camera spraying green on green. [19]

Einen gänzlich anderen Weg geht die Firma Ecorobotix mit dem Ara [20; 21], **Bild 9**. Das Pflanzenschutzgerät hat im Gegensatz zu klassischen Feldspritzgeräten einen Düsenabstand von nur 4 cm. In Kombination mit einer kameragestützten Einzelpflanzenerkennung werden die Unkräuter gezielt detektiert und mit Herbiziden behandelt. Die Technik ist als angebautes Arbeitsgerät mit 6 Metern Arbeitsbreite verfügbar. Darüber hinaus bietet die Firma Ecorobotix ihren autonomen Roboter AVO für den chemischen Pflanzenschutz an, der auf der gleichen Technik basiert [22].



Bild 9: Ecorobotix ARA Anbauspritze mit Pflanzenscanner und 4 cm Düsenabstand. [5]

Figure 9: Ecorobotix ARA sprayer with plant detection and 4 cm nozzle width. [5]

Geräte und Innovationen zur chemischen Unkrautbekämpfung mit Robotern

Auch für den chemischen Pflanzenschutz existiert eine Vielzahl an autonomen und Robotiklösungen für die unterschiedlichsten Einsatzgebiete. Dabei gehen die Anwendungen über die Applikation in Flächenkulturen hinaus. So stehen Geräte für den Pflanzenschutz in den Steillagen des Weinbergs sowie luftgestützte Lösungen zur Verfügung. Der großflächige chemische Pflanzenschutz, bspw. in Getreide, ist ein sehr kostengünstiges und schlagkräftiges Verfahren, sodass der Einsatz autonomer Technik hierbei bisher nicht verbreitet ist. Nichtsdestotrotz gibt es verschiedene Prototypen, die auch in diesem Anwendungsfeld zu finden sind. So präsentierte John Deere eine autonome Selbstfahrerspritze auf Raupenlaufwerken, die durch ihren sehr geringen Bodendruck ein erweitertes Einsatzspektrum bietet.

Ein Vorteil chemischer Unkrautbekämpfung ist der geringe Energieaufwand, da nur eine Flüssigkeit versprüht wird. Somit ist der Energiebedarf deutlich geringer als bspw. bei der mechanischen Unkrautbekämpfung. Dies ist insbesondere für leichte und zumeist batteriebetriebene Feldroboter von Vorteil, da längere Laufzeiten möglich sind. Häufig werden diese Geräte zusätzlich mit Solarzellen kombiniert, um einen Teil ihrer benötigten Energie selbst zu erzeugen. Neben marktreifen Lösungen wie dem bereits genannten Ecorobotix AVO finden sich zahlreiche Projektstudien und Prototypen.

Einen weiteren Feldspritzroboter bietet die Firma Innok Robotics an [23]. Das Gerät basiert auf konventioneller Pflanzenschutztechnik und soll insbesondere den Anwenderschutz, bspw. im Gewächshauseinsatz, erhöhen.

Die Pflanzenschutzapplikation in den Steillagen des Weinbaus ist für den Anwender durch die starken Steigungen und Schräglagen aufwändig, arbeitsintensiv und gefährlich. Die autonome oder ferngesteuerte Technik bietet hier einen Lösungsansatz, um den Anwender zu entlasten und aus der Gefahrenzone zu entziehen. Für den bodengestützten Pflanzenschutz bietet die Firma Yanmar eine Roboterlösung, basierend auf einem Raupenfahrwerk [24]. Dieses sehr kompakte und wendige Sprühgerät mit der Bezeichnung „YV01“ arbeitet darüber hinaus als Tunnelsprühgerät und kann daher die Effektivität der eingesetzten Wirkstoffe bei gleichzeitiger Schonung des Naturhaushalts erhöhen, **Bild 10**.

Auch sind Hubschrauber eine Option für den Pflanzenschutz in Steillagen. Der Einsatz ist jedoch aufwändig und sehr kostenintensiv. Eine günstigere Alternative bieten Drohnen. Zur Bekämpfung des Maiszünslers ist der Drohneneinsatz bereits in der Praxis etabliert. Dabei werden jedoch keine Pflanzenschutzmittel appliziert, sondern die Larven der Schlupfwespe in den stehenden Maisbestand eingebracht. Die Firma DJI bietet mit ihrer Agras Serie zahlreiche Sprühdrohnen an [25], wovon vier bereits eine erfolgreiche JKI-Anerkennung durchlaufen haben [26], **Bild 11**. Durch Abstandssensoren und GPS-geplante Flugrouten ist hiermit bereits ein (teil)-autonomer Betrieb möglich. Der Anwender kontrolliert den Einsatz und übernimmt Aufgaben, wie das Nachfüllen der Pflanzenschutzmittel und das Tauschen der Akkus. Auf der Agritechnica 2019 zeigte John Deere den Prototyp einer Großdrohne, die eine Flächenleistung bis zu 6 ha/h erreicht, womit auch der Einsatz in Flächenkulturen praktikabel wird [27]. Ein wesentlicher Vorteil der Drohnentechnik ist dabei der deutlich erweiterte Einsatzzeitraum, unabhängig von Bodenfeuchte oder Bestandshöhe.



Bild 10: Yanmar YV01 autonomes Weinbautunnelsprühergerät. [24]

Figure 10: Yanmar YV01 autonomous wine yard tunnel sprayer. [24]



Bild 11: DJI Agras T30 Drohne zum Versprühen von Pflanzenschutzmitteln. [25]

Figure 11: DJI Agras T30 drone for spraying of pesticides. [25]

Zusammenfassung

Die Digitalisierung und der Einsatz künstlicher Intelligenz findet auch im Pflanzenschutz zunehmend Verbreitung. Dabei werden herkömmliche Verfahren optimiert und sogar gänzlich neue Wege beschritten. Konventionelle Pflanzenschutztechnik profitiert insbesondere von der Verbesserung der Kamertechnik und Bildverarbeitung. So können mechanische Werkzeuge näher und zuverlässiger an der Kulturpflanze arbeiten und somit ihren Wirkungsgrad erhöhen. Die automatische Erkennung der Zielpflanze beim chemischen Pflanzenschutz erhöht die Effizienz der eingesetzten Wirkstoffe und verringert schädliche Auswirkungen auf das Ökosystem.

Auch autonome Technik findet zunehmend Verbreitung in der Landwirtschaft. Das potenzielle Einsatzgebiet ist gewaltig – und dementsprechend auch die Anzahl der Roboter, die von den bekannten Konzernen der Agrartechnik, Universitäten, Start-Ups und Firmen, die in bisher gänzlich anderen Bereichen aktiv waren, entwickelt wurden. Aktuell stehen dem Einsatz

autonomer Feldroboter insbesondere noch rechtliche Hürden entgegen. Dass die Technik prinzipiell funktioniert und wirtschaftlich eingesetzt werden könnte, zeigen nicht zuletzt die ersten Praxiserfahrungen mit dem Farmdroid. Und viele weitere werden folgen!

Literatur

- [1] Treffler Maschinenbau GmbH & Co. KG: Treffler Präzisionsstriegel. URL: <https://www.treffler.net/agrartechnik/produkte/striegel/>, Zugriff am: 24.03.2022.
- [2] Machinefabrik Steketee BV: Steketee IC-Weeder. URL: <https://www.steketee.com/de/producten/ic-weeder-4/>, Zugriff am: 24.03.2022.
- [3] Amazonen-Werke H. Dreyer SE & Co. KG: Hacke-Bandspritze Amazone und Schmotzer. URL: https://media.amazone.de/amazone/#1648135019082_3, Zugriff am: 24.03.2022.
- [4] Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau: Alternative Beikrautregulierung im Obst-, Gemüse- und Weinbau. 2022, URL: https://www.lwg.bayern.de/gartenbau/oekologischer_anbau/206313/index.php, Zugriff am: 24.03.2022.
- [5] Tomforde, M.: Julius Kühn-Institut: Eigenes Bild.
- [6] Strube D&S GmbH: BlueBob - mechanisches Unkrautmanagement per Roboter. URL: <https://www.strube.net/blog/bluebob>, Zugriff am: 24.03.2022.
- [7] Naio Technologies: Oz - The farming assistant for time-consuming and arduous tasks. URL: <https://www.naio-technologies.com/en/oz/>, Zugriff am: 24.03.2022.
- [8] Naio Technologies: Dino - Weeding robot for large-scale vegetable crops. URL: <https://www.naio-technologies.com/en/dino/>, Zugriff am: 24.03.2022.
- [9] Naio Technologies: Ted - Discover the first robot dedicated to vineyards, an alternative to the use of herbicides that respects your soils and improves your working conditions. URL: <https://www.naio-technologies.com/en/ted/>, Zugriff am: 24.03.2022.
- [10] Farmdroid: Vorteile Farmdroid. URL: <https://farmdroid.dk/de/vorteile/>, Zugriff am: 24.03.2022.
- [11] Agointelli: Our Technology. URL: <https://www.agointelli.com/robotti/>, Zugriff am: 24.03.2022.
- [12] Amazonen-Werke H. Dreyer SE & Co. KG: Anhängfeldspritze UX AmaSpot. URL: <https://amazone.de/de-de/produkte-digitale-loesungen/landtechnik/pflanzenschutztechnik/anhaengefeldspritzen/anhaengefeldspritze-ux-amaspot-76572>, Zugriff am: 23.03.2022.
- [13] Trimble Inc.: WeedSeeker 2 - System zur punktgenauen Spritzung. URL: <https://agriculture.trimble.de/product/weedseeker-2-system-zur-punktgenauen-spritzung/>, Zugriff am: 23.03.2022.
- [14] Deere & Company: See & Spray™ Select. URL: <https://jdvirtualpavilion.com/see-and-spray-select/>, Zugriff am: 23.03.2022.

- [15] Deere & Company: John Deere launches See & Spray™ Select for 400 and 600 Series Sprayers. URL: <https://www.deere.com/en/news/all-news/2021mar02-john-deere-launches-see-and-spray-select/>, Zugriff am: 23.03.2022.
- [16] Amazonen-Werke H. Dreyer SE & Co. KG: Smart Sprayer-Gemeinschaftsprojekt. URL: <https://amazone.net/de/service-support/fuer-medien/presse-meldungen/presse-archiv-2019/smartsprayer-gemeinschaftsprojekt-23534>, Zugriff am: 23.03.2022.
- [17] Amazonen-Werke H. Dreyer SE & Co. KG: Smart Sprayer. URL: <https://amazone.de/de-de/produkte-digitale-loesungen/landtechnik/pflanzenschutztechnik/amazone-ux-5201-smartsprayer-965616>, Zugriff am: 23.03.2022.
- [18] Exxact Robotics: 3S Spot Spray Sensor - Exxact Robotics. URL: <https://exxact-robotics.com/en/produit/3s-spot-spray-sensor/>, Zugriff am: 23.03.2022.
- [19] Agrifac Machinery B.V.: Kameragestütztes Spritzen - Spritzt nur dort, wo Unkraut vorhanden ist. URL: <https://www.agrifac.com/de/nachhaltige-landwirtschaft/kameraunterstuetzes-spritzen/>, Zugriff am: 23.03.2022.
- [20] Exxact Robotics: 3S Spot Spray Sensor - Exxact Robotics. URL: <https://exxact-robotics.com/en/produit/3s-spot-spray-sensor/>, Zugriff am: 23.03.2022.
- [21] ecoRobotix SA: ARA: Die intelligenteste Feldspritze auf dem Markt. URL: <https://ecorobotix.com/de/ara/>, Zugriff am: 23.03.2022.
- [22] ecoRobotix SA: AVO: ROBOT DE DESHERBAGE AUTONOME. URL: https://ecorobotix.com/wp-content/uploads/2021/11/ECOX_FlyerPres-AVO-FR_web.pdf, Zugriff am: 23.03.2022.
- [23] Innok Robotics: Spritzmittelroboter: <https://www.innok-robotics.de/produkte/heros/anwendungen/spritzroboter>, Zugriff am: 05.02.2022.
- [24] Yanmar HoldingsCO., LTD.: Spraying Robot YV01. URL: <https://www.yanmar.com/eu/campaign/2021/10/vineyard/>, Zugriff am: 23.3.2022.
- [25] DJI GmbH: Agras T30. URL: <https://www.dji.com/de/t30?site=brandsite&from=nav>, Zugriff am: 23.03.2022.
- [26] Julius Kühn-Institut: Liste geeigneter Spritzeinrichtungen für unbemannte Luftfahrzeuge (Drohnen) für die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Steillagen-Weinbau. URL: https://www.julius-kuehn.de/media/Institute/AT/PDF_RichtlinienListenPruefberichte/Drohnen/Liste_Drohn en.pdf, Zugriff am: 23.03.2022.
- [27] Deere & Company: Großdrohne für den Pflanzenschutz (VoloDrone). URL: <https://www.deere.de/de/landtechnik/landwirtschaft-der-zukunft/>, Zugriff am: 23.03.2022.

Autorendaten

Daniel Herrmann (M. Sc.), Jan-Uwe Niemann (M. Sc.) und Magnus Tomforde (M. Sc.) sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz des Julius Kühn-Instituts am Standort Braunschweig.

Eva-Marie Dillschneider (M. Sc.) ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz des Julius Kühn-Instituts am Standort Braunschweig.

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

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 04.04.2022

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Herrmann, Daniel; Dillschneider, Eva-Marie; Niemann, Jan-Uwe; Tomforde, Magnus; Wegener, Jens Karl: Innovationen in der Pflanzenschutztechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-13

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030954-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/pflanzenschutztechnik.html>

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

Verfahrensvergleich Bewässerungstechnik

Angela Riedel, Henning Gödeke

Kurzfassung

Bewässerung ist ein wesentliches Produktionsmittel zur Stabilisierung der Erträge und Qualitäten an trockenen Standorten. Die Anforderungen an eine sparsame und effiziente Wasserverteilung steigen und der Investitionsaufwand für die Technik ist hoch. Die mobile Beregnungsmaschine mit „Kanone“ ist wegen ihrer flexiblen Einsatzmöglichkeiten und der vertretbaren Kosten immer noch das bedeutsamste Beregnungsverfahren in Deutschland. Eine Kreisberegnung ist energieeffizienter, benötigt sehr wenig Arbeitszeit und verteilt das Wasser gleichmäßiger. Bei kleineren Flächen unter 20 ha kann der Einsatz des Düsenwagens sinnvoll sein. Die Hersteller arbeiten an technischen Lösungen, um ihn anwenderfreundlicher hinsichtlich der Handhabung und beim Straßentransport zu machen. Selbstfahrermaschinen sind relativ schwer und teuer, können bei Flächen mit kurzer Länge oder unregelmäßiger Form aber vorteilhaft sein. Die Tropfbewässerung hat die beste Wassereffizienz, ist jedoch sehr teuer.

Schlüsselwörter

mobile Beregnungsmaschine, Großregner, Kreisberegnung, Düsenwagen, Tropfbewässerung

Procedure comparison irrigation technique

Angela Riedel, Henning Gödeke

Abstract

Irrigation is an essential means of production to stabilize yields and quality in dry locations. The requirements for economical and efficient water distribution are increasing and the capital outlay for the technology is high. The mobile hose reel irrigation machine with a rain gun is still the most important irrigation method in Germany because of its flexible application possibilities and reasonable costs. Center Pivot irrigation is more energy efficient, requires very little labor and distributes the water more evenly. For smaller areas of less than 20 ha, the use of a nozzle boom cart can make sense. The manufacturers are working on technical solutions to make it more user-friendly in terms of handling and road transport. Self-propelled machines are rather heavy and expensive, but can be beneficial on areas that are short in length or irregular in shape. Drip irrigation has the best water efficiency, but the costs are very high.

Keywords

mobile irrigation machine, rain gun, center pivot, nozzle boom cart, drip irrigation

Einleitung

Bewässerung ist ein wesentliches Produktionsmittel zur Stabilisierung der Erträge und Qualitäten, wenn an einem Standort die natürliche Wasserzufuhr für eine bedarfsgerechte Versorgung der Kulturen nicht ausreicht.

Der finanzielle Aufwand für die Investitionen in die Technik ist jedoch hoch. Auch die variablen Kosten für den Betrieb sind nicht zu unterschätzen. Die Wasserentnahme aus dem Grundwasser oder Oberflächengewässern ist nur auf der Grundlage wasserrechtlicher Erlaubnisse möglich und die Menge ist meistens begrenzt. Für eine bedarfsgerechte Versorgung der Kulturen muss das Zusatzwasser daher möglichst zielgerichtet und effizient verteilt werden. Bei der Auswahl der Bewässerungstechnik ist diese Vorgabe ebenso zu beachten, wie die Kosten-/Nutzenrelation, die sich auch aus der wirtschaftlichen Vorzüglichkeit der zu bewässernden Kulturen ergibt.

Viele Beregnungsbetriebe, aber auch Neueinsteiger, die bisher ohne Beregnung auskamen, stellen sich die Frage nach den optimalen technischen Maßnahmen. Hierfür ist immer betriebs-, kultur-, und schlagspezifisch nach der besten Möglichkeit zu suchen. Der Fokus in diesem Beitrag liegt darauf, einen Überblick über die Technik zur Wasserverteilung (ohne die Frostschutzberegnung) zu geben. Eine schnelle Übersicht bietet **Tabelle 1**.

Tabelle 1: Kennwerte verschiedener Bewässerungsverfahren [1]

Table 1: Characteristic values of different irrigation methods [1]

	Mobile Beregnungs- maschine mit "Kanone" <i>(mobile irrigation machine with rain-gun)</i>	Kreisberegnungsmaschine <i>(centerpivot)</i>	Tropfbewässerung, einjährige Schläuche <i>(drip irrigation, annual driplines)</i>
Wassereffizienz <i>(water efficiency)</i>	mittel <i>(medium)</i>	gut <i>(good)</i>	sehr gut <i>(very good)</i>
Energiebedarf <i>(energy demand)</i>	sehr hoch <i>(very high)</i> ~ 0,5 - 0,7 kWh/m ³	mittel <i>(medium)</i> ~ 0,2 - 0,3 kWh/m ³	gering <i>(low)</i> ~ 0,1 - 0,2 kWh/m ³
Arbeitszeitbedarf <i>(working time requirement)</i>	~ 45 min je Aufstellung <i>(~ 45 min. per operation)</i>	~ 15 min je Gabe Kontrollaufwand <i>(~ 15 min control effort per irrigation)</i>	~ 10 h für Auf- und Abbau je ha <i>(~ 10 h for set up and dismantle)</i> + ~ 20 min je Gabe <i>(~ 20 min per irrigation)</i>
Investitionskosten (ab Hydrant) <i>(investment cost ex hydrant)</i>	~ 1.500 €/ha	~ 1.800 €/ha	2.000 €/ha <i>(+ 600-1.200 €/ha*a)</i>
Besondere Anforderungen <i>(special requirements)</i>	Schlepper zum Umsetzen <i>(tractor for transposition)</i>	hindernisfreie Fläche <i>(unobstructed area)</i> >20 ha	Wasserqualität <i>(water quality)</i> (Fe, Mn,...)
Besondere Vorteile <i>(special advantages)</i>	Flexibilität <i>(flexibility)</i>	sehr geringer Arbeitsaufwand, gute Wasserverteilung <i>(low working time requirement, even water distribution)</i>	unabhängig von Witterung und Pflanzenschutz <i>(independent from weather and crop protection)</i>

Mobile Beregnungsmaschine mit Großflächenregner

Auf etwa 98 % der beregneten Fläche Deutschlands findet eine Beregnung über die mobile Beregnungsmaschine mit Großregner, die sogenannte „Kanone“, statt. Dieses Verfahren bietet die größtmögliche Einsatzflexibilität, wodurch eine individuelle Anpassung an die

Schlaggröße, die Schlagform und die Kulturart möglich ist [2]. Im Vergleich zu anderen Bewässerungsverfahren ist der Kapitalbedarf bei der mobilen Regenmaschine am geringsten. Er liegt durchschnittlich bei etwa 1500 €/ha.

Es sind jedoch auch einige Nachteile mit dieser Technik verbunden. Ein wesentlicher Kritikpunkt ist die schlechte Querverteilung bei windigem Wetter [2]. Eine gleichmäßige Längsverteilung ist dagegen bei modernen Maschinen durch die automatische Einzugsregelung gegeben. Störend können hier allerdings Druckschwankungen in der Leitung wirken. Es gibt am Markt satellitengestützte Steuerungssysteme als Zusatzausrüstung, die dennoch eine gleichmäßige Längsverteilung und auch eine automatische Einstellung des beregneten Sektors ermöglichen [3].



Bild 1: Mobile Beregnungsmaschine mit Großregner und mobilem Wasserzähler am Zuleitungsrohr
Figure 1: Mobile irrigation machine with rain gun and mobile water meter on the supply pipe

Negativ ist auch der hohe Energiebedarf zu beurteilen, der zur Erzeugung eines Wasserdrucks von mindestens 8-9 bar am Eingang in die Maschine nötig ist. Außerdem ist der Arbeitszeitaufwand relativ hoch, weil die Maschine regelmäßig umgestellt werden muss, sobald eine Gasse fertig beregnet ist. Pro Aufstellung ist mit durchschnittlich 45 Minuten zu rechnen. Besonders vorteilhaft sind daher möglichst lange Schläge, bei denen pro Aufstellung eine relativ große Fläche beregnet werden kann. Wegen der begrenzten Rohrlänge sind aber nur maximal 1000 m möglich, was bei 81 m Arbeitsbreite etwa 8 ha je Aufstellung bedeutet [4]. In der Praxis

sind jedoch eher kleinere und leichtere Beregnungsmaschinen mit 400-600 m Rohrlänge üblich, die etwa 3-5 ha je Aufstellung schaffen. Die variablen Kosten liegen etwa im Bereich zwischen 2,30 und 2,80 € je mm, je nach Art der Energiebereitstellung und der betrieblichen Situation. Hierbei ist der Pumpenbetrieb mit Diesel teurer als mit Strom [5].

Düsenwagen

Um die Wassereffizienz zu steigern, kann anstelle der „Kanone“ ein Düsenwagen zur Wasserverteilung an der mobilen Beregnungsmaschine genutzt werden. Günstig zu beurteilen ist hier besonders die gleichmäßigere und schonendere Wasserverteilung, die über kleine Niederdruckdüsen erfolgt. Die Windempfindlichkeit ist durch die bodennahe Ausbringung zudem geringer. Die niedrigere Energie der feinen Tropfen beim Aufprall auf Pflanzen und Boden wirkt sich besonders positiv bei empfindlichen Kulturen wie Gemüse oder (Speise-)Kartoffeln aus und fördert zudem ein schnelleres Einsickern des Wassers in den Boden.

Ein weiterer Vorteil ist der um etwa 2 bar niedrigere Wasserdruck, was einen um etwa 20 % verringerten Energiebedarf ausmacht [2]. Diese Einsparung lässt sich allerdings nur dann realisieren, wenn auch die Leistung der Pumpe bei der Wasserförderung entsprechend geringer ist. Das ist allerdings in einem Leitungs-Verbund schwierig umzusetzen, wenn dort auch die herkömmliche Technik („Kanone“) mitläuft, die höhere Drücke benötigt. Eine Lösung wäre hier eine frequenzgeregelte Pumpe.

Nachteilig beim Düsenwagen ist jedoch der erhöhte Arbeitszeitaufwand beim Auf- und Abbau sowie der zusätzliche Kapitalbedarf [1]. Einige Düsenwagen mit großer Arbeitsbreite weisen Transportbreiten von über 3 Metern auf und sind daher für den Straßenverkehr nur bedingt geeignet.

Selbstfahrende Beregnungsmaschinen

Diese Technik erlaubt eine kurvige Verlegung des Rohrs und ist dadurch nicht auf eine einzelne Gasse angewiesen. Der Einzug der kompletten Maschine erfolgt dann während der Beregnung selbstständig entlang des verlegten Rohrs. Das ist besonders günstig bei keiligen, unregelmäßigen oder kurzen Schlägen, weil sich die Arbeitszeit durch weniger Umstellungen erheblich verringert. Die Verlegung ist bis zu einer Länge von etwa 1000 m möglich. Üblich ist die Bestückung mit einem oder bis zu drei an einem Ausleger befestigten Großregnern. Neu ist die Möglichkeit, ein 66 m breites Düsengestänge wie bei einem Düsenwagen anzubringen, welches hydraulisch teleskopierbar ist (**Bilder 2 und 3**), wodurch die Maschinenbreite für Straßenfahrten nicht überschritten und die Arbeitszeit verringert wird [6]. Hierbei sind jedoch das hohe Eigengewicht und die hohen Kosten zu berücksichtigen.



Bild 2: Düsengestänge an selbstfahrender Beregnungsmaschine
Figure 2: Nozzle boom on self-propelled irrigation machine



Bild 3: Einfahrbarer Düsensbalken
Figure 3: Retractable nozzle boom

Kreisberegnung

Ab einer Flächengröße von etwa 20 ha ist die Kreisberegnung eine Überlegung wert. Dieses Beregnungsverfahren vereint die Vorteile des Düsenswagens und einen sehr geringen Arbeitszeitbedarf durch den hohen Grad an Automatisierung. Dabei muss eine Kreisberegnung, je

nach Flächengröße und Ausstattung, kaum teurer sein als eine mobile Beregnungsmaschine mit Großflächenregner. Gegenüber der Technik mit Düsenwagen kann sie sogar günstiger sein [1].

Funktionsweise: um einen Drehpunkt, den Zentralturm, rotiert ein fahrbares, aus mehreren Traversen (Spans) zusammengesetztes Gestänge mit Rohrleitung und Niederdruck-Düsen. Die einzelnen Fahrwerke zwischen den Spans werden meistens elektrisch, bei manchen Herstellern auch hydraulisch, angetrieben. Dabei gibt das äußerste Fahrwerk die Geschwindigkeit vor und die inneren Fahrtürme erkennen nacheinander über einen Sensor die Abwinkelung, wodurch die Fahrantriebe entsprechend aktiviert werden. Die Düsengröße nimmt wegen der steigenden Vorschubgeschwindigkeit mit zunehmender Entfernung vom Zentralturm zu. Damit wird eine gleichmäßige Wasserverteilung auf der gesamten Arbeitslänge realisiert.

Für eine gute Wassereffizienz sorgt auch die relativ geringe Windempfindlichkeit, weil die Düsen auf einer geringen Höhe über dem Pflanzenbestand geführt werden. Der benötigte Wasserdruck ist mit 2 - 3,5 bar vergleichsweise niedrig. Dadurch ist eine Energieeinsparung im Vergleich zum mobilen Großregner von rund 50 bis 60 % möglich [2]. Der geringe Energie- und Arbeitszeitbedarf bei der Kreisberegnung bewirkt relativ niedrige variable Kosten, die ungefähr in der Größenordnung von 1 € je mm liegen.

Ein weiterer Vorteil gegenüber dem Großregner ist auch darin zu sehen, dass bei der Kreisberegnung kleinere Regengaben möglich sind und ein kompletter Umlauf bereits in 2-3 Tagen erfolgen kann (je nach Gabenhöhe und Volumendurchfluss), wodurch die Pflanzen in einem optimalen Bodenfeuchtebereich gehalten werden können. Außerdem ist der feine Regen für die Pflanzen und den Boden sehr schonend.

Der Einsatz einer Kreisberegnungsmaschine ist jedoch deutlich weniger flexibel als bei mobilen Beregnungsmaschinen. Erforderlich sind relativ große, passend geschnittene Flächen ohne störende Elemente wie Strommasten oder Bäume. Bei einem Radius von z.B. 300 m (plus Endregner) können 33 ha Fläche beregnet werden. Es gibt zwar auch deutlich kleinere Anlagen, aber dann steigen die Kosten je ha überproportional an. Die Verziehbarekeit auf eine benachbarte Fläche ist nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. Außerdem ist es zur Absicherung der Investition vorteilhaft, wenn die Fläche im Eigentum ist oder eine lange Pacht-dauer aufweist.

Ein weiterer Nachteil der Kreisberegnung ist die schlechte Flächenabdeckung bei rechteckig geschnittenen Schlägen. Von einem quadratischen Feld kann nur ein Anteil von ca. 80 % beregnet werden [7]. Um diesen Anteil zu erhöhen, bieten die Hersteller verschiedene Lösungen zum Eckenausgleich an. So lässt sich über eine Boosterpumpe zur Druckerhöhung und einen Mittelstarkregner am Ende der Maschine nochmals etwa 3 % mehr Fläche beregnet. Bei einer Flächengröße von 30 ha und einer Abdeckung von 83 % sind hingegen immer noch gut 5 ha unberegnet. Wer eine noch bessere Flächenausnutzung erreichen will, kann zusätzlich in ein schwenkbares Eckenausgleichssystem investieren (**Bild 4**), was aber mit hohen Zusatzkosten zu Buche schlägt. In den Ecken, wo der Kreisregner nicht hinkommt, wird der Einsatz der mobilen Regenmaschine nötig. Alternativ sollte man prüfen, ob Maßnahmen zur Extensivierung oder zum Naturschutz für die entsprechenden Randbereiche möglich und sinnvoll sind.



Bild 4: Kreisberegnung mit schwenkbarem Eckenausgleichssystem
Figure 4: Pivot irrigation with swiveling corner compensation system

Linearberegnung

Ein weiteres Verfahren, welches der Kreisberegnung sehr ähnlich ist, ist die Linearberegnung. Durch kontinuierliche Vorwärtsbewegung der gesamten Maschine können hiermit rechteckige Felder beregnet werden. Unterschiede zur Kreisberegnung ergeben sich im Wesentlichen im Verfahrensablauf sowie der Wasser- und Energieversorgung. Feldlängen von 400 bis 1200 m können hierbei pro Aufstellung beregnet werden. Nachteile dieses Verfahrens sind jedoch der etwas höhere Kapital- und Energiebedarf. Durch das notwendige Umkuppeln des Rohrs in bestimmten Abständen ist außerdem ein größerer Arbeitsaufwand nötig als bei der vollautomatisch arbeitenden Kreisberegnung.

Tropfbewässerung

Eine sehr wassereffiziente Bewässerungstechnik stellt die Tropfbewässerung dar. Wegen des hohen Kapitalbedarfs von 2000 bis zu 5000 €/ha lohnt sich der Einsatz jedoch nur in Dauerkulturen oder Kulturen mit hoher Wertschöpfung wie Gemüse und Obst und wird in den klassischen Ackerkulturen daher vor allem in Kartoffeln eingesetzt.

Der Arbeitszeitbedarf während der Beregnungssaison ist weitgehend automatisiert und daher sehr gering. Für das Installieren und Abbauen ist der Arbeitsaufwand mit etwa 10 Stunden pro ha in der Summe jedoch vergleichsweise hoch.

Für die Tropfbewässerung sprechen in erster Linie die sehr gleichmäßige, windunabhängige Wasserverteilung und die sehr geringen Wasserverluste. Zudem bietet der niedrige Wasserdruck von weniger als 2 bar ein deutliches Energiesparpotenzial. Im Vergleich zu den Techniken mit Überkopfberegnung werden zudem die Blätter der Pflanzenbestände nicht nass, wodurch ein vermindertes Auftreten von bestimmten Blattkrankheiten möglich sein kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass dem System mit der „Fertigation“ auch Düngergaben gezielt in den Wurzelbereich verabreicht werden können [8].

Die Tropfbewässerung besteht in der Regel aus drei Einheiten. Die Kopfeinheit beinhaltet die notwendigen Armaturen und Filter und führt das Wasser über Zuleitungen hin zu den Tropfschläuchen (**Bild 5**, links).



Bild 5: Links: Kopfstation, Zuleitungen und Tropfrohre in Kartoffeln. Rechts: Tropfrohr in jeder 2. Furche

Figure 5: Left: Head station, supply lines and drip tubes in potatoes. Right: Drip tube in every 2nd furrow

Für den erfolgreichen Einsatz einer Tropfbewässerung ist eine sorgfältige Planung vor der Beregnungssaison wichtig. Es gibt hierbei einige Fragen, die vorab geklärt sein müssen. So ist beispielsweise nicht jedes Wasser für die Tropfbewässerung geeignet. Besonders eisenhaltiges Wasser kann hier zum Problem werden. Kommt es zu Verockerungen, verstopfen die Tropfer und eine gleichmäßige Bewässerung der Fläche ist nicht mehr möglich. Auch stellt sich die Frage nach der Art der Schläuche. Soll der Schlauch über mehrere Jahre verwendet werden, ist besondere Sorgfalt bei der Aufnahme vor der Ernte geboten. Werden dünne 1-jährige Tropfschläuche verwendet, verringert das zwar die Investitionskosten im ersten Jahr, es muss aber mit jährlichen Materialkosten für neue Schläuche in Höhe von etwa 1.000 €/ha gerechnet werden. Dafür vereinfachen sich die Verlegung und die Herausnahme, was den Arbeitsaufwand verringert.

Auch die Frage nach der Lage der Tropfschläuche muss vorab geklärt werden. Sandige Böden mit geringer Kapillarität benötigen für eine gleichmäßige Wasserversorgung auf jedem Damm

einen Tropfschlauch. Bei Böden mit höherer Kapillarität reicht auch ein Schlauch in jeder zweiten Kartoffelfurche aus (Bild 5, rechts). Das „M-Damm-Verfahren“ stellt einen Kompromiss dar. Hier wird der Tropfschlauch in die höher gelegene Furche des Doppeldamms gelegt, wodurch die Querverteilung des Wassers auch bei leichten Böden etwas verbessert wird [8]. Neben der Ablage der Tropfschläuche auf oder knapp unter der Bodenoberfläche gibt es auch noch die Ablage in größerer Tiefe (40-60 cm) als sogenannte Unterflurbewässerung. Der Vorteil ist, dass die Schläuche hier in der Erde bleiben und nicht jährlich ein- und ausgebaut werden müssen. Problematisch wird das aber bei flachwurzelnden Kulturen wie der Kartoffel oder der Zwiebel, weil die Hauptwurzelzone bzw. der Damm in Abhängigkeit von der Kapillarität des Bodens nicht sicher mit ausreichend Wasser versorgt werden kann. Zudem ist ein Erkennen von Leckagen schwierig und eine Bergung der Schläuche sehr aufwändig [9].

Beim Einsatz der Tropfbewässerung muss darauf geachtet werden, die Gabenhöhe an die Aufnahmefähigkeit des Bodens im Bereich des Tropfers anzupassen, damit kein Wasserverlust durch Versickerung auftritt. Das ist besonders wichtig beim Zusatz von Düngern, damit keine Verlagerung von leicht löslichen Nährstoffen in den Unterboden auftritt. Das kann ein Problem darstellen, wenn bei der Anwendung der Fertigation auch in regnerischen Zeiten bewässert werden muss, um die Pflanzen mit Nährstoffen zu versorgen.

Fazit

Die Frage nach der richtigen Beregnungstechnik ist nicht leicht zu beantworten und betriebsindividuell zu prüfen. Die mobile Beregnungsmaschine mit „Kanone“ ist immer noch das flächenmäßig bedeutsamste Beregnungsverfahren, bekommt jedoch zunehmend Konkurrenz. Sind große, hindernisfreie Flächenstrukturen vorhanden, macht die Kreisberegnung häufig Sinn, wenn die Flächen im Eigentum oder langfristig gepachtet sind. Bei kleineren Flächen ohne Keile kann der Einsatz des Düsenwagens sinnvoll sein, wenn nicht zu häufig umgesetzt werden muss. Die Hersteller arbeiten an technischen Lösungen, um den Düsenwagen anwenderfreundlicher zu machen, sodass die Handhabung beim Umstellen und der Straßentransport erleichtert werden. Selbstfahrrmaschinen können bei Flächen mit kurzer Länge oder unregelmäßiger Form vorteilhaft sein. Sie sind jedoch relativ schwer und teuer. Die Tropfbewässerung hat große Vorzüge in der Wassereffizienz und dem Energieaufwand, ist aber verhältnismäßig teuer, sodass dieses Verfahren eher den Spezialkulturen vorbehalten ist.

Literatur

- [1] Fricke, E.; Riedel, A.: Das kostet eine Beregnungsanlage. top agrar Ratgeber Beregnung, S. 12-15, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, 2019.
- [2] Fricke, E.: Effiziente Bewässerungstechnik und -steuerung. In: Schimmelpfennig, S. (Hrsg): Bewässerung in der Landwirtschaft, S. 65-76, Thünen Working Paper 85, Braunschweig, 2018.

- [3] Bauernverband Nordostniedersachsen e.V.: Kooperationsprojekte „Entwicklungsvorhaben Energieeffizienz in der landwirtschaftlichen Bewässerung“ und „Sektorgesteuerte Feldberegnung mit innovativer Trommeleinzugssteuerung“. URL: <https://www.bvnon.de/seite/492394/leader-projekte.html>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [4] KTBL: Freilandbewässerung, Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulationen. 2013, ISBN: 978-3-941583-86-3.
- [5] Gödecke, H.; Riedel, A.: Rationell berechnen in unruhigen Zeiten. Land und Forst 17/2022, S. 27-29, Deutscher Landwirtschaftsverlag, Hannover.
- [6] DLG-Neuheitenkommission: Innovation Award Agritechnika 2022. URL: <https://www.agritechnica.com/de/ausgezeichnete-innovationen-und-konzepte/innovation-award/medaillen-gold-und-silber-2022>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [7] Sourell, H.: Technik - Planung und Anlage der Bewässerung. In: Bewässerung in der Landwirtschaft S. 65-72, ERLING Verlag 2014, ISBN: 978-3-86263-089-9.
- [8] Kupke, S.; Demmel, M.; Blumental, B.; Marx, M.; Brandhuber, R.; Müller, M.: Tropfbewässerung im Kartoffelbau. LfL Schriftenreihe 1/2016, ISSN: 1611-4159.
- [9] Lamm, F.: Advantages and Disadvantages of Subsurface Drip Irrigation. Kansas State University, 2002, URL: https://www.researchgate.net/publication/228854922_Advantages_and_Disadvantages_of_Subsurface_Drip_Irrigation, Zugriff am: 29.04.2022.

Autorendaten

Dipl.-Ing. agr. Angela Riedel und M.Sc. agr. Henning Gödecke sind in der Beratung für Pflanzenbau und Beregnung im Geschäftsbereich Landwirtschaft, Fachbereich Wassermanagement, Wasser- und Bodenschutz der Landwirtschaftskammer Niedersachsen tätig.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Riedel, Angela; Gödecke, Henning: Verfahrensvergleich Bewässerungstechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-10

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030955-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/bewaessering.html>

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

Halmgutmähen und Halmgutwerben

Lennart Buck, Lukas Reuter

Kurzfassung

Nachdem die im vergangenen Jahr durch das SARS-CoV-2 Virus ausgelöste Pandemie auch die Landtechnikhersteller in den Branchen Halmgutmähen und Halmgutwerben zu Einschränkungen und Produktionsausfällen gezwungen hat, konnte sich die Marktlage in 2021 wieder stabilisieren. Nicht zuletzt ein steigender Milchpreis sorgt für einen Anstieg der Absatzzahlen. Der Trend zur höheren technischen Ausstattung der Grünlandtechnik wird durch eine Vielzahl neuer Produktvorstellungen deutlich. Beispielsweise wird ein Mähwerk um ein Assistenzsystem zur automatisierten Tiererkennung bei der Futterernte erweitert. Im Bereich Wissenschaft und Forschung rückt die Interaktion der Maschinen mit der Umgebung sowie die modellbasierte Ertragsabschätzung von Grünland in den Fokus.

Schlüsselwörter

Mähwerke, Wender, Schwader

Mowing and Treatment of Hay

Lennart Buck, Lukas Reuter

Abstract

After the pandemic triggered last year by the SARS-CoV-2 virus also forced agricultural machinery manufacturers in the forage technology sectors to cut back and cancel production, the market situation has stabilized again in 2021. Last but not least, a rising milk price has ensured an increase in sales figures. The trend towards higher technical equipment in grassland technology is evident from a large number of new product launches. For example, a mower is being expanded to include an assistance system for automated animal recognition during forage harvesting. In the field of science and research, the focus is shifting to the interaction of machines with their environment and model-based yield estimation of grassland.

Keywords

Mowers, Tedders, Swathers

Markt- und landwirtschaftliche Situation

Die zu Beginn der Corona-Pandemie leicht rückgängigen Absatzzahlen von Maschinen für die Grünlanderntetechnik haben laut CEMA auf ein stabiles Niveau zurückgefunden. Dennoch werden die Absatzzahlen nach wie vor unter anderem durch Preisanstiege und Lieferengpässe von Zulieferern gebremst. Die Hersteller erwarten dadurch eine Beeinflussung der Marktlage auch im Jahr 2022. [1] Im Jahr 2021 ist nach wie vor die Nachfrage von Scheiben- im Vergleich zu Trommelmähwerken größer. Wie bei allen landtechnischen Arbeitsgeräten ist auch bei Mähwerken, Wendern und Schwadern ein Trend zu Ausstattungsmerkmalen, die zur Steigerung der Schlagkraft und Fahrerentlastung dienen, zu beobachten. Weitere Markttreiber sind der Strukturwandel in der Milchviehhaltung und zunehmende Qualitätsansprüche der Kunden an die Futter- und Maschinenqualität. [2]

Die genauen Verkaufszahlen des VDMA von Mähwerken, Schwadern und Wendern standen den Autoren des Jahrbuchs Agrartechnik leider nicht zur Verfügung. Daher wird eine allgemeine Prognose einer Umsatzsteigerung von 14 Prozent auf europäischer Ebene für das Jahr 2021 des VDMA genutzt, um den Zusammenhang zwischen den verkauften Maschinen und dem Rohmilchpreis zu veranschaulichen. [3] Unter Berücksichtigung dieser Prognose ist neben dem gegenüber dem Vorjahr steigenden durchschnittlichen Milchpreis auf 37,56 Cent/kg auch ein Anstieg der verkauften Maschinen auf prognostizierte 18.500 Einheiten zu beobachten (vgl. **Bild 1**).

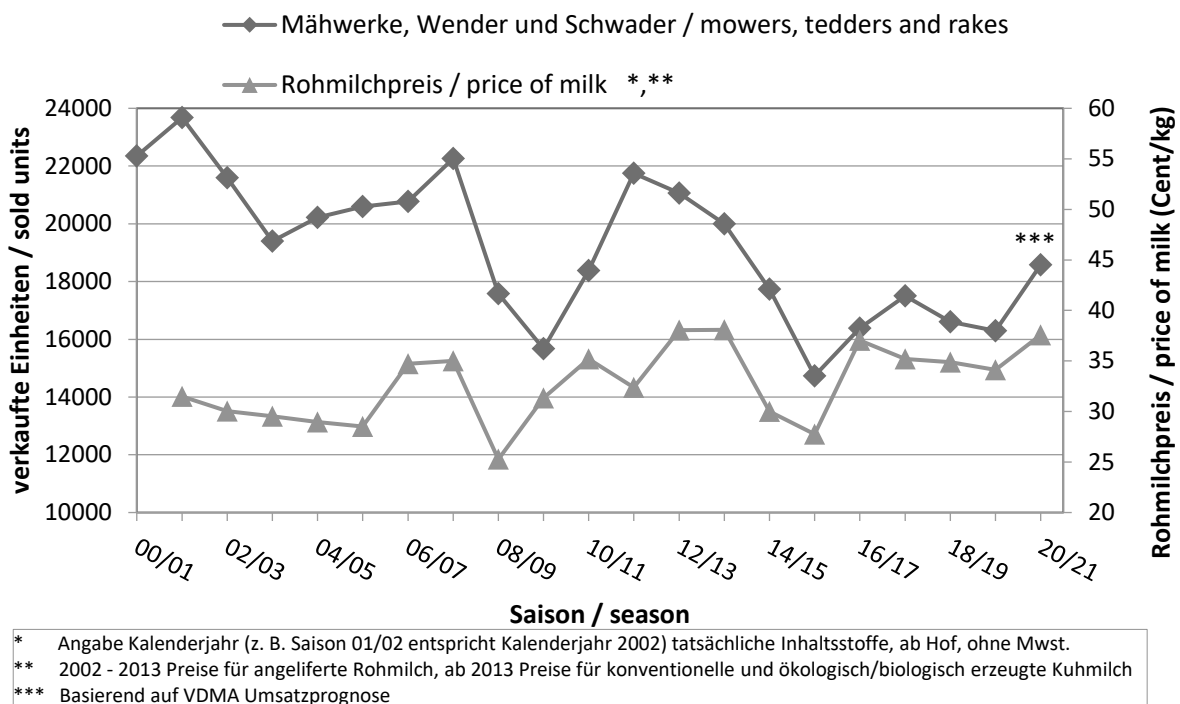


Bild 1: Verkaufszahlen in Deutschland von Mähwerken, Wendern und Schwadern nach VDMA Prognose und Rohmilchpreis [4; 5]

Figure 1: Sales of mowers, tedders and swathers in Germany according to VDMA forecast and raw milk price [4; 5]

Marktreife Neuvorstellungen

Neben Weiterentwicklungen der herkömmlichen Mähwerke, Wender und Schwader rückt auch in der Halmguterntetechnik der Naturschutz durch Assistenz- und Zusatzsysteme immer weiter in den Fokus. Beispielsweise werden ein neues System zur Wilderkennung und ein mechanischer Insekten-Aufscheucher vorgestellt [6; 7].

Für die Halmguternte in Bergregionen platziert Reform eine überarbeitete Version des Hanggeräteträgers Metrac in den Versionen H75 und H75 Pro am Markt. Zur Schwingungsreduktion und Fahrerentlastung ist die Kabine des neuen Metrac von den weiteren Komponenten des Fahrzeugs mechanisch entkoppelt. Um die Hangtauglichkeit zu verbessern, sind Motor und Kabine zudem in Höhe des Fahrzeugschwerpunktes angeordnet. Die Pendelvorderachse ermöglicht zudem bis zu 15° Pendelweg, um möglichst in allen Fahrsituationen einen Rad-Boden-Kontakt zu gewährleisten. [8]

Halmgutmähen

Der Hersteller New Holland hat mit dem Speedrower Plus einen selbstfahrenden Schwadmäher für den nordamerikanischen Markt vorgestellt, der mit einer Feldgeschwindigkeit von bis zu 32 km/h und einem bis zu 6 m breiten Mähvorsatz für eine maximale Flächenleistung zur Futtermittelernte eingesetzt werden kann. Durch RTK gestützte Spurführung und einen von Danfoss entwickelten drive-by-wire Antrieb des Selbstfahrers wird auch bei hohen Arbeitsgeschwindigkeiten die notwendige Spurpräzision sichergestellt. Mit einer optionalen Seitenablage können bis zu drei Selbstfahrer gleichzeitig in der Ernte eingesetzt werden, um die Flächenleistung weiter zu erhöhen. [9; 10]

Fendt stellt überarbeitete Versionen des Scheiben-Frontmähwerks Slicer 310 F mit einer Arbeitsbreite von 3,10 m und der Scheiben-Schmetterlingsmähwerke Slicer 860 und 960 mit Arbeitsbreiten von 8,60 und 9,60 m vor. Das Frontmähwerk ist ohne Aufbereiter, mit Zinkenaufbereiter oder mit Rollenaufbereiter und die Schmetterlingsmähwerke sind ausschließlich ohne Aufbereiter erhältlich. Laut Datenblatt weist das Frontmähwerk eine um 60 kg geringere Masse und die Schmetterlingsmähwerke eine um 350 kg geringere Masse im Vergleich zu den Vorversionen auf. [11] Bei Massey Ferguson finden sich ebenfalls überarbeitete Versionen des Scheiben-Frontmähwerks DM 316 FP mit einer Arbeitsbreite von 3,10 m und der Scheiben-Schmetterlingsmähwerke DM 8612 und 9614 TL mit Arbeitsbreiten von 8,60 und 9,60 m [12].

Claas erweitert die Scheiben-Heckmähwerk-Baureihe Disco um das Disco 4400 Contour mit einer Arbeitsbreite von 4,20 m. In Straßentransportstellung schwenkt das Mähwerk um 120° nach oben und zusätzlich etwas nach hinten, um die maximale Transporthöhe von 4 m einhalten zu können. [13]

Trotz der im Vergleich zu Scheibenmähwerken sinkenden Nachfrage nach Trommelmähwerken präsentiert Kuhn mit dem PZ 8831 ein neues Trommel-Schmetterlingsmähwerk. Das Schmetterlingsmähwerk hat eine Arbeitsbreite von 8,84 m und weist einen kompakten Anbaukasten und dadurch einen vergleichsweise geringen Leistungsbedarf auf. [14] Zusätzlich wird

von Kuhn das Scheiben-Schmetterlingsmäherwerk FC 9330 RA mit Aufbereiter und Schwadzusammenführung vorgestellt. Laut Herstellerangaben befindet sich der Schwerpunkt im Vergleich zu vergleichbaren Maschinen um 150 mm näher am Traktor, wodurch der Fahrkomfort deutlich erhöht wird. Die Schwadbreite kann aus der Kabine zwischen 1,80 und 3,60 m variiert werden. [15]

Im Vergleich zu rotierenden Mähwerken sind Messerbalkenmäherwerke insektenfreundlicher und benötigen weniger Leistung. Neben der geringeren möglichen Arbeitsbreite ist nachteilig, dass das Schleifen von Messerbalkenmäherwerken aufwändiger ist und diese anfälliger gegen Beschädigungen sind. Wepfer, ein Schweizer Landmaschinenspezialist, präsentiert mit dem Swissblade einen Messerbalken mit einer Arbeitsbreite von 3 m, der aus einem Werkstück mit einer Stärke von 3 mm gefertigt wird. Der Messerbalken besteht aus gehärtetem Stahl, lässt sich stark durchbiegen und benötigt keinen sonst üblichen Messerrücken, sodass in einem Zug geschliffen werden kann. Laut Hersteller vereint das Swissblade somit Vorzüge von rotierenden Mähwerken und Messerbalkenmäherwerken. [16]

Zur Wilderkennung im Bestand ist für Mähwerke das Assistenzsystem Sensosafe vom österreichischen Hersteller Pöttinger erhältlich (vgl. **Bild 2**).



Bild 2: Sensosafe: Sensorbasiertes Assistenzsystem zur Tiererkennung von Pöttinger [6]

Figure 2: Sensosafe: Sensor-based assistance system for animal recognition from Pöttinger [6]

Am Mähbalken oder Zwischenrahmen sind an einem zusätzlichen Träger optische Sensoren angebracht, die bei Wilderkennung die Hydraulik automatisiert ansteuern, sodass das Frontmäherwerk sofort angehoben und der Fahrer gewarnt wird. Die Heckmäherwerke können aus Sicherheitsgründen nicht automatisch angehoben werden, da die Kräfte am Hang durch die spontane Schwerpunktverlagerung zu groß werden und den Traktor umwerfen könnten. Um dem Fahrer bei einer Warnung genügend Reaktionszeit zu geben, um die Heckmäherwerke manuell anheben zu können, sind in sehr dichtem Bestand (ca. 0,6 m Wuchshöhe) nur noch

Mähgeschwindigkeiten von bis zu 10 km/h möglich. In weniger dichten Beständen sind für eine sichere Erkennung von Wildtieren die üblichen Fahrgeschwindigkeiten möglich. Die optischen Sensoren arbeiten im nahinfraroten und sichtbaren Spektralbereich des Lichts. Im Gegensatz zu Wärmebildkameras ist auch bei aufgewärmtem Bestand eine sichere Wilderkennung mit einer geringen Anzahl an Fehlalarmen möglich. Auch Nutztiere werden durch dieses System geschützt, da eine höhere Futterqualität gewährleistet werden kann und so Botulismus (Futtermittelsvergiftung durch Tierkadaver) minimiert wird. [2; 17; 18]

Auch die Firma Fiedler weitet ihr Produktportfolio im Bereich Naturschutz aus. Für die Mähwerke von Fiedler ist ein optionaler, mechanischer Insekten-Aufscheucher montierbar. Dieser besteht aus einer Federzinkenleiste, die das Gras vor dem Mähwerk durchstreift und so Insekten frühzeitig verscheuchen soll. [19]

Halmgutwerben

Das Unternehmen Claas bringt neben einer Produktaktualisierung der Zweikreiselmittelschwader neue Vierkreiselschwader auf den Markt. Die neue Generation der Zweikreiselmittelschwader Produktlinie Liner mit Arbeitsbreiten von 6,2 bis 10 m wird in der Variante Trend und Business angeboten. Die Business Modelle werden standardmäßig mit einer Einzelaushebung ausgestattet, die durch das Bedienterminal des Traktors angesteuert wird. [20] Bei den neu eingeführten Vierkreiselschwadern der Liner 4000er Serie mit Arbeitsbreiten bis zu 15 m handelt es sich um eine komplette Neuentwicklung. Der innovative Hauptrahmen besteht aus trapezförmigem, hochfestem Stahlprofil, in dessen Innenraum die Hydraulikventile und die Steuerelektronik untergebracht werden. Als Neuerung werden die Ausleger der Kreisel durch C-Profile und Gleitschienen teleskopierbar gestaltet. In der Ausstattungslinie Trend geschieht die Verstellung paarweise mechanisch, während bei der Business-Variante eine hydraulische Einzelverstellung via ISOBUS möglich ist. So wird eine flexible und schnelle Einstellung der benötigten Arbeitsbreite ermöglicht. Alle Kreisel werden mechanisch über eine Zapfwellenverbindung angetrieben und sind mit einer Überlastkupplung abgesichert. Bei der Business-Variante kommt eine über den ISOBUS angesteuerte Load-Sensing Hydraulik zum Einsatz. Die Trend-Variante wird über das Traktor-Steuergerät angesteuert. Durch eine kardanische Aufhängung ist stets eine optimale Boden Anpassung möglich. [13; 21]

Mit der Schwadro S | TS Serie bringt der Landmaschinenhersteller Krone neue Einkreiselschwader mit Seitenablage für kleinstrukturierte Betriebe auf den Markt, die über einen neu gestalteten Dreipunkt-Heckanbau verfügen. Durch eine kurze Unterlenkeranbindung kann die Vorderachsentslastung reduziert werden, sodass auch kleine, leichte Traktoren für das Produkt verwendet werden können. Durch die bewegliche Verbindung über Kugelaugabe und Laufrolle im Langloch des Hauptrahmens und der Nachlaufeinrichtung mit Ausgleichsschwinge wird eine große Wendigkeit erreicht, sodass Lenkwinkel von bis zu 20° möglich sind. [22; 23]

Mit dem Wender GF 8700 aktualisiert Kuhn sein Produktportfolio des 8,7 m breiten Heuwenders. Im Vergleich zum Vorgänger weist der GF 8700 einen kürzeren und leichteren Anbau-

rahmen auf, dessen Schwerpunkt 200 mm näher am Traktor liegt. Neu sind Seitenstabilisatoren, welche die Wendigkeit der Maschinenkombination durch einen Pendelausschlag von +/- 22° sicherstellen. [24]

Der Heuerntespezialist SIP stellt mit dem Spider 1300 | 12 T und Spider 915 | 8 zwei neue Heuwender vor, deren Arbeitsbreite 12,90 bzw. 9,15 m beträgt. Das kleinere, am Traktor anbaubare Modell, besitzt ein hydraulisches Lenksystem der Stützräder, das eine Seitenverschiebung der Maschine ermöglicht und Futtermittelverluste bei Arbeiten entlang der Feldränder minimiert. Beim Anheben der Maschine werden die äußeren Rotoren zusätzlich vom Antrieb entkoppelt, sodass im Vorgewende ein ausreichender Bodenabstand der Zinken erreicht wird und diese nicht in das Futter einstecken. Das größere, gezogene Modell koppelt den Schutzbügel, um Schwingungen zu reduzieren und die Wendung des Futters gleichmäßig zu gestalten. Die hydraulisch im Winkel verstellbaren Rotoren besitzen einen Durchmesser von 1,45 m und können sich einzeln individuell an den Boden anpassen, wodurch ein gleichmäßiges Verteilen des Futters erzielt wird. [25 - 27]

Wissenschaft und Forschung

In einem an der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt Francisco Josephinum (HBLFA FJ) in Österreich durchgeführten Projekt wird untersucht, wie Wetterdaten und Sentinel-2 Satellitendaten genutzt werden können, um im Vorfeld der Ernte eine Ertragsabschätzung von Grünland zu erhalten. Um den Einfluss von Aufzeichnungslücken der Satellitendaten durch Bewölkung zu minimieren, wurde ein Deep Learning Modell entwickelt, um aus verschiedenen Vegetationsindizes eine Ertragsvorhersage zu erlangen. Im untersuchten Fall gelang dies mit einer Genauigkeit von maximal 47,64 %. [28]

Eine weitere untersuchte Methode zur Ertragsabschätzung von Grünland an der HBLFA FJ in Zusammenarbeit mit Pöttinger erfolgt mittels Stereokamera, mit der während der Grasernte die Pflanzenlänge gemessen wird. Zusätzlich wird das Gras-Leguminosen-Verhältnis detektiert. Über einen Zeitraum von drei Jahren wurden Grasernten in Österreich begleitet und der reale Ertrag pro Quadratmeter zu diesen Daten erfasst und als Trainingsdaten für ein neuronales Netzwerk genutzt. Durch das mittels RGB Aufnahmen von Grünland im Wachstumsprozess ermittelte Leguminose-Gras-Verhältnis kann das Modell anschließend den Ertrag schätzen. [29]

Die Universitäten Hohenheim und Tübingen erforschen die Auswirkungen der Grasmahd auf Insekten und Spinnen. Im Projekt InsectMow (November 2021 bis Oktober 2025) sollen Lösungen erarbeitet werden, wie deren Verluste reduziert werden können. Im Fokus des Projektes stehen die Entwicklung einer Insektenscheuche, die Untersuchung der Sogwirkung von Mähwerken in einer CFD Simulation sowie die Erarbeitung von Modifikationen, die an einem Versuchsmähwerk umgesetzt werden sollen. In anschließenden Feldversuchen sollen die Erkenntnisse bewertet werden. [7]

Auch in den Produktgruppen der Mähwerke, Wender und Schwader zeigt sich der Trend der Fahrerentlastung und Effizienzsteigerung. Es ist davon auszugehen, dass die automatisierte

Maschineneinstellung in den nächsten Jahren zunehmend von den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen in den Fokus genommen wird. Aktuell ist bei Mähwerken noch kein Trend zu alternativen Antrieben zum Zapfwellenantrieb zu bemerken. Aufgrund des volatilen Energiemarktes ist jedoch davon auszugehen, dass auch Mähwerke, Wender und Schwader in Zukunft mit alternativen Antrieben zur Zapfwelle ausgestattet werden. Beispielsweise zeigt New Holland in Kooperation mit Nobili die Elektrifizierung eines Mulchers [2; 30].

Zusammenfassung

Trotz Corona-Pandemie erfolgen 2021 weitere Neuvorstellungen im Bereich Halmgutwerbung. Im Bereich der Mähwerke werden neue Scheiben-, aber auch Trommelmähwerke sowie ein Messerbalkenmähwerk und ein Assistenzsystem zur Wilderkennung vorgestellt. Auch in der Maschinenkategorie der Schwader und Wender werden neue Zwei- und Vierkreiselschwader, aber auch Einkreiselschwader für kleinere Traktoren präsentiert. Für den nordamerikanischen Markt ist ein selbstfahrender Schwader erhältlich [10]. Zudem gibt es ebenfalls einige neue Heuwender. Im Bereich Wissenschaft und Forschung steht der Umweltschutz mit einem Forschungsprojekt zur Untersuchung der Grasmahd auf Insekten und Spinnen im Fokus [7]. Zusätzlich werden Projekte zur Ertragsabschätzung von Grünland im Vorfeld der Ernte vorgestellt. Die Ertragsabschätzung erfolgt in einem Projekt auf Basis von Vegetationsindizes, die mit einem Deep Learning Modell ausgewertet werden [28], und in einem weiteren Projekt über die Ermittlung des Gras-Leguminosen-Verhältnisses mittels einer RGB-Kamera und Abgleich der ermittelten Daten mit denen einer Datenbank [29].

Literatur

- [1] N.N.: CEMA Business Barometer – Public excerpt June 2021. European Agricultural Machinery Industry Association, 2021, URL: https://www.cema-agri.org/images/pdf/business-barometer/2021-06_CEMA_Business_Barometer_Report.pdf, Zugriff am: 17.03.2022.
- [2] Arnold, L.: Besser Abschneiden. Agrartechnik (2021) H. 4, S. 55-59.
- [3] N.N.: VDMA Landtechnik: Umsatz erstmals höher als zehn Milliarden Euro. eilbote 69 (2021) 50 - 52, S. 5.
- [4] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Informationen für Marktakteure, Milchpreise pro Monat. URL: https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Milch-Milcherzeugnisse/_functions/TabelleMilchpreiseMonat2021.html, Zugriff am: 09.03.2022.
- [5] N.N.: Maschinenbauer erwarten 2022 Produktionsplus von fünf Prozent. eilbote 69 (2021) H. 38, S. 5.
- [6] N.N.: Zum Wohl von Wild- und Nutztieren – Assistenzsystem zur Tiererkennung SENSOSAFE. PÖTTINGER Landtechnik GmbH, URL: https://www.poettinger.at/download/prospekte/62866/0/POETTINGER_SENSOSAFE_404.DE.0821.pdf, Zugriff am: 15.03.2022.

- [7] N.N.: InsectMow. Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, Fg. Grundlagen der Agrartechnik, URL: <https://agrartechnik-440a.uni-hohenheim.de/insectmow>, Zugriff am: 02.03.2022.
- [8] N.N.: Weiterentwicklung des Metrac. eilbote 68 (2020) H. 40, S. 21.
- [9] Schmailzl, E.: Schwadablage XXL. traction (2021) 11-12, S. 82.
- [10] New Holland Agriculture: SPEEDROWER PLUS® SELF-PROPELLED WINDROWERS. CNH Industrial America LLC (Hrsg.), 2021, URL: <https://assets.cnhindustrial.com/nhag/nar/en-us/assets/pdf/hay-tools/speedrower-plus-self-propelled-windrowers-brochure-us-en.pdf>, Zugriff am: 07.03.2022.
- [11] Fendt: Neue Generation Fendt Mähwerke und Fendt Schwader. AGCO, URL: <https://www.fendt.com/de/fendt-maehwerke-und-schwader-2021>, Zugriff am: 11.01.2022.
- [12] Göggerle, T.: Massey Ferguson: Neue Mähwerke, Schwader und Rundballenpressen. URL: <https://www.agrarheute.com/technik/gruenlandtechnik/massey-ferguson-neue-maehwerke-schwader-rundballenpressen-584930>, Zugriff am: 11.01.2022.
- [13] Tastowe, F.: Neues fürs Grünland. top agrar 50 (2021) H. 10, S. 85.
- [14] N.N.: Neue Mähkombi. So funktionieren Lohnunternehmen 74 (2021) H. 10, S. 61.
- [15] N.N.: Mähen, Aufbereiten und Schwaden in einer Überfahrt. KUHN MASCHINEN-VERTRIEB GmbH, URL: <https://www.kuhn.de/news/maehen-aufbereiten-und-schwaden-einer-ueberfahrt>, Zugriff am: 14.02.2022.
- [16] Engeler, R.: Flink und bissig im Gras unterwegs. eilbote 69 (2021) H. 39, S. 18-19.
- [17] Feuerborn, B.: Kitze Retten mit Sensoren. agrarheute (2021) H. 4, S. 84-86.
- [18] Tastowe, F.: Sensor rettet Leben. top agrar 50 (2021) H. 8, S. 108-111.
- [19] Noodhof, J.: Extensiv im Grünen. So funktionieren Lohnunternehmen 74 (2021) H. 9, S. 36-41.
- [20] N.N.: CLAAS führt neue Generation Zweikreisel- Mittelschwader ein. CLAAS KGaA mbH, URL: <https://www.claas.de/aktuell/meldungen-veranstaltungen/meldungen/claas-fuehrt-neue-generation-zweikreisel--mittelschwader-ein/2537502>, Zugriff am: 13.02.2022.
- [21] N.N.: Neue CLAAS Vierkreiselschwader mit 9,30 bis 15m Arbeitsbreite. CLAAS KGaA mbH, URL: <https://www.claas.de/aktuell/meldungen-veranstaltungen/meldungen/neue-claas-vierkreiselschwader-mit-9-30-bis-15m-arbeitsbreite/2537514>, Zugriff am: 07.03.2022.
- [22] N.N.: Kreiselschwader mit Seitenablage Swadro S | TS. Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH & Co. KG, URL: <https://landmaschinen.krone.de/deutsch/produkte/kreiselschwader/kreiselschwader-mit-seitenablage-swadro-s-ts/neu-swadro-s-380-s-420-s-460/>, Zugriff am: 13.02.2022.
- [23] N.N.: Swadro S | TS – Kreiselschwader mit Seitenablage. Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH & Co. KG, 2021.

- [24] Berning, F.: Kuhn stellt neue Giro-Heuwender GF 8700 vor. URL: <https://www.topagrar.com/technik/news/kreiselheuer-kuhn-mit-neuem-giro-12466957.html>, Zugriff am: 16.02.2022.
- [25] N.N.: NEUER HOCHLEISTUNGS-STERNRADHEUWENDER SPIDER 1300i12 T. SIP, d.d. Šempeter v Savinjski dolini, URL: <https://www.sip.si/de/neuer-hochleistungs-sterne-radheuwender-spider-1300i12-t/>, Zugriff am: 15.02.2022.
- [26] N.N.: SIP PRÄSENTIERT DEN NEUEN SPIDER 915j8 KREISELZETTWENDER. SIP, d.d. Šempeter v Savinjski dolini, URL: <https://www.sip.si/de/sip-praesentiert-den-neuen-spider-9158-kreiselzettwender/>, Zugriff am: 15.02.2022.
- [27] Deter, A.: Neuer SIP-Hochleistungs-Kreiselzettwender Spider 1300|12 T. top agrar online (2021).
- [28] Eder, E.; Riegler-Nurscher; Prankl, J.: Estimation of grassland yield from satellite data with ANN based transfer learning. 25.02.2022. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK 2022 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations, VDI-Berichte, Bd. 2395, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2022, ISBN: 978-3-18-092395-6, S. 293-300.
- [29] Riegler-Nurscher, P.; Prankl, J.; Schauer, D.: Stereo camera-based method for grassland yield estimation. 25.02.2022. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK 2022 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations, VDI-Berichte, Bd. 2395, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2022, ISBN: 978-3-18-092395-6, S. 301 – 308.
- [30] N.N.: Mit dem Generator und Elektromulcher durch den Weinstock. eilbote 69 (2021) H. 13, S. 25.

Autorendaten

M. Sc. Lennart Buck und M. Sc. Lukas Reuter 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 24.04.2022

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Buck, Lennart; Reuter, Lukas: Halmgutmähen und Halmgutwerben. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-9

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030956-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/halmgutwerben.html>

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

Halmgutbergung

Lukas Poppa, Christian Depenbrock

Kurzfassung

Der Landtechnikmarkt hat sich in Deutschland im vergangenen Jahr etwas entspannt. Durch den gestiegenen Milchpreis wird davon ausgegangen, dass der Absatz auch im Bereich der Halmgutbergung etwas gestiegen ist. Im Bereich Feldhäcksler zeigt John Deere eine Modellpflege im besonders marktrelevanten mittleren Leistungssegment. Bei den Pressen sollen Detailverbesserungen an mechanischen Komponenten sowie eine höhere Ausstattung mit Sensorik zur Verlängerung von Einsatzzeiten und Verbesserung des Bedienkomforts führen. Ausstattungen der hohen Leistungsklassen werden jetzt auch im mittleren Leistungssegment angeboten. Pöttinger stellt mit dem Jumbo 7000 und Jumbo 8000 die leistungsstärksten Ladewagen im Markt vor. Im Bereich Häckseltransportwagen zeigt Krone mit dem Universaltransportwagen GX ein neues Konzept mit kettengezogenem Rollboden.

Schlüsselwörter

Ballenpressen, Ladewagen, Feldhäcksler

Crop Harvesting

Lukas Poppa, Christian Depenbrock

Abstract

The market for agricultural machinery improved moderately in the last year in Germany. Due to an increase of the milk price, it is assumed that sales have also increased in the forage harvesting sector. In the forage harvester segment, John Deere shows a model update in the market-relevant mid-range power segment. In the balers, detailed improvements to mechanical components and a higher level of equipment with sensors shall lead to an extension of operation time and an improvement in operating comfort. Features of the high performance classes are now also offered in the medium performance segment. Pöttinger presents the Jumbo 7000 and Jumbo 8000, the most powerful loader wagons on the market. In the segment of forage transport, Krone is showing a new concept with the GX general-purpose wagon with a chain-drawn floor belt.

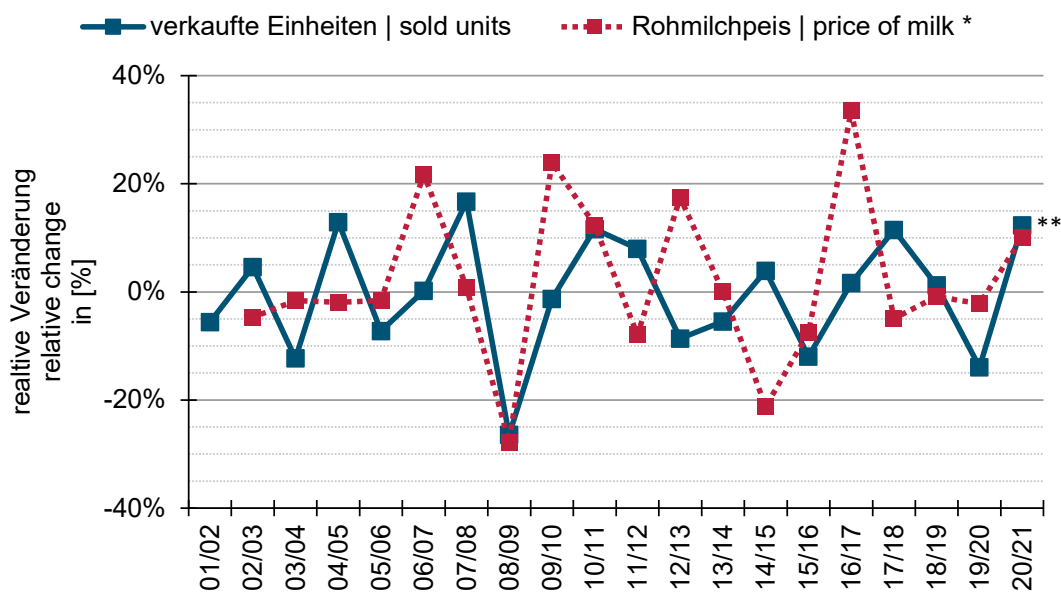
Keywords

Balers, loader-wagons, forage harvesters

Marktentwicklung

Der Börsenwert für Rohmilch ist im vergangenen Jahr von Dezember 2020 bis Dezember 2021 um 20 % auf 0,422 €/kg gestiegen [1]. **Bild 1** stellt die Entwicklung des Absatzmarktes im Bereich der Halmgutbergung und die Entwicklung des Rohmilchpreises dar. Zu erkennen ist, dass der Absatzmarkt im Allgemeinen der Entwicklung des Milchpreises zeitversetzt folgt. Mit dem Anstieg des Milchpreises ab Hof um 10 % lässt sich daher auch eine Steigerung des Maschinenabsatzes vermuten [2]. Diese These wird durch eine Prognose des VDMA Landtechnik gestützt, der mit einer Umsatzsteigerung von 14 % für die deutsche Landtechnikproduktion rechnet [3]. Dem entgegen stehen die weltweiten Lieferschwierigkeiten von Zulieferern vor allem im Bereich der Elektronikkomponenten.

Leider stellt der VDMA Fachverband Landtechnik den Autoren des Jahrbuchs keine Absatzzahlen von Maschinen mehr zur Verfügung. Laut Aussage des VDMA sollen diese Zahlen nun nur noch den VDMA-Mitgliedsfirmen vorbehalten sein. Daher kann in diesem Beitrag die Entwicklung des Absatzes nur noch, auf Basis der generellen Umsatzprognose, angedeutet werden (s. Bild 1).



* Angabe Kalenderjahr (01/02 entspricht KJ 2002),
2002-2013 angelieferte Rohmilch, ab 2013 konventionelle und ökologisch/biologisch erzeugte Kuhmilch
Calendar year (01/02 corresponds to CY 2002),
2002-2013 raw milk, from 2013 conventional and organically produced milk

** Basierend auf Umsatzprognose des VDMA Landtechnik
Based on VDMA Agricultural Machinery sales forecast

Bild 1: Entwicklung der Verkaufszahlen in Deutschland von Feldhäckslern, Ballenpressen und Lade-
wagen nach VDMA Prognose und Rohmilchpreis [2; 3]

Figure 1: Development of sales of selfpropelled forage harvesters, balers, loading wagons in Ger-
many according to VDMA forecast and raw milk price [2; 3]

Der Ausblick in das laufende Jahr durch den Krieg in der Ukraine ist ungewiss. In den letzten Jahren hat die Landwirtschaft in Russland einen Boom erlebt, nun stellen verschiedene Hersteller den Export von Landmaschinen nach Russland und Weißrussland ein [4]. Die Ukraine hat eine bedeutende Rolle im Getreideexport. Der vermutete Engpass an Grundnahrungsmitteln führt schon jetzt zu stark steigenden Preisen an den Börsen. Zum Beispiel ist Rohmilch auf 0,64 €/kg im März gestiegen [5]. Für die Landwirte in Deutschland und Europa bedeutet dies nicht zwangsläufig höhere Gewinne, denn gleichzeitig sind auch die Kosten für Dünger und Kraftstoff und damit die Produktionskosten stark angestiegen. Für die gesamte Landtechnikbranche bedeutet dies zusätzliche Unsicherheiten in der Marktentwicklung.

Feldhäcksler

John Deere schließt mit den neuen 9500i und 9600i Feldhäckslern die Lücken im mittleren Leistungssegment des bisherigen Portfolios. Dafür kommt ein neuer 6 Zylinder Reihenmotor aus eigener Produktion mit einer Nennleistung bei 1800 U/min von 515 kW (9500i) beziehungsweise 552 kW (9600i) zum Einsatz. Durch das Niedrigdrehzahlkonzept liegt die Maximalleistung bei 1350 U/min bei 563 kW (9500i) beziehungsweise 579 kW (9600i). Mit 18 l Hubraum erreichen die Motoren auch ohne SCR und ohne DPF die Abgasstufe V. Neben dem Motor wurden der Auswurfkrümmer und die Kabine überarbeitet. Der Auswurfkrümmer wurde um 20 cm verlängert. Bei Verwendung breiterer Erntevorsätze kann die Wurfweite durch 90 cm lange Distanzstücke zusätzlich vergrößert werden. Die Lärmbelastung in der Kabine wurde durch eine dickere Heckscheibe, eine geänderte Kabeldurchführung und überarbeiteten Kabinenboden laut Hersteller um 30 % reduziert. [6 - 8]

Erwähnenswert ist ein Umbau des Lohnunternehmens HPL Landtechnik. Dieses hat einen Claas Jaguar 960 mit einem Überladewagen aus den Teilen eines Holmer Terra Dos T2 kombiniert. Vergleichbare Umbauten gibt es schon seit längerem vor allem in den Niederlanden. Der Vorteil liegt darin, zeitweise unabhängig von den Abfahrgespannen arbeiten zu können. Im Graseinsatz mit im Vergleich zur Maisernte geringerem Massenstrom können die Abfahrgespanne deutlich schneller befüllt werden als mit einem konventionellen Häcksler, wodurch weniger Abfahrgespanne benötigt werden. Ein weiterer Vorteil liegt in der geringeren Bodenverdichtung und bei der Arbeit bei schlechten Witterungsbedingungen. Durch die Knicklenkung unterhalb des Häckslers sowie die beiden lenkbaren und angetriebenen Achsen des Überladewagens kann im Hundegang gefahren werden. Als Nachteil werden ein größerer Wenderradius und höhere Maschinenkosten angenommen. [9] Die Kleinserie des Jaguar 880 FieldShuttle des Herstellers Claas, welche 1997 auf den Markt kam, soll hier nicht unerwähnt bleiben.

Wissenschaft

Fendt stellte wissenschaftliche Untersuchungen mit der Diskreten Elemente Methode (DEM) und der Computational Fluid Dynamics (CFD) im Bereich der selbstfahrenden Feldhäcksler vor. Dabei wurde vor allem die Zerkleinerung von Mais mit einem Körnerprozessor genauer untersucht. Die Maiskörner wurden in der DEM durch mehrere gebundene Partikel abgebildet, die bei Überschreitung einer Grenzkraft wie in der Realität aufbrechen können. Es wurden

verschiedene Spaltabstände, Drehzahldifferenzen und Feuchtigkeitsgehalte untersucht. Die Simulationen zeigen gute Ergebnisse in Bezug auf die Partikelgrößenverteilung. Mit der Untersuchungsmethode sollen in Zukunft die Maschinenprozesse besser verstanden und effizienter gestaltet werden. [10]

Pressen

Die Entwicklungen im Bereich der Pressen sind verhalten. Die meisten Hersteller optimieren ihre bestehenden Konzepte, umfangreiche Neuentwicklungen wurden nicht vorgestellt. Die Grundkonzepte der Pressen sind bewährt und technisch nicht veraltet. Anpassungen genügen den Anforderungen am Markt. Hauptaugenmerk liegt dabei auf den Themen mechanische Optimierung, Sensorik und Bedienerfreundlichkeit. Dabei setzen die meisten Hersteller auf eine Optimierung mechanischer Teile, wie Rollen, Lager und Schmierstellen. In diesem Bereich werden nun auch mehr Ausstattungsvarianten, wie bspw. beim Schneidwerk, angeboten. Die Pressen werden mit deutlich mehr Sensorik ausgestattet, dieses ermöglicht dem Fahrer eine verbesserte Bedienbarkeit und erleichtert die Einstellung. Daraus resultieren auch höhere Tagesleistungen.

Rundballen

Im Bereich der Ballenpressen gibt es einige neue Modelle von verschiedenen Herstellern auf dem Markt. Diese warten mit technischen Neuheiten auf.

Der Hersteller Knoll B.V. hat ein drittes Modell, den MultiBaler XL, auf dem Markt gebracht. Die Maschine verfügt über einen 8 m³ Bunker und kann für Gras, Mais, Häckselgut usw. genutzt werden. Dabei kann sie auf dem Feld oder im stationären Einsatz genutzt werden. Die Ballenkammer ist eine Kombination aus 17 HD-Kammerwalzen sowie zwei speziellen Bändern zur Reduktion von Verlusten und kann Ballen mit einem Durchmesser zwischen 100 bis 115 cm bei einem Gewicht von 500 bis 1.350 kg wickeln. Für eine optimale Regulierung der Geschwindigkeit der Ballenkammerbänder ist das Antriebssystem der Presskammer hydraulisch in Verbindung mit einem Planetengetriebe ausgeführt. Auch das Netz oder die Folie wird hydraulisch zugeführt und mittels einer Bremse gespannt. [11] Der Hersteller Fendt hat die erste Press-Wickel-Kombination unter eigenem Namen auf den Markt gebracht, die Rotana 130 F Combi. Die Presse beruht auf der Lely Welger Tornado; Fendt hat 2017 von Lely die Grünfuttersparte übernommen. Die Kombination kommt mit einigen Neuerungen auf den Markt. Die Presskammer bekam eine neue Form und die Kammer neigt sich weiter nach hinten. Sie verfügt über 18 Presswalzen und ein optionales Schneidwerk mit bis zu 25 Messern. Zum Einsatz kommen zwei seitliche Förderschnecken, die das Material auf die Breite des Förderkanals bringen. Zur Verhinderung von Verstopfungen setzt Fendt auf einen gefederten Schneidwerksboden und die Möglichkeit, durch den Fahrer Schneidwerksboden und Messer auszuschwenken. Bei der Übergabe des Ballens auf den Wickeltisch geben zwei Klappen seitlichen Halt. Das Wickeln selbst ist in nur 31 s geschafft. [12] Auch der Hersteller Pöttinger hat seine Rundballenpressen der Reihe Impressa aus dem Jahr 2016 überarbeitet. Die ange-

botenen Modelle reichen von zwei Festkammerpressen über drei Pressen mit variabler Kammer bis hin zu drei Press-Wickelkombinationen. Unterschiede gibt es jeweils in der Kammergröße und optionalen Schneidwerken mit unterschiedlichen Anzahlen an Messern. Die größten Neuerungen finden sich bei Pöttinger in der Bindeeinheit. Die Rollen werden nun hydraulisch und nicht mehr elektrisch gebremst. Auch erfolgt diese nicht mehr über den Kern, sondern von außen. Die Einheit kann nun für die Mantelfolienbindung ausgestattet werden. Weitere Neuerungen sind ein Rotieren des fertig gewickelten Ballens zum Andrücken der Folie, optimierte Lagerstellen und ein erweitertes Beleuchtungspaket mittels LED. [13] Bei der Kubota BV 5160 SC-25 bzw. der baugleichen Vicon RV 5216 finden sich in diesem Jahr Änderungen, wie verlängerte Pick-Up Zinken und ein verstärkter Einzug. Auch der Antrieb vom Wickler wurde in seiner Leistung erhöht. [14] Talex hat einen neuen Rundballenwickler auf den Markt gebracht, den Sprinter 1500. Dieser kann Ballen mit einem Durchmesser zwischen 1,2 m und 1,5 m Durchmesser bei einem Gewicht von bis zu 1,1 t aufnehmen und wickeln. Damit ergänzt er das Portfolio des Herstellers in dieser Größenklasse. [15]

Quaderballen

Die Entwicklung bei den Quaderballenpressen ist der Entwicklung bei den Rundballenpressen sehr ähnlich. Die Hersteller setzen auf mechanische Optimierung und einen Ausbau der Sensorik.

Der Hersteller Krone hat die 5. Generation seiner Big-Pack Pressen auf den Markt gebracht und ergänzt sein Sortiment somit um sechs weitere Modelle. Auch hier handelt es sich um eine Anpassung der vorherigen Generation, das Grundgerüst ist identisch geblieben. Die Easy-Flow Pick-Up mit ungesteuerter Kurvenbahn bleibt unverändert. Eine hydraulische Pick-Up befindet sich allerdings in der Entwicklung. Eine Neuerung ist das Schneidwerk, das Vari-Cut steht mit 26 oder 51 Messern zur Verfügung. Optional kann die Presse auch ohne Schneidwerk eingesetzt werden. Neuerungen gibt es bei der Vorpresskammer, wobei das variable Füllsystem erhalten bleibt. Die Vorpresskammer erhält nun das variable Füllsystem der größeren HDP II Presse, bestehend aus der Kurvenbahn, den Laufrollen sowie den Rafferhebeln. Weiterhin wird der Füllgrad der Vorpresskammer nun vollständig mittels Sensorik überwacht. Eine Anpassung an die Erntebedingungen ist somit nun mittels Terminal möglich. Die Sensorik in der Presse kann optional durch einen Drehmomentsensor am Raffer ergänzt werden, damit lässt sich die Fahrgeschwindigkeit optimal an die Größe des Schwads anpassen, da der Fahrer die Auslastung der Presse am Display überwachen kann. [16] Die Großballenpressen Quadrant 4000 und 5000 des Unternehmen Claas erhielten im letzten Jahr ein Upgrade mit der Evolution-Reihe. Sie warten mit einem verbesserten Presskanal und einer optimierten Pick-Up auf. Durch eine zusätzliche Zinkenreihe rotiert diese langsamer und arbeitet somit verlustärmer. Optional erhält man nun die Räumrollen in einer verstärkten Ausführung mit erhöhter Lebensdauer. [17; 18]

Der Hersteller New Holland hat ein System vorgestellt, um automatisch Quaderballen mit einem einstellbaren Ballengewicht zu pressen. Mittels LiDAR- und IMU-Sensoren werden die Größe des Schwads erfasst und darauf aufbauend die Lenkung und die Fahrgeschwindigkeit des Schleppers sowie die Einstellung der Presse geregelt. Der Hersteller möchte damit die

Arbeitsbelastung des Fahrers reduzieren, die Produktivität sowie die Ballenqualität erhöhen und den Kraftstoffverbrauch reduzieren. [19; 20]

Lade- und Häckseltransportwagen

Pöttinger zeigt mit der Jumbo 7000er und 8000er Serie im Bereich Ladewagen eine weitere Steigerung der maximalen Leistung. Der Rotor wird direkt über die Zapfwelle angetrieben, sodass die Ladewagen mit einer Leistung von bis zu 373 kW arbeiten können. Als Entladeleistung gibt der Hersteller 210 kW für den Kratzbodenantrieb und die Dosierwalzen an. Der Entladevorgang soll nach bereits einer Minute abgeschlossen sein. Die 8000er Serie unterscheidet sich mit einer maximalen Anzahl von 65 Messern im Schneidwerk von der 7000er Serie mit maximal 48 Messern. Die minimale theoretische Schnittlänge liegt damit bei 25 mm in der 8000er Serie und 34 mm in der 7000er Serie. Der Antriebsstrang wurde für die hohen Leistungen neu dimensioniert und soll Drehmomenten von 3000 Nm (7000er) beziehungsweise 3500 Nm (8000er) standhalten. So kann laut Pöttinger auf eine Überlastsicherung im Antriebsstrang verzichtet werden. Mit den angegebenen Leistungsdaten stehen die neuen Jumbo Ladewagen in direkter Konkurrenz zu selbstfahrenden Feldhäckslern im kleinen und mittleren Leistungssegment. [21; 22]

Mit dem neuen Universaltransportwagen GX mit Rollband bietet Krone erstmals einen Transportwagen an, der auch über die Futterernte hinaus eingesetzt werden kann. In **Bild 2** ist die Funktionsweise des Rollbands im Transportwagen dargestellt. Zum Entladen zieht eine Flachgliederkette das Förderband über eine Umlenkrolle nach hinten. Damit wird auch gleichzeitig die bewegliche Stirnwand nach hinten gezogen. Die Dosierwalzen können mit geringem Montageaufwand entweder mit der Heckklappe öffnen oder zum dosierten Entladen am Heck befestigt werden. Über eine absenkbare Seitenwand können auch Kartoffeln und andere Güter schonend überladen werden. Nachteile dieser vielen Funktionalitäten und Nutzungsszenarien sind ein vergleichsweise hohes Eigengewicht und deutlich höhere Anschaffungskosten. [23]

Auf der Agritechnica 2022 wurde das automatisierte Entladesystem „exact unload“ des Krone GX Universaltransportwagens mit einer DLG Silbermedaille im Rahmen des Innovation Awards ausgezeichnet. Das System ermöglicht eine konstante Entladung auf einer vorgegebenen Fahrstrecke unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit. Damit sollen gleichmäßige Schichtdicken auf dem Fahrsilo vereinfacht und so der Fahrer entlastet werden. [24]

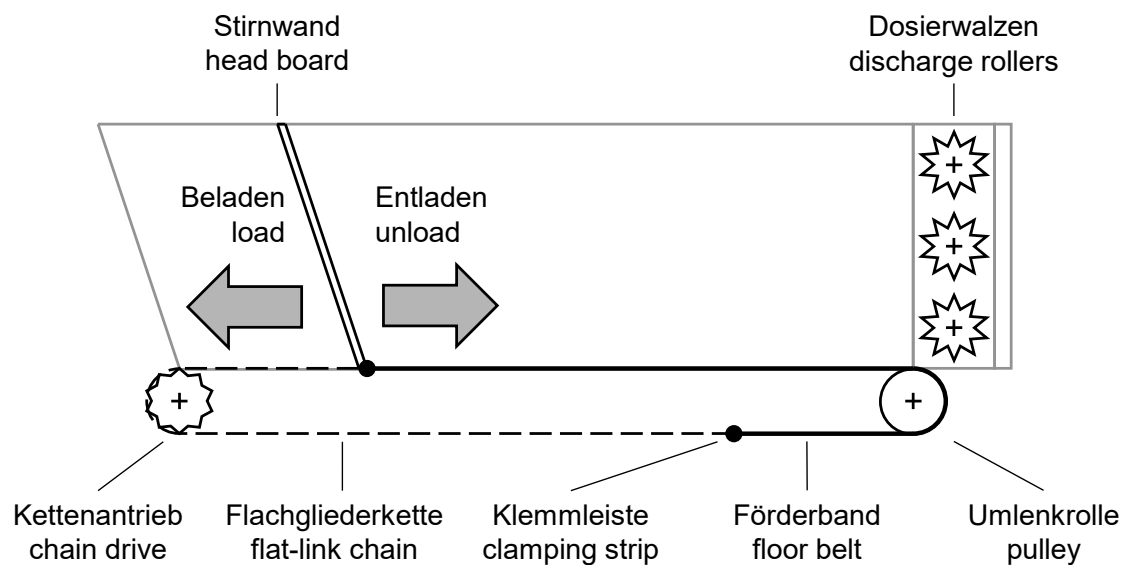


Bild 2: Schematische Darstellung des Lade- und Entladevorgangs des Krone GX Universaltransportwagens

Figure 2: Schematic illustration of the loading and unloading process of the Krone GX general-purpose wagon

Zusammenfassung

Im letzten Jahr gab es erstmalig seit Pandemiebeginn eine leichte Entspannung auf dem Landtechnikmarkt in Deutschland, die weltweite Situation bleibt allerdings angespannt. Bei den Quader- und Rundballenpressen gibt es von den Herstellern einige Überarbeitungen und neue Maschinen auf den Markt. Die Upgrades beziehen sich auf mechanische Verstärkungen und Optimierungen, Steigerung der Leistung und Erweiterung der Sensorik. Im Bereich der Sensorik liegt der Fokus auf der Verbesserung der Bedienbarkeit und der Vermeidung von Stillstandzeit durch Verstopfung. Auch werden Modellreihen bspw. im Bereich des Schneidwerks mit einer größeren Auswahl an Optionen angeboten. Im Bereich der Bindung setzt sich der Trend der letzten Jahre fort, dass immer mehr Hersteller ihre Wickelkombinationen mit der Möglichkeit zur Mantelbindung anbieten. Im Bereich der Feldhäcksler gibt es vergleichsweise wenige Neuerungen. John Deere erweitert sein Angebot im mittleren Leistungssektor. Einige Sonderumbauten von kleinen Firmen wurden vorgestellt. Auch bei den Lade- und Häckseltransportwagen gibt es wenige Veränderungen im Vergleich zu den Vorjahren, hier sticht nur der Hersteller Krone heraus mit seiner neuartigen Funktionsweise des Förderbandes. Der Wagen besitzt einen kettengezogenen Rollboden und kann so ganzjährig für verschiedene Fruchtarten und so auch zum Transport von Getreide oder von Paletten eingesetzt werden.

Literatur

- [1] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Preis konventionell erzeugter Kuhmilch in Deutschland von Dezember 2019 bis Dezember 2021 (in Cent pro Kilo). URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/380533/umfrage/preis-konventionell-erzeugter-kuhmilch-in-deutschland/>, Zugriff am: 22.03.2022.
 - [2] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Preise für konventionell und ökologisch/biologisch erzeugte Kuhmilch 2020/2021. URL: https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Milch-Milcherzeugnisse/_functions/TabelleMilchpreiseMonat2021.html, Zugriff am: 22.03.2022.
 - [3] VDMA Landtechnik: Umsatz erstmals höher als zehn Milliarden Euro. eilbote 69 (2021) 50-52, S. 5.
 - [4] Hoffmann, V.: Ukraine-Krieg: Das sind die Folgen für Landmaschinenhersteller. URL: <https://www.agrarheute.com/technik/traktoren/ukraine-krieg-folgen-fuer-landmaschinenhersteller-591063>, Zugriff am: 22.03.2022.
 - [5] Zinke, O.: Milchpreise: Börsenmilch steigt auf 65 Cent – Preisexplosion bei Milch. URL: <https://www.agrarheute.com/markt/milch/milchpreise-boersenmilch-steigt-65-cent-preisexplosion-milch-591445>, Zugriff am: 22.03.2022.
 - [6] Brockmann, A.: Hirsch mit Biss. Traction 9 (2021) H. 6, S. 38-42.
 - [7] Feuerborn, B.: Untenrum mit mehr Power. Agrarheute 5 (2021) H. 11, S. 84-89.
 - [8] N.N.: Neue selbstfahrende Feldhäcksler-Modelle mit Motor JD18X. Walldorf 30.08.2021.
 - [9] Brockmann, A.: Häcksler trifft Roder. Traction 9 (2021) H. 5, S. 76-79.
 - [10] Lindenberger, A.; Uhl, M.; Frank, M.: Influence of design and operating parameters on crop-flow characteristics in a self-propelled forage harvester (SPFH) using experimental and numerical methods. LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): VDI-Berichte – 2395, VDI Verlag GmbH 2022, ISBN: 978-3-18-092395-6, S. 457-464.
 - [11] N.N.: Für den stationären und mobilen Einsatz. eilbote 69 (2021) H. 7, S. 17.
 - [12] B. Feuerborn, T. G.: Hüterin der Ballen – Rotana 130 F Combi. Agrarheute 5 (2021) H. 2, S. 76-80.
 - [13] N.N.: Impress: Mehr als nur ein Facelift. eilbote 69 (2021) H. 39, S. 24-25.
 - [14] Brüse, C.: Kubota BV 5160 plus flexwrap Vestaerkte Presse. Profi 33 (2021) H. 4, S. 46-47.
 - [15] Brüse, C.: Rundballenwickler Talex Sprinter 1500. Profi 34 (2022) H. 1, S. 28-30.
 - [16] Brockmann, A.: Sauberes Komfortupdate. Traction 9 (2021) H. 1, S. 34-37.
 - [17] N.N.: 100 Jahre Claas Knoter. Traction 9 (2021) H. 5, S. 30.
 - [18] Wilmer, H.: Grossballenpresse Claas Quadrat 5200 Evolution. Profi 33 (2021) H. 9, S. 46-47.
 - [19] N.N.: Immer gleiche Ballen. Top Agrar 51 (2022) H. 1, S. 123.
-

- [20] N.N.: Job mit Verantwortung NEW HOLLAND BIG BALER. Traction 10 (2022) H. 1, S. 15.
- [21] Pöttinger Landtechnik GmbH: JUMBO neu: Zwei Schritte voraus – Die neue Dimension bei Hochleistungs-Silierladewagen. Grieskirchen 01.07.2021.
- [22] Bensing, T.: Pöttinger Jumbo Ladewagen mit nur 25 mm Schnittlänge – Pöttinger stellt nach der Überarbeitung der Jumbo-Ladewagenbaureihe ein neues Schneidaggregat vor. URL: <https://www.profi.de/aktuell/neuheiten/pottinger-jumbo-ladewagen-mit-nur-25-mm-schnittlaenge-28898.html>, Zugriff am: 28.04.2022.
- [23] Krone: Auch für Rüben und Kartoffeln. eilbote 69 (2021) H. 36, S. 16-17.
- [24] N.N.: Die Preisträger des Innovation Awards Agritechnica 2022. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, URL: <https://www.agritechnica.com/de/presse/aktuelle-meldungen#!/news/die-preistraeger-des-innovation-awards-agritechnica-2022>, Zugriff am: 24.03.2022.

Autorendaten

Dipl.-Ing Lukas Poppa und M. Sc. Christian Depenbrock 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 27.04.2022

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Poppa, Lukas; Depenbrock, Christian: Halmgutbergung. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-9

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030957-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/halmgutbergung.html>

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

Halmgutkonservierung

Thomas Hoffmann

Kurzfassung

Bei der Halmgutkonservierung dominieren Themen zur Futterqualität und Verlustvermeidung. Zur besseren Planung der Arbeitsabläufe befinden sich zwei Applikationen für Smartphones in der Testphase. Die App „WiltExpert“ prognostiziert, wann ein angestrebter Trockenmassegehalt von Anwelkgras erreicht sein wird. „SiloExpert“ unterstützt das Silomangement. Bei der Heubereitung kommen technische Einrichtungen zum Einsatz, mit denen vorgetrocknetes Halmgut witterungsgeschützt auf den End-Trockenmassegehalt getrocknet wird. Interessierte Landwirte können in mehreren Berichten nachlesen, inwieweit sich Walzenverteiler und Zweikreiselverteiler für die Einbringung von Halmgut in das Fahrsilo eignen. Im Interesse einer höheren Verdichtungsleistung können Walzschlepper mit Silowalzen ausgestattet werden. Die Silowalzen eignen sich auch für die Verdichtung von Fahrsilos ohne Seitenwände. Für die Ballensilage stehen unterschiedliche Klassen an Folie zur Verfügung. Anhand von Prüfberichten können Landwirte die für sie geeignete Folie auswählen.

Schlüsselwörter

Applikationen für Smartphones, Heutrocknung, Silowalzen, Wickelfolie

Crop Preservation

Thomas Hoffmann

Abstract

Priority topics from the field of stalk preservation were forage quality and loss prevention. Two applications for smartphones are now undergoing testing. The applications are developed to support work planning. The “WiltExpert“ app predicts when a target dry matter content of wilted grass will be reached. “SiloExpert“ supports silo management. In haymaking, technical facilities are used to dry pre-dried stalk material to the final dry matter content. Interested farmers will find details in several reports how drum silage distributors and rotary silage distributors feed and distribute forage biomass on horizontal silos. In order to increase the compaction performance, tractors can be equipped with silage rollers. Silage rollers are also suitable for horizontal silos without walls. Different categories of films are available for bale silage. Farmers can use test reports to select the film that is suitable for them.

Keywords

Application for smartphones, hay drier, silage roller, silage film

Allgemeines

Halmgut ist ein wichtiges Grundfutter für Wiederkäuer und Pferde. Zum Grundfutter zählen Grünfutter, Silagen aus z.B. Mais oder Anwelkgras und Raufutter wie Heu und Stroh. Entscheidenden Einfluss auf die Bereitstellung von hochwertigem Grundfutter haben die natürlichen und pflanzenbaulichen Bedingungen sowie die verfahrenstechnischen Voraussetzungen zur Arbeitserledigung. Das Ziel ist, Grundfutter mit hoher Qualität bei möglichst geringen Verlusten zu erzeugen. Bei den Verlusten ist zu unterscheiden, ob sie auf dem Feld oder während der Lagerung entstehen. Erfahrungsgemäß ist die Heubereitung mit höheren Feldverlusten verbunden, während die Silierung zu höheren Lagerverlusten führt [1].

Für die Silagebereitung gibt das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft einen Überblick zu den wichtigen Themen Verluste, Erntezeitpunkt, Siliereignung, Siliermittel, Einlagerung ins Fahrsilo, Siloabdeckung und Entnahme aus dem Silo [2]. In Szenarien werden für eine Biogasanlage und für einen Milchviehbetrieb die finanziellen Verluste berechnet, die infolge von Verfahrensfehlern entstehen können.

Bei Anwelksilage findet mit dem Welken der erste Schritt der Konservierung bereits auf der Grünlandfläche statt. Als Planungshilfe kann der Landwirt in Zukunft „WiltExpert“ nutzen. „WiltExpert“ ist eine Applikation für Smartphones und wird zur Zeit von Landwirten getestet [3; 4]. Die Software prognostiziert unter Beachtung schlagspezifischer Angaben und regionaler Wetterdaten den Zeitpunkt, bei dem das angewelkte Gut den optimalen Trockenmassegehalt erreicht hat und geborgen werden kann. Ebenfalls für das Smartphone wird die Applikation „SiloExpert“ entwickelt, um den Landwirt beim Silagemanagement zu unterstützen [3].

Heuproduktion

Nach wie vor setzen einige Landwirte trotz des witterungsbedingten Verfahrensrisikos auf Heu. Wenn anstelle von Silage Heu als Grundfutter eingesetzt wird, dann kann die produzierte Milch als „Heumilch“ vermarktet werden. Aktuell liegt der Anteil an Heumilch in Deutschland bei nur 0,2 % der Gesamtmilchmenge (in Europa 3 %), die Branche verzeichnet aber eine leicht steigende Tendenz [5]. Heumilch kann frisch verzehrt werden oder ist die Grundlage für die Käseproduktion. Mit Heu werden Clostridien in der Rohmilch vermieden. Clostridien sind für den Menschen zwar ungefährlich, sie können jedoch die Qualität des Käses beeinträchtigen.

Damit Halmgut in kurzer Zeit bei optimaler Witterung zu Heu trocknen kann, sind eigene Maschinen zur Arbeitserledigung zu empfehlen [6]. Halmgut kann vor dem Erreichen des erforderlichen Trockenmassegehaltes (TM) geborgen werden, wenn für die Nachtrocknung auf ca. 85 % Trockenmassegehalt technische Einrichtungen zur Verfügung stehen. Das Nachtrocknen kann in speziellen Trocknungshallen erfolgen. Die Nachtrocknung benötigt relativ wenig Energie, wenn eine Entfeuchter-Wärmepumpe (Kondensations-Trocknungsanlage) [7] zum Einsatz kommt. Bei einem anderen Konzept wird die Luft unter Dach angesaugt, dadurch vorgewärmt und dann dem Halmgut zugeführt [5] (**Bild 1**). Bei Bedarf kommt ein Luftentfeuchter zum Einsatz. Das Futter sollte zum Zeitpunkt der Einfuhr einen Trockenmassegehalt von 60 % - 70 % haben.

bearbeitet von top agrar

Optimale Betriebsart bei Wärme, Regen, nachts und bei bewölktem Himmel

1) Außenluftbetrieb

2) Ein Luftentfeuchter trocknet und erwärmt Luft

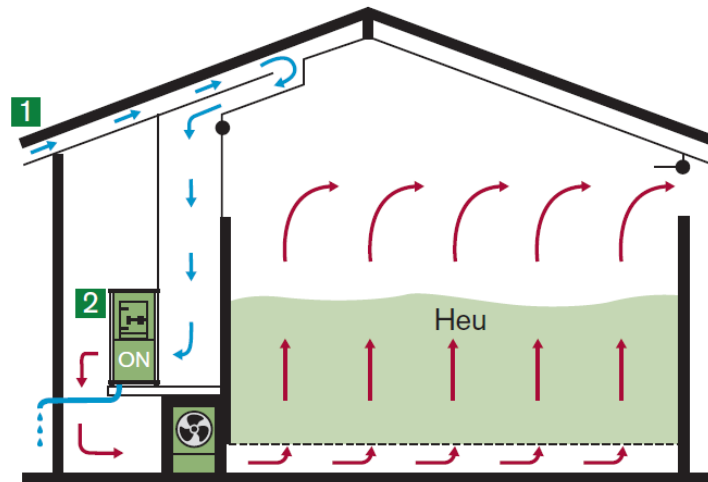


Bild 1: Heutrocknungshalle mit Unterdachansaugung und Luftentfeuchter (Quelle: Frigortec in [5])

Figure 1: Drying hall for hay with air supply channel under the roof and air dehumidifier (Source: Frigortec in [5])

Die technische Ausstattung einer Heutrocknungsanlage können Anlagenhersteller wie z.B. die Firmen Karl Barth AG (Schweiz) oder HSR (Österreich) übernehmen [8; 9].

Die Firma Burdorf Landmaschinen bietet eine Trocknungsanlage an, mit der in einem LKW-Sattelaufleger oder in einem Norm-Container Quaderballen getrocknet werden können [10]. Die Anlage ist modular erweiterbar und kann mit Frischluft oder Umluft betrieben werden.

Auch wenn Heuballen nach guter fachlicher Praxis gepresst und gelagert werden, muss im Minimum mit Lagerverlusten zwischen 2 % und 6 % gerechnet werden (**Tabelle 1**) [11]. Unter extrem schlechten Bedingungen verdirbt rund die Hälfte des Erntegutes.

Die verlustarme Lagerung von Heu setzt voraus, dass die Gutfeuchte bezogen auf die Originalsubstanz unter 15 % liegt. Zum Überprüfen der Gutfeuchte stehen unterschiedliche Feuchtemessgeräte und -systeme zur Verfügung [12]. Die Preise liegen zwischen 115 EUR für einfache Geräte und über 1.100 EUR für Messsysteme mit mehreren Sensoren. Es gibt Geräte für loses Heu und für Gut im Schwad.

Die Pelletpresse Krone Premos 5000 erzeugt auf dem Feld Pellets aus Stroh und Heu mit 16 mm Durchmesser. Die Pellets haben eine hohe Schüttdichte. Dadurch verringert sich der notwendige Lagerraum und längere Transporte des Gutes werden rentabel [13]. Zu diesen Vorteilen kommen positive Effekte bei der stofflichen Anwendung hinzu. Als Einstreu in Hühnerställen verringern die Pellets die Staubbelastung und sie nehmen viel Feuchtigkeit auf. Die

Tiere sind sauberer und die Eier weniger schmutzig. Die Pellets animieren die Hennen zum Picken, wodurch sie beschäftigt sind.

Tabelle 1: Verluste bei verschiedenen Lagerungsmethoden [11]

Table 1: Storage losses of different hay storage methods [11]

Lagerart Storage type	Bereich der TM-Verluste (%) TM loss range (%)
unter dem Dach <i>under the roof</i>	2 - 10
mit Folie umwickelt, auf dem Boden <i>wrapped with foil, on the floor</i>	4 - 7
Ballenschlauch, auf dem Boden <i>Bale tube, on the floor</i>	4 - 8
überdacht, felsig oder erhöht <i>roofed, rocky or elevated</i>	2 - 17
ohne Überdachung, felsig oder erhöht <i>without roofing, rocky or elevated</i>	3 - 46
ohne Überdachung, auf dem Boden, mit Netz umwickelt <i>without roofing, on the ground, wrapped with net</i>	6 - 25
überdacht, auf dem Boden <i>roofed, on the floor</i>	4 - 46
ohne Überdachung, auf dem Boden <i>without roofing, on the floor</i>	5 - 61

Halmgutkonservierung durch Silierung

Bei der Silierung muss der pH-Wert nach dem Einlagern möglichst schnell auf Werte zwischen 4,0 und 5,0 sinken, sonst entwickeln sich Enterobakterien, Clostridien, Hefen und Schimmelpilze. Häufig gemachte Fehler sind u.a. zu hoher oder zu geringer Trockensubstanzgehalt, zu geringe Verdichtung, Schmutzbelastung, zu niedriger Zuckergehalt und ungenügender Luftabschluss [14]. Silierzusätze können helfen, die Auswirkungen erkannter Mängel zu mindern [15]. Die Silierhilfsmittel entfalten jedoch nur ihre volle Wirksamkeit, wenn sie fachgerecht angewendet werden.

Ein großer Teil des Siliergutes wird in Fahrsilos eingelagert und durch Walzfahrzeuge verdichtet. Das angelieferte Gut kann nur dann ordentlich verdichtet werden, wenn es im Silo gleichmäßig verteilt ist und die zu verdichtende Schicht höchstens 30 cm beträgt. Zum gleichmäßigen Verteilen bieten mehrere Firmen wie u.a. Hoopman machines b.v., Mammut Maschinenbau GmbH, RECK-Technik GmbH & Co. KG und Günter Schmihing GmbH Walzen- bzw. Trommelverteiler und Zweikreiselverteiler an [16 - 18]. Die Verteilgeräte werden in unterschiedlichen Versionen angeboten: Antrieb über Zapfwelle oder hydraulisch für Radlader, mit

Wendegetriebe für Front- und Heckanbau, starr oder schwenkbar für die Verteilung am Silorand. Kreiselverteiler sind dann besonders geeignet, wenn Ladewagen das Futter über das Silo verteilt haben und die abgeladenen Futterpakete aufgelöst werden müssen. Wird das Futter vor dem Silo abgeladen, dann sind nur Walzen- oder Trommelverteiler in der Lage, das Gut auf das Silo zu bringen [17].

Beim Verdichten gilt die Grundregel, dass die Masse der Walzfahrzeuge zusammen mindestens ein Drittel der in einer Stunde angelieferten Halmgutmasse betragen soll [19]. Um die Verdichtung zu erhöhen, bietet Saphier Maschinenbau GmbH eine Silagewalze für den Heckanbau am Walzschlepper an [20]. Die Silagewalze wiegt 2,7 t. Der Rahmen kann mit Wasser gefüllt werden, wodurch die Masse auf 3,6 t steigt. Die Walze kann optional einseitig oder beidseitig mit einem Kantenverdichter ausgerüstet werden, damit auch Silos ohne Seitenwände im Randbereich gut verdichtet werden können.

Entscheidet sich ein Landwirt für Ballensilage, so können die Ballen mit Standardfolie, Qualitätsfolie oder DLG-geprüften Folien umwickelt werden. Folien mit Qualitätssiegel werden u.a. auf ihre Sauerstoffdurchlässigkeit getestet sowie auf die Reißfestigkeit im Neuzustand und nach einer simulierten Alterung [21; 22].

Der kanadische Landtechnik-Hersteller Anderson bietet einen selbstladenden Ballentransportwagen für gewickelte Silageballen an. Der Ladewagen wird von einem Traktor gezogen. Die Greif- und Ladearbeit übernimmt eine verschiebbare Ballenklemmzange. Ein Sensor an der Zange löst den Greifvorgang aus. Während das Fahrzeug weiterfährt, verschiebt sich die Greifeinrichtung nach hinten und kann den Ballen in Ruhelage schonend greifen. Die Greifzange kann liegende und stehende Ballen aufnehmen [23].

Zusammenfassung

Der Erhalt der Qualität des Futters und die Vermeidung von Verlusten sind nach wie vor die zentralen Themen bei der Halmgutkonservierung. Die traditionelle Heubereitung hat trotz des witterungsbedingten Risikos ihre Bedeutung behalten oder sogar ausgebaut, wenn über Heumilch ein Einkommen generiert werden kann. Damit Heu nicht bis 85 % Trockenmasse im Freien trocknen muss, setzen Landwirte auf technische Trocknungsanlagen. Das können Lagerhallen mit Belüftungseinrichtungen oder modulare Trocknungssysteme in Containern oder auf Anhängern sein. Zur Verteilung des Halmgutes im Fahrsilo bieten mehrere Hersteller Walzenverteiler und Zweikreiselverteiler an. Die Systeme unterscheiden sich in ihrer Arbeitsweise. Mit zusätzlichen Silowalzen am Walzschlepper kann die Verdichtung erhöht werden. Für die Ballensilierung stehen Folien unterschiedlicher Qualität zur Verfügung. Prüfberichte helfen, die geeignete Wickelfolie herauszufinden.

Literatur

- [1] Hunger, R.: Verluste kann man nicht konservieren. Schweizer Landtechnik (2021) H. 4, S. 18-23.
- [2] KTBL: Ernte- und Silomanagement – Silagequalität verbessern und Verluste verringern. Kuratorium für die Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2021), 16 S.
- [3] N.N.: Q2GRAS: Mit zwei neuen Apps die Grassilage im Griff. top agrar 49 (2020) H. 6, S. 70.
- [4] Pickert, J.; Hecker, M.; Brüning, D.; Hoffmann, T.; Frühauf, C.; Weise, G.; Wellenbrock, K.-H.: Evaluation of a decision support tool for the in situ prediction of grass wilting time. Meeting the future demands for grassland production. Proceedings of the 28th General Meeting of the European Grassland Federation, Helsinki (Finland) 19 - 20. October 2020, S. 659.
- [5] Griese-Westermeier, K.: Heumilch aus dem Osten. top agrar 50 (2021) H. 12, S. R13-R15.
- [6] Röthlisberger, H.: Zum Heuen braucht es eigene Maschinen. Schweizer Landtechnik (2020) H. 9, S. 36-37.
- [7] N.N.: Gutes Heu für 220 Kühe. profi 32 (2020) H. 2, S. 74-76.
- [8] Senn, D.: Trocknungsanlagen mit Köpfchen. Schweizer Landtechnik (2020) H. 11, S. 58-59.
- [9] Zäh, M.: Digitale Technik für gutes Heu. profi 32 (2020) H. 4, S. 66-68.
- [10] N.N.: Quaderballentrocknung von Burdorf. profi (2021) H. 2, S. 87.
- [11] Bauder, S.; Tracey, E.; Shinnors, K.: Round Bale storage Conversation. South Dakota State University Extension, June 2020, 4 S., <https://extension.sdstate.edu/sites/default/files/2020-06/P-00173.pdf>, Zugriff am 04.04.2022.
- [12] Bockholt, K.; Goeggerle, T.: Brenzlige Ballen. agrarheute (2021) H. 8, S. 88-89.
- [13] Tastowe, F.: Direkt vom Feld. top agrar 49 (2020) H. 2, S. 92-93.
- [14] Schmidt, I.; Gödeke, L.; Heitmann, L.; Kemmerling, N.; Laser, H.: Die sieben Sünden beim Silieren. top agrar 49 (2020) H. 4, S. 98-101.
- [15] Fischer, K.: Wozu dienen Silierzusätze? agrarheute (2020) H. 5, S. 93.
- [16] Rath-Kampe, J.: In dünnen Schichten. Agrartechnik 100 (2021) September, S. 62-67.
- [17] Küper, J.-M.: Getrommelt oder gerührt? profi 33 (2021) H. 3, S. 72-75.
- [18] Fischer, K.: Flach legen. agrarheute (2021) H. 8, S. 82-85.
- [19] Bensing, T.: Ernten Sie super Silage. profi 33 (2021) H. 4, S. 92-93.
- [20] Huesmann, A.: Harte Kante. top agrar 49 (2020) H. 3, S. 112-113.
- [21] Hunger, R.: Gut verpackt ist halb konserviert. Schweizer Landtechnik (2021) H. 4, S. 32-34.
- [22] Herrmann, W.: Geprüft und für ganz dicht befunden. agrarheute (2022) H. 3, S. 16-19.

- [23] Burkhalter, R.: Ballenladen ohne Rückwärtsgang. Schweizer Landtechnik (2020) H. 2, S. 40-42.

Autorendaten

Dr. rer. agr. Thomas Hoffmann ist Leiter der Abteilung Technik der Lagerung, Aufbereitung und Konservierung am Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB).

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Hoffmann, Thomas: Halmgutkonservierung. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-7

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030958-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/halmgutkonservierung.html>

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

Mähdrescher

Stefan Böttinger

Kurzfassung

Die Mähdrescher-Märkte entwickelten sich uneinheitlich. Die Hersteller präsentierten neue Modelle und weitere Assistenz- und Automatiksysteme. Eine Vorfeldbeobachtung des Bestandes wird für die automatische Lenkung und für die Einstellungen am Schneidwerk des Mähdreschers genutzt. Die Strohverteilung hinter dem Mähdrescher wird über Radarsensoren am Strohhäcksler erfasst und geregelt. Mit diesen Systemen wird die Bedienung der komplexen Arbeitsmaschinen auch für ungeübtere Fahrer deutlich erleichtert.

Schlüsselwörter

Mähdrescher, Marktentwicklung, Automatisierung

Combine Harvester

Stefan Böttinger

Abstract

The markets for combine harvesters developed unevenly. The manufacturers presented new models and further assistance and automatic systems. The observation of the crop in front of the machine is used for the automatic steering and for the settings on the cutterbar of the combine. The straw distribution behind the combine is detected and controlled by radar sensors on the straw chopper. These systems make it much easier to operate the complex machines, even for inexperienced drivers.

Keywords

Combine harvester, market development, automation

Markt

In der Saison 2020/2021 ist der Absatz von Mähdreschern in Deutschland mit 1083 Einheiten nahezu konstant geblieben [1]. Für West-Europa ist leider keine gemeinsame Statistik der Herstellerverbände mehr verfügbar. In Nordamerika stieg im Jahr 2021 der Absatz um beinahe 25 % auf 8059 Einheiten. In Russland betrug das Wachstum des Mähdrescher-Marktes 27 % und erhöhte sich auf 7913 Einheiten [2], **Bild 1**.

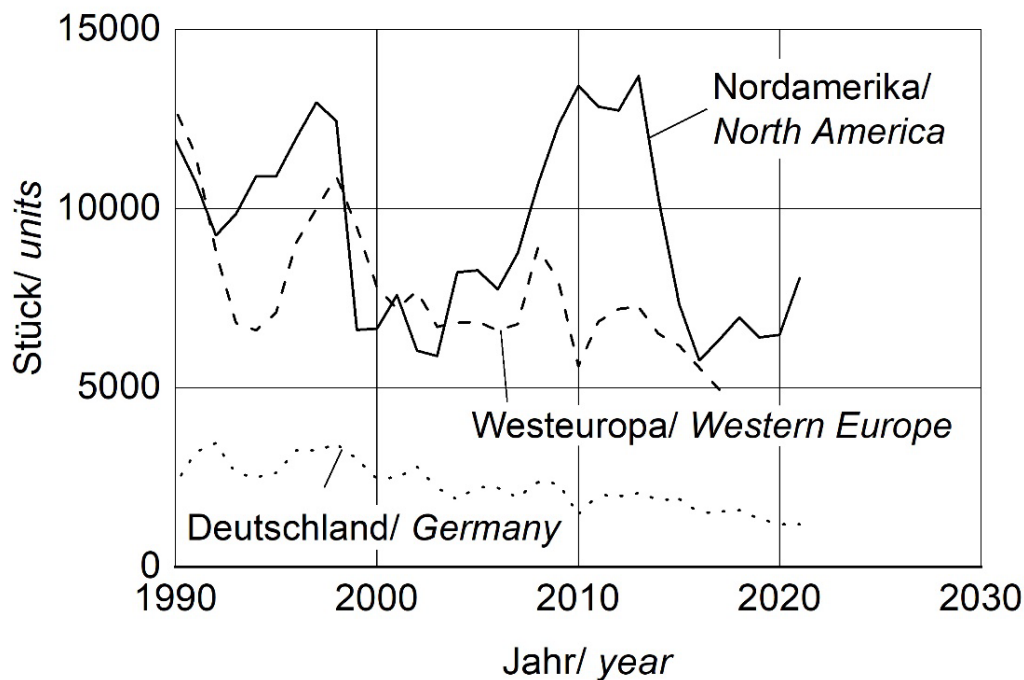


Bild 1: Entwicklung wichtiger Mähdrescher-Märkte [1; 2]

Figure 1: Development of important combine markets [1; 2]

Neben dem Größenwachstum der verkauften Maschinen stieg weiterhin die Ausstattung an. In Überblicksartikeln über die Trends und Neuheiten bei Mähdreschern wird neben dem Wachstum der Durchsatzleistung auf den vermehrten Einsatz von Sensorik und Elektronik hingewiesen, mit deren Hilfe die Auslastung der Maschinen verbessert werden kann. Dabei kommen der Ergonomie des Fahrerplatzes und der vermehrte Einsatz von unterstützenden Assistenz- und Automatiksystemen immer mehr Bedeutung zu. Die Technik der Oberklasse ist auch immer mehr in den darunter liegenden Klassen verfügbar [3; 4].

Die auf das Frühjahr 2022 verschobene Agritechnica musste aus Pandemiegründen abgesagt werden. Dennoch wurden die Innovationen mit einer Gold- und 16 Silbermedaillen ausgezeichnet. Im Bereich der Erntetechnik für Körnerfrüchte sind dies Silbermedaillen für das CEMOS Auto Header von Claas, das OptiSpread Automation System von CNH Industrial und von Rost-

selmash der RMS Ok ID Aufmerksamkeitsassistent. Für den mit der Goldmedaille ausgezeichneten Systemtraktor der Nexat GmbH ist auch ein Modul für die Ernte von Körnerfrüchten verfügbar [5 - 8].

Von Claas wurde mit Trion eine neue Mähdrescher-Baureihe mit Elementen aus den bisherigen Baureihen Tucano und Lexion sowie Neuentwicklungen vorgestellt. Fachzeitschriften konnten verschiedene Modelle in Feldtest erproben [9; 10].

Der Einsatzbericht über den Mähdrescher Ideal 9T von Agco mit seinen zwei Axialrotoren bescheinigt dieser Maschine gute bis sehr gute Druschleistung und Kornqualität [11]. Der Einsatzbericht über den Claas Lexion 5500 TT dokumentiert für diesen 5-Schüttler-Mähdrescher mit 755 mm großer Dreschtrommel und nachgeschalteter Abscheidetrommel eine sehr gute Druschleistung. Das Stroh ist durch das 4-Trommel-Dreschwerk stärker beansprucht als bei der Vorgänger-Serie, aber die Qualität ist weiterhin besser als bei Rotormaschinen [12]. Der RSM 161 von Rostselmash überzeugt ebenfalls mit der Druschleistung seines 5-Trommel-Dreschwerks und den 6 Hordenschüttlern. Viele Details werden von den Testern als verbesserungswürdig bezeichnet, allerdings ist der Mähdrescher konkurrenzlos günstig [13]. Von Case IH wurde u.a. die Datenkommunikation zwischen Mähdrescher und Büro sowie die Kommunikation zwischen einzelnen Maschinen zum Austausch von Fahrspuren vorgestellt. Über eine Smartphone-App können Vorschläge für eine Einstelloptimierung angezeigt und dann vom Fahrer für die Maschineneinstellung genutzt werden [14].

Dreschen, Trennen, Reinigen

Für den Nexat Systemtraktor wurde ein Einbaumähdrescher vorgestellt, der Dank der Dimensionen dieses Fahrzeugkonzepts sehr hohe Durchsätze von 130 bis 200 t/h ermöglichen soll. Dem quer eingebauten Axialrotor wird mittig das Erntegut tangential zugeführt. Der Gutstrom wird aufgeteilt und zu beiden Seiten des Rotors gefördert. Jedem Rotorende ist eine Reinigungsanlage und eine Strohhacksel- und -verteilereinrichtung nachgeordnet. Der Korntankt ist mit 32 m³ ausreichend dimensioniert, um bei der Arbeitsbreite von 14 m und bei üblichen Schlaglängen nur im Vorgewende auf Transportfahrzeuge überladen zu müssen. Dadurch wird das Controlled-Traffic Konzept dieses Systemtraktors unterstützt [8].

Für die neue Trion-Baureihe nutzt Claas bewährte Aggregate aus bisherigen Modellreihen. Alle Modelle haben das bekannte APS-Dreschwerk mit 450 mm Beschleunigertrommel und 600 mm Dreschtrommel. Die größere Kanalbreite von 1,7 m ist den 6-Schüttler-Modellen vorbehalten, **Bild 2**. Die 1,42 m Kanalbreite ist mit fünf Schüttlern oder einem Rotor mit 570 mm Durchmesser oder mit zwei Rotoren mit je 445 mm Durchmesser erhältlich. Die Rotoren sind aus bisherigen Modellen übernommen. Die Reinigung aus dem bisherigen Lexion wird auch im Trion eingesetzt [9; 10].

Mit zusätzlichen Einbauten im Schrägförderer soll die Gutzufuhr zum Dreschwerk vergleichmäßig und damit Leistungsbedarf und Verschleiß reduziert werden. Da damit bereits im Schrägförderer Körner aus den Ähren gerieben werden, seien höhere Gutdurchsätze bei geringerem Bruchkorn möglich [15; 16].

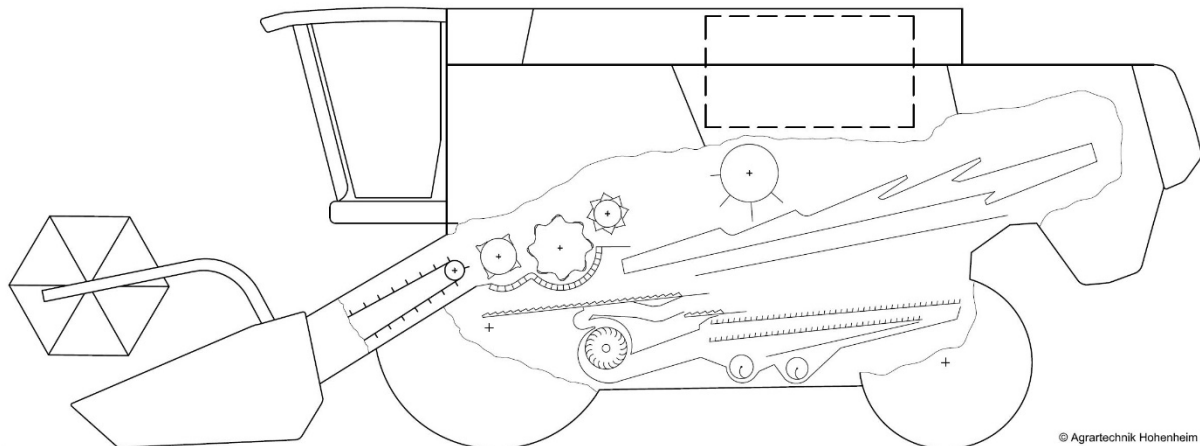


Bild 2: Claas Trion mit Hordenschüttler

Figure 2: Claas Trion with straw walkers

Der Axialrotor eines Reismähdreschers wurde so verändert, dass im letzten Drittel der Rotor mit 1,2-facher Drehzahl arbeitet. Dadurch kann insgesamt mit reduzierter Rotordrehzahl gearbeitet werden. Im ersten Teil des Rotors erfolgt ein schonender Drusch und die Abscheidung von leicht zu dreschenden Körnern. Im letzten Drittel wird das Erntegut für die Restkornabscheidung stärker bearbeitet. Die günstigsten Einstellungen für Bruch und Reinheit bei konstantem Durchsatz von 4 kg/s wurden ermittelt, aber es erfolgte kein Vergleich mit einem Rotor mit einer konstanten Drehzahl [17].

Für Rundlochsiebe von Reinigungsanlagen wurden Untersuchungen mit angesenkten Löchern bei gleichbleibender offener Siebfläche durchgeführt. Durch die schrägen Seitenwände werden viele der dort auftreffenden Körner zur Sieböffnung umgelenkt. Es erfolgte kein Vergleich mit Rundlochsieben mit engerer Anordnung der Öffnungen [18].

Bei Exaktversuchen wurde der Anteil von Bruchkörnern im Korntank und in den Verlusten untersucht. Es zeigte sich, dass der Bruchkornanteil häufig überbewertet wird, denn mehr als die Hälfte des Bruchkorns landete bei diesen Versuchen im Korntank. Die häufig verwendete Faustformel zur Berechnung der tatsächlichen Bruchverluste aus der Verdoppelung des Bruchs im Korntank passte hier nicht. Zudem erhöhte sich das Bruchkorn im Korntank bei Steigerung der Druschintensität um das Fünffache und mehr, in den Kornverlusten dagegen war der Bruchanstieg deutlich geringer [19].

Versuchstechnik

Um die Verluste bei der Ernte schneller und einfacher bestimmen zu können, werden verschiedene verbesserte Messgeräte und -systeme vorgestellt. Verlustauffangschalen können unter dem Mähdrescher mit Elektromagneten befestigt werden. Die Auslösung erfolgt je nach Hersteller von der Kabine aus oder über eine Fernsteuerung durch eine Smartphone-App. Die

Auffangschalen eines Herstellers sind ähnlich wie ein Vorbereitungsboden gestuft und mit einer leicht zu handhabenden Abfüllung der Verlustkörner versehen. Alle Anbieter nutzen kleine Handgebläse und/oder Siebtürme, um Spreu und Strohteile von den Verlustkörnern zu trennen. Die Auswertung erfolgt über Smartphone-Apps [20; 21].

CNH Industrial stellte eine einfachere Möglichkeit vor, bei der mit dem Smartphone ein Foto der hinter dem Mähdrescher auf dem Boden liegenden Körner aufgenommen wird. Eine App erkennt die Körner auf dem Bild. Die Körnerverluste werden berechnet unter Berücksichtigung der Gutart, des Tausend-Korn-Gewichts TKG, der Schneidwerksbreite, der Schwadbreite und des Ertrags. Viele Daten müssen nicht eingegeben, sondern können direkt vom Mähdrescher auf das Smartphone übertragen werden [22].

Zur Reduktion der Trocknungskosten bei der Körnermaisernte wurden Feldversuche mit einer verzögerten Ernte durchgeführt. Durch die Trocknung auf dem Feld und die verzögerte Ernte wurden keine Ertragsminderung und keine zusätzlichen Verluste verursacht. Erst mit dem Auftreten von Lagermais stiegen durch Aufnahmeverluste am Vorsatz die Verluste sehr deutlich an [22].

Zur Beurteilung der Kornqualität wurden im Getreidelager Versuche mit Prallplatten und Mikrophon durchgeführt. Anhand der aufgezeichneten Spektrogramme können mit Hilfe von KI die Körner eingeteilt werden in ganze Körner, Körner mit Schimmelpilzbefall und Körner mit Fraßschäden durch Insekten [23].

Elektronik, Regel- und Informationstechnik

Assistenz- und Automatiksysteme entlasten nicht nur ungeübte, sondern auch geübte Bediener von Mähdreschern und helfen, die Auslastung der Maschinen über den gesamten Arbeitstag hochzuhalten. Das Claas Cemos Automatic wurde einem Feldtest unterzogen. Basierend auf Verlust- und Abscheidesensoren, auf Durchsatz, Überkehrbelastung und Körnerqualität werden Vorfahrtgeschwindigkeit, Dreschwerk und Reinigungsanlage eingestellt und überwacht. Der Bediener kann die Optimierungsstrategie, ob eher auf Kornqualität im Korntank oder auf Durchsatz optimiert wird, einstellen. Das Automatiksystem lernt dazu, indem es immer wieder überprüft, ob die Einstellungen wegen sich ändernder Guteigenschaften und Erntebedingungen angepasst werden müssen [24].

Eine vorgestellte Verbesserung ist die automatische Synchronisation von Maschineneinstellungen innerhalb einer Flotte. Damit kann die am besten eingestellte Maschine als Referenz für die weiteren Maschinen dienen. Auch die ferngesteuerte Einstellung der Maschinen durch einen Experten ist möglich [25].

Der für die automatische Lenkung bei Claas-Mähdreschern eingesetzte Lidar-Sensor auf dem Kabinendach kann auch die Bestandhöhe vor dem Schneidwerk erfassen, **Bild 3**. Zusammen mit dem Schichtdickensensor im Einzugskanal werden nun die Haspelpositionen horizontal und vertikal sowie die Tischlänge des Vario-Schneidwerks eingestellt, um einen möglichst gleichmäßigen Gutfluss zum Dreschwerk zu erzielen. Die Sensorik der mit der Silbermedaille

der Agritechnica ausgezeichneten Innovation kann für weitere Automatiksysteme genutzt werden [7].

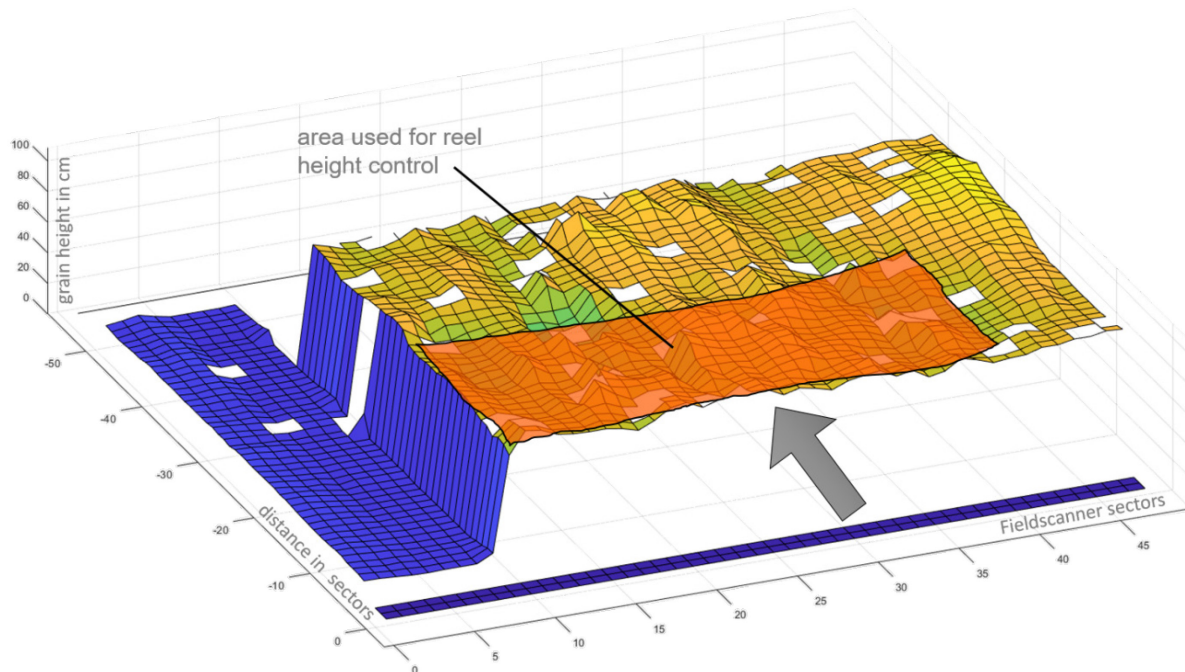


Bild 3: Visualisierung des mit Hilfe eines Lidar-Systems erfassten Bestands vor dem Mähdrescher [7]
Figure 3: Visualisation of the crop in front of the combine harvester as detected by a Lidar system [7]

Ebenfalls mit einer Silbermedaille ausgezeichnet wurde das OpitSpread Automation System von New Holland. Mit Hilfe von Radar-Sensoren wird die aktuelle Strohverteilung durch den Häcksler des Mähdreschers erfasst. Durch Anpassung von der Drehzahl der Verteileinrichtung und von Leitblechen wird die Verteilqualität geregelt, **Bild 4**. Somit werden Auswirkungen von äußeren Störgrößen wie Seitenwind und Hangneigung aufgehoben. Das Regelsystem wurde entwickelt und erfolgreich an den mehreren Fruchtarten getestet [6].

Ebenfalls mit einer Silbermedaille ausgezeichnet wurde der Aufmerksamkeitsassistent RSM Ok ID von Rostselmash. Der Puls des Bedieners sowie Pupillen, Blinzeln und Kopfposition werden kontinuierlich auf Müdigkeitsmerkmale hin analysiert. Im Falle eines Falles erfolgt ein Tonsignal und ein Stopp des Mähdreschers, um so Unfälle zu vermeiden [5].

Weitere interessante Vorstellungen zur Automatisierung und Arbeitserleichterung an Mähdreschern: Beim Arbeiten in gemischten Flotten müssen sich die Bediener an die jeweiligen Bediensysteme der verschiedenen Hersteller anpassen. Case IH bietet neben weiteren Verbesserungen am Arbeitsplatz ihrer Mähdrescher auch die Möglichkeit zum Umschalten der Funktionen für Heben und Senken des Schneidwerks an. Dazu können die Tasten am Fahrhebel konfiguriert werden [14]. Für untrainierte Fahrer von Traktoren mit Abtankwagen wurde ein optisches Unterstützungssystem entwickelt. Den Vorteil dieses Systems kann mit Hilfe eines Eye Motion Tracking Systems untersucht werden. Erste Ergebnisse werden vorgestellt [26].

In China wurde ein autonomer Großmähdrescher mit Raupenlaufwerk und einer Tagesleistung von über 50 ha im Rahmen eines Agrar-Zukunftsprojekts auf über 9.000 ha eingesetzt [27]. An einem New Holland TC 56, einem für Malaysia typischen Reis-Mähdrescher, wurde ein Solid Flow Sensor nachgerüstet. Dieser Sensor erfasst über Mikrowellen den Gutstrom in einer Fallstrecke in einem Rohr zum Korntank. Zusammen mit einer Kornfeuchtemessung und der GNSS-Position wurde so ein nachgerüstetes Ertragskartierungssystem aufgebaut [28]

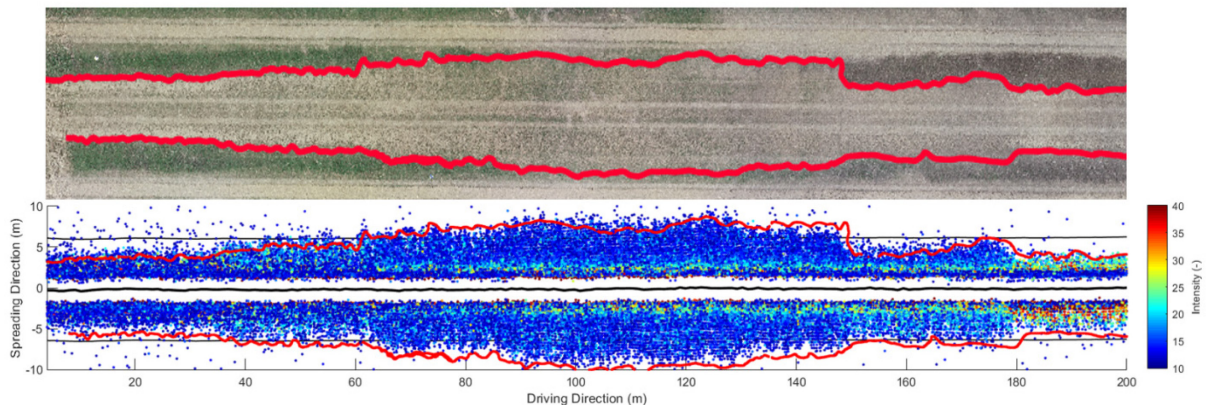


Bild 4: New Holland OptiSpread Automation System: Vergleich der Streubreite des Strohhäckslers (Luftbild, oben) mit den Messwerten der Radarsensoren am Häckslers (unten) bei gezielter manueller Verstellung der Verteileinrichtung [6]

Figure 4: Comparison of the spread width of the straw chopper (aerial photo, top) with the measured values of the radar sensors on the chopper (bottom) with intentional manual adjustment of the spreading device [6]

Schneidwerk

Biso bietet ein Vario-Schneidwerk mit flexiblem Messerbalken an, bei dem die Schnitthöhe aktiv geregelt wird. Der flexible Messerbalken wird alle 90 cm durch ein Parallelogramm, das einen Hub von 17 cm erlaubt, geführt. Dadurch ergibt sich unabhängig von der Schnitthöhe ein konstanter Schnittwinkel. Die Parallelogramme werden über einstellbare Luftdruckspeicher entlastet, wodurch der Auflage-„Druck“ von 0 bis 50 kg verstellt werden kann. Sensorgesteuert werden die Parallelogramme aktiv gehoben oder abgesenkt. Durch diese erstmalig realisierte Funktion herrscht über die gesamte Breite des Messerbalkens ein gleichmäßiger Auflagedruck [29].

Das Fendt Schneidwerk 9350 DynaFlex Draper Header mit AutoDock-Funktion wurde von der ASABE mit dem Davidson-Preis ausgezeichnet. Durch die AutoDock-Funktion kann das Schneidwerk an entsprechende Fendt-Mähdrescher gekoppelt werden, ohne dass der Fahrer absteigen muss. Alle mechanischen, hydraulischen, elektrischen und elektronischen Verbindungen werden automatisch hergestellt. Der Elektronik erkennt das Schneidwerk und passt die entsprechenden Einstellungen des Mähdreschers an [30].

Zur Auslegung von Einzugsschnecken beidseitig an jeder Reihe eines Maisgebisses wurden Messungen zur Biegesteifigkeit von Maispflanzen und zur nötigen Kraft für das Aufrichten der

Pflanzen durchgeführt, [31]. Die Verluste an beiden Seiten des Schneidwerks bei der Raps-ernte machen 1/3 bis 2/5 der gesamten Schneidwerksverluste aus. Ein Teil dieser Verluste entsteht durch den Einfluss von Vibrationen des Schneidwerks. Durch eine neue Konstruktion des Schneidwerks konnten die Schwingungen und dadurch die Verluste deutlich reduziert werden [32]. Der auf der Agritechnica 2019 mit einer Silbermedaille prämierte Mähmesserantrieb ist nun im Markt verfügbar. Mit Sensor und Auswerteelektronik können die Kräfte am Messerbalken getrennt nach Schnitt- und Reibungskräften erfasst werden [33]. Für Wartungsarbeiten an unterschiedlichen Schnittsystemen am Getreideschneidwerk werden praxisnahe Tipps gegeben [34].

Für den Messerbalken eines Schneidwerks gibt es eine von der Fahrgeschwindigkeit abhängige optimale Schnittfrequenz. Ist sie zu hoch, dann können Halme mehrfach geschnitten werden. Dadurch treten ein unnötiger Energiebedarf und zu hohe Maschinenvibrationen auf. Bei zu niedriger Schnittfrequenz wird nicht die gesamte Erntefläche von den Klingen überstrichen. Es treten zusätzliche Ernteverluste durch herausgerupfte Halme auf. Zudem kann der Schnittwiderstand von Halmen zu einer reduzierten Schnittfrequenz führen. Es wurde eine Regelung der Schnittfrequenz eines Getreideschneidwerks in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit und der nötigen Energie für den Schnitt in Abhängigkeit von Halmfeuchte und Erntemenge entwickelt [35].

Strohmanagement

Für eine bessere Dynamik des Strohhäcksel-Verteilsystems an einem Mähdrescher wurde ein neuer Aktuator für die oszillierende Leitblechverstellung eingesetzt. In ihm sind Hydraulikzylinder, Proportionalventil und Positionssensor integriert. Dadurch werden gegenüber der vorherigen Lösung, bei der Ventil und Zylinder über eine längere Hydraulikleitung miteinander verbunden waren, eine bessere Dynamik und eine Energieeinsparung erreicht [36; 37].

Modellierung und Simulation

Die Möglichkeiten zur Anwendung der Diskreten Element Methode (DEM) zur Simulation von Gutförderungen, Gutbewegungen sowie Trenn- und Abscheidevorgänge in Mähdreschern sind vielfältig und werden bereits genutzt [38]. Beispielhaft wird DEM zur Simulation von Körnerbruch bei Mais eingesetzt. Dabei ist die Bestimmung der Parameter für die modellierten Partikel und für das Kontaktmodell sehr wichtig, aber aufwändig. Erfolgreich wurde ein Mais-Modell erstellt und kalibriert [39]. Flexibles Weizenstroh wurde ebenfalls in DEM modelliert. Die Parametrierung erfolgte anhand von Scherversuchen und des 3-Punkt-Biegeversuchs. Mit dem erstellten und parametrisierten Modell konnte das Scherverhalten eines Laborversuches erfolgreich simuliert werden [40].

Die Finite-Element-Methode kam bei der Untersuchung eines Axialfluss-Rotors eines Reismähdreschers zum Einsatz. Es wurden die Vibrationen und die Verformung des Rotors und des Gehäuses gemessen und simuliert. Durch Simulationen gelang es, die Vorspannungen eines Verbundträgers für die Lagerungen des Rotors so zu bestimmen, dass die Vibrationen

minimiert sind. Messungen an den realisierten Komponenten bestätigten die durch die Simulation vorhergesagte Reduktion der Schwingungsbelastung [41].

Guteigenschaften

Um die Belastung der Reinigungsanlage im Mähdrescher durch Kurzstroh zu reduzieren, wurde das Bruchverhalten von Reis-Strohhalmen detailliert untersucht. Unterschiedliche Internodien wurden unter Einzel- und kombinierter Belastung auf Zug, Druck, Biegung in Längs- und Querrichtung betrachtet. Die Ergebnisse können bei der Gestaltung von Mähdreschern unterstützen, um den Strohbruch beim Dreschen zu reduzieren und die Korn-Stroh-Trennung zu verbessern [42].

Sonstiges

Für die großen Trion-Modelle der Firma Claas wurde ein neues Motor-Kühlsystem mit neuer Vorreinigung der Kühlluft entwickelt. Das System ist gekennzeichnet durch einen vertikal stehenden rechteckigen Kühleraufbau, einen Lufteinlass von oben und zwei schwenkbare Ansaugdüsen. Diese sind an den gegenüberliegenden Ecken des Rechtecks angebracht und schwenken um 90° auf dem feinmaschigen Ansauggitter hin und her [43].

Zur Reduktion der Belastung von Bedienern von Mähdreschern wird im Projekt Kabine 4.0 eine adaptive Mensch-Maschine-Schnittstelle entwickelt und erprobt. Es soll die Bedienung an das aktuelle Beanspruchungsniveau angepasst werden. Dazu muss die aktuelle und individuelle mentale Belastung erfasst werden. Mit einer speziell entwickelten Experimentalumgebung wurden die Messmethoden untersucht und bewertet [44].

Auch Mähdrescher können unter speziellen Einsatzbedingungen umsturzgefährdet sein. Zur Untersuchung des Einflusses von Kinematik und Dynamik eines Mähdreschers auf das Umsturzverhalten wurde ein Maschinenmodell erstellt. Die Auswirkungen verschiedener Parameter, wie beispielsweise Schwerpunkthöhe und Lenkgeschwindigkeit, auf die Fahrstabilität sind nun untersuchbar [45].

Im Jahre 2021 feierte der europäische Mähdrescher sein 85-jähriges Jubiläum. 1936 kam der erste MDB (Mäh-Dresch-Binder) von der Firma Claas auf den Markt [46]. Mehrere Firmen stiegen in die Entwicklung und Produktion von Mähdreschern ein. Nicht jedem Unternehmen war ein dauerhafter Erfolg möglich. Bautz produzierte in Saalgau Mähdrescher von 1951 bis 1969. Dann übernahm Claas das Unternehmen. Bautz-Modelle wurden noch bis 1972 in Saatengrün vertrieben [47].

Zusammenfassung

Die in das Frühjahr 2022 verschobene Agritechnica und musste aus Pandemiegründen abgesagt werden. Die als Auftaktveranstaltung zur Agritechnica geplante VDI-MEG Tagung Land.Technik konnte als Online-Veranstaltung stattfinden. Die Hersteller führten neue Modelle und neue Assistenz- und Automatiksysteme im Markt ein. Die Vorteile dieser Systeme werden

in mehreren Untersuchungen bestätigt. Im Bereich der Forschung sind die Modellierung und Simulation zum besseren Prozessverständnis von hoher Bedeutung.

Literatur

- [1] Nonnenmacher, P.: VDMA-Statistik: Mähdrescher-Absatzzahlen Deutschland 2020/2021. Schriftliche Mitteilung, 23.03.2022.
- [2] N.N.: US, Canada and Russia Ag Tractor and Combine Reports. URL: . URL – <https://www.aem.org/market-share-statistics/us-ag-tractor-and-combine-reports>.
- [3] Huesmann, A.; Tastowe, F.: Mähdrescher: Mittelklasse holt auf, Topklasse setzt einen drauf. top agrar online, URL: https://www.topagrar.com/technik/news/maehdrescher-mittelklasse-holt-auf-topklasse-setzt-einen-drauf-12715927.html?utm_source=Mai-leon&utm_medium=email&utm_campaign=2021-10-15+top+agrar+Innovation+Land-technik+2021&utm_content=https%3A%2F%2Fwww.topagrar.com%2Ftechnik%2Fnews%2Fmaehdrescher-mittelklasse-holt-auf-topklasse-setzt-einen-drauf-12715927.html, Zugriff am: 03.04.2022.
- [4] Lützen, B. A.: "Wir arbeiten an der Mähdrescherkabine 4.0" – Trends in der Mähdreschertechnik. Lohnunternehmer 74 (2021) H. 8, S. 36–41.
- [5] N.N.: 16 Silbermedaillen für den Fortschritt – Agritechnica 2022. Profi 32 (2022) H. 2, S. 84-88.
- [6] Leenknecht, A.; Mahieu, T.; Nerinckx, G.; Lenaerts, B.; Missotten, B.: Automatic residue spreading control based on radar sensing technology on a combine harvester. DOI: 10.51202/9783181023952-87. VDI-MEG Tagung LAND.TECHNIK AgEng 2022, 25.02.2022. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK 2022, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 87-96.
- [7] Neitemeier, D.; Spiekermann, S.; Irmer, D.; Baumgarten, J.; Wilken, A.: Automatic adjustment of auger headers with variable table length to improve a continuous crop flow and reduce pickup grain losses of a combine harvester. DOI: 10.51202/9783181023952-235. VDI-MEG Tagung LAND.TECHNIK AgEng 2022, 25.02.2022. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK 2022, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 235-242.
- [8] Tobias Bensing, H. W.: Die Brücke in die Zukunft? – Nexat GmbH. Profi 32 (2022) H. 2, S. 78-83.
- [9] Huesmann, A.: Ein neuer Bekannter. top agrar 50 (2022) H. 2, S. 130-132.
- [10] Wilmer, H.: Tucano + Lexion = Trion? – Claas Trion 730 TerraTrac. Profi 31 (2021) H. 9, S. 34-37.
- [11] Wilmer, H.: Die schwarze Macht – Agco Ideal 9T. Profi 32 (2022) H. 2, S. 28–33.
- [12] Wilmer, H.: Trommel-Feuer – Claas Lexion 5500 TT. Profi 31 (2021) H. 2, S. 24-29.
- [13] Wilmer, H.: Rustikaler Russe mit fünf Trommeln – Rostselmash RSM 161. Profi 32 (2022) H. 1, S. 22-26.

- [14] Deter, A.: Case IH präsentiert Produkt-Updates für Axial Flow Mähdrescher. URL: https://www.topagrar.com/technik/news/case-ih-praesentiert-produkt-updates-fuer-axial-flow-maehdrescher-12700087.html?utm_source=Maileon&utm_medium=email&utm_campaign=2021-10-15+top+agrar+Innovation+Landtechnik+2021&utm_content=https%3A%2F%2Fwww.topagrar.com%2Ftechnik%2Fnews%2Fcase-ih-praesentiert-produkt-updates-fuer-axial-flow-maehdrescher-12700087.html, Zugriff am: 03.04.2022.
- [15] N.N.: "Wirtschaftswunder" für die Getreideernte. Eilbote 69 (2021) H. 10.
- [16] Rudolph, W.: Drescher-Tuning gegen "Ziehharmonikaeffekt" – Ideen aus der Praxis. Eilbote 69 (2021) H. 28, S. 18-19.
- [17] Tian, Q. L.; Feng, X.; Wang, Z.; Zhang, Z.; Xiong, Y.: Design and Performance Assessment of Dual-Speed Axial Threshing and Separation for Paddy Rice Combines. Applied Engineering in Agriculture 37 (2021) H. 6, S. 1015-1022.
- [18] Wang, L.; Chai, J.; Wang, H.; Wang, Y.: Design and performance of a countersunk screen in a maize cleaning device. Biosystems Engineering 209 (2021), S. 300-314.
- [19] Rademacher, T.: Gibt es ungesehene Kornverluste? – Bruchkornanteil beim Mähdrusch. Profi 31 (2021) H. 8, S. 70-73.
- [20] Brüse, C.: Rüttelt die Körner ans Licht – Verlustschale Pio's Grain. Profi 32 (2022) H. 1, S. 78-79.
- [21] Wilmer, H.: Mit App-Wurfautomatik – Kurzttest: Verlust-Mess-System Bushel-Plus von Geiger Agri Solutions. Profi 31 (2021) H. 5, S. 30-32.
- [22] Turner, A. P.; Jackson, J. J.; Sama, M. P.; Montross, M. D.: Impact of Delayed Harvest on Corn Yield and Harvest Losses. Applied Engineering in Agriculture 37 (2021) H. 4, S. 595-604.
- [23] Yang, X.; Guo, M.; Lyu, Q.; Ma, M.: Detection and classification of damaged wheat kernels based on progressive neural architecture search. Biosystems Engineering 208 (2021), S. 176-185.
- [24] Böhrnsen, A.: Spagat locker bewältigen – Claas Cemos Automatic am Lexion 5500 TT. Profi 32 (2022) H. 2, S. 114-116.
- [25] Beermann, I.; Kipp, A.: Synchronising machine adjustments of combine harvesters for higher fleet performance. DOI: 10.51202/9783181023952-65. VDI-MEG Tagung LAND.TECHNIK AgEng 2022, 25.02.2022. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK 2022, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 65-70.
- [26] Buchaca, R.; Langer, T.: Quantification of operator assist features' impact on grain cart operation. DOI: 10.51202/9783181023952-227. VDI-MEG Tagung LAND.TECHNIK AgEng 2022, 25.02.2022. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK 2022, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 227-234.
- [27] N.N.: Autonomer Mähdrescher aus China. Profi 32 (2022) H. 2, S. 10.
-

- [28] Purti, R. E.; Yahya, A.; Ju, O. Y.; Isa, M. M.; Aziz, S. A.: Portable Wireless Yield Monitoring System on Conventional Rice Combine. *Applied Engineering in Agriculture* 37 (2021) H. 1, S. 193-203.
- [29] Gottfried Eikel: Vario mit geregelttem Flex-Messer – Basis-Schneidwerk 3D Varioflex Air i 1070. *Profi 31* (2021) H. 2, S. 54-57.
- [30] N.N.: Davidson Prize: Fendt 9350 DynaFlex Draper Header. *Ressource 28* (2021) H. 4, S. 26.
- [31] Fu, Q.; Fu, J.; Chen, Z.; Zhao, R.; Ren, L.: Design and Experimental Study of a Spiral Auxiliary Feeding Device for Lodged Corn on a Combine Harvester. *Journal of the ASABE* 65 (2022) H. 1, S. 31-38.
- [32] Li, Y.; Xu, L.; Gao, Z.; Lu, E.; Li, Y.: Effect of Vibration on Rapeseed Header Loss and Optimization of Header Frame. *Transactions of the ASABE* 64 (2021) H. 4, S. 1247-1258.
- [33] N.N.: Mähmesser mit Sensor. *Profi 32* (2022) H. 2, S. 97.
- [34] Bertling, A.: Scharfer Schnitt für sauberen Drusch – Vorerntechek am Mähdrescherschneidwerk. *Profi 31* (2021) H. 7, S. 68-71.
- [35] Yin, Y.; Qin, W.; Zhang, Yawei, Chen, Liping; Wen, J.; Zhao, C.; Meng, Z.; Sun, S.: Compensation control strategy for the cutting frequency of the cutterbar of a combine harvester. *Biosystems Engineering* 204 (2021), S. 235-246.
- [36] Strieker, N.; Kohmascher, T.: Increased Dynamics and System Efficiency with Position-Controlled Hydraulic Cylinder. DOI: 10.51202/9783181023952-125. VDI-MEG Tagung LAND.TECHNIK AgEng 2022, 25.02.2022. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK 2022, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 125-132.
- [37] Strieker, N.; Kohmäscher, T.: Elektrohydraulische Achse mit integrierter, mechanischer Positionsrückführung. 10.08.2020, Karlsruhe. In: Geimer, M. (Hrsg.): 11. Kolloquium Mobilhydraulik, 2020, S. 101-113.
- [38] Rudolph, W.: Per Datenstrom durchs virtuelle Dreschwerk. *Eilbote 69* (2021) H. 10, S. 12-15.
- [39] Su, Y.; Xu, Y.; Cui, T.; Gao, X.; Xia, G.; Li, Y.; Qiao, M.: Determination and interpretation of bonded-particle model parameters for simulation of maize kernels. *Biosystems Engineering* 210 (2021), S. 193-205.
- [40] Schramm, M.; Tekeste, M. Z.: Wheat straw direct shear simulation using discrete element method of fibrous bonded model. *Biosystems Engineering* 213 (2022), S. 1-12.
- [41] Tang, Z.; Zhang, B.; Wang, M.; Zhang, H.: Damping behaviour of a prestressed composite beam designed for the thresher of a combine harvester. *Biosystems Engineering* 204 (2021), S. 130-146.
- [42] Tang, Z.; Zhang, B.; Wang, B.; Wang, M.; Chen, H.; Li, Y.: Breaking paths of rice stalks during threshing. *Biosystems Engineering* 204 (2021), S. 346-357.
- [43] Thute, D.; Furmaniak, J.; Alterbaum, A.: Compact cooling system set-up with an innovative pre-cleaning solution for a mid-range combine harvester application. DOI:
-

10.51202/9783181023952-243. VDI-MEG Tagung LAND.TECHNIK AgEng 2022, 25.02.2022. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK 2022, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 243-250.

- [44] Funk, Y., Haase, H., Remmers, J., Deml, B.: Entwicklung und Validierung einer Experimentalumgebung zur Messung mentaler Beanspruchungszustände. 03.-05.03.2021, Bochum. In: GfA, D. (Hrsg.): 67. GfA-Frühjahrskongress Arbeit HUMAINE gestalten.
- [45] Song, Y.; Zhang, X.; Wang, W.: Rollover dynamics modelling and analysis of self-propelled combine harvester. Biosystems Engineering 209 (2021), S. 271-281.
- [46] N.N.: Der Mäh-Dresch-Binder feiert 85sten Geburtstag. Eilbote 69 (2021) H. 35, S. 28.
- [47] Wilfried Holtmann: Das Ende der Titanen – Bautz-Mähdrescher. Profi 31 (2021) H. 8, S. 110-111.

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 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-13

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030959-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/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 nicht an Bedeutung verloren. Dies zeigen sowohl die statistischen Zahlen als auch die Aktivitäten im Bereich der Zuckerrübenerntetechnik. Eine Konzentration auf wenige Hersteller ist festzustellen. Die Schwerpunkte bei diesen sind Detailverbesserungen zur Prozessüberwachung und Assistenzsysteme. Eine automatisierte und bestandsabhängige Einstellung der Köpf-Rodegruppe sowie durchsatzabhängige Rübenbehandlung sind hier zu nennen. Telematik und gesteigerter Bedienkomfort sind weitere Aspekte.

Schlüsselwörter

Anbau, Rübenroder, Logistik, elektronisches Maschinenmanagement, Ladetechnik

Beet harvesting technology – current status and developments

Oliver Schmittmann

Abstract

Sugar beet cultivation has not lost any of its importance. This is shown by statistics, but also by the activities in the area of sugar beet harvesting technology. There is a concentration on just a few manufacturers. These focus on detailed improvements to process monitoring and assistance systems. Automated, crop-adapted adjustment of the harvesting group and throughput-dependent beet treatment are worth mentioning here. Telematic and increased ease of operation are further aspects.

Keywords

Beet cultivation, harvester, logistics, electronic machine management, loader

Zuckerrübenanbau in Deutschland

Das Anbauvolumen von Zuckerrüben hat im Jahr 2020/2021 zugenommen. Auf 350.743 ha wurden 25.721.740 t Zuckerrüben produziert und damit liegt das Niveau auf dem vor der Zuckerrübenmarktreform. Die Anbaufläche pro Betrieb ist auf 14,8 ha angestiegen, die Anzahl der Zuckerrübenanbauer hat mit 23.638 abgenommen und liegt auf einem Tiefststand (vgl. 2011/12 31.886) [1].

Aktuell werden in Deutschland 18 Zuckerfabriken von 4 Unternehmen betrieben.

Die Anbaufläche von Biogaserüben lag 2020 bei 26.100 ha, was etwa 7 % der gesamten Rübenanbaufläche ausmachte. Der Anbau von Biogaserüben nimmt tendenziell zu. [2]

Erntetechnik

Die technische Vielfalt der Rübenerntetechnik hat sich weiter reduziert. Alle Hersteller setzen nun auf eine Siebsterneinigung. Die Firma Grimme [3] hat den Bau des Maxtron und auch des Reinigungsladers eingestellt. Der Name Holmer-exxact wurde aus strategischen Gründen wieder getrennt. Unter Holmer [4] werden nun die in Deutschland produzierten Maschinen vertrieben und unter Agrifac die kleineren Roder LightTraxx und OptiTraxx, die Variante mit Bandlaufwerk.

Die Vielseitigkeit der Hersteller hat zugenommen, um individuellen Kundenwünschen zu entsprechen. Minimalköpfer oder Entblattung, Polderschar oder angetriebenes Radrodeschar und 2- oder 3-Achser stehen zur Auswahl. Die Entblattung der Rübe ohne Köpfschnitt und das Radrodeschar besitzen jeweils einen Marktanteil von unter 10 % [5].

Durch innovative Detaillösungen, die Arbeitsqualität und den Bedienkomfort unterscheiden sich die Hersteller jedoch weiterhin. Welche Unterschiede und aktuellen Entwicklungen es gibt, wird im folgenden Kapitel beschrieben.

Technische Entwicklungen Rübenroder

Entblättern und Nachköpfen

Rübenroder arbeiten mit 6-, 8-, 9- oder 12-reihigen Vorsätzen, wobei das 12-reihige Aggregat nicht für Hohertragsregionen empfohlen wird.

Optimierungen im Bereich der Köpf-Rodegruppe beziehen sich auf die Steuerung bzw. die Tiefenführung, wie die Schleglerhöhenautomatik: Bodenkontursensoren sorgen für eine Regelung der Arbeitstiefeneinstellung. Vorlaufende Tasträder sind nicht bei allen Vorsätzen notwendig. Die Höhe des Schleglers wird über die Auslenkung des Köpftasters des Micro-Toppers geregelt. Der Fahrer gibt dazu am Bordrechner die gewünschte Höhe der Schleglerwelle bzw. die Länge der Blattbürste vor. Mittels eines Winkelsensors (Potentiometer) an jedem Köpftaster wird die Scheitelhöhe jeder Rübe ermittelt und so die Höhe der Schleglerwelle automatisch angepasst (ROPA System R-Trim).

Die Schleglerhöhe kann auch über die Walzenganghöhe nachgeregelt werden. Nur einmal zu Beginn muss vom Fahrer eine Voreinstellung vorgenommen werden (Holmer System EasyLift).

Die Geometrie des Köpfmessers beim Minimalköpfer DynaCut (Holmer) wurde modifiziert. Durch eine Abflachung des Köpfmessers soll eine sicherere Schnitfführung auch bei hohen Rodegeschwindigkeiten und geringerer Verschleiß gewährleistet werden.

Die Putzerwelle des optionalen Kombi-Entblätters ist bei Holmer im Gegensatz zu anderen Herstellern längs zur Fahrtrichtung ausgerichtet.

Auf Vielfalt im Bereich Entblattung/Entblätterung setzt Grimme. Zwischen vier Systemen kann ausgewählt werden: Häcksler mit Inline Blattablage (Häckslerwelle mit Stahlschlegeln), Entblätterer FM, Multihäcksler (Häckslerwelle mit Kombination aus Stahl- und Gummischlegeln) und Kombihäcksler (Häckslerwelle mit Stahlschlegeln, umschaltbar zwischen Inline Blattablage und Blattauswurf). Der Minimalnachköpfer ist bei Grimme – außer in Kombination mit dem FM Entblätterer – eine Option.

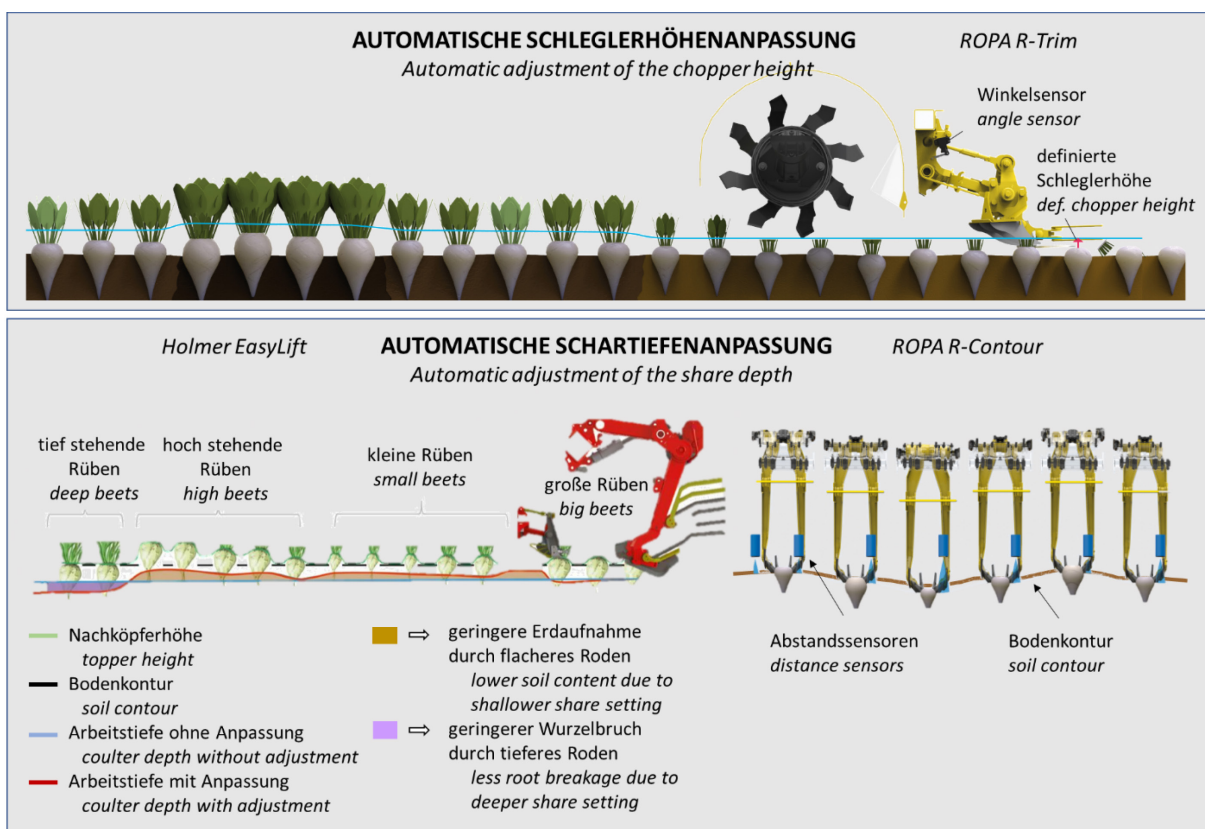


Bild 1: Automatische Einstellung der Schleglerhöhe und der Rodetiefe (nach [4] und [5])

Figure 1: Automatic adjustment of the chopper height and coulter depth (according to [4] and [5])

Roden

Um Wurzelbruchverluste, hohe Erdaufnahme und Kraftstoffverbrauch zu reduzieren, sollte jede Rübe mit der optimalen Schartiefe gerodet werden.

Seit 2015 bietet Holmer mit EasyLift eine automatische Tiefenführung der einzelnen Scharkörper an. Der Bordcomputer errechnet dazu aus den Positionsmesswerten am Nachköpfer die Scheitelhöhen der Rüben und passt die Arbeitstiefe der Scharkörper automatisch an. Rüben mit hoher Scheitelhöhe werden flach und Rüben mit geringer Scheitelhöhe tiefer gerodet.

Die individuellen Rodeschartiefen jeder Einzelreihe werden bei ROPA (R-Contour) über Sensoren eingestellt. Auch hier stellt der Fahrer die optimale Rodetiefe zu Beginn ein. Seitlich der Rodeschare sind Ultraschallsensoren installiert, die den Abstand zur Bodenoberfläche messen. Anhand dieses Abstandes wird die aktuelle Rodetiefe ermittelt und für jedes Schar individuell entsprechend der vorgewählten Sollrodetiefe angepasst. Ultraschallsensoren sind relativ schmutzempfindlich und werden daher am Vorgewende und im Minutentakt während des Rodens mittels einer Luftdüse gereinigt.

Holmer hat Modifikationen am Polderschar (HR) vorgenommen. Das neue DuraShare verfügt als Verschleißschutz über aufgeschweißte Metallplatten.

Angetriebene Radrodeschare werden als Alternative für sandige Standorte empfohlen. Sie werden mit einer geschwindigkeitsabhängigen Voreilung betrieben, um den verlustarmen Rodedeprozess zu unterstützen. Bei Verstopfungen kann der Antrieb reversiert werden. Die Einzelreihentieffenführung geschieht analog zu den Polderscharen.

Vervaet regelt die Rodetiefe über angetriebene seitliche Tasträder, wobei die Regelungssensitivität eingestellt werden kann.

Reinigung

Grimme, Holmer und ROPA setzen bei der Reinigung auf ein Siebband und drei nachfolgende Siebsterne, deren Durchmesser ähnlich groß sind. Die Siebsterne sind über einen Schnellwechselrahmen montiert, was bei der Montage eine Zeitersparnis von bis zu 80 % bedeuten kann.

Anstelle der sonst üblichen Wendelwalzen beginnt bei Vervaet [6] die Reinigung nach der Aufnahme der Rüben vom Rodeaggregat mit zwei bzw. drei geschlossenen Siebsterne vor der Vorderachse. Danach kann zwischen verschiedenen Kombinationen gewählt werden: Beim Beet Eater evo zwischen einem Siebsterne mit Siebband, drei oder vier Siebsterne oder drei Siebsterne mit einem Wendelwalzenregister; bei der zweiachsigen Q-Serie zwischen einem Reinigungssiebsterne und einem Siebband, drei Reinigungssiebsterne, vier Reinigungssiebsterne oder drei Reinigungssiebsterne mit einem Wendelwalzenregister.

Bunkerelevator und Bunker

Die Anforderungen an das Sammeln von Rüben sind die schonende Bunkerbefüllung und das schnelle, beschädigungsarme Entleeren. Fallhöhen sollen einerseits möglichst gering sein, andererseits sollen große Überladehöhen sichergestellt werden. Von den vier Herstellern werden Entladezeiten von bis zu 60 Sekunden angegeben! Das Entladeband hat eine Breite von 160 bis 200 cm und verfügt über eine Einfach-, Zweifach oder Dreifachklappung.

Antriebe und Motoren

Der Trend zu leistungsstärkeren Motoren setzt sich fort. Eine Herausforderung bleibt die Anpassung an die aktuellen Abgasnormen. Motoren mit Pumpe-Düse-Technik ohne SCR-Katalysator sind in Europa nicht mehr zugelassen und werden zukünftig nicht mehr angeboten. Stattdessen sind Common-Rail-Motoren mit einem SCR-Katalysator (AdBlue) und Abgasrückführung entsprechend der Abgasnorm Tier5 Standard.

Doppelte Turboaufladung führt zu einer günstigen Charakteristik, mit der schon bei geringeren Motordrehzahlen hohe Drehmomente bei niedrigerem Kraftstoffverbrauch erreicht werden. Zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs arbeitet der Motor im niedrigen Drehzahlbereich um 1.100 U/min. Maximale Drehmomente von 2.500 Nm werden schon bei 900-1000 U/min erreicht.

Mit dem Antriebsmanagementsystem EcoPower (Holmer) werden nicht verwendete Verbraucher abgekoppelt.

Fahrwerke

Hohe Massen, ein hoher Schwerpunkt und dynamische Erschütterungen kennzeichnen die Rahmenbedingungen, für die Fahrwerke konzipiert werden. Sensorgestützte Regelungen ermöglichen sichere Fahrten auch am Hang. „Bis zu 10 % Hangneigung“ wird von den Herstellern auch bei verringertem Reifeninnendruck angegeben [5].

Grimme, Holmer und ROPA setzen auf einen Zentralrahmen mit Knickung (Holmer 60°) hinter der Kabine. Pendelachsen und hydraulisch ansteuerbare Stabilisierungszylinder sorgen in Verbindung mit Neigungssensoren und Steuerungselektronik für Hangstabilität.

Ein zusätzliches 3-Achsen-Gyroskop mit Beschleunigungsmessung zur Querkraft-Kompensation ergänzt die Ausstattung bei ROPA R-Soil Protect und soll für eine feinfühligere Neigungsregelung sorgen. Die Lenkstabilität bei schnellen Straßenfahrten wird hierdurch verbessert und Querneigungen von bis zu 10° werden ausgeglichen, so die Aussage von ROPA.

Vervaet verbaut zur Gewichtseinsparung einen starren Rahmen. Zur Bodenschonung und zum spurversetzten Fahren laufen die Räder der Hinterachse mit Drehkranzlenkung innerhalb der Spuren der Vorderachse. Aus diesem Grund ist ein Fahrzeugrahmen ohne Knickung ausreichend. Die hintere Drehkranzlenkung und die lenkbare Vorderachse führen zu einer hohen Wendigkeit. Ein Neigungssensor unterstützt optional den Hangausgleich der Maschine (Q level-master), der Querneigungen von bis zu 7° ausgleichen kann. Zur Bodenschonung können die Roder mit einer Reifendruckregelanlage ausgestattet werden, mit der – laut Aussage Vervaets – der Reifeninnendruck auf bis zu einem bar abgesenkt werden kann.

Automatisierte Maschinenmanagementsysteme

Das Ziel der Zuckerrübenreinigung ist die Reduzierung des Erdanteils sowie das Entfernen von Steinen und Blattresten. So sind die wesentlichen Qualitätsparameter der Reinigung die Erdabscheidung und die oberirdischen Masseverluste.

Das Assistenzsystem Speedtronic (Grimme) regelt lastabhängig die Drehzahl der Siebsterne und des Ringelevators. Als „Adaptive Reinigung plus“ bezeichnet Holmer sein Assistenzsystem, bei dem die Reinigung anhand der Auslastung bzw. des Rübendurchsatzes und unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit geregelt wird. Das Ansprechverhalten des Systems kann manuell beeinflusst werden.

Bei ROPA stellt der Fahrer die Siebbandgeschwindigkeit stufenlos ein. Die drei Siebsterne sind zur verbesserten Drehzahlanpassung mit Drucksensoren in den hydraulischen Antriebsmotoren ausgestattet, die indirekt Informationen über den Rübendurchsatz liefern.

Bedienung und Ergonomie

In den Fahrerinnen stehen leistungsstarke Bordelektronik zur intuitiven Einstellung und Visualisierung aller wichtigen Prozesse bei allen Herstellern im Mittelpunkt.

Neue Rechner, Joysticks und zwei 12,1 Zoll Displays für größere Übersicht stehen dem Bediener bei ROPA zur Verfügung. Die Joysticks mit zusätzlichen Funktionen, höhenverstellbare Lenksäulen und in Blickrichtung angeordnete Terminals bieten mehr Ergonomie. Zusätzliche Bedienterminals für die Rübenlogistik lassen sich neben den ROPA Terminals anbringen.

Technische Entwicklungen Rübenreinigungslader

Holmer und ROPA bieten selbstfahrende Rübenreinigungslader an. Grimme hat sich aus diesem Markt zurückgezogen.

Aufnahme und Reinigung

Die Holmer Mietenaufnahme (Terra Felis 3 evo VarioPick) hat eine Breite von 9,72 m (Innenmaß). Für breitere Mieten steht ein Mietenteiler zur Verfügung. Ein 900 mm breiter Bauchgurt fördert die Rüben zu den Nachreinigungswerkzeugen. Je nach Bodeneigenschaften kann Folgendes gewählt werden:

- HOLMER Siebbandreiniger mit einer Breite von 900 mm für leichte Böden,
- HOLMER Cleaner ist ein Zwickwalzenregister, das sich für mittlere bis schwere Böden eignet,
- beim HOLMER VarioCleaner, für wechselnde Bedingungen, kann dieses Zwickwalzenregister unter dem Siebband verschoben werden und so die Reinigungsstrecke variiert werden,
- HOLMER CrossRoller flex besteht aus gefederten Querwalzen zur Abscheidung auf steinigem oder extrem schweren Böden.

Die ROPA Maus 6 verfügt über einen Aufnahmetisch von 10,20 m. Der Bauchgurt hat eine Breite von 800 mm. Die Nachreinigung besteht standardmäßig aus:

- einem 900 mm breiten Siebband.
- Optional kann ein Zwickwalzenregister mit 8 gegenläufigen Walzen oder

- ein Entsteiner – eine Kombination aus Siebband mit nachfolgendem Walzenreiniger (10 PU-Reinigungswalzen + 2 Entsteinungswalzen) – integriert werden. Die Drehzahl und Drehrichtung der Entsteinungswalzen kann vom Fahrer eingestellt werden.

Die Überladeweite beider Reinigungslander beträgt 15 m und die Überladehöhe 6 m (332° Schwenkbereich). Das integrierte Wiegesystem mit CAN-Bus Wiegezellen hat ROPA komplett überarbeitet. Der Wiegerahmen ist im Überladeknickelement integriert.

Kabine und Bedienung

Die Kabine des Terra Felis 3 evo ist hydraulisch auf 5,10 m anhebbar und um 1,24 m zurücksetzbar. Das HOLMER SmartDrive Bedienkonzept zur Unterstützung des Fahrers besteht aus einem Touch Screen, Joystickbedienung und Videoüberwachung.

Optional wird Easy Help 4.0 – das Telematiksystem von HOLMER – angeboten. Es setzt den Datenaustausch von Maschine zu Maschine, Landwirt, Lohnunternehmer und Maschinenring um.

Die neue ROPA Maus 6 wurde analog zum Panther 2S und Tiger 6S mit einer leistungsstärkeren Bordelektronik aufgerüstet, um den Aufgaben hinsichtlich der Datengewinnung, Steuer- und Regelfunktionen gerecht zu werden.

Die Kabine der neuen ROPA Maus 6 – ebenfalls auf 5,10 m anhebbar – bietet im Vergleich zum Vorgängermodell 35 % mehr Platz für den Fahrer und Beifahrer. Sie ist 40 cm länger und 13 cm breiter. Verbessert wurde auch die Heizung. Die neue Fußbodenheizung und die leistungsfähigere Standheizung können über das myROPA-Onlineportal oder R-Connect auch vor Arbeitsbeginn eingeschaltet werden.

Digitalisierung

Wie im gesamten Agrartechniksektor hat der Bereich Digitalisierung eine zunehmende Bedeutung bei der Zuckerrübenernte [7]. Maschinenprozesse und Einstellungen werden vermehrt sensortechnisch unterstützt, angezeigt und zur Prozessoptimierung und -automatisierung herangezogen. Auch der Bedienkomfort für den Fahrer steht weiter im Fokus.

Bordelektronik und Kabine

Die Leistungsfähigkeit der Bordelektronik ist notwendig, da Aufgaben der Prozessüberwachung, wie zusätzliche Regelaufgaben, Sensoren und Aktoren umgesetzt werden müssen. Dazu zählen Automatisierungen innerhalb der Rodegruppe, Förder- und Reinigungsstrecke sowie Bildschirme zur Prozessdatenvisualisierung und Überwachung. Weiterhin liefert die Bordelektronik wertvolle Daten für die Rübenlogistik.

Leistungsstärkere Bordrechner bilden das Zentrum für Telematik, prädiktive Analyse der Maschine bzw. der Ernteprozesse inkl. Online-Diagnose und setzen neue Komfortfunktionen um.

Auf weiteren Bedienterminals können neben Maschinenfunktionen auch Kamerabilder angezeigt werden. Die Digitalkameras erzeugen eine deutlich höhere Bildqualität als bisher. Optional können zu der Mittelspitzen- und Rückfahrkamera zusätzliche Kameras integriert werden. Für die entsprechend höheren Datenmengen wurde ein zusätzliches Ethernet Netzwerk in die Maschine integriert (R-View von ROPA). Während der Rückwärtsfahrt oder bei der Bunkerentleerung wird hier automatisch das entsprechende Kamerabild im linken Terminal eingeblendet. Über ein neues ergonomisches Bedienelement an der linken Armlehne lassen sich das Entladeband und die Bunkerentleerung komfortabel steuern. Am rechten Multifunktionsjoystick können fünf Funktionstasten für häufig genutzte Funktionen frei belegt werden.

ErgoDrive, das Bedienkonzept von Grimme, verfügt über frei konfigurierbare Direktzugriffsfunktionen auf dem Multifunktionshebel und dem Bedienfeld in der Armlehne sowie über zwei CCI 100 Touchscreen Terminals auf der rechten Seite.

Telematik

Die Daten des Telematiksystems EasyHelp 4.0 von HOLMER können im gesamten Einsatzbereich der Maschinen abgerufen werden (Maschinenführer, Landwirt, Lohnunternehmen und Maschinenring). EasyHelp 4.0 umfasst Funktionen zur Ferndiagnose und -wartung, zum Flottenmanagement und dem Farmmanagementsystem FarmPilot. ROPA bietet ihr System unter dem Namen R-Connect an. Der Roder fertigt Bildaufnahmen vom Rübenbestand in Verbindung mit den dazugehörigen Maschineneinstellungen und Positionsdaten an. Außerdem werden während des Rodens und des Abbunkerns Bilder aufgenommen. Zusätzlich kann eine manuelle Bilddokumentation erfolgen, wenn Unregelmäßigkeiten beim Roden auftreten. Diese Daten werden im sogenannten R-Connect Portal dem entsprechenden Rodeauftrag zugeordnet und hinterlegt. Die Bildaufnahmen lassen sich ebenfalls im Anschluss den gespeicherten Sensordaten (Drehzahlen, Geschwindigkeiten, Drücken, Volumenmessungen, etc.) zuordnen.

Telemetrie und eine MyGrimme Anbindung ist eine weitere Lösung. Vom Büro aus können Position und Maschinendaten der Roder abgerufen werden.

Unter dem Namen MyVervaet bietet der holländische Hersteller ab 2022 ebenfalls ein Portal an, auf dem aktuelle Maschinendaten in Echtzeit und gespeicherte Daten abgefragt werden können. Zu den Maschinendaten gehören auch kontinuierliche Roderverwiegungen. Aus der Gewichtszunahme kann der Durchsatz und so in Verbindung mit GPS auch der Ertrag abgeschätzt werden.

Anzumerken ist, dass bei keinem der hier angesprochenen Messsysteme derzeit der Erdanhang berücksichtigt wird, um die Reinigungsintensität zu regulieren.

Zusammenfassung

Der Zuckerrübenanbau hat immer noch eine hohe Bedeutung, was sowohl die statistischen Anbauzahlen als auch die Aktivitäten im Bereich der Zuckerrübenerntetechnik bestätigen. Eine Konzentration auf wenige Hersteller ist festzustellen. Die Schwerpunkte bei diesen sind Detailverbesserungen zur Prozessüberwachung und Assistenzsysteme. Eine automatisierte und

bestandsabhängige Einstellung der Köpf-Rodegruppe sowie durchsatzabhängige Rübenbehandlung sind hier zu nennen. Telematik und gesteigerter Bedienkomfort sind weitere Aspekte. Optimierte Antriebstechniken und Maschinenkonstruktionen führen zu geringerem Energieverbrauch.

Literatur

- [1] Wirtschaftliche Vereinigung Zucker: Jahresbericht der Wirtschaftlichen Vereinigung Zucker e.V. und Verein der Zuckerindustrie 2020/2021. Berlin 2021.
- [2] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Bericht zur Markt- und Versorgungslage Zucker. Herausgeber: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn 2021.
- [3] Grimme: Produktinformationen. URL: www.grimme.de, Zugriff am: 02.01.2022.
- [4] Holmer-Maschinenbau: Produktinformationen. URL: www.holmer-maschinenbau.de, Zugriff am: 02.01.2022.
- [5] ROPA-Maschinenbau: Produktinformationen. URL: www.ropa-maschinenbau.de, Zugriff am 02.01.2022.
- [6] Vervaet: Produktinformationen. URL: www.verveat.nl, Zugriff am: 02.01.2022.
- [7] Schmittmann, O.: Landwirtschaft 4.0 auch bei Rüben ein Thema. ZuckerrübenJournal, 04/2017, S. 18-21.

Autorendaten

Dr. agr. Oliver Schmittmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in 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 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-9

Zitierfähige URL / Citable URL

https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202031000-0

Link zum Beitrag / Link to Article

https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/zuckerruebentechnik.html

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

Kartoffeltechnik

Michael Klindtworth

Kurzfassung

Aufgrund der Corona-Pandemie fielen nahezu alle internationalen Messen aus. Die Hersteller hielten sich deshalb mit der Präsentation markanter Neuheiten zurück. Nichtsdestotrotz wurden zahlreiche technische Verbesserungen in allen Bereichen der Kartoffeltechnik vom Legen bis zur Einlagerung vorgenommen. Beachtung findet die mechanische und elektro-chemische Krautregulierung zur Erntevorbereitung. Elektronik und smarte Vernetzung gewinnen weiter an Bedeutung. Es wird erwartet, dass autonome Maschinenkonzepte vermehrt Eingang in die Praxis finden. Der Beitrag liefert dazu eine systematische Einordnung. Zudem wird exemplarisch darüber berichtet, wie mit modularisiert aufgebauten Erntemaschinen eine Nutzung über verschiedene Anbaukulturen hinweg möglich werden kann.

Schlüsselwörter

EU-Typgenehmigung, kombinierte Legeverfahren, Bodenschutz, Erosionsschutz, chemische und elektrische Sikkation, Krautschlagen, modulare Multi-Crop-Erntemaschinen, autonome Erntemaschinen, Infield-Logistik, Leistungssteigerung, Digitalisierung, Ertragsmessung

Potato Technology

Michael Klindtworth

Abstract

Due to the Corona pandemic, almost all international trade fairs were cancelled. The manufacturers therefore held back on presenting striking innovations. Nevertheless, numerous technical improvements were made in all areas of potato technology from planting to storage. The mechanical and electro-chemical haulm regulation for harvest preparation attracted attention. Electronics and smart networking continue to gain in importance. It is expected that autonomous machine concepts will increasingly find their way into practice. The article provides a systematic classification. In addition, it reports on examples of how modularised harvesting machines can be used across different crops.

Keywords

EU type approval, planters and combined planting methods, soil protection, erosion control, chemical and electric siccation, haulm topping, modular "Multi-Crop" harvesters, autonomous harvesters, infield logistics, performance enhancement, digitisation, yield measurement

Allgemeine Entwicklungen

Nach den trockenen Anbaujahren 2018 und 2019 wurde die Kartoffelbranche 2020 und 2021 von einem weltweiten, Corona-bedingten Absatzeinbruch bei tiefgekühlten, gekühlten und getrockneten Kartoffelprodukten überrascht. Das Überangebot führte in diesen Verwertungssegmenten zu stark gesunkenen Verkaufserlösen. Im Gegensatz zum rückläufigen Verbrauch in Kantinen und in der Gastronomie nahm der Verbrauch von Frischkartoffeln für die häusliche Zubereitung dagegen vorübergehend zu [1]. Dies ist besonders deshalb erwähnenswert, weil etablierte chemische Maßnahmen zur Qualitätssicherung im Kartoffelbau (u.a. die chemische Sikkation mit dem Wirkstoff Deiquat und die Keimhemmung mit dem Wirkstoff Chlorpropham) seit Herbst 2020 nicht mehr zum Einsatz kommen. Produktschonende Ernte-, Transport- und Lagertechnik, die die empfindliche Kartoffelschale vor Beschädigungen schützt, rückt damit verstärkt in den Fokus der Erzeuger, um dem Endverbraucher auch noch nach längerer Lagerung attraktive Ware anbieten zu können.

Im Herbst 2021 führte die anhaltende Pandemie bei den Herstellern zu Engpässen in den internationalen Lieferketten. Insbesondere elektronische Bauteile waren betroffen. Es ist zu erwarten, dass die angespannte Situation auch noch Auswirkungen auf die Produktion moderner Kartoffeltechnik im Jahr 2022 haben wird. Insbesondere sind selbstfahrende Erntemaschinen und komplexe, elektronisch gesteuerte Maschinen zum Legen und Ernten der Kartoffeln betroffen. Ob diese Engpässe 2022 dazu führen können, dass im Gebrauchtmaschinensektor höhere Preise erzielt werden können, kann derzeit noch nicht abschließend bewertet werden.

Der Strukturwandel und die anhaltende Tendenz zur Spezialisierung im Kartoffelbau führen nach wie vor zu größeren Betriebsstrukturen und Flächen. Damit einher geht ein Trend zu leistungsfähiger werdenden Maschinen. Ein Zuwachs an Leistung kann inzwischen nur noch begrenzt durch die Arbeitsbreite realisiert werden. Hier kommen die Hersteller durch die Vorgaben der deutschen bzw. europäischen Straßenverkehrsordnungen an Ihre Grenzen. Als Konsequenz gewinnen Techniken an Bedeutung, die höhere Arbeitsgeschwindigkeiten ermöglichen, verbesserte Abläufe und Prozesse generieren, sowie „smarte“ Elektronik, Sensorik und Automatisierung in allen Bereichen des Kartoffelanbaus zum Einsatz bringen.

Mit der Verordnung (EU) 167/2013 wurden neue technische Vorschriften für Fahrzeuge und Landmaschinen auf den Weg gebracht, mit denen die Verkehrssicherheit verbessert werden soll [2]. Die geänderten rechtlichen Rahmenbedingungen wurden in der Öffentlichkeit kaum wahrgenommen. Sie stellen die Hersteller jedoch vor erhebliche Herausforderungen, so dass bis heute nicht alle Maschinenbauer in Europa diese Genehmigung erhalten haben. Dies gilt insbesondere auch für die Technik im Kartoffelanbau. Ein Grund für die insgesamt zögerliche Umsetzung der Verordnung ist, dass für das Legen und Pflegen der Kartoffel derzeit 4-reihige Maschinen (4 Reihen à 75 cm = 3 m Arbeitsbreite) zum europäischen Standard gehören. Bei dieser Arbeitsbreite ist die Maschinenbreite bauartbedingt i.d.R. größer als 3 m und erfordert für den Straßentransport häufig Sondergenehmigungen. Inzwischen stehen aber auch für den Kartoffelanbau Maschinen zur Verfügung, mit denen die Anforderungen an eine vollständige, europäische Typgenehmigung erfüllt werden können.

Den höheren Entwicklungskosten dieser Maschinen stehen zwei wichtige Vorteile gegenüber: Einerseits erleichtern die neuen Richtlinien die Zulassung in verschiedenen EU-Staaten. Andererseits wird sich die harmonisierte Zulassung langfristig positiv auf den internationalen Handel von Gebrauchtmaschinen auswirken.

Technik zum Legen und Pflegen der Kartoffel

Kombinierte Legeverfahren

Der Trend, kombinierte Legeverfahren einzusetzen, um Arbeitsgänge und Überfahrten zu reduzieren, hält weiter an. Schätzungen gehen davon aus, dass in Deutschland derzeit bereits etwa die Hälfte der gesamten Kartoffelanbaufläche mit kombinierten Legeverfahren bestellt wird. Eine einordnende Bewertung der notwendigen Technik wurde in einem früheren Beitrag dieser Reihe bereits vorgenommen [3].

Erosionsmindernde Maßnahmen im Kartoffelbau

Die eingangs beschriebenen Witterungsextreme der vergangenen Jahre lösen eine intensive Suche nach kurzfristig umsetzbaren Maßnahmen aus, mit denen die Folgen von Trockenheit und Starkregen im Kartoffelanbau reduziert werden können. Dabei ist das Risiko von Bodenverlagerungen nach Regenereignissen im Vegetationsverlauf nicht konstant. Im frühen Vegetationsstadium ist das Wurzelgeflecht der Kartoffeln erst wenig ausgeprägt und das schützende Blätterdach über dem Boden noch nicht geschlossen, wodurch das Risiko tendenziell erhöht ist. Nach dem Reihenschluss bis zum Beginn der Abreife besteht das geringste Risiko von Bodenerosionen, bevor es zur Ernte im Herbst wieder leicht zunimmt. **Bild 1** stellt die Zusammenhänge im Vegetationsverlauf der Kartoffel vereinfacht dar.



Bild 1: Risiko von Bodenverlagerungen bei Starkregenereignissen im Vegetationsverlauf
Figure 1: Risk of soil displacement in case of heavy rainfall events during the vegetation period

Im letzten Beitrag dieser Reihe [4] wurden die technischen Möglichkeiten zum Einsatz so genannter Querdammhäufel (Dyker) vorgestellt. Mehrere Hersteller haben inzwischen kontinuierlich arbeitende „Dreistern- bzw. Sechsstern-Dyker“ im Angebot. Bei den elektrohydraulischen Dykern wurde die Regelungstechnik weiter perfektioniert. So stehen inzwischen Dyker zur Verfügung, die mit Hilfe von Applikationskarten gezielt aktiviert und deaktiviert werden können.

Um die Stabilität des Bodengefüges zu fördern, wird derzeit viel „experimentiert“. Neben Strategien der Fruchtfolgeanpassung wird inzwischen auch die Möglichkeit der Untersaat (Aussaat einer Begleitkultur) auf einzelnen Betrieben untersucht. Vergleichbar den Untersaaten in Mais soll auch hier mit dem Wurzelwerk der Untersaat ein stabilisierender Effekt erreicht werden. **Bild 2** zeigt stark vereinfacht, welche Möglichkeiten bestehen. Während in Variante (A) vor allem die Dammkrone und die Flanken mit eingesät werden, beschreibt Variante (B) die Aussaat von Untersaaten an der Dammsohle. Variante (A) stabilisiert mit den Wurzeln der Begleitkultur im frühen Vegetationsstadium die Dammkontur. Variante (B) schützt vor Bodenabtrag zwischen den Dämmen.

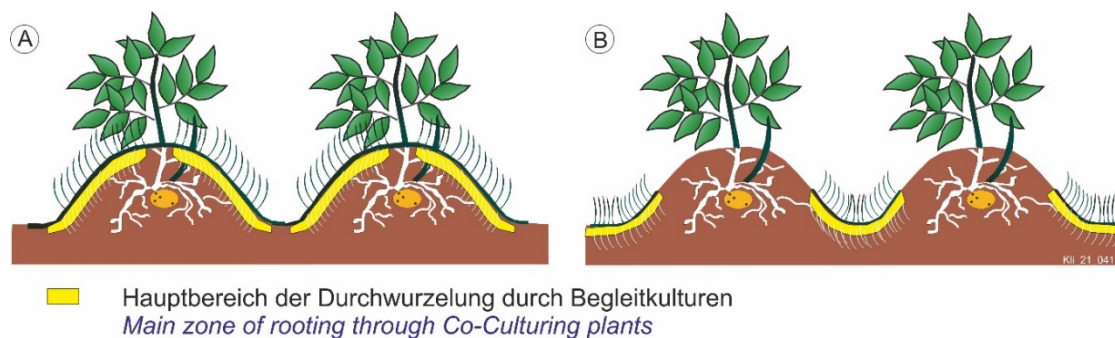


Bild 2: Illustration unterschiedlicher Durchwurzelungszonen von Begleitkulturen im Kartoffelbau
Figure 2: Illustration of different rooting-zones in potato ridges by use of companion crops

Als Begleitkulturen werden u.a. Weidelgräser, aber auch Saatmischungen aus Blühpflanzen diskutiert, die gleichzeitig Bienen und andere Nützlinge fördern [5]. Nach Aussagen von Praktikern ist die oberflächliche Aussaat dieser Mischungen mit Pneumatikstreuern problemlos möglich [6]. Alternativ können auch Kartoffellegemaschinen so ausgestattet werden, dass in einem Arbeitsgang mit dem Legen die Untersaaten ausgebracht werden. Erste Prototypen und Eigenbaulösungen zu diesem Verfahren stehen zur Verfügung.

Weitgehend ungeklärt ist, über welche Trenngeräte die Erntemaschine verfügen muss, um bei ausreichender Flächenleistung eine zuverlässige Trennung der feinen Wurzeln der Untersaaten von den Kartoffeln zu erzielen. Hier spielt das Wurzelwerk der Untersaat (flachwurzelnd, tiefwurzelnd, horstbildend, etc.) eine entscheidende Rolle. Ob die Trennaggregate der neuentwickelten „Multi-Crop-Erntemaschine“ (siehe Abschnitt Erntemaschinen) hier erfolgreich eingesetzt werden können, muss sich noch zeigen. Bis dahin bleiben Untersaaten im Kartoffelbau vermutlich eine „exotische Sonderlösung“.

Erntevorbereitung

Im letzten Beitrag dieser Reihe wurde eine Systematik der technischen Alternativen zur Reduktion bzw. Sikkation des Kartoffelkrautes vorgestellt [4].

Nach wie vor stehen die kartoffelanbauenden Betriebe vor der Herausforderung einer leistungsstarken, terminorientierten Krautreduzierung ohne den Wirkstoff Deiquat (Reglone®).

Mechanische Krautminderung durch „Krautstripping“ und mit Krautschlägern

Das Verfahren des Krautzupfens („Krautstripping“) nimmt bis heute eine Sonderstellung ein. Die zwei- und vierreihigen Maschinen arbeiten mit oberirdischen Werkzeugen in Form von Gummifingern oder umlaufenden Gummibändern, die das Kartoffelkraut aus dem Damm rupfen und abkämmeren. Obwohl das Verfahren bereits seit Jahren praktiziert wird, ist es nicht stark verbreitet. Es wird vor allem in Gebieten mit Pflanzkartoffelvermehrung eingesetzt und soll verhindern, dass Krankheiten vom Kraut auf die Knolle übertragen werden. Berichte aus der Praxis zeigen, dass krauthängige Sorten nur schwer zu bearbeiten sind und der Damm oberflächlich aufreißen kann. Durch die offenen Risse im Damm gelangt Sonnenlicht an die Knollen und führt zum unerwünschten Ergrünen der Knollen. Während kleinere Grünstellen bei Pflanzkartoffeln zu tolerieren sind, leidet die Vermarktungsfähigkeit als Speisekartoffel.

Bei der Ernte mit „klassischen“ Kartoffelvollerntern ist zudem zu erwarten, dass das verbleibende, feine Restkraut nicht vollständig über die weitmaschige Grobkrautkette aus der Maschine gefördert wird.

Bei den konventionellen Krautschlägern mit horizontaler Schlegelwelle haben einige Hersteller ihre Maschinenpalette und damit vor allem die Arbeitsbreiten deutlich erweitert. Neben zwei- und vierreihigen Krautschlägern im Front- und Heckanbau werden inzwischen auch sechs- und achtreihige Varianten angeboten (vgl. **Bild 3 A** bis **Bild 3 D**). Während die zwei- und vierreihigen Maschinen im Frontanbau mit entsprechender Erntetechnik (z.B. zwei- bzw. vierreihige, gezogene Überladeroder) kombiniert werden können, erfordern die Maschinen mit größerer Arbeitsbreite in jedem Fall einen gesonderten Arbeitsgang zur Erntevorbereitung. Vergleichbar den „Butterfly-Mähwerken“ für die Grünlandbewirtschaftung werden dabei auch die sechs- und achtreihigen Krautschläger im Front- und im Heckanbau des Traktors kombiniert. Es ist zu erwarten, dass zukünftig auch 12-reihige Krautschläger kommerziell angeboten werden, da bereits erste Eigenbaulösungen verfügbar sind (**Bild 4**) [7].

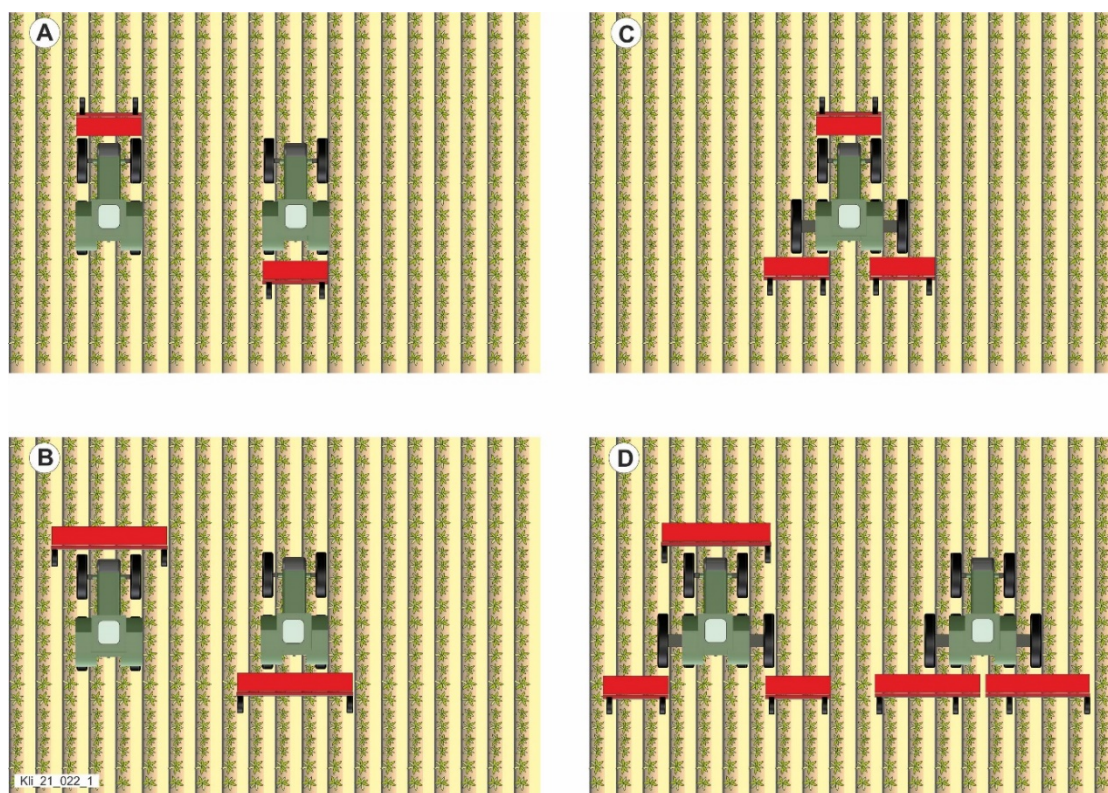


Bild 3: Maschinen und Maschinenkombinationen für das zwei- bis achtreihige Krautschlagen
Figure 3: Machines and machine combinations for two- to eight-row haulm topping



Bild 4: Prototyp / Eigenbaulösung für einen 12-reihigen Krautschläger [7]
Figure 4: Prototype / self-made solution for a 12-row haulm topper [7]

Hybrid-elektrische Sikkation

Die elektrische Sikkation des Kartoffelkrautes wurde technisch weiterentwickelt [8 - 10]. Sie wird derzeit als „hybrid- elektrische“ Pflanzenschutzlösung diskutiert. Der wesentliche Unterschied zur früheren Vorgehensweise besteht darin, dass vor der elektrischen Behandlung eine gezielte Benetzung der oberirdischen Pflanzenteile mit einer besonders stromleitenden Flüssigkeit erfolgt. Als Konsequenz soll der Strom verstärkt die oberirdischen Pflanzenteile durchfließen und so die in der Vergangenheit beschriebenen Nachteile, insbesondere die Nabelendnekrosen, reduzieren. Nebeneffekt der verbesserten Leitfähigkeit ist, dass die Stromstärke und/oder die Einwirkzeit reduziert werden können. Damit erhöht sich die Flächenleistung der eingesetzten Technik. Pilotbetriebe, die die Technik einsetzen, berichten allerdings nach wie vor von einer sehr begrenzten Flächenleistung, die sich aus der geringen Arbeitsgeschwindigkeit von 3 km/h bis maximal 5 km/h ergibt [8].

Entwicklungen zur Ernte von Kartoffeln

Bei den Kartoffelerntemaschinen haben ein- und vor allem zweireihige Kartoffelvollernter mit Sammelbunker den größten Anteil. Es ist zu vermuten, dass dies an den besonderen Anbaustrukturen und den großen Hof-Feld-Entfernungen liegt (u.a. die in Deutschland verbreitete, jährliche Pacht von weit entfernten Kartoffelflächen). Bei den Einreihern sind Sammelbunker mit einer Bunkerkapazität von 2,0 t bis 5,5 t weiterhin am Markt verfügbar. Bei den Zweireihern werden üblicherweise größere Sammelbunker mit einer Kapazität von 6,0 t bis 8,0 t eingesetzt. In Einzelfällen, unter Verwendung eines besonderen Fahrwerks, werden seit Kurzem auch 9,0 t Bunkerkapazität realisiert.

Aufnahme ohne Dammtrommeln bei zweireihigen Erntemaschinen

Der zuverlässige, verstopfungsfreie Einzug der Kartoffeldämme in die Maschine ist eine Grundvoraussetzung für die mechanisierte Kartoffelernte. Zur Unterstützung des Vorgangs werden üblicherweise Dammtrommeln eingesetzt, die gezielt be- oder entlastet werden. Auf die technischen Zusammenhänge und jüngeren Entwicklungen zur Dammdruckregelung wurde im Rahmen dieser Schriftenreihe bereits hingewiesen [3]. Auf schweren, klebrigen Böden und auf Böden mit einem hohen Anteil scharfkantiger Steine kann es vorteilhaft sein, komplett auf Dammtrommeln zu verzichten. Diese Ausstattungsoption wird inzwischen von mehreren Herstellern angeboten. **Bild 5** zeigt exemplarisch die über Tastkufen gesteuerte Aufnahme bei zweireihigen Erntemaschinen. Links (A) als Ausführung bei einer gezogenen Aufnahme und rechts (B) bei einer geschobenen Aufnahme (verändert nach [11]). In beiden Fällen kommen zweierlei Tastkufen zum Einsatz. Zum einen regeln Tastkufen auf der Dammkrone die Tiefenführung, ohne dass Druck auf den Damm ausgeübt wird. Zum anderen werden Tastkufen an der Innen- bzw. Außenseite der Dammflanken geführt, um die automatische Dammmittefindung zu unterstützen.



Bild 5: Gezogene (A) und geschobene (B) Aufnahme mit Tastkufen anstelle von Dammtrommeln für die Kartoffelernte auf schweren Böden. (Bildkomposition [11; 12])

Figure 5: Pulled (A) and pushed (B) intake-systems with feeler skids instead of diabolo rollers for potato harvesting on heavy soils. (Composition [11; 12])

Krauttrennsysteme in gezogenen Erntemaschinen

Wie beschrieben, hat das Verfahren der chemischen Krautminderung durch den Verzicht auf Reglone® einen rasanten Wandel hinter sich. Derzeit stehen nur noch wenige alternative Wirkstoffe zur Verfügung. Die Herausforderung besteht darin, die oberflächlichen Pflanzenteile soweit zu reduzieren, dass der Ernteprozess nicht gestört oder unnötig verzögert wird. Gleichzeitig soll aber noch so viel Restkraut zur Verfügung stehen, dass die etablierten und weit verbreiteten technischen Lösungen zur Grobkrauttrennung mit weitmaschigen Krautketten weiterhin genutzt werden können.

Der grundsätzliche Aufbau von gezogenen Erntemaschinen, die nach dem Prinzip eines Schrägelevators mit umlaufender, weitmaschiger Krautkette (auch Grobkrautband genannt) arbeiten, soll an dieser Stelle nicht näher vertieft werden. Eine Funktionsbeschreibung und Einordnung der Krautkette findet sich u.a. bei [13].

Die Hersteller haben auf die geänderten Rahmenbedingungen reagiert und bieten heute Grobkrautbänder und Abstreifkämme an, die sich gezielt an die jeweils vorherrschenden Erntebedingungen anpassen lassen. Komfortable, hydraulische Verstellmechanismen sind inzwischen bei allen namhaften Herstellern optional verfügbar. Bauartbedingt unterscheiden sich die Länge und die Steigung der Grobkrautbänder. Weiterhin variieren die Anzahl und die Anordnung der eingesetzten Abstreifkämme je nach Hersteller und Maschinentyp. Die Wirklänge und die Wirkintensität unterscheiden sich folglich ebenfalls.

Um kurz geschlegeltes Kartoffelkraut zuverlässig zu trennen, bietet ein Hersteller seit kurzem eine Zupfwalze hinter dem zweiten Siebband beim Übergang auf das erste Trenngerät (Längsgelband mit Abstreifwalzen) an (**Bild 6**). Es bleibt abzuwarten, ob sich diese Technik insbesondere bei trockenen Erntebedingungen für Speisekartoffeln durchsetzen kann.

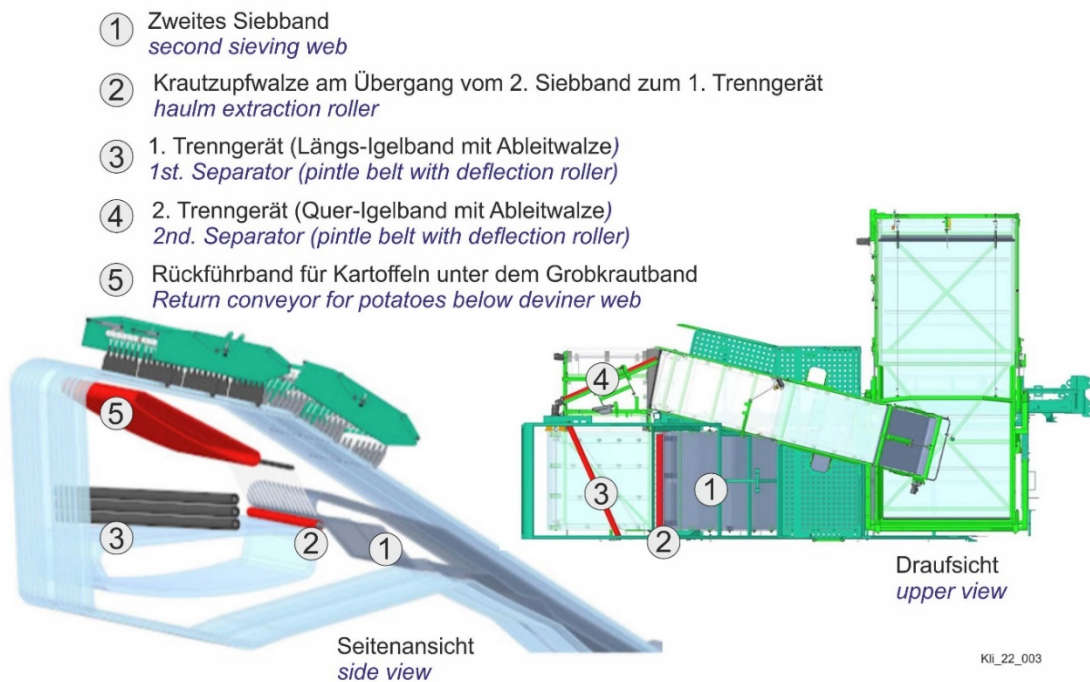


Bild 6: Schemazeichnung zur Seitenansicht und Draufsicht einer gezogenen Erntemaschine mit Grobkrautband und zusätzlicher Zupfwalze (verändert nach [14])

Figure 6: Schematic drawing of the side view and top view of a trailed potato harvester with additional plucking roller (modified according to [14])

Eine weitere Besonderheit ist das in der Seitenansicht von Bild 6 (Punkt 5) dargestellte „rote“ Rückführband oberhalb des Trenngerätes im hinteren Bereich des Grobkrautbandes. Dieses Rückführband soll in besonders krauthängigen Sorten das Risiko von Kartoffelverlusten, die zurück auf den Acker fallen, deutlich reduzieren.

Mehrnutzungskonzepte für gezogene Erntemaschinen

Erntemaschinen für Kartoffeln sind saisonal genutzte Spezialmaschinen. Um die Wirtschaftlichkeit zu verbessern, arbeiten einige Hersteller verstärkt an modularisierten Maschinenkonzepten, die eine verlängerte Nutzungssaison in diversen Kulturen ermöglichen.

Die Mehrfachnutzung bezieht sich dabei auf die Ernte zusätzlicher Kulturen wie z.B. Zwiebeln, Möhren, Pastinaken, Knollensellerie und andere Feldgemüsearten. Der Anbau dieses Gemüses erfolgt häufig in Flachbeeten, Beeten oder in Dämmen. Dabei ist die Beetbreite bzw. die Reihenweite zwischen den Dämmen auf die Spurweite des Traktors abgestimmt.

Die oben bereits dargestellten Tastsysteme, die auf Dammtrommeln verzichten (Bild 5), können vergleichsweise einfach an die variierenden Anbausysteme (Flächenanbau, Flachbeet, Damm) adaptiert werden. Dazu werden die Taster, die die Damm- bzw. Beetflanken abtasten, so montiert, dass sie horizontal verschoben werden können.

Da sich die Erntezeiträume der Kartoffeln mit denen der anderen Feldkulturen gegebenenfalls überschneiden, können die Maschinen optional mit Schnellwechselsystemen für unterschiedliche Aufnahmen (u.a. Dammaufnahme, durchgehende Beetaufnahme, Schwadaufnahme für abgetrocknete Zwiebeln) ausgestattet werden.

Die vergleichende Komposition in **Bild 7** zeigt exemplarisch einen modular aufgebauten Bunkerroder, der mit einer geänderten Konfiguration der Trennaggregate für die Ernte diverser Feldgemüsekulturen vorgesehen ist [12]. Oben (Bild 7; A/A1) ist ein klassischer Bunkerroder mit typischem Grobkrautband und Trenngeräten auf der Basis eines Igelbandes mit umlaufendem Gummifingerband in der Draufsicht dargestellt. Darunter (Bild 7; B/B1) ist die vergleichbare Maschine gezeigt, bei der das Grobkrautband durch ein Igelband und zwei aufeinander folgende Feinkrautelevatoren ersetzt wurde.



Bild 7: Vergleichende Darstellung einer Kartoffelerntemaschine mit einer MultiCrop Erntemaschine
Figure 7: Comparing illustration of a potato harvester with a MultiCrop harvester

Selbstfahrende Erntemaschinen

Bei den Weiterentwicklungen in diesem Maschinensegment liegt der Schwerpunkt auf der vierreihigen, selbstfahrenden Erntetechnik. In der Praxis weit verbreitet sind 2-achsige Maschinen. Dabei werden auf der hinteren Achse entweder Breitreifen oder alternativ ein oder zwei Raupefahrwerke links und rechts eingesetzt. Erstmals zeigt ein Hersteller [15] einen 3-achsigen, selbstfahrenden Bunkerroder, wobei 2 Achsen mit Breitreifen die Last des Bunkers abfangen und eine dritte, schmal bereifte Vorderachse die Lenkung der Maschine übernimmt. Die Vorderachse mit schmaler Bereifung unterstützt dabei auch die notwendige, exakte Tiefenführung

des Krautschlägers bzw. des Rodeaggregates. Das Konzept, bei dem zwei schmale Reifen vor der Aufnahme laufen, ist inzwischen in dieser Maschinenklasse stark verbreitet (**Bild 8 C, D, E**). Deutlich seltener, weil technisch aufwendiger, ist eine Konstruktion des Fahrwerks, die ohne Räder vor der Aufnahme auskommt. Diese spezielle Bauart ermöglicht das „Roden aus der Gare“, d.h. ein Roden des Bestandes aus dem abgesetzten Kartoffeldamm, ohne dass Räder die Flanken der Dämme beschädigen können (Bild 8 A, B).

In der Regel verfügen diese Erntemaschinen ebenfalls über Dammaufnahmeeinrichtungen, bei denen auf eine Dammtrommel verzichtet wird (vgl. Bild 5 bei den zweireihigen, gezogenen Erntemaschinen).

Bild 8 illustriert stark vereinfacht die Fahrwerkskonzepte für vierreihige selbstfahrende Kartoffelerntemaschinen mit Sammelbunker. Dabei werden die Varianten für das „Roden aus der Gare“ (Bild 8 A und B, links) von denen unterschieden, die eine zusätzliche Abstützung des Rodeaggregates über eine Achse vor der Aufnahme verfügen (Bild 8 C bis Bild 8 E).

Die Illustration verdeutlicht außerdem, dass die Last des Sammelbunkers von Breitreifen auf einer Achse, von Breitreifen auf zwei Achsen oder von einem Raupenlaufwerk getragen werden kann.

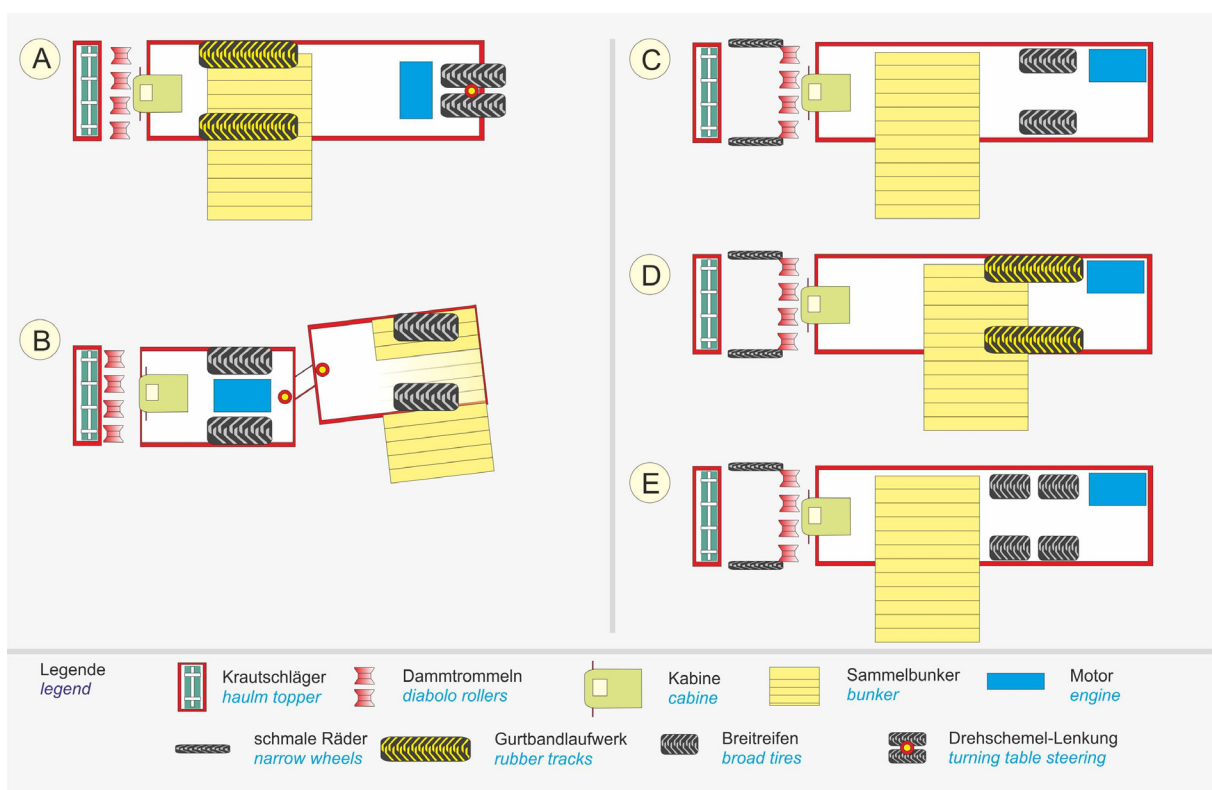


Bild 8: Vergleichende Darstellung verschiedener Fahrwerkskonzepte in der selbstfahrenden Erntetechnik, Draufsicht, stark vereinfacht

Figure 8: Comparison of different chassis concepts in self-propelled potato harvesters, top view, simplified

Ertragsschätzung und Ertragsermittlung

Seit vielen Jahren wird daran gearbeitet, eine lokale Ertragsermittlung bei Kartoffeln zu realisieren [16]. Inzwischen werden von verschiedenen Herstellern Nachrüstsyste me angeboten. Die verfügbaren Systeme sind in **Bild 9** vergleichend dargestellt.

In Abhängigkeit der Siebfähigkeit des Bodens und der Erntebedingungen verfälscht die anhaftende Erde allerdings bei allen Wiegesystemen die realen Ertragsmesswerte. Es ist also nur folgerichtig, dass einzelne Hersteller nicht von lokaler Ertragsermittlung, sondern vom lokalen Massenertrag sprechen. Der Massenertrag wird derzeit mit Hilfe von Korrekturfaktoren (z.B. nach visueller Bonitur) auf die realen, lokalen Erträge umgerechnet.

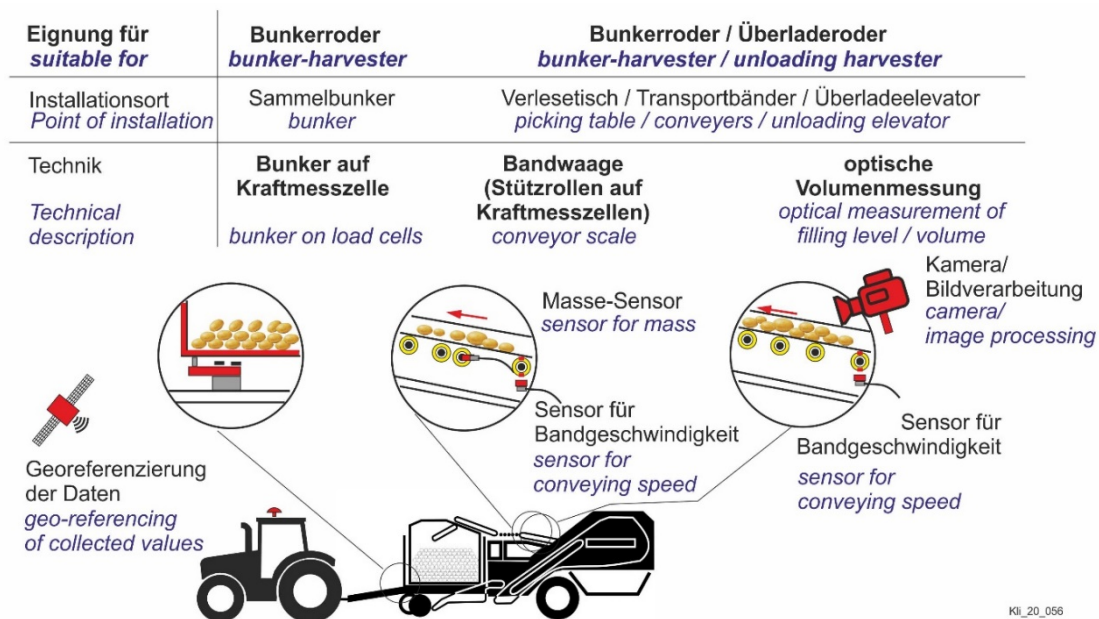


Bild 9: Technik zur lokalen Ertragsermittlung bei der Kartoffelernte (verändert nach [16])
Figure 9: Digital video-system with remote display on any internet connected device (modified [16])

Als Sensoren zur Massekartierung bzw. zur lokalen Ertragsermittlung kommen Kraftmesszellen unter dem Sammelbunker zum Einsatz. Alternativ erfolgt die Messung mit einer Kombination aus Kraftmesszellen unter den Fördergurten (z.B. unter dem Verlesetisch oder unter dem Überlade-Elevator) und einem Sensor für die Bandgeschwindigkeit. Als dritte Variante stehen optische Systeme zur Verfügung, die kontinuierlich den Volumenstrom auf dem Fördergurt erfassen. Für die Zuordnung zur Teilfläche werden die Erträge entsprechend georeferenziert.

Seit kurzem gibt es außerdem ein Verfahren, bei dem mit Hilfe einer Drohne bzw. mit Hilfe von Satelliten-Luftbildaufnahmen die Assimilationsfläche des Kartoffelbestandes erfasst und verrechnet wird. Mit Hilfe künstlicher Intelligenz wird auf den potentiellen Ertrag der Teilfläche hochgerechnet [17]. Das Verfahren liefert nach ersten Praxiserfahrungen insgesamt plausible Ergebnisse. Es ist zu erwarten, dass die hinterlegten Modelle zukünftig standort- und sortenspezifisch erweitert werden, so dass die Genauigkeit der Ernteprognose einschließlich der zu erwartenden Knollengröße zunimmt.

Obwohl die oben beschriebene Messtechnik zur Ertragsmessung (siehe Bild 9) plausible Werte liefert, ist offensichtlich, dass die Genauigkeit bei der Messung der real geernteten Ware stark vom Anteil anhaftender Resterde abhängig ist. Minimale Erdanhaftungen werden toleriert, weil sie mechanische Belastungen der Knollen bei allen Umlagerungsvorgängen reduzieren können. Größere Mengen anhaftender Resterde sind dagegen kritisch zu werten, weil die Transportkapazität sinkt und Kosten für die Entsorgung der Erde entstehen können.

Die Abreinigung von Resterde und damit auch die Bestimmung der real geernteten Ware kann an verschiedenen Stationen der Verfahrenskette im Kartoffelanbau erfolgen. **Bild 10** gibt hierzu von links nach rechts einen schematisierten Überblick.

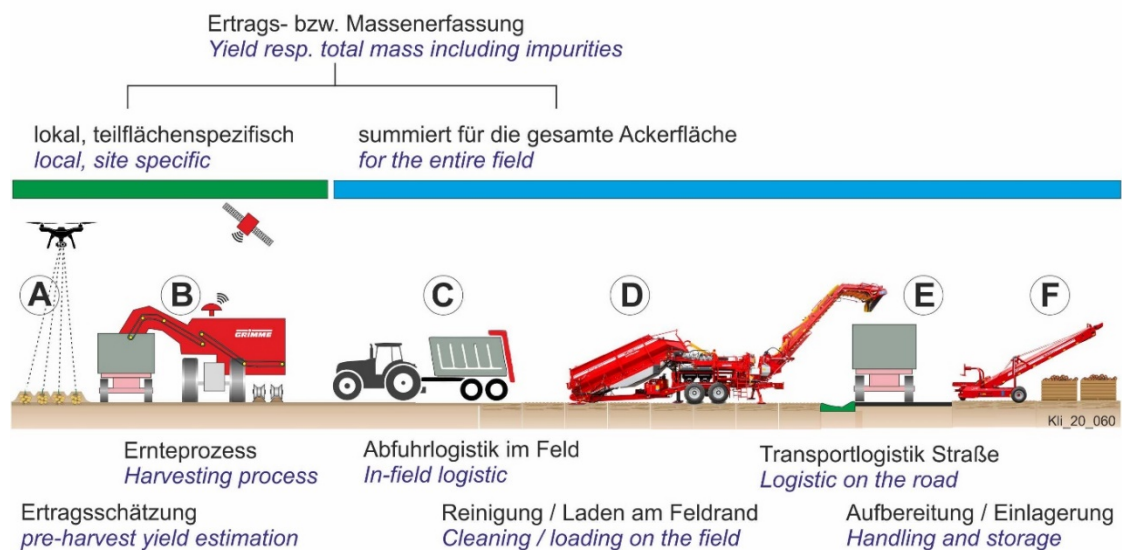


Bild 10: Verfahrenstechnische Alternativen der Ertragsmessung im Kartoffelanbau

Figure 10: Procedural alternatives for yield measurement in potato production

In Abhängigkeit der technischen Möglichkeiten für die Zuordnung der geernteten Kartoffeln zur Fläche wird in der vorgestellten Systematik zwischen lokaler, d.h. teilflächenspezifischer Ertragsmessung (grün), und aufsummierter Ertragsmessung für eine Ackerfläche (blau) unterschieden. Folgende Alternativen werden derzeit angeboten:

- (A) Ertragsschätzung mit Hilfe von Luftaufnahmen
- (B) Massenerfassung während des Ernteprozesses auf der Erntemaschine
- (C) Massenerfassung mit Wiegeeinrichtungen an Überladefahrzeugen
- (D) Massenerfassung in Reinigungsladern bzw. in Feldverladestationen
- (E) Straßentransportfahrzeuge (LKW und Anhänger) mit entsprechender Messtechnik zur Erfassung der Transportfrachten
- (F) Wiegesysteme in Form von Bandwaagen oder Kistenwaagen für die kontrollierte Einlagerung und Massenerfassung bei Kartoffeln

Je mehr Stufen der Aufbereitung und Reinigung der Rohware erfolgt sind, desto genauer entspricht die erfasste Masse dem real geernteten bzw. dem vermarktungsfähigen Ertrag. Von links nach rechts nimmt die Genauigkeit der Messung demnach grundsätzlich zu, während die Genauigkeit der Zuordnung zur Teilfläche abnimmt. Im Gegensatz zur Ertragsschätzung per Luftbild kommt erschwerend hinzu, dass Knollenverluste, die im Ernteprozess entstehen können, bei der Massenerfassung im Ernte- und Aufbereitungsprozess völlig unberücksichtigt bleiben. Die derzeit verfügbaren Techniken der Massenerfassung lassen sich deshalb besonders für die Optimierung der Abfuhrlogistik nutzen. Für eine genaue, teilflächenspezifische Ertragsmessung sind noch einige Fragen zu klären.

Logistik-Konzepte im Kontext der Stärkeerzeugung

Reinigungslader und Feldverladestationen

In Deutschland gibt es aktuell sieben Fabriken für die Herstellung von Kartoffelstärke (Stand 2021). Die saisonale Kampagne dieser Fabriken führt zu Liefer- und Logistikkonzepten, die denen der Zuckerrübenerte ähneln. Kartoffeln, die nicht unmittelbar während der Ernte angeliefert werden können, werden analog zu Zuckerrüben häufig in Feldrandmieten zwischengelagert. Für das zeitversetzte Verladen dieser Kartoffeln auf LKWs stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Verbreitet ist die Aufnahme der Kartoffeln mit einem Frontladertraktor, einem Radlader oder einem Bagger in Kombination mit einem mobilen Reinigungslader, der mit einem Dieselaggregat betrieben wird (**Bild 11, A**). Die Ladeleistung ist im Wesentlichen abhängig von der Kapazität der Ladeschaufel. Die Reinigungslader sind bauartbedingt quasi-stationär. Eine Abreinigung der anhaftenden Erde erfolgt in der Regel mit klassischen Walzentrennegeräten in Form von Rollenseparatoren.

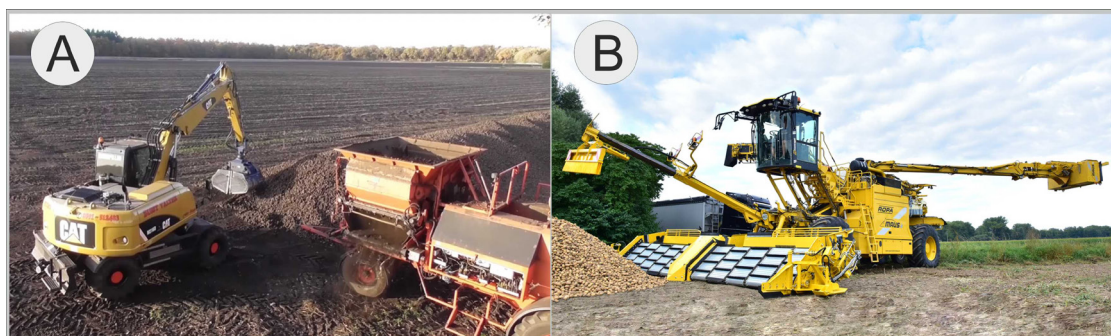


Bild 11: Verfahrenstechnische Alternativen zum Verladen von Kartoffel-Feldrandmieten.
(Bildkomposition Lubo-Reinigungslader, ROPA selbstfahrender Reinigungslader)

Figure 11: Procedural alternatives to load potato clamps at the edge of field.
(Composition Lubo-cleaning loader, ROPA self-propelled cleaning loader)

Inzwischen stehen für das Verladen auch Kartoffelreinigungslader („Kartoffelmaus“, Bild 11, B) zur Verfügung, die funktionell wie Rübenreinigungslader aufgebaut sind [11]. Derzeit werden zwei dieser Maschinen in regionaler Nähe zu den Stärkefabriken in Nord- bzw. Süd-

deutschland eingesetzt. Vorteilhaft ist, dass bei einer Überfahrt die gesamte Miete aufgenommen wird. Im Vergleich zu Traktoren, Radladern und Baggern ist die Anzahl der Überfahrten am Vorgewende damit auf ein Minimum reduziert.

Digitalisierung, Robotik und autonome Arbeitsmaschinen im Kartoffelanbau

Es gibt diverse Gründe für die Hersteller, sich mit dem Thema Robotik auseinanderzusetzen [18]. Einer davon ist der zunehmende Mangel an Arbeitskräften in der Landwirtschaft. Im letzten Beitrag dieser Reihe [4] wurde bereits auf einen Prototyp zur autonomen Ernte von Kartoffeln und Süßkartoffeln hingewiesen.

Inzwischen wurden mehrere Funktionsmuster der Maschine in der Erntekampagne 2019 für die Ernte von Süßkartoffeln eingesetzt. Süßkartoffeln sind im Vergleich zu Kartoffeln besonders empfindlich und werden deshalb in der Regel mit hohem manuellen Aufwand geerntet. Die Studie belegt, dass die schwere Arbeit des Rodens problemlos von der Maschine erledigt werden kann, während die notwendige, schonende Trennung von Knollen und Beimengen von Hand am Verlesetisch erfolgt. **Bild 12** zeigt ein entsprechendes Einsatzfoto.



Bild 12: Funktionsmuster einer autonomen Erntemaschine für Kartoffeln und Süßkartoffeln [19]

Figure 12: Functional model of an autonomous harvester for potatoes and sweet potatoes [19]

Zur Vorbereitung des europäischen Feldtages „Potato Europe 2021“, der aufgrund der Corona-Pandemie jedoch nicht stattfand, wurde erstmals die Kombination aus einer konventionellen Legemaschine und einem Roboter vorgestellt und damit „autonomes Legen von Kartoffeln“ in einer praxisnahen Anwendung demonstriert (**Bild 13**) [20].



Bild 13: Demonstration eines autonomen Zugfahrzeuges vor einer Kartoffel-Legemaschine [20]
Figure 13: Demonstration of an autonomous vehicle in front of a potato planter [20]

Die Demonstration dieser Maschinenkombination auf einem Versuchsfeld der Universität Wageningen (Niederlande) erregte großes Medieninteresse. Sie zeigt, dass neue, autonome Zugfahrzeuge mit etablierter Technik kombinierbar sind, wenn die derzeit etablierten Standards (u.a. Koppelpunkte für Mechanik, Hydraulik, Elektrik) genutzt werden.

Derzeit ist jedoch noch nicht abschließend geklärt, wie sich die rechtliche Situation für autonome Fahrzeuge ändern wird. Im derzeit üblichen Verständnis übernimmt der Fahrer der Zugmaschine die Verantwortung für das Gespann. Dieses Verständnis ist nicht anwendbar, wenn der klassische Traktor durch ein fahrerloses Zugfahrzeug ersetzt wird. Einzelne Hersteller von autonomen, modular aufgebauten Zugfahrzeugen bieten daher nicht nur das Fahrzeug selbst, sondern zusätzlich auch eine Dienstleistung an, mit der der sichere Betrieb der Maschinenkombination auf definierten „fachlich zertifizierten“ Flächen ermöglicht wird. [21]

Es ist zu erwarten, dass mit der Zunahme der Start-Ups im Bereich der Agro-Robotik auch neue Hersteller im Bereich der Kartoffeltechnik auftreten werden. Beobachtet man die aktuelle Fachpresse, so lassen sich verschiedene Szenarien/Visionen für die zukünftige Weiterentwicklung ableiten.

Bild 14 soll dazu dienen, die derzeit diskutierten Alternativen der (teil-)autonomen Bewirtschaftung vereinfacht darzustellen. Gezeigt werden drei typische Arbeitsvorgänge im Anbau von Kartoffeln. Ganz links ist schematisch das Legen der Kartoffeln dargestellt. In der Mitte folgen Pflegemaßnahmen, wie z.B. der chemische Pflanzenschutz. Rechts ist die Ernte der Kartoffeln skizziert. Die Grafik orientiert sich an der Frage: „Mit welcher Technik lassen sich zukünftig autonome Verfahren in den Anbau von Kartoffeln integrieren?“

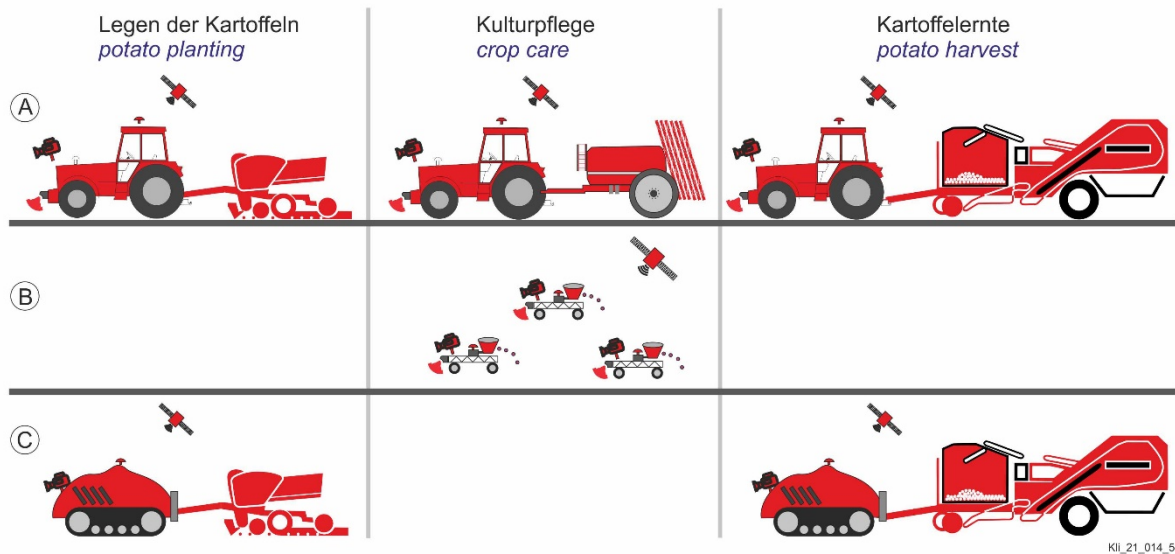


Bild 14: Visionen und technische Alternativen für die zunehmende Robotik und autonome Bewirtschaftung von Kartoffelanbauflächen im Verlauf der Vegetation

Figure 14: Visions and technical alternatives for increasing robotics and autonomous farming in potato production.

Zur Beantwortung der Frage können drei Szenarien dienen:

- Szenario (A) zeigt einen „älteren“ Standardtraktor, der technisch mit diversen Sensoren nachgerüstet wird, um den Fahrer bei Arbeitsroutinen zu entlasten. Zu den heute schon üblichen, praxisreifen Techniken gehören u.a. GPS-gestützte Lenksysteme, die eine präzise Anschlussfahrt, Parallel-Konturen und eine automatisierte Kalkulation der Flächenleistung ermöglichen. Auf Grund der verfügbaren Leistung der Standardtraktoren lassen sich mit Hilfe dieser Technik alle üblichen Arbeitsgänge im Kartoffelanbau vom Legen des Pflanzgutes über die Pflege bis zur Ernte realisieren.
- Szenario (B) zeigt einen „Roboterschwarm“. Der Schwarm besteht aus kleinen Einzelrobotern mit eigenem Antrieb, die in der Lage sind, Spezialaufgaben zu erledigen. Diese Roboter sind in der Regel „leicht“ konstruiert. Die installierte Leistung ist häufig elektrisch konzipiert (Photovoltaik) und in der Regel vergleichsweise gering. Die verfügbare Energie wird sowohl für die Vorwärtsbewegung als auch für den Antrieb der Werkzeuge genutzt. Es ist offensichtlich, dass mit zunehmender Bearbeitungstiefe im Boden die Vorfahrt und die Flächenleistung limitiert werden. Als Konsequenz werden diese Roboter derzeit vor allem für die mechanische Unkrautregulierung favorisiert.
- Szenario (C) ersetzt den Standardtraktor durch einen fahrerlosen, autonomen Zugtraktor mit hoher Leistung. Die Antriebskonzepte sind dabei entweder konventionell (Dieselmotor), Diesel-elektrisch, vollelektrisch oder auf Wasserstoff basiert (technische Details zu den Antriebskonzepten finden sich anderen Beiträgen dieses Jahrbuches). Die Koppelpunkte für die mechanische Anhängung, Hydraulik, Elektrik und Elektronik

(ISOBUS) orientieren sich grundsätzlich an den etablierten Standards, wobei einzelne Hersteller auch spezifische Lösungen anbieten.

Derzeit ist die Akzeptanz der fahrerlosen Systeme, die nicht einmal über eine Fahrerkabine verfügen (Bild 14, C), in der Praxis noch nicht gegeben, obwohl der beschriebene Mangel an Fachkräften den Wandel zur Autonomie unterstützt. Ein Grund für die Zurückhaltung könnte sein, dass Zugfahrzeuge, die über keine Fahrerkabine mehr verfügen, eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen müssen. Es besteht keine Möglichkeit mehr, fehlerhafte Sensorik durch einen Fahrer zu ersetzen.

Die These des fehlenden „Human-Backups“ kann ebenfalls für die Schwarmrobotik (Bild 14, B) angesetzt werden. Bei einem Schwarm kann der Ausfall eines Roboters durch die Mehrarbeit eines anderen kompensiert werden. Systembedingte Totalausfälle (z.B. ein temporärer Ausfall des GPS-Signals) sind jedoch nur schwer auszugleichen. Dies gilt insbesondere für terminorientierte Pflegemaßnahmen, wie z.B. die (mechanische) Unkrautregulierung im Jugendstadium.

Der Einsatz von einzelnen, photovoltaisch angetriebenen Unkraut-Hackrobotern nimmt im Bereich des Bio-Zuckerrübenanbaus dennoch auf niedrigem Niveau zu. Ob sich die verfügbaren Erfahrungen auf den Anbau von Kartoffeln übertragen lassen, ist derzeit jedoch offen.

Demgegenüber stehen Traktoren, die technisch aufgerüstet werden, um den Fahrer bei Routinearbeiten zu unterstützen (Bild 14, A). Sowohl die Traktorenhersteller als auch die Hersteller der Kartoffeltechnik (Legemaschinen, Maschinen zur Bestandespflege, Erntemaschine) arbeiten daran, die Maschinen mit zusätzlicher Intelligenz auszustatten, um stufenweise den Fahrer zu entlasten und „Autonomie“ einzuführen. Beispiele hierfür sind die seit Jahren vorgestellten Techniken des TIM (Traktor-Implement-Managements). TIM ist dabei sowohl für die Legetechnik als auch für die Erntetechnik verfügbar [22].

Für die Akzeptanz in der Praxis hat diese Vorgehensweise bis dato besondere Bedeutung. Sie ermöglicht es dem Anwender in kritischen Situationen ein „Backup“ zu nutzen. Bei eventuellen Ausfällen einzelner technischer Komponenten kann der Traktor mit Fahrer immer noch alle notwendigen Arbeiten durchführen. Dies setzt jedoch voraus, dass der Fahrer dann auch die komplexe Bedienung der Traktor-Gerätekombination erledigen kann.

Intelligente, autonome Landmaschinen haben ein erhebliches Potential, Lösungen für die Herausforderungen unserer Zeit (u.a. Erhalt der Biodiversität, Bodenschutz) zu liefern. Derzeit sind jedoch noch nicht alle Rahmenbedingungen für den Einsatz autonomer Fahrzeuge auf frei zugänglichen, landwirtschaftlichen Flächen geklärt. Es bleibt zu hoffen, dass Politik, Gesellschaft und Hersteller an einem Strang ziehen, so dass dem Anbauer auch in Zukunft weiterhin leistungsfähige, wirtschaftliche Technik zur Verfügung steht.

Literatur

- [1] AMI: AMI Markt Charts - Fakten und Trends zum EU-Kartoffelmarkt 2021/22. In: AMI Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH (Hrsg.), Bonn.
- [2] N.N.: Verordnung (EU) Nr. 167/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 05. Februar 2013 über die Genehmigung und Marktüberwachung von Land- und forstwirtschaftlichen Fahrzeugen. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32013R0167&qid=1643122869624>, Zugriff am: 24.01.2022.
- [3] Klindtworth, M.: Kartoffeltechnik. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2017, Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2018, S. 162-176.
- [4] Klindtworth, M.: Kartoffeltechnik. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2019, Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2020. S. 1-16.
- [5] Voiku, I.: The Technology of co-culturing of potatoes with honey plants and prospects of its technical support. Environment Technology Resources Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, June 2019.
- [6] Krick, F.: Untermieter im Kartoffeldamm. In: Kartoffelbau 11/2021, S. 18 ff.
- [7] Nordmann, V.: Zwölfreihig Kraut schlagen. URL: <https://lu-web.de/redaktion/news/zwolfreihig-kraut-schlagen/>, Zugriff am: 24.01.2022.
- [8] Ehnts-Gehrdes, A.: Gegen alle Widerstände – Unkrautbekämpfung mittels Strom. In: Lohnunternehmen Heft 11/2021, S. 74 ff.
- [9] Weiss, G.: Kartoffelkraut unter Strom. In: Kartoffelbau, Heft 8/2021, S. 26-28.
- [10] ZASSO: Produktinformationen zu elektrischer Unkrautbekämpfung. URL: <https://zasso.com/>, Zugriff am: 24.01.2022.
- [11] ROPA: Pressemitteilung, Kartoffelbau 12/2021, S. 73.
- [12] GRIMME: Informationen zum GRIMME EVO All Crop Harvester. URL: www.grimme.com, persönliche Mitteilung des Produktmanagements.
- [13] Peters, R.: Kartoffelanbautechnik. In: Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion. Köhler (Hrsg.), Verlag Eugen Ulmer, ISBN 978-3-8252-5198-7, S. 243-267.
- [14] AVR: Pressemitteilung Spirit 7200. URL: <https://www.avr.be/de/news/avr-spirit-7200-neuer-sieben-tonnen-bunker-offset-roder-mit-zusaetzlichem-krauttrennsystem>, Zugriff am: 24.01.2022.
- [15] Dewulf: Präsentation und Pressemitteilung zur 4-reihigen, selbstfahrenden Kartoffelernemaschine Dewulf Enduro. URL: <https://www.dewulfgroup.com/de/nachrichten-und-veranstaltungen>, Zugriff am: 24.01.2022.
- [16] Demmel, M.; Auernhammer, H: Untersuchung der lokalen Ertragsermittlung in einem gezogenen einreihigen Kartoffelroder. Poster zum gleichnamigen Forschungsvorhaben, URL: www.tec.wzw.tum.de/downloads/poster/poster_ertragsermittlung_kartoffelroder.pdf, Zugriff am: 24.01.2022.

- [17] Soilessentials: Produktinformationen zur Wachstumsprognose auf Basis von Satelliten- und Luftbilddaufnahmen. URL: <https://www.soilessentials.com>, Zugriff am: 24.01.2022.
- [18] Herlitzius, T.: Quo Vadis Landtechnik – Zukünftige Entwicklungshorizonte. Vortrag zum Jubiläum „70 Jahre Landtechnik in Köln“, 28. September 2019, URL: https://www.th-koeln.de/anlagen-energie-und-maschinensysteme/presentationen_16726.php, Zugriff am: 24.01.2022.
- [19] N.N.: Vorstellung des halb-autonomen Kartoffelroders „Harvey-One“ des Startup-Unternehmens Schmiede.One. URL: <https://youtu.be/H0EFzDfW9vA>, Zugriff am: 24.01.2022.
- [20] AGROINTELLI: Demonstration of an autonomous robot, planting potatoes. URL: <https://www.facebook.com/AGROINTELLI/videos/robotti-planting-potatoes/215430897008346/>, Zugriff am: 24.01.2022.
- [21] Kamps, P.: AgXeed AgBot – Von der Idee über Konzeption und Prototyp zum marktfähigen Produkt. Online-Vortrag vom 08.12.2021, URL: https://www.th-koeln.de/anlagen-energie-und-maschinensysteme/presentationen_16726.php, Zugriff am: 24.01.2022.
- [22] Klindtworth, M.: Kartoffeltechnik. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2015, Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2016, S. 171-182.

Ein Dank geht an die Kollegen, die mich bei der Recherche zu diesem Beitrag unterstützt haben und an M.Sc. Florian Dieker, Perryfarms (Canada) für seine wertvollen Informationen, Literaturhinweise und die anregende Diskussion zum Thema Untersaaten im Kartoffelbau.

Autorendaten

Dr. agr. Michael Klindtworth ist bei der GRIMME Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG in Damme (Deutschland) verantwortlich für Übersetzungsmanagement und Terminologie. Weiterhin ist er seit vielen Jahren Dozent für Landtechnik an der Privaten Hochschule für Wirtschaft und Technik (PHWT) in Vechta und Diepholz.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Klindtworth, Michael: Kartoffeltechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-20

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202031001-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/kartoffeltechnik.html>

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

Anreizsysteme zur Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen im Gartenbau

Sabine Wittmann, Raphael Noltemeyer, Heike Mempel

Kurzfassung

Die klimatischen Veränderungen stellen den mitteleuropäischen Gartenbau und die Landwirtschaft vor große Herausforderungen. Dementsprechend beabsichtigt die europäische Agrarpolitik eine nachhaltige, aber hoch ertragreiche Pflanzenproduktion. Zur Umsetzung von klimapolitischen Maßnahmen ist ein Vergleichsinstrument auf Erzeugerebene, welches den Ursprung von Emissionen aufzeigt und Handlungsempfehlungen gibt, zielführend. Im Rahmen des Projekts PROSIBOR sollen am Beispiel der Tomatenproduktion unter Glas einfache Methoden zur Ermittlung des Water- und CO₂-Footprint entwickelt werden, welche einen Beitrag für ein Benchmark-System leisten könnten. Erzeuger sollen das Instrument zur direkten Einordnung ihrer Ressourceneffizienzen anwenden können.

Schlüsselwörter

Carbon Footprint, Water Footprint, Benchmark, Tomatenproduktion, Gewächshaus

Incentive systems for the implementation of climate protection measures in horticulture

Sabine Wittmann, Raphael Noltemeyer, Heike Mempel

Abstract

The climatic changes pose major challenges for Central European horticulture and agriculture. Accordingly, the European agricultural policy intends a sustainable and yet high-yield crop production. For the implementation of climate policy measures, a comparison instrument at producer level is expedient, which shows the origin of the emissions and gives recommendations for action. As part of the PROSIBOR project, simple methods for determining the water and CO₂ footprint are to be developed using the example of tomato production under glass, which could make a contribution to a benchmark system. Producers should be able to use the tool to directly classify their resource efficiencies.

Keywords

Carbon Footprint, Water Footprint, Benchmark, Tomato Production, Greenhouse

Einleitung

Laut Bundesumweltamt halten 65 % der Deutschen trotz Corona den Umwelt- und Klimaschutz für ein sehr wichtiges Thema [1]. Auch das zunehmende Bewusstsein für den Wasserverlust wird in den Medien seit mehreren Jahren verstärkt aufgegriffen. Meldungen über reduzierte Wasserverfügbarkeit in der Landwirtschaft [2; 3] sowie für den öffentlichen Gebrauch [4 - 6] nehmen zu. Die Politik hat mit dem im Juni 2021 beschlossenen Klimaschutz-Sofortprogramm 2022 Finanzen bereitgestellt, um das von der Bundesregierung formulierte Ziel der Klimaneutralität bis 2045 zu unterstützen [7]. Allerdings ist laut dem IPCC-Bericht der Klimawandel weltweit angekommen. Für Deutschland werden insbesondere die Anzahl von Hitzetagen über 30 °C, sowie länger anhaltende Trockenperioden oder extreme Niederschlagsmengen wie 2021 vermehrt erwartet. Laut den Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes wurden die Jahre 2018 (-25 % Niederschlag), 2019 (-7 %) und 2020 (-10 %) gegenüber den Referenzjahren 1061-1990 im Mittel als zu trocken dokumentiert. Die Verfügbarkeit von Grundwasser wird dadurch beeinflusst, da fehlende Niederschläge die Sickerwasserrate und Grundwasserneubildung reduzieren, höhere Temperaturen die Verdunstung fördern und die extremen Wassermengen bei Starkregenereignissen nicht aufgenommen werden können. Der Sektor Landwirtschaft und Gartenbau ist vom Klimawandel direkt betroffen, sodass Starkregenereignisse oder Trockenheit teilweise oder vollständige Ernteaufschläge bedeuten können. Nichtsdestotrotz trägt der Sektor ebenfalls zu einem erheblichen Teil durch Emissionen klimaschädlicher Gase sowie dem Verbrauch von Rohstoffen direkt oder indirekt zum Klimawandel bei [8]. Eine nachhaltige und klimaschonende Nutzung der Ressourcen erhält daher auch in Gartenbau und Landwirtschaft eine größere Bedeutung und erfordert zunehmend eine transparente Kommunikation. Gleichzeitig wird seitens des Handels und der Verbraucher eine ganzjährige Verfügbarkeit von hochwertigem Gemüse vorausgesetzt. Dies kann insbesondere außerhalb der Vegetationsperiode lediglich durch die Nutzung von Gewächshäusern oder durch den Import aus warmen Klimazonen erreicht werden. Der Anbau unter Glas außerhalb der Saison erfordert erhebliche Mengen an Energie für Wärme und Zusatzbelichtung, dagegen führt der Import von virtuellem Wasser aus wasserarmen Regionen zu lokalen Umweltbelastungen. Instrumente zur Dokumentation und zum Vergleich des Ressourceneinsatzes stellen unter anderem die Methoden der Ermittlung des Carbon Fußabdrucks und des Wasserfußabdrucks dar. Eine Erfassung beider Parameter für pflanzenbauliche Produkte wird als sinnvoll erachtet [9]. Die Europäische Kommission stellte im Zeitraum von 2014 bis 2020 mehr als ein Viertel des Gesamtbudgets der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) für die Eindämmung des Klimawandels zur Verfügung. Dennoch geht aus einem Sonderbericht des Europäischen Rechnungshofs hervor, dass die Emissionen bisher nicht in der gewünschten Weise sinken [10]. Konkrete Maßnahmen auf Produktionsebene, welche einen direkten Beitrag zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und zur Reduktion klimaschädlicher Emissionen leisten und gleichzeitig die Produktivität beibehalten, erhalten somit eine besondere Bedeutung.

Im Rahmen des Projekts PROSIBOR sollen daher am Beispiel der Tomatenproduktion unter Glas einfache Methoden vorgestellt werden, welche einen Beitrag für ein Benchmark-System darstellen können, anhand dessen die Erzeuger selbst eine Einordnung vornehmen können.

Produktion unter Glas – Fokus: Tomate

Mit einem pro Kopf Konsum von 28,2 kg pro Jahr ist die Tomate die mit Abstand am häufigsten verzehrte Gemüseart in Deutschland [11]. Tomaten sind ganzjährig im Handel verfügbar und werden bei einem Selbstversorgungsgrad von 4 % überwiegend aus dem europäischen Ausland importiert. Insbesondere in den Wintermonaten ist die Eigenproduktion minimal, bei lediglich gering reduziertem Einkaufsvolumen (**Bild 1-A**). Die importierte Menge an Tomaten lag 2020 bei 738.000 t. Wichtigste Lieferländer für Tomaten in Deutschland sind die Niederlande, Spanien und Belgien (Bild 1-B).

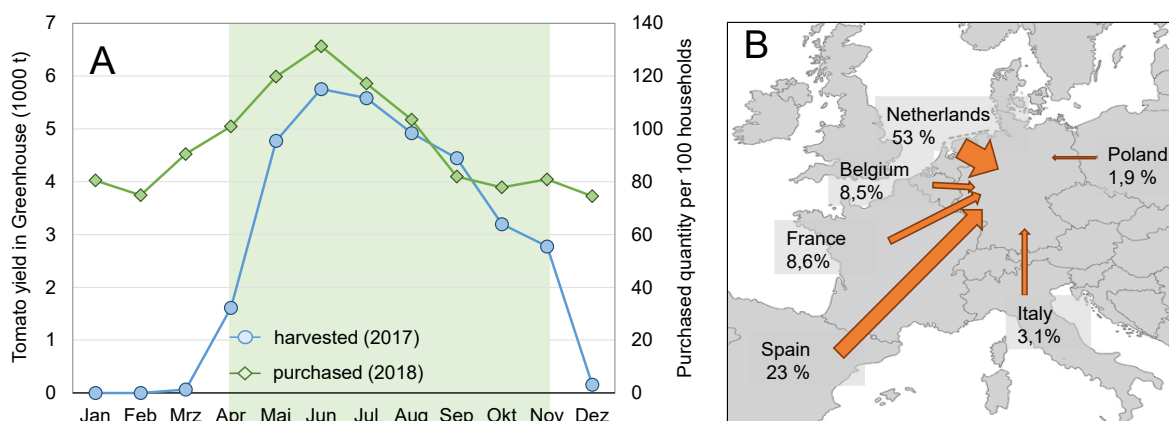


Bild 1: (A) Übersicht über das Ernte- und Einkaufsvolumen von Tomaten im Jahresverlauf für Deutschland [12]. Grün eingefärbte Monate entsprechen der Kultursaison in Deutschland. (B) Wichtigste Importländer für Tomaten [13]

Figure 1: (A) Overview of tomato harvest and purchase volumes over the course of the year for Germany [12]. Months colored in green correspond to the cultivation season in Germany. (B) Most important import countries for tomatoes [13]

In Deutschland zählen, bezogen auf die Gesamtanbaufläche von 1.263 ha [14], Tomaten (30 %), Gurken (19 %), Feldsalat (14 %) und Paprika (8 %) zu den wichtigsten Kulturen für die Gewächshausproduktion. Etwa 6 % der Tomatenfläche unter Glas wird ökologisch bewirtschaftet. Im Gewächshaus kann mithilfe von Klimacomputern und dem Einsatz von Sensoren eine optimierte Klimatisierung hinsichtlich Temperatur, Luftfeuchte, Kohlendioxid und Zusatzbelichtung erreicht werden. Dadurch wird gegenüber dem Freiland eine deutlich höhere Produktivität bei reduziertem Ressourceneinsatz wie Wasser und Düngemittel erreicht. Zudem kann die Vegetationsperiode verlängert, eine gleichbleibende Qualität und eine Produktion auch in Regionen mit ungünstigen Witterungs- und Bodenverhältnissen erreicht werden.

Water Footprint

Der weltweite Süßwasserverbrauch für die landwirtschaftliche Nutzung beträgt 70 % und steigt rapide an. Aktuell werden weltweit 40 % der Nahrungsmittel künstlich bewässert. Für 2050 wird eine Zunahme des Wasserbedarfs zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen um wei-

tere 19 % prognostiziert [15]. In Deutschland wird zu mehr als 95 % mit Regenwasser (= grünem Wasser) produziert. Die bewässerte Fläche ist dementsprechend deutlich geringer und die Nutzung von Süßwasser (= blauem Wasser) für die Landwirtschaft mit 1,3 % derzeit gering [16]. Aufgrund des Klimawandels wird jedoch ein erhöhter Bedarf von künstlicher Bewässerung erwartet. Wasserstress wird als entnommenes Wasser gegenüber dem neu gebildeten Wasser definiert. Obwohl aktuell in Deutschland bei einer mittleren Nutzung von 12 % des neu gebildeten Grundwassers kein flächendeckender Wasserstress vorherrscht, bestehen regionale Unterschiede in der Verfügbarkeit. Maßnahmen für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser sowie Vorbereitungen für Trockenperioden in Deutschland sind daher von essenzieller Bedeutung. Der Water Footprint (WF) zeigt die nicht sofort ersichtlichen Zusammenhänge zwischen dem menschlichen Konsum, dem Wasserverbrauch und dem globalen Handel durch die Quantifizierung von direkt und indirekt genutztem Wasser. Die bekanntesten Konzepte zur Erfassung des Water Footprint ist das Water Footprint Assessment Manual (WFN) von [17] sowie die DIN EN ISO 14046 (ISO, 2014). Die Ansätze unterscheiden sich primär in der Berechnung der Wirkungsabschätzung, die durch die ISO nach der Wasserfußabdruck-Sachbilanz gefordert wird. Die WFN erfasst den volumetrischen Wasserverbrauch und legt Wert auf eine Erhöhung der Wassernutzungseffizienz. Beide Methoden werden in der Literatur kontrovers diskutiert [18 - 20], insbesondere, da eine rein volumetrische Methode die Konsequenz des Verbrauchs von 1 m³ Regenwasser auf lokale Ökosysteme zwischen wasserarmen und -reichen Regionen nicht abbilden kann.

Der Wasserfußabdruck Deutschlands wird in der Literatur zwischen 117-219 Mrd. m³ pro Jahr [20; 21] angegeben. Die Unterschiede entstehen durch verschiedene Modellansätze. Das entspricht pro Person zwischen 3900-7200 Liter pro Tag. Der durchschnittliche Verbrauch pro Person weltweit wird mit 3800 Liter pro Tag angegeben. Dabei werden lediglich 14 % des Wassers direkt in Deutschland verbraucht, 86 % werden als virtuelles Wasser importiert, wovon wiederum 11 % aus blauem Wasser stammen, welches dem Ursprungsland direkt entzogen wird [20]. Der Großteil wird landwirtschaftlichen Produkten wie Gemüse, Früchten, Nüssen sowie Nutzpflanzen zugewiesen. Vielfach weisen die Ergebnisse aus Studien darauf hin, dass etwa 15-40 % des importierten blauen Wassers die lokale Wasserverfügbarkeit in den Anbaueregionen überschreitet [20; 22; 23].

CO₂ - Footprint

Als Reaktion auf das globale Ziel, die Erwärmung auf weniger als 2 °C zu beschränken, hat die Europäische Union (EU) eine Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen (THG) um 80-95 % bis 2050 gegenüber dem Stand von 1990 festgelegt [24]. Laut dem Umweltbundesamt lagen die THG 2019 bei 3.610 Mio. t pro Jahr, wovon 386 Mio. t direkt der Landwirtschaft zugeschrieben werden. Deutschland hat an den Treibhausgas-Emissionen der EU 2021 einen Anteil von 22 % (762 Mio. t). Davon werden 31 % (240 Mio. t) von der Energiewirtschaft, 24 % von der Industrie, 20 % (149 Mio. t) vom Verkehr und 7 % (55 Mio. t) von der Landwirtschaft verursacht [25]. Um die Klimaziele des Pariser Abkommens zu erreichen, ist eine drastische Reduzierung der bisher verwendeten nicht erneuerbaren Energieressourcen sowie eine Ver-

änderung der landwirtschaftlichen Praktiken notwendig [26]. Die europäische und globale Agrarpolitik zielt darauf ab, den Verbrauch fossiler Brennstoffe zu reduzieren und gleichzeitig eine hohe landwirtschaftliche Produktion aufrechtzuerhalten. Die Erfassung und Berechnung der Treibhausgase mittels standardisierter Methoden ist die Basis, um Einsparungspotentiale zu ermitteln. Der Carbon Footprint (CF) erfasst dabei die Treibhausgas-Emissionen in Kohlendioxid (CO₂) -Äquivalenten pro Zeiteinheit oder Produkt. Die bekanntesten Methoden zur Berechnung des Carbon Footprint sind die publicly available specifications (PAS) 2050, das Greenhouse Gas Protokoll (GHG), welches basierend auf dem PAS 2015 entwickelt wurde, sowie die ISO 14067. Wichtige Unterschiede zwischen den Normen liegen in den anwendbaren Systemgrenzen sowie der Anwendung von unterschiedlichen Ausschlussregeln und der Kohlenstoffspeicherung [27]. Vergleichbar mit dem Water Footprint existieren jedoch auch weitere Richtlinien und Normen zur Berechnung eines CO₂-Fußabdrucks, wie z.B. das PCF-Projekt [1], der carbon fund, der BP X30-323-0 oder der TSQ001. Die Vielzahl anwendbarer Normen und Richtlinien zur Kalkulation des Carbon Footprint wird als wichtigster Kritikpunkt aufgeführt.

Hoher Ertrag bei niedrigem Energie- und Wasserverbrauch – geht das?

Gerade in Mitteleuropa ist zur Produktion von Tomaten unter Glas außerhalb der Saison aufgrund der geringeren Globalstrahlung und dem hohen Temperaturbedarf der Kultur ein erheblicher Energiebedarf durch Heizung und Zusatzbelichtung notwendig. Eine energieeffiziente Produktion nimmt daher eine hohe Priorität ein und wird auch durch die technische Ausstattung der Gewächshäuser (Isolation, Klimaführung) beeinflusst. Große Betriebe in Deutschland setzen vielfach auf regenerative Energiequellen, dennoch ist der Einsatz fossiler Energieträger noch weit verbreitet.

In der Literatur findet sich eine Vielzahl an Studien zum Carbon- und Water Footprint von Tomaten. Für den nachfolgenden Überblick wurden, basierend auf einer nicht vollständigen Recherche, zehn Studien für den Carbon-Footprint ausgewählt, welche überwiegend mit Daten aus Praxisbetrieben durchgeführt wurden und Ergebnisse gezielt für die Systemgrenze der Produktion zur Verfügung stellen (**Bild 2**). Bezogen auf den Water Footprint wurden, aufgrund der begrenzteren Verfügbarkeit von nutzbaren Daten, lediglich vier Studien berücksichtigt. Zur Verdeutlichung der Zusammenhänge erfolgte die Darstellung des Carbon Footprint in Abhängigkeit des Energie- bzw. Wasserverbrauchs. Unterschiede zwischen den Betrieben wurden bezogen auf die Bauart (Gewächs- / Folienhaus bzw. Freiland) sowie die technische Ausstattung (High-Tech = hydroponisch geschlossene Bewässerung, Heizung und künstliche Belichtung; Med-Tech = hydroponisch offene Bewässerung, Heizung; Low-Tech = hydroponisch offene Bewässerung, keine Heizung) differenziert. Zur besseren Einordnung der Ergebnisse wurde eine Vierfeldertafel im Hintergrund eingefügt.

Der Carbon Footprint für die Tomatenproduktion im Freiland, in unbeheizten Folien- und Gewächshäusern liegt zwischen 0,2-0,5 kg CO₂ eq pro kg [9; 28 - 35]. Vergleichbare Ergebnisse zur Produktion im Gewächshaus (Med-Tech) mit erneuerbaren Energien (Geothermie, Pellets) liegen ebenfalls vereinzelt vor [31; 34]. Treibhausgasemissionen zwischen 0,6-2,4 kg CO₂ eq

pro kg werden primär High-Tech Folien- und Gewächshäusern zugeordnet, die abhängig vom Klima einen unterschiedlichen Heizbedarf sowie Bedarf an zusätzlicher Belichtung aufweisen [28; 30 - 37]. Ergebnisse mit einem Carbon Footprint von 1,0 kg CO₂ eq. pro kg lassen sich dabei auf Studien in wärmeren Regionen mit einem geringeren Wärmebedarf (z.B. Australien) oder den Einsatz von regenerativen Energieträgern wie Geothermie, Pellets und Hackschnitzel zurückführen. Ein Carbon Footprint von > 1,5 kg CO₂ eq. Pro kg wurde dagegen in Studien mit Betrieben erfasst, welche fossile Energieträger zur Heizung der Gewächshäuser nutzen.

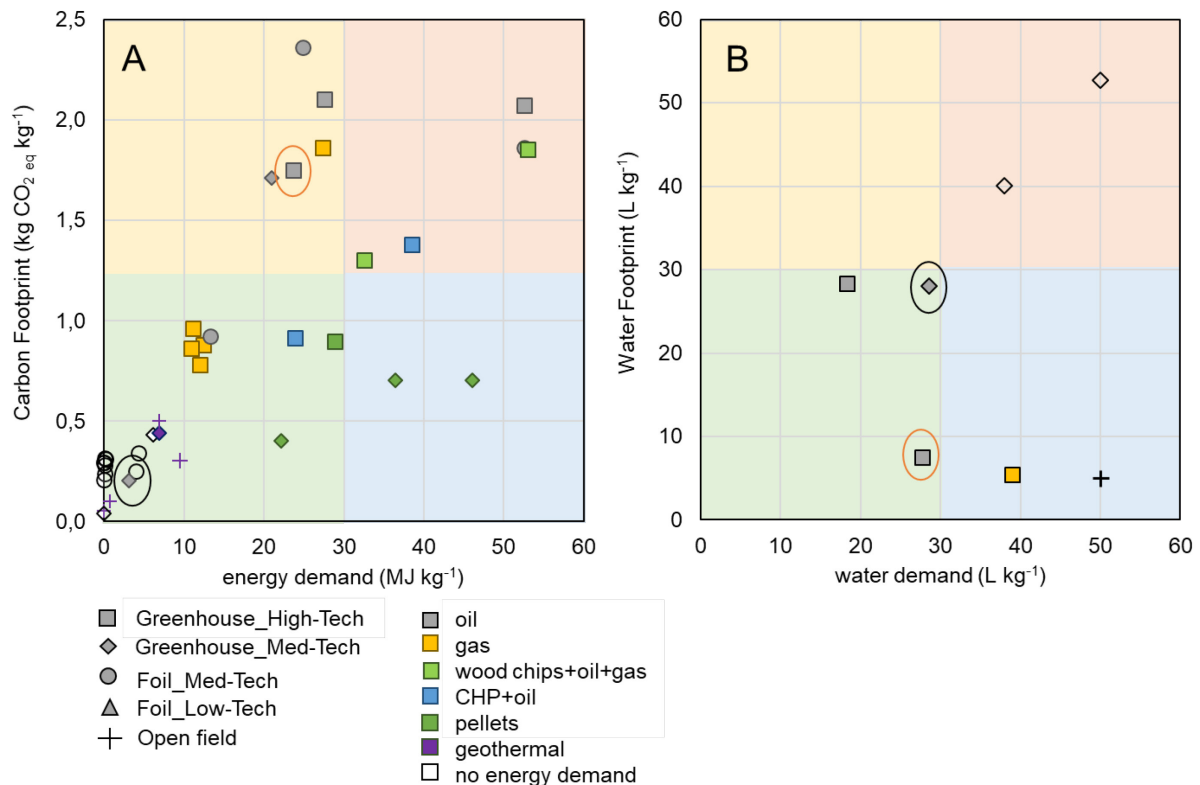


Bild 2: Überblick über in der Literatur vorhandene Kalkulationen zum (A) Carbon- und (B) Water Footprint in Abhängigkeit des Energie- und Wasserverbrauchs. Es wurden möglichst Studien mit Daten aus Praxisbetrieben integriert. Die eingekreisten Markierungen weisen auf jeweils einen Betrieb in Frankreich bzw. Spanien (beheizt / unbeheizt) hin. [9; 28 - 36]

Figure 2: Overview of existing calculations in the literature on the (A) carbon and (B) water footprint as a function of energy and water consumption. Preferably, studies with data from practical farms were integrated. The circled markings indicate one farm in each France and Spain (heated / unheated) respectively. [9; 28 - 36]

Allerdings variieren die Ergebnisse zum Teil erheblich und werden sowohl durch die technische Ausstattung, die eingesetzten Ressourcen, die standortspezifischen klimatischen Bedingungen, als auch die methodische Vorgehensweise zur Kalkulation des Footprints beeinflusst [9; 28; 37]. Sowohl die Tomatensorte als auch die Technisierung des Gewächshauses beeinflussen direkt die Produktivität und in der Folge die Footprint Berechnung des Betriebs [32; 33;

37]. Dabei werden in High-Tech Gewächshäusern deutliche Unterschiede angegeben, die zwischen $60\text{-}80\text{ kg m}^{-2}$ (Salattomate) und $30\text{-}40\text{ kg m}^{-2}$ (Cocktailtomate) erreichen [38]. In Deutschland wurden für 2018 im Mittel Erntemengen für Tomaten unter Glas von 26 kg m^{-2} (konventioneller Anbau) und $15,9\text{ kg m}^{-2}$ im ökologischen Anbau gemeldet [39]. Wissenschaftliche Studien zur Kultur von Tomaten mit und ohne zusätzliche Belichtung nennen Erträge zwischen $11,6\text{-}56,5\text{ kg m}^{-2}$ [40]. Direkte Vergleiche werden dadurch erschwert. Dennoch lassen die Ergebnisse aus der Literatur Rückschlüsse auf den Ressourceneinsatz bei Tomaten zu. Während sich ein regionaler Anbau von Tomaten während der Kultursaison in Deutschland gegenüber importierter Ware im Carbon Footprint positiv zeigt, ist der Anbau während der Wintersaison aufgrund des hohen Wärmebedarfs deutlich erhöht. Demgegenüber steht jedoch vielfach ein hoher Water Footprint der exportierenden Länder aufgrund der dort oftmals geringen Wasserverfügbarkeit. Der Zusammenhang ist in Bild 2 anhand der markierten Betriebe in beiden Footprints verdeutlicht, wobei die rote Markierung einen französischen High-Tech Betrieb und die schwarze Markierung einen spanischen Low-Tech Betrieb repräsentiert. Der High-Tech Betrieb hat, aufgrund eines geschlossenen Wasserkreislaufs, gegenüber einem einfachen Betrieb mit Bodenkultur einen deutlich geringeren Wasserfußabdruck. Der Import von Tomaten aus südlichen Ländern außerhalb der Kultursaison weist, bezogen auf den Carbon Footprint, gegenüber einer Produktion in beheizten Gewächshäusern in nördlichen Ländern Vorteile auf [30; 33]. Aufgrund der hohen Technisierung zeichnen sich jedoch gerade die Betriebe mit höherem Ressourcen- und Energieeinsatz in nördlichen Klimazonen als ertragsreicher gegenüber Low-Tech Folien- und Gewächshäusern aus und bieten erhebliches Potential für eine sehr effiziente Ressourcennutzung. Durch den Einsatz von alternativen Methoden zur Energieversorgung kann der Carbon Footprint dieser hoch intensiven Produktion laut vielen Studien erheblich gesenkt werden [32; 36; 37; 40]. Konkrete Maßnahmen auf Produktionsebene, welche einen direkten Beitrag zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und zur Reduktion klimaschädlicher Emissionen leisten und gleichzeitig die Produktivität beibehalten, erhalten somit eine besondere Bedeutung gerade im Mitteleuropäischen Raum.

Benchmark-System als Instrument zum inner- und überbetrieblichen Vergleich

Die Branchenstruktur in der Tomatenproduktion wird durch den Wettbewerb der Anbieter in den verschiedenen Produktionsregionen geprägt. Aufgrund der höheren Produktionskosten in Deutschland ist im regionalen Anbau häufig eine größere Produkt- und Sortenvielfalt als im europäischen Anbau zu finden. Dennoch ist der Markt durch einen starken Preisdruck geprägt, während andererseits die Anforderungen an Nachhaltigkeitsleistungen seitens der Konsumenten, Handel und Politik stetig ansteigen. Die Erzeuger stehen dadurch vor der steigenden Herausforderung „saubere und grüne“ Produkte anzubieten und Emissionen transparent zu kommunizieren [31]. Um die klimapolitischen Maßnahmen umzusetzen, ist es für die Erzeuger wichtig zu verstehen, welchen Ursprung die Emissionen ihrer Produkte aufweisen und welche Techniken oder Maßnahmen erforderlich wären, um den Carbon- und Water Footprint zu senken. In Abhängigkeit der Datengrundlage wäre es für die Erzeuger dadurch möglich, Prozesse in Abhängigkeit der Kulturjahre für das eigene Unternehmen bzw. zwischen mehreren Unter-

nehmen zu vergleichen und darauf basierend eine Leistungslücke zum Klassenbesten systematisch zu schließen. Während Benchmark-Systeme bereits Anwendung in verschiedensten anderen Branchen finden, besteht im Gartenbau erhebliches Potential, um betriebsübergreifende Vergleiche auf Erzeugerebene zu ermöglichen.

Aufgrund der komplexen Zusammenhänge und Anforderungen der Tomatenproduktion unter Glas, der unterschiedlichen Betriebsstrukturen und Vielfältigkeit der Maßnahmen, sind die Bereitschaft und die Möglichkeit einer innerbetrieblichen Ermittlung der Ressourceneffizienz in Bezug auf den Carbon- und Water Footprint für den Erzeuger mit erheblichen Hürden belegt. Branchenspezifische Instrumente, welche eine einfache Bewertung und Einordnung zu einer Vergleichsgröße ermöglichen, sind jedoch bisher nur begrenzt bzw. nicht verfügbar. Benchmark-Vergleiche in der Literatur für die Tomatenproduktion sind basierend auf der Datengrundlage nur bedingt übertragbar [23]. Während einfache, kostenlose online Tools zur Kalkulation des persönlichen Carbon- oder Water Footprints vorliegen (LfU CO₂ Rechner, Mein Fußabdruck, Wasserampel, Water Footprint Tool [41 - 44]) gibt es für die Branche derzeit vereinzelte kostenpflichtige (HortiFootprint [45]).

Im Rahmen des Projekts PROSIBOR sollen am Beispiel der Tomatenproduktion unter Glas einfache Methoden untersucht werden, welche einen Beitrag für ein Benchmark System leisten können, anhand dessen die Erzeuger selbst eine Einordnung und zeitlichen oder betriebsübergreifenden Vergleich vornehmen können. Nachfolgende Ziele sollen dabei berücksichtigt werden:

- Einfache Eingabe relevanter Daten
- Reduktion auf einfache und für die Betriebe leicht zu erhebende Daten zur verlässlichen Berechnung
- Verständliche Visualisierung eigener und betriebsübergreifender Ressourceneinsätze sowie Ergebnisse zum Carbon- und Water Footprint, bezogen auf einzelne oder mehrere Kulturjahre (Voraussetzung: Anonymisierung)
- Ableitung von Handlungsempfehlungen für den Betrieb

Als Grundlage werden vorhandene Ergebnisse aus der Literatur verwendet, die sukzessive durch Daten aus der Praxis erweitert werden. Dabei werden insbesondere High-Tech Betriebe erfasst, allerdings die Datengrundlage darüber hinaus um biologisch produzierende Betriebe erweitert. Um importierte mit lokal produzierter Ware zu vergleichen, soll die Systemgrenze zudem auf Gradle to Gate erweitert werden. Dabei bleibt eine kombinierte Betrachtung des Carbon- und Water Footprints sowie deren Kennzahlen ein zentrales Thema. Eine differenzierte Bewertung basierend auf dem Grad der Technisierung sowie des Fruchtgewichts ist geplant, um dem Erzeuger einen Vergleich innerhalb einer spezifischen Klasse zu ermöglichen. Die nachfolgende Abbildung soll einen Eindruck über eine mögliche Visualisierung des betrieblichen Carbon-Footprints sowie den volumetrischen Wasserverbrauch (WUE) im überbetrieblichen Vergleich geben (**Bild 3-A**). Die hierfür verwendeten Daten wurden sowohl aus der Literatur [9; 28 - 37; 40; 46 - 48] als auch aus bereits erhobenen Daten aus mehreren Praxisbetrieben in Deutschland im Rahmen des Projekts PROSIBOR erstellt.

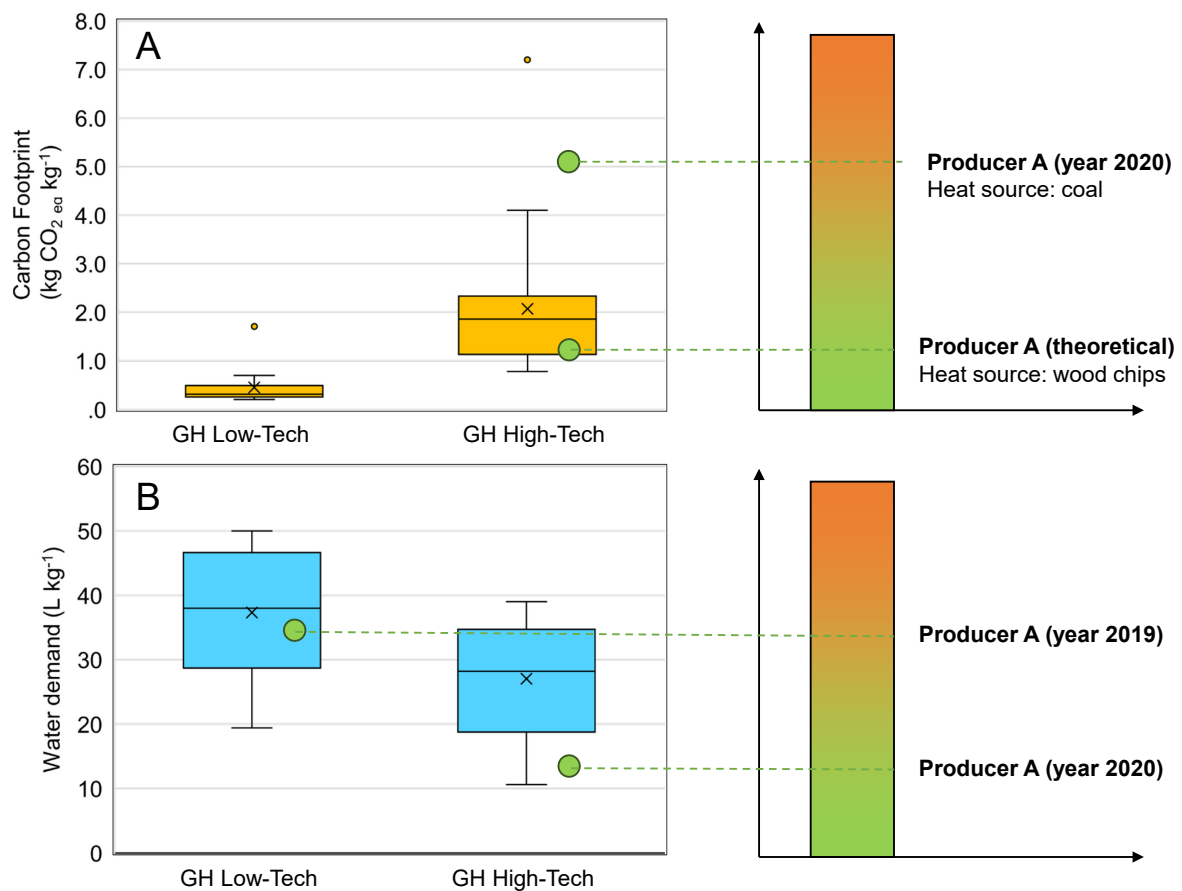


Bild 3: Beispielhafte Darstellung zur Visualisierung von (A) Footprint-Informationen oder (B) Produktionskennzahlen sowie einer Einordnung eines individuellen Erzeugers im Vergleich zweier Kulturjahre
Figure 3: Exemplary depiction for the visualization of (A) footprint information or (B) production key figures as well as a classification of an individual producer in comparison to two culture years

Fazit

Die Bereitstellung eines einfach anzuwendenden Instruments auf Erzeugerebene zur Einordnung der eigenen Emissionen und des möglichen oder tatsächlichen Erfolgs erster Maßnahmen kann die Bereitschaft zur weiteren Umsetzung von konkreten Maßnahmen zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs und klimaschädlicher Emissionen erhöhen. Die systematische Erweiterung der Datenbank könnte langfristig durch kontinuierlich erhobene Daten eine zeitliche Entwicklung liefern, die sowohl innerhalb eines Betriebs als auch branchenweite oder bundesweite Vergleichsmöglichkeiten bieten würde.

Acknowledgements

Das Forschungsvorhaben wird durch das BMEL über die BLE im Rahmen der Innovationsförderung finanziell unterstützt. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung bei Ivonne Jüttner sowie den Praxisbetrieben.

Literatur

- [1] Gellrich, A.; Burger, A.; Tews, K.; Simon, C.; Seider, S.: 25 Jahre Umweltbewusstseinsforschung im Umweltressort: langfristige Entwicklungen und aktuelle Ergebnisse. 2021, URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_h_gp_umweltbewusstseinsstudie_bf.pdf, Zugriff am: 29.04.2022.
- [2] Tagesschau: Klimawandel trifft Winzer: Wenn dem Wein das Wasser fehlt. URL: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/weinanbau-im-klimawandel-101.html>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [3] Deutsche Welle: Wassernotstand in Deutschland. URL: <https://www.dw.com/de/wassernotstand-in-deutschland/a-54668837>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [4] Tagesschau: Folgen des Klimawandels: Deutschland trocknet langsam aus. URL: <https://www.tagesschau.de/inland/gesellschaft/wasserknappheit-deutschland-101.html>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [5] Redaktionsnetzwerk Deutschland: Wassermangel in Deutschland: An diesen Orten ist es jetzt schon zu trocken. URL: <https://www.rnd.de/wissen/wassermangel-in-deutschland-an-diesen-orten-ist-es-jetzt-schon-zu-trocken-a8aa4f42-8122-4d30-8625-9a80cbfe6fc3.html>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [6] Das Erste: Die Konkurrenz ums Wasser wächst. URL: <https://www.rbb-online.de/kontraste/archiv/kontraste-vom-05-08-2021/verteilungskampf-in-deutschland-immer-mehr-konflikte-um-wasser.html>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [7] Umweltbundesamt: Abschätzung der Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 der Bundesregierung. 2020, URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-03-19_cc_33-2020_klimaschutzprogramm_2030_der_bundesregierung.pdf, Zugriff am: 29.04.2022.
- [8] Umweltbundesamt: Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [9] Page, G.; Ridoutt, B.; Bellotti, B.: Carbon and water footprint tradeoffs in fresh tomato production. *Journal of Cleaner Production* 32 (2012), S. 219-226.
- [10] Europäischer Rechnungshof: Gemeinsame Agrarpolitik und Klima – Landwirtschaft erhält Hälfte der Klimaschutzausgaben der EU, aber Emissionen gehen nicht zurück. Luxemburg, Luxemburg: Europäischer Rechnungshof 2021, ISBN: 978-92-847-6178-4. URL: https://www.eca.europa.eu/lists/ecadocuments/sr21_16/sr_cap-and-climate_de.pdf.

- [11] Statista: Pro-Kopf-Konsum von Gemüse in Deutschland nach Art in den Jahren 2018/19 bis 2020/21. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/318586/umfrage/pro-kopf-konsum-von-gemuese-in-deutschland-nach-art/>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [12] AMI Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH: AMI Markt Report Unterglasanbau von Gemüse. 2019, URL: https://www.ami-informiert.de/fileadmin/shop/leseproben/AMI_Markt_Report_Unterglasanbau_2019__I_HVZ_.pdf.
- [13] FAO: FAOSTAT - Data - Production - Crops. 2020.
- [14] Statista: Anbaufläche von Gemüse unter Glas oder anderen begehbaren Schutzabdeckungen in Deutschland in den Jahren 2020 und 2021. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/169193/umfrage/anbauflaechen-von-gemuese-unter-glas/>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [15] Bundesinformationszentrum Landwirtschaft: Wasserfußabdruck: Wie viel Wasser steckt in landwirtschaftlichen Produkten? URL: <https://www.landwirtschaft.de/diskussion-und-dialog/umwelt/wie-viel-wasser-steckt-in-landwirtschaftlichen-produkten>.
- [16] Umweltbundesamt: Wasserressourcen und ihre Nutzung. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserressourcen-ihre-nutzung#die-wassernutzer>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [17] Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K.; Aldaya, M. M.; Mekonnen, M. M.: The water footprint assessment manual – Setting the global standard. London: Earthscan 2011, ISBN: 978-1-84971-279-8.
- [18] Farooq, N.; Gheewala, S. H.: A review of two different methods for the estimation of water footprint of crops. Bulletin of the Geological Society of Malaysia 68 (2019), S. 85-90.
- [19] Gerbens-Leenes, W.; Berger, M.; Allan, J.: Water Footprint and Life Cycle Assessment: The Complementary Strengths of Analyzing Global Freshwater Appropriation and Resulting Local Impacts. Water 13 (2021) H. 6, S. 803.
- [20] Bunsen, J.; Berger, M.; Finkbeiner, M.: Konzeptionelle Weiterentwicklung des Wasserfußabdrucks. 2022, URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_44-2022_konzeptionelle_weiterentwicklung_des_wasserfussabdrucks.pdf, Zugriff am: 29.04.2022.
- [21] Brindha, K.: Virtual water flows, water footprint and water savings from the trade of crop and livestock products of Germany. Water and Environment Journal 34 (2020) H. 4, S. 656-668.
- [22] Finogenova, N.; Dolganova, I.; Berger, M.; Núñez, M.; Blizniukova, D.; Müller-Frank, A.; Finkbeiner, M.: Water footprint of German agricultural imports: Local impacts due to global trade flows in a fifteen-year perspective. The Science of the total environment 662 (2019), S. 521-529.
-

- [23] Mekonnen, M. M.; Hoekstra, A. Y.: Blue water footprint linked to national consumption and international trade is unsustainable. *Nature Food* 1(12), S. 792-800.
- [24] Umweltbundesamt: Europäische Energie- und Klimaziele. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele>.
- [25] Umweltbundesamt: Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung>.
- [26] Bryngelsson, D.; Wirsenius, S.; Hedenus, F.; Sonesson, U.: How can the EU climate targets be met? A combined analysis of technological and demand-side changes in food and agriculture. *Food Policy* 59 (2016), S. 152-164.
- [27] Wang, S.; Wang, W.; Yang, H.: Comparison of Product Carbon Footprint Protocols: Case Study on Medium-Density Fiberboard in China. *International journal of environmental research and public health* 15 (2018) H. 10.
- [28] Maureira, F.; Rajagopalan, K.; Stöckle, C. O.: Evaluating tomato production in open-field and high-tech greenhouse systems. *Journal of Cleaner Production* 337 (2022), S. 130459.
- [29] Pereira, B. d. J.; Cecilio Filho, A. B.; La Scala, N.: Greenhouse gas emissions and carbon footprint of cucumber, tomato and lettuce production using two cropping systems. *Journal of Cleaner Production* 282 (2021), S. 124517.
- [30] Neira, D. P.; Montiel, M. S.; Cabeza, M. D.; Reigada, A.: Energy use and carbon footprint of the tomato production in heated multi-tunnel greenhouses in Almeria within an exporting agri-food system context. *The Science of the total environment* 628-629 (2018), S. 1627-1636.
- [31] Ntinis, G. K.; Neumair, M.; Tsadilas, C. D.; Meyer, J.: Carbon footprint and cumulative energy demand of greenhouse and open-field tomato cultivation systems under Southern and Central European climatic conditions. *Journal of Cleaner Production* 142 (2017), S. 3617-3626.
- [32] Emberger-Klein, A.; Menrad, K.; Ergül, R.; Mempel, H.: Carbon-Footprint-Analysen entlang der Wertschöpfungsketten von Obst und Gemüse an ausgewählten Beispielen sowie Erarbeitung eines entsprechenden Zertifizierungs- und Labellingsystems: gekürzte Fassung des Schlussberichts. DOI: 10.2314/GBV:860305716.
- [33] Boulard, T.; Raeppe, C.; Brun, R.; Lecompte, F.; Hayer, F.; Carmassi, G.; Gaillard, G.: Environmental impact of greenhouse tomato production in France. *Agronomy for Sustainable Development* 31 (2011) H. 4, S. 757-777.
- [34] Torrellas, M.; Antón, A.; Ruijs, M.; Victoria, N. G.; Stanghellini, C.; Montero, J. I.: Environmental and economic assessment of protected crops in four European scenarios. *Journal of Cleaner Production* 28 (2012), S. 45-55.
- [35] Payen, S.; Basset-Mens, C.; Perret, S.: LCA of local and imported tomato: an energy and water trade-off. *Journal of Cleaner Production* 87 (2015), S. 139-148.
-

- [36] Dias, G. M.; Ayer, N. W.; Khosla, S.; van Acker, R.; Young, S. B.; Whitney, S.; Hendricks, P.: Life cycle perspectives on the sustainability of Ontario greenhouse tomato production: Benchmarking and improvement opportunities. *Journal of Cleaner Production* 140 (2017), S. 831-839.
- [37] Almeida, J.; Achten, W. M. J.; Verbist, B.; Heuts, R. F.; Schrevens, E.; Muys, B.: Carbon and Water Footprints and Energy Use of Greenhouse Tomato Production in Northern Italy. *Journal of Industrial Ecology* 18 (2014) H. 6, S. 898-908.
- [38] Kozai, T.: *Smart plant factory: The next generation indoor vertical farms*. Springer 2018, ISBN: 9811310653.
- [39] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Marktgemüsebau, Marktobstbau, Blumen und Zierpflanzen, Stauden, Baumschulen. URL: <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/gartenbau/produktionsgartenbau>, Zugriff am: 30.04.2022.
- [40] Ntinis, G. K.; Dannehl, D.; Schuch, I.; Rocks, T.; Schmidt, U.: Sustainable greenhouse production with minimised carbon footprint by energy export. *Biosystems Engineering* 189 (2020), S. 164-178.
- [41] LFU CO2 Rechner. URL: https://lfu.co2-rechner.de/de_DE, Zugriff am: 30.04.2022.
- [42] Mein Fußabdruck. URL: <https://www.mein-fussabdruck.at/>, Zugriff am: 30.04.2022.
- [43] Wasserampel. URL: <https://wasserampel.wfd.de/>, Zugriff am: 30.04.2022.
- [44] Water Footprint Tool. URL: <https://wf-tools.see.tu-berlin.de/>, Zugriff am: 30.04.2022.
- [45] HortiFootprint. URL: <https://my-mps.com/over-mps/innovaties/lca/?lang=de>, Zugriff am: 30.04.2022.
- [46] Zarei, M. J.; Kazemi, N.; Marzban, A.: Life cycle environmental impacts of cucumber and tomato production in open-field and greenhouse. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 18 (2019) H. 3, S. 249-255.
- [47] Karakaya, A.; Özilgen, M.: Energy utilization and carbon dioxide emission in the fresh, paste, whole-peeled, diced, and juiced tomato production processes. *Energy* 36 (2011) H. 8, S. 5101-5110.
- [48] Williams, A. G.: *Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities*. (2006) Cranfield University and Defra.

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.

M.Sc. Sabine Wittmann ist Doktorandin an der HSWT im Team von Prof. Mempel.

B. Sc. Raphael Notlemeyer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der HSWT im Team von Prof. Mempel.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Wittmann, Sabine; Noltemeyer, Raphael; Mempel, Heike: Anreizsysteme zur Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen im Gartenbau. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-14

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202031003-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/gewaechshaustechnik.html>

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

Gesamtbetriebliches Haltungskonzept Rind – Milchkühe

Jochen Simon, Andreas Pelzer

Kurzfassung

Im Rahmen des von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) geförderten Projekts Gesamtbetriebliche Haltungskonzepte wurden seit 2019 unter dem Titel „Aspekte und Visionen einer zukunftsorientierten Milchviehhaltung“ unterschiedliche Stallbaukonzepte für Milchkühe erarbeitet. Zunächst fokussierte sich die Arbeit in drei Arbeitsgruppen jeweils auf die Aspekte der Optimierung des Tierwohls, der Umweltwirkung und der Betriebswirtschaft, aus denen heraus spezifische Stallmodelle erarbeitet wurden. Die zentralen und als besonders zukunftsfähig erachteten Kriterien wurden anschließend in einem „Kompromissstall“ zusammengeführt.

Schlüsselwörter

Landwirtschaftliches Bauwesen, Milchkühe, Stallbau, Tierwohl, Umweltwirkung, Betriebswirtschaft

General farm husbandry concept cattle – dairy cows

Jochen Simon, Andreas Pelzer

Abstract

As part of the project funded by the Federal Institute for Agriculture and Food Overall Farm Husbandry Concepts, various stable construction concepts for dairy cows have been developed since 2019 under the title “Aspects and Visions of Future-Oriented Dairy Farming”. Initially, the work in three working groups focused on the aspects of optimising animal welfare, environmental impact and business management, from which specific stable models were developed. The central criteria, which were considered particularly sustainable, were then brought together in a “compromise stable”.

Keywords

Agricultural construction, dairy cows, stable construction, animal welfare, environmental impact, business administration

Einleitung

Eine zukunftsfähige Milchviehhaltung steht in allen Regionen Deutschlands vor vielfältigen Herausforderungen. Im Fokus der gesellschaftlichen Diskussion und damit der generellen Akzeptanz der Landwirtschaft auf Seiten der Verbraucher steht die Verbesserung des Tierwohls. Gesteigerte ökologische Anforderungen und die daraus folgenden genehmigungsrechtlichen Vorgaben für Um- und Neubaumaßnahmen wirken sich in entsprechenden baulich-technischen Maßnahmen von der Reduzierung der Emission klimaschädlicher Gase über den Schutz des Grundwassers bis hin zur Eindämmung der Flächenversiegelung aus. Trotz des daraus folgenden gesteigerten Investitionsaufwands müssen die Betriebe am Ende im Wettbewerb auch betriebswirtschaftlich bestehen.

In diesem Spannungsfeld wurden im Rahmen des von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) geförderten Projekts: „Gesamtbetriebliches Haltungskonzept für Milchkühe“ von einer bundesweit vernetzten Expertengruppe zukunftsfähige Stallbaukonzepte für die Milchviehhaltung entwickelt. Das Ergebnis dieser interdisziplinären Zusammenarbeit von Haltungsexperten, Ethologen, Betriebswirten und Baufachleuten steht in Form eines Arbeitsheftes [1] interessierten Landwirten, Beratern, Wissenschaftlern, Planern, ausführenden Firmen, politischen Entscheidern, Verbrauchern und sonstigen Akteuren rund um das Thema einer nachhaltigen Milchviehhaltung zur Verfügung.

Beginnend mit einem Einleitungsteil zu den Themenfeldern „Tierwohl“, „Ökologie“ und „Ökonomie“ werden in dieser Veröffentlichung zunächst die spezifischen Funktionsbereiche in der Milchviehhaltung beschrieben. Aus den drei Themenfeldern wurden gleichnamige Arbeitsgruppen gebildet, die diese Funktionsbereiche einer spezifischen Bewertung unterzogen haben. Darauf aufbauend sind die von den drei Arbeitsgruppen jeweilig positiv bzw. hoch priorisierten Ausstattungsmerkmale in einem eigenen Stallmodell für jeweils 220 laktierende Kühe planerisch umgesetzt worden. Da ein eindimensionaler Optimierungsprozess nicht den vielfältigen Anforderungen an einen zukunftsfähigen Milchviehbetrieb gerecht werden kann, wurde wiederum gemeinsam aus einem Querschnitt aller priorisierten Kriterien ein sogenannter „Kompromissstall“ entwickelt, der als Machbarkeitsstudie wegweisende Anstöße für künftige Stallbauvorhaben geben soll. Gleichzeitig spiegeln sich insbesondere in dieser Modellplanung auch Zielkonflikte wider, wie z. B. die Anforderung nach mehr Bewegungs- und Liegefläche zur Steigerung des Tierwohls einerseits und der daraus resultierenden Erhöhung der emittierenden Flächen andererseits.

Erklärung und Bewertung der einzelnen Funktionsbereiche

Kernteil dieser Veröffentlichung ist die Darstellung der für die Milchviehhaltung spezifischen Funktionsbereiche: Liegen, Bewegung, Laufhof, Futter- und Wasseraufnahme, Melken mit Vorwartebereich, Treibgänge, Sonderbereiche (Abkalbe- und Krankenbuchten) bis hin zu Detailfragen wie Beleuchtung und Stallklima. Diese werden zunächst allgemein beschrieben und durch Fotos und Grafiken ergänzt. Dabei werden jeweils die ethologischen Grundlagen, generelle Anforderungen aus dem Tierwohl und Empfehlungen für die bauliche-technische Umsetzung in der Praxis erläutert. Um zum Teil bekannte offene oder aber aus dem Arbeitsprozess

entstandene neue Fragestellungen im Sinne eines Wissensspeichers zu sichern und Anregungen für künftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu geben, wird jeder Funktionsbereich noch um den Aspekt der Visionen abgerundet. Ziel war dabei nicht, eine Beratungsunterlage mit umfassenden Beispielen zu Funktions- und Detailplanungen, Flächen- und Maßangaben zu erstellen, sondern die Leserschaft grundsätzlich an die unterschiedlichen Sichtweisen aus den Themenfeldern auf die Funktionsbereiche in der Milchviehhaltung heranzuführen.

Dem Grundlagenteil steht eine Gesamtmatrix gegenüber, in der die baulich-technischen Umsetzungsmöglichkeiten und Verfahrenstechniken innerhalb der jeweiligen Funktionsbereiche detailliert aufgeführt sind. Diese entsprechen dem Stand der Technik bzw. der guten fachlichen Praxis in der Milchviehhaltung und sind aus den drei Themenfeldern heraus qualitativ bewertet. Im Themenfeld „Tierwohl“ sind dies die Kriterien Auswirkungen auf das Verhalten sowie Gesundheit und Physiologie. Im Themenfeld „Ökologie“ werden das Minderungspotenzial für die Emissionen sowie der Ressourcenverbrauch (Energie, Fläche) und von Seiten der „Ökonomie“ die Investitionskosten, das Verbrauchsmaterial (Energie, Wasser), die Arbeitseffizienz und das Kriterium Management bewertet (**Bild 1**).

Baulich-technische Gestaltungsvarianten	Info	Tierwohl		Ökologie		Ökonomie			
	Seite	Verhalten/ Physiologie	Gesundheit	Emissionen	Ressourcen (Energie, Fläche)	Investitionskosten	Verbrauchsmaterial (Energie, Wasser)	Arbeitseffizienz	Management
Freies Liegen (Freilaufstall)									
Kompostierung ohne technische Belüftung	38	++	+	0	-	-	-	-	--
Kompostierung mit Saug- oder Druckbelüftung	40	++	++	0	-	--	--	-	--
semipermeable Membran	44	++	0	++	-	--	0	++	0
Einflächenbucht	42	++	0	-	-	0	-	-	-
Zweiflächenbucht	42	++	+	-	0	0	0	-	-
gesteuertes Liegen (Liegeboxenlaufstall)									
Hochbox	46	0	0	+	0	0	0	0	0
Tiefbox	48	+	+	+	0	+	-	-	-
Kombibox	50	+	+	+	0	0	-	-	-

Bild 1: Ausschnitt der Bewertungsmatrix zu den Funktionsbereichen Freies und Gesteuertes Liegen [1]

Figure 1: Excerpt from the evaluation matrix for the functional areas of free and controlled lying [1]

Im daran anschließenden Kapitel „Detailseiten“ werden die spezifischen Bewertungen der Funktionsbereiche aus den einzelnen Themenfeldern heraus in Text- bzw. Tabellenform erläutert und begründet. Visionäre Haltungsformen, Bauweisen oder Techniken sind hier nicht aufgeführt, da für diese mangels praktischer Erprobung bzw. wissenschaftlicher Untersuchungen eine Bewertung noch nicht möglich ist. Umgekehrt bedeutet eine weniger gute Bewertung nicht, dass ein bestimmtes System nicht durch entsprechende Verbesserungen weiterentwickelt werden kann.

Stallmodelle

Die Bewertungen aus diesem Grundlagenteil spiegeln sich für die jeweilige Arbeitsgruppe in den drei Stallmodellen wider.

Tierwohlstall

Aus der Frage, bis zu welcher Gruppengröße sich die Tiere individuell kennen, ist die Herde von 220 laktierenden Milchkühen im Tierwohlstall in vier Gruppen zu je 60 Kühen aufgeteilt, die wiederum jede für sich einen eigenen Stall mit einer automatischen Melkeinheit erhält. Die Wahl einer kreisförmigen Bauform begründet sich aus dem guten Überblick, den die Tiere durch diese Form im Stall erhalten. Aus Sicht des Tierwohls wird das freie Liegen am höchsten priorisiert, das auf Betrieben z. B. in Form von Kompostierställen bereits erfolgreich betrieben wird. Die Futterachse umschließt ringförmig die gesamte Liegehalle und wird von den Tieren über einen planbefestigten Rundweg, der die für die physiologischen Prozesse bedeutende Bewegung fördert, und separate Fütterungszonen erreicht. Für das bauliche Gesamtkonzept wurde eine mehrgliedrige Bauweise mit einer separaten Überdachung der Liegehalle und der Futterachse gewählt. Zwischen den Teilgebäuden liegt ein nicht überdachter Auslaufbereich, der den Tieren ganzjährig Zugang zu den Außenklimareizen ermöglicht. In den Sommermonaten stehen den Kühen darüber hinaus stallnahe Weideflächen zur Verfügung. Durch einen entsprechenden Dachaufbau und die Begrünung der Dachflächen zur Pufferung der Sonneneinstrahlung wird den Anforderungen an den sommerlichen Hitzeschutz in einem freigelüfteten Außenklimastall bestmöglich entsprochen (**Bild 2**).

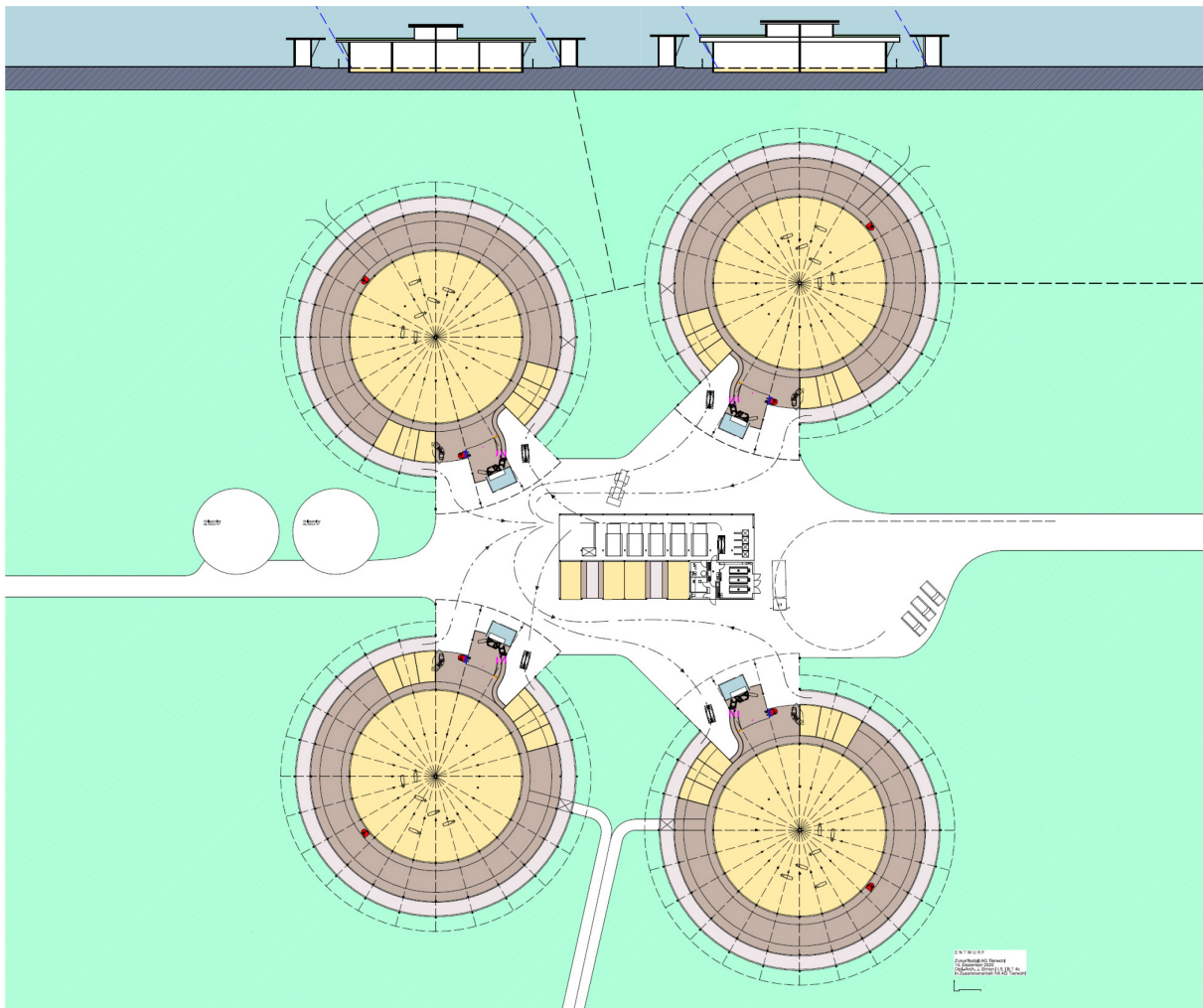


Bild 2: Grundriss und Schnitt des Tierwohlstalles
Figure 2: Floor plan and section of the animal welfare stable

Ökonomiestall

Im Fokus der Betriebswirtschaft stehen möglichst niedrige Bau- und Arbeitserledigungskosten. Vor diesem Hintergrund wurde für die Gebäudehülle eine aufgelöste, mehrhäusige Bauweise gewählt. Durch geringere Spannweiten und ein kleineres Bauvolumen werden der Material- und Herstellungsaufwand für das Tragwerk und die Gebäudehülle verringert und damit die Baukosten reduziert. Um die Wege und die Übersichtlichkeit zu optimieren, liegen das Melkzentrum und die Sonderbereiche in der Mitte der Stallanlage. Durch diese Anordnung wird die Herde in zwei Gruppen á 110 Tiere geteilt. Auch wenn der Investitionsbedarf zunächst höher ist, sollen durch automatische Melksysteme die Arbeitsprozesse optimiert werden. Das Ziel dabei ist, dass dem Landwirt einerseits mehr Zeit für das Herdenmanagement, aber auch mehr Frei- und damit Erholungszeit zur Verfügung steht. Liegeboxen mit Gummimatten und planbefestigte, gummierte Laufflächen mit Entmistungsschieber optimieren einerseits den Tierkomfort und gleichzeitig die Arbeitswirtschaft.

Ökologiestall

Vorrangiges Ziel beim Ökologie- bzw. Umweltstall ist die Verringerung der versiegelten Fläche. Dazu wurden aus mehreren untersuchten Varianten eine sog. 5+1-Liegeboxenaufstallung mit einer durchgehenden Futterachse und einer zweigeteilten Stichfuttertischachse ausgewählt. Bis auf eine Sondergruppe mit 30 Liegeboxen jenseits der durchgehenden Futterachse sind alle Tiere in einer Großgruppe zusammengefasst. Auch wenn diese Boxenform wegen der höheren Verschmutzung der Tiere in der aktuellen Ausgestaltung nicht für Praxisbetriebe empfohlen wird, sind an den Stichfuttertischen beiderseitig Fress-Liege-Boxen angeordnet. Dadurch kann für einen Teil der Herde flächensparend auf einen zusätzlichen Fressgang und Futtertisch verzichtet werden. Auch bei der Futterlagerung wird mit Hochsilobehältern auf eine vom Prinzip her ältere Technik zurückgegriffen. Aufgrund der gegenüber Fahrsilos erheblich geringeren Standfläche könnte mit dem Einsatz einer weiterentwickelten Form der vertikalen Futterlagertechnik der Flächenbedarf minimiert werden. Dazu würden die für den Gewässerschutz notwendigen kostenintensiven Abdichtungen und Aufwendungen zum Management des Niederschlagswassers entfallen. Die Technikräume liegen im Gebäude, die Milch wird giebelseitig in einem vertikalen Tank ohne weitere Einhausung gelagert. Auch für diese Stallvision wird die Arbeitserledigung durch Roboter präferiert. Im Unterschied zum Ökonomiestall steht hier der Einsatz von regenerativem Strom aus der PV-Anlage oder Biogaserzeugung an Stelle des Verbrauchs von fossiler Energie (z. B. bei der Futtervorlage durch den Schlepper mit Futtermischwagen bzw. Selbstfahrer) im Vordergrund. Zur Emissionsminderung ist die Trennung von Kot und Harn per Kotsammelroboter und Kuhtoiletten eingeplant.

Kompromissstall

In diese Planung fließen die aus den jeweiligen Arbeitsgruppen besonders präferierten Einzelaspekte ein. Durch eine mehrhäusige, erweiterungsfähige Bauweise mit geringem Bauvolumen und integrierten Laufhöfen werden der Flächenverbrauch optimiert und gleichzeitig der Bauaufwand und damit die Baukosten gesenkt. Die Herde ist wie beim Ökonomiestall als Kompromiss hinsichtlich der individuellen Erkennung der Tiere untereinander in zwei Gruppen á 110 Tiere geteilt, wovon jede eine eigene Liegehalle erhält. Im Unterschied zum Ökonomie- und Ökologiestall befinden sich die Technikräume, zusammen mit den Sonderbereichen, in einem separaten Gebäude. Damit ist auch hier die Erweiterungsfähigkeit, insb. der eingestreuten Abkalbe- und Krankenbuchten, gegeben. Die Teilställe sind mit je 2x2 Reihen gegenständiger Liegeboxen und angehobenen Fressplätzen an den zentralen Stichfuttertischen ausgestattet. Über spezielle Laufflächen sollen Kot und Harn getrennt und die Emissionen reduziert werden. Auch im Kompromissstall wird den arbeitswirtschaftlichen Aspekten und dem Tierwohl durch Melk- und Fütterungsroboter Rechenschaft geleistet. Begrünte und mit Fotovoltaik ausgestattete Stalldächer dienen der Kühlung der Stallgebäude und der Energiegewinnung (**Bild 3**).

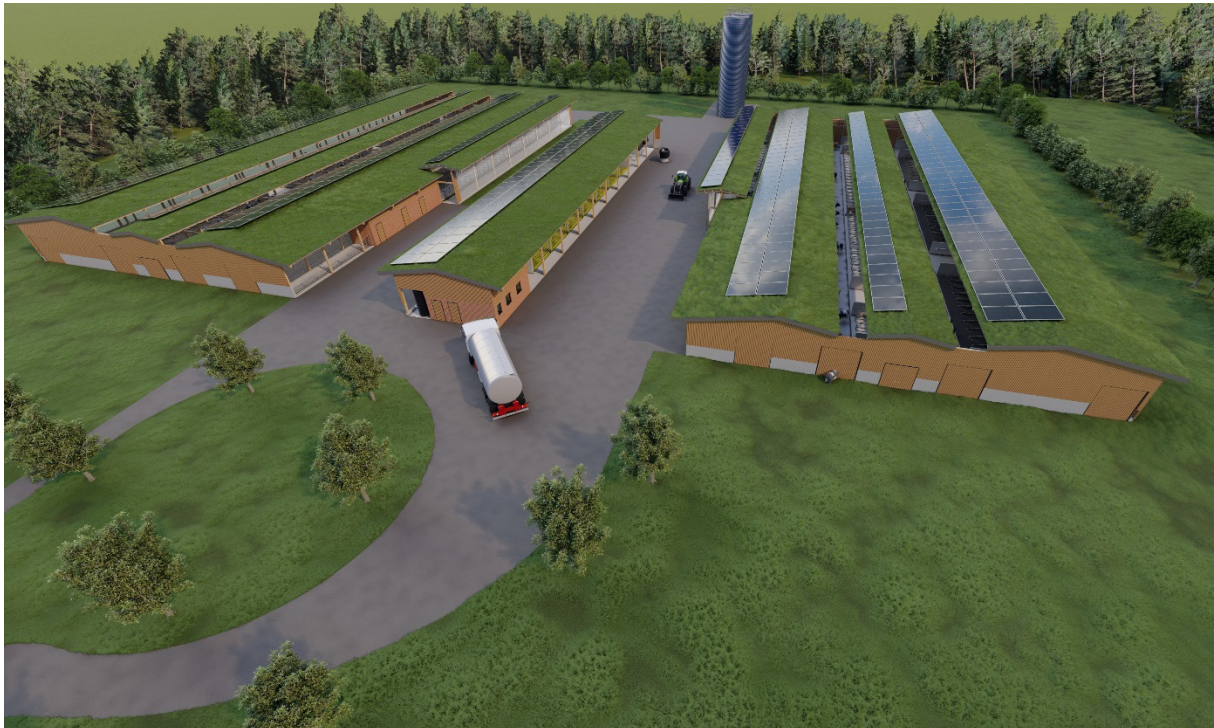


Bild 3: Perspektivische Darstellung des Kompromisstalls
Figure 3: Perspective representation of the compromise stable

Zusammenfassung und Ausblick

Durch die systematische und vor allem interdisziplinäre Aufbereitung der Funktionsbereiche sowie die qualitative Bewertung durch das Expertengremium ist eine umfassende Informations-, Beratungs- bzw. Planungs- und Entscheidungsgrundlage geschaffen worden, die zugleich auch den künftigen Forschungsbedarf zu vielen noch offenen Fragen, z. B. in den Bereichen der Tier-Gebäude- bzw. Tier-Technik-Interaktion oder der Reduzierung der Umweltwirkungen dokumentiert. Durch die Umsetzung in Stallbaubeispielen, die zum Teil auf den Stand der Technik bzw. die gute fachliche Praxis zurückgreifen, kann gezeigt werden, dass im Bereich der Milchviehhaltung durch die intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit der letzten 30 Jahre bereits viele baulich-technische Ansätze erarbeitet und umgesetzt wurden, die auch in der Zukunft Bestand haben werden. Auch wenn in ersten Pilotprojekten in der Praxis und in Forschungseinrichtungen auf das Potenzial hingewiesen werden kann, zeigt sich aber gleichzeitig, dass insbesondere im Bereich der Automatisierung und Digitalisierung (z. B. intelligente Fressgitter, Entmistungsroboter), aber auch für bei weitem noch nicht etablierte Halungsverfahren (z. B. Freies Liegen, frei zugängliche Abkalbungsbereiche), Bauweisen (z. B. Holzbau, mehrhäusiges Bauen, baulich-technische Maßnahmen zur Optimierung des Stallklimas) sowie im Bereich des Einsatzes von Techniken zur Reduzierung der Umweltwirkung (z. B. Kot-Harntrennung, schnelles Reinigen der Aktivitätsflächen) noch ein hoher Umsetzungs- und Entwicklungsbedarf besteht, um ein gesteigertes Tierwohl und die angestrebten Ziele im Umweltschutz bei einem gleichzeitigen Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der Milchviehhaltenden Betriebe in Deutschland zu erreichen.

Literatur

- [1] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.): Gesamtbetriebliches Haltungskonzept Rind: Milchkühe. Bonn 2022.

Autorendaten

Dipl.-Ing. Architekt Jochen Simon ist Leiter der Abteilung Landwirtschaftliches Bauwesen & BauForum in der ALB Bayern e.V., Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung.

Dip.-Ing. agrar. Andreas Pelzer ist stellv. Leiter VBZL Haus Düsse und leitet den Sachbereich Rinderhaltung, Referent für Rinderhaltung der LWK NRW.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Simon, Jochen; Pelzer, Andreas: Gesamtbetriebliches Haltungskonzept Rind – Milchkühe. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-8

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202031004-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/bauwesen.html>

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

Technik in der Schweinehaltung

Svenja Opderbeck

Kurzfassung

Die Anforderungen der Novelle der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutzTV) sowie der Tierwohllabel und die steigende Nachfrage des deutschen Lebensmitteleinzelhandels nach mehr Tierwohl stellen Mast- und Aufzuchtbetriebe vor neue Herausforderungen. So ist das Angebot von organischem Beschäftigungsmaterial vor allem in den vorherrschenden Systemen mit Spaltenboden problematisch. Hier muss das Material sowie die Art und Weise, wie es angeboten wird, für die Tiere und das Haltungssystem passend gewählt werden. Auch die Anforderungen vieler Label, eine Liegefläche ohne Perforation anzubieten, ist in Warmställen schwierig funktionssicher umzusetzen. Um dies zu optimieren, sollten die einzelnen Aktivitätsbereiche der Buchten an die Bedürfnisse der Schweine angepasst werden. Eine weitere Änderung der TierSchNutzTV besagt, dass die Wärmebelastung der Tiere gesenkt werden muss. Hierfür gibt es verschiedene Systeme, dies durch Senkung der Raumlufttemperatur, Befeuchtung von Flächen und Tieren oder Kühlung von Oberflächen umzusetzen.

Schlüsselwörter

Schweinehaltung, Tierwohl, Beschäftigungsmaterial, Buchtenstruktur, Kühlmöglichkeiten

Machinery and Techniques for Pig Husbandry

Svenja Opderbeck

Abstract

The requirements of the new "Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutzTV)", the animal welfare labels and the increasing demand from German food retail market for more animal welfare pose new challenges for fattening and rearing. The supply of organic enrichment material is problematic, especially in the prevailing housing systems with slatted floors. Here the material and how it is offered must be selected due to the animals and the husbandry system. The requirement of many labels to offer a solid lying area is difficult to implement in conventional housing systems. To optimize this, the individual activity areas of the pens should be adapted to the needs of the pigs. Another change in the TierSchNutzTV states that the thermal stress on the animals must be reduced. There are various systems to implement this by lowering the room temperature, wetting surfaces and animals or cooling surfaces.

Keywords

Pig husbandry, animal welfare, enrichment material, pen structure, cooling systems

Wohin entwickeln sich die Schweinemast und Ferkelaufzucht?

Im Jahr 2021 ging die Anzahl an Schweinen, die in Deutschland gehalten werden, weiter zurück. Im Jahr 2021 wurden in Deutschland rund 23,6 Millionen Schweine gehalten (9,4 % weniger als 2020). Die Anzahl an schweinehaltenden Betrieben ist seit 2019 um 11,2 % auf 18 800 gesunken [1]. Auch die Haltung der Schweine hat sich in den letzten Jahren geändert. Nach wie vor werden die meisten Schweine auf Vollspaltenböden gehalten. Während 2010 noch 66,8 % der Schweine auf Vollspalten gehalten wurden, sind es 2020 79,1 %. Der Anteil an Haltungssystemen mit Teilspaltenböden ist von 25 % auf 17 % gesunken. Haltungssysteme mit Tief- oder Einstreu machen nur 4 % aus (2010 noch 8 %) [2]. Diese Entwicklung in den Haltungssystemen entspricht nicht den Forderungen der Nutztierhaltungsstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft [3] oder den Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft [4] nach mehr Tierwohl. Im Jahr 2021 trat die Novelle der TierSchNutzTV in Kraft, welche neue erweiterte Anforderungen an die Haltung von Schweinen stellt. So sind Halter in Zukunft unter anderem verpflichtet, die Wärmebelastung von Schweinen durch Kühleinrichtungen (z. B. Kühlpads, Vernebelungsanlagen, Duschen oder Bodenkühlung) zu verringern, allen Schweinen organisches und faserreiches Beschäftigungsmaterial zu Verfügung zu stellen (vorzugsweise Stroh, Heu oder Sägemehl, alternativ Jutesäcke, Naturseile oder Weichholz) und Mastschweinen eine Liegefläche mit geringerer Perforation anzubieten (Hälfte der Gesamtfläche, unter 15 % Perforation) [5; 6]. Auch die zahlreichen Tierwohllabel in Deutschland stellen klare Anforderungen an die Haltung von beispielsweise Aufzuchtferkeln und Mastschweinen. **Tabelle 1** zeigt eine Übersicht über die Mindestanforderungen in Deutschland sowie die Anforderungen ausgewählter Label [5; 7 - 12].

Tabelle 1: Anforderungen verschiedener Label für Haltungssysteme für Aufzuchtferkel und Mast-schweine.

Table 1: Requirements of different labels for housing systems for rearing piglets and fattening pigs.

Label	Platz für 20-30 kg/LG		Platz pro 100 kg/LG		Spalten/ geschlossene Fläche	Einstreu	Organisches Beschäftigungs- material	Kupier- verbot
	Innen	Außen	Innen	Außen				
Mindestanforderungen [3]	0,35 m ²	x	0,75 m ²	x	✓/x	x	✓	x
Staatliches Tierwohlkennzeichen [4]								
Erste Stufe	0,42 m ²	x	0,9 m ²	x	✓/✓	(✓) ^a	✓	(✓) ^b
Zweite Stufe	0,45 m ²	x	1,1 m ²	x	✓/✓	(✓) ^a	✓	✓
Dritte Stufe	0,55 m ²	x	1,0 m ²	0,5 m ²	✓/✓	✓	✓	✓
“Für mehr Tierschutz” % [5; 6]								
Einstiegsstufe (seit 2022)	k. A.	k. A.	1,3 m ²	✓ ^c	✓/✓	✓	✓	✓
Premiumstufe	0,5 m ²	✓ ^c	1,0 m ²	0,5 m ²	✓/✓	✓	✓	✓
Mindeststandards “Initiative Tierwohl” [7]	0,35 m ²	x	0,83 m ²	x	✓/x	x	✓	x
Vier Pfoten “Tierschutz kontrolliert” [8; 9]								
Silber	k. A.	k. A.	1,4 m ²	x	✓/✓	✓	✓	✓
Gold	0,6	✓ ^c	Freilandhaltung		-/✓	✓	-	✓

^a geschlossene weiche oder eingestreute Liegefläche; ^b Risikoanalyse und Nachweis von Gegenmaßnahmen des Nationalen Aktionsplans zur Reduzierung des erforderlichen Schwanzkupierens; ^c Außenklimaställe oder Auslauf

Aktuelle Herausforderungen in der Schweinehaltung

Welches organische und faserreiche Beschäftigungsmaterial wie anbieten?

Organisches Beschäftigungsmaterial für Schweine gibt es in vielen verschiedenen Formen. Im Rahmen der TierSchNutzTV wird Stroh, Heu oder Sägemehl bevorzugt und alternativ Jutesäcke, Naturseile oder Weichholz vorgeschlagen [5; 6]. Welche organischen Materialien von Aufzuchtferkeln oder Mastschweinen bevorzugt werden, untersuchten Kauselmann et al. [13 - 15]. Es wurden Luzernepellets, Strohpellets, gehäckseltes Heu sowie Stroh getestet. Die Ergebnisse zeigen, dass sich Aufzuchtferkel vermehrt mit den pelletierten Materialien beschäftigten, während Mastschweine sich am meisten mit gehäckseltem Heu und Luzernepellets beschäftigten. Es zeigte sich, dass Pellets durch die Bearbeitung der Schweine teilweise zerfallen und so eine Masse ähnlich der Wühlerde entsteht, welche sehr gute Beschäftigungseigenschaften aufweist (**Bild 1**). Um die Attraktivität des Beschäftigungsmaterial noch weiter zu steigern, wurden Strohpellets mit Aromen versehen [15]. Hier stellte sich heraus, dass Aufzuchtferkel das Aroma von Bratzwiebeln oder Mandeln bevorzugten, während Mastschweine Pellets ohne Aroma oder mit Erdbeeraroma bevorzugten. In einem weiteren Versuch von Kauselmann et al. [16] wurden gehäckseltem Stroh Maiskörner beigelegt, was zu einer gesteigerten Beschäftigungszeit in der Aufzucht und Mast führte. Auch andere nutritive Zusätze können die Attraktivität von Beschäftigungsmaterial steigern und durch den Wechsel dieser nutritiven Zusätze kann dasselbe Beschäftigungsmaterial abwechslungsreich gestaltet werden. Diese Untersuchungen zeigen, wie unterschiedlich das Beschäftigungsmaterial für Schweine gestaltet werden kann. Bei der Auswahl der passenden organischen Materialien sollten jedoch verschiedene Materialien ausgetestet und abgewechselt werden, um die Attraktivität und damit Effektivität der Beschäftigung zu steigern.



Bild 1: Beispiel für einen Beschäftigungsautomaten für Pellets in der Ferkelaufzucht. Quelle: Svenja Opderbeck, Universität Hohenheim

Figure 1: Example of an enrichment material dispenser for pellets in piglet rearing. Source: Svenja Opderbeck, Universität Hohenheim

In verschiedenen Merkblättern zum Thema Beschäftigungsmaterial werden Umsetzungshinweise zum Angebot von Beschäftigungsmaterial für Schweine gemacht [17 - 20]. Während Hanfseile, Weichhölzer oder Jutesäcke leicht in alle Haltungssysteme integriert werden können, stellt der Einsatz von Heu und Stroh vor allem in Haltungssystemen mit Spaltenböden ein Problem dar. Um das Wühlbedürfnis der Schweine zu befriedigen, sollten jedoch Materialien wie Stroh, Heu oder Wühlerde im besten Fall am Boden angeboten werden. Auch Auffangschalen oder Tröge unter Raufen und Raufutterautomaten können diesen Zweck erfüllen. Alle Beschäftigungsmaterialien sollten auf jeden Fall bodennah angeboten werden, damit Schweine diese in einer natürlichen Körperhaltung erreichen können.

Werden Materialien wie Heu oder Stroh in Haltungssystemen mit Spaltenböden angeboten, können diese in die Güllekanäle gelangen und zu Verstopfungen führen. Im Rahmen des Projektes Label-Fit entwickelte Bastian Kolb (Universität Hohenheim) mögliche Methoden, um dieses Problem zu umgehen. Das Hauptproblem beim Einsatz von Heu und Stroh in Spalten-systemen ist die auf der Gülle entstehende Schwimmschicht. Beim Ablassen der Gülle führt diese Schwimmschicht zu Verstopfungen. Eine Möglichkeit die Verstopfung zu verhindern wäre es, die Schwimmschicht beim Ablassen der Gülle zu zerkleinern und unter die Gülle zu mischen. Hierfür wurden verschiedene mobile Module entwickelt, welche in den Güllekanal eingesetzt werden können und die Schwimmschicht auf verschiedene Weisen zerkleinern und untermischen [21].

Beschäftigungsmaterial in bestehenden Haltungssystemen mit Vollspalten zu integrieren erweist sich noch als schwierig. In Systemen mit Teilspaltenböden können Automaten und Raufen über der Festfläche angebracht werden, wodurch herunterfallendes Material weiterhin von den Schweinen genutzt werden kann. Für Neu- oder Umbauten empfiehlt sich in Hinblick auf den Einsatz von organischem Beschäftigungsmaterial und das Tierwohl auf Vollspalten-systeme zu verzichten oder eine Entmistung mit Unterflurschiebern unter den Spalten zu planen sowie Festflächen einzuplanen und diese im besten Fall einzustreuen.

Wie die Bucht besser strukturieren und eine Festfläche integrieren?

Trotz der steigenden Anzahl an Haltungssystemen mit Vollspaltenböden scheint sich die Zukunft der Schweinehaltung hin zu Systemen mit Teilspaltenböden oder ganz ohne Spalten zu entwickeln. Die meisten Tierwohllabel fordern Liegeflächen ohne Perforation und teilweise mit Einstreu und auch die gesetzlichen Haltungsanforderungen werden immer höher gesetzt. Systeme mit Festflächen stellen sich jedoch vor allem in Warmställen als noch nicht funktions-sicher heraus. Bei warmen Temperaturen kommt es zu Verschmutzung der Liegefläche mit Kot und Harn und somit erhöhten Schadgaskonzentrationen und verringertem Tierwohl [22; 23]. Um dies zu verhindern, müssen Buchten besser strukturiert und die einzelnen Funktions-bereiche an die Bedürfnisse der Tiere angepasst werden. Im DLG Merkblatt „Strukturierung von Buchten in Ferkelaufzucht und Schweinemast“ [24] werden Vorschläge für eine bessere Strukturierung von Buchten gemacht und Beispiele von neu strukturierten Buchten aus der Praxis gezeigt.

Um den Liegebereich an die Bedürfnisse der Tiere anzupassen, sollte dieser komfortabel, ruhig, frei von Zugluft, dunkler und an die Temperaturbedürfnisse der Tiere angepasst gestaltet werden. Daher sollte im Liegebereich keine Fütterung, Tränke oder Beschäftigungsmaterial angeordnet sein. Vor dem Umbau sollte, wenn möglich, festgestellt werden, wo Luft in Form von Zugluft in das Abteil gelangt, um diese zu vermeiden oder zu nutzen. Zugluft im Kotbereich senkt die Wahrscheinlichkeit, dass dieser zum Liegen genutzt wird und unterstützt so die Einhaltung der vorgegebenen Funktionsbereiche. Zudem konnte festgestellt werden, dass ein dunklerer Liegebereich zu einer besseren Akzeptanz und geringeren Verschmutzung führen kann. [23 - 27]

Dies ermöglicht auch die neue Regelung in der TierSchNutzTV, wonach in deutlich abgegrenzten Liegebereichen eine Lichtstärke von 40 lux anstatt der bisherigen 80 lux ausreicht [5; 6]. Einen solchen abgedunkelten Bereich kann man durch eine gezielte Beleuchtung erreichen oder indem man den Liegebereich z. B. durch eine Abdeckung abdunkelt. Gerade für Aufzuchtferkel, die einen höheren Wärmebedarf haben, kann ein abgedeckter Liegebereich auch als Mikroklima dienen. Bei Mastschweinen hingegen sollte darauf geachtet werden, dass die Abdeckung hochklappbar ist, um zu hohe Temperaturen zu vermeiden [26; 28]. Nutzt man eine Abdeckung über der Liegefläche, kann man durch eine Senkung der Raumtemperatur die Akzeptanz des Liegebereichs noch weiter steigern und Heizkosten reduzieren. Anstatt oder zusätzlich zu einer Abdeckung können die Bereiche außerhalb der Liegefläche auch gezielt beleuchtet werden, um eine klarere Struktur zu schaffen (**Bild 2**).

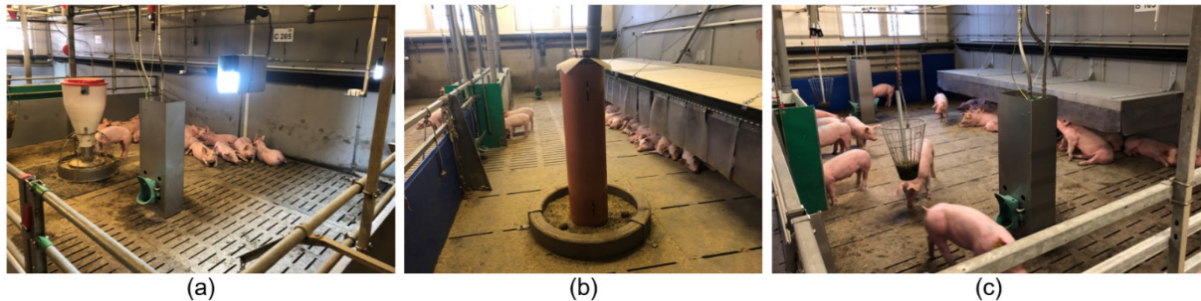


Bild 2: (a) Beispiel für einen beleuchteten Kotbereich [23]; (b) Beispiel für eine Aufzuchtbuch mit Abdeckung über dem Liegebereich [28]; (c) Beispiel für eine Mastbuch mit Abdeckung über einem Teil der Liegefläche [26]

Figure 2: (a) Example of increased light intensity in an elimination area [28]; (b) example of a rearing pen with cover over lying area [28]; (c) example of a fattening pen with cover over a part of the lying area [26]

Ein weiteres mögliches Strukturelement in der Schweinehaltung bieten erhöhte Ebenen. Nach der Novelle der TierSchNutzTV dürfen diese jedoch nicht zur Grundfläche gerechnet werden [6], da eine Untersuchung des Friedrich-Löffler-Instituts (FLI) [29] zeigte, dass sie nicht von allen Tieren genutzt werden. Vor allem mit steigendem Alter und Gewicht der Tiere wird eine erhöhte Ebene von immer weniger Schweinen aufgesucht. Daher dürfen Elemente zur Grundversorgung mit Wasser, Futter und organischem Beschäftigungsmaterial nicht auf den erhöhten Ebenen angebracht werden. In Bezug auf die Tierwohllabel bleibt es den Labeln

überlassen, ob sie eine Anrechnung der erhöhten Ebenen zur Grundfläche zulassen. Durch den Einsatz von erhöhten Ebenen kann den Schweinen ermöglicht werden, einzelne Aktivitäten an verschiedenen Orten innerhalb einer Bucht auszuüben. Je nach Gestaltung kann der Bereich auf der Ebene als Liege- oder Aktivitätsbereich genutzt werden. Gestaltet man die Ebene so, dass die Tiere auch die Fläche darunter nutzen können, hat man gleichzeitig einen abgedunkelten Rückzugsort geschaffen. Die erhöhte Ebene sollte keine Perforation aufweisen, damit darunter liegende Tiere nicht von durchgetretenen Exkrementen verschmutzt werden. Bei der Gestaltung der erhöhte Ebene sollte darauf geachtet werden, dass die Tiere nicht herunterfallen können und auf der Ebene sowie Rampe problemlos aneinander vorbei kommen [29].

Wie die Wärmebelastung der Tiere verringern?

Laut Novelle der TierSchNutzV müssen in schweinehaltenden Betrieben Einrichtungen zur Verringerung der Wärmebelastung der Tiere vorhanden sein. Hierbei gibt es Systeme, die die Temperatur der Raumluft senken (z. B. Kühlpad, Vernebelungsanlagen) und so indirekt auf das Tier wirken, oder Systeme, die direkt auf das Tier wirken (z. B. Bodenkühlung, Duschen, Suhlen) [5; 6].

In verschiedenen Untersuchungen zeigte sich, dass die Raumluft mit einem Kühlpad um 4,9-7 K, durch eine Unterflurzuluft um 3,4-5,4 K und durch eine Hochdruckvernebelung um bis zu 3,2 K abgesenkt werden kann [30; 31]. Jedoch erhöhen auf Wasser basierte Kühlungssysteme häufig die relative Luftfeuchtigkeit im Stall, dies kann in Kombination mit erhöhten Temperaturen den Hitzestress erhöhen [31]. Der Vorteil dieser Systeme ist, dass sie auf alle Tiere gleichermaßen wirken und im Fall eines Kühlpads oder einer Hochdruckvernebelung können sie auch in bestehenden Haltungssystemen nachgerüstet werden. Diese Kühlsysteme sind jedoch am effizientesten in geschlossenen Räumen und daher für Außenklimaställe wenig geeignet.

In Außenklimaställen sind Systeme, die direkt auf das Tier wirken, besser geeignet. Eine einfach nachrüstbare Möglichkeit wäre der Einsatz einer Dusche im Stall oder im Auslauf. Wird diese über einer Festfläche installiert, können sich die Schweine zudem in der entstehenden nassen Fläche suhlen. Je nach technischer Umsetzung der Dusche kann diese, ähnlich wie eine Hochdruckvernebelung, die Raumtemperatur senken. In Haltungssystemen mit Teilspaltenböden kann eine Dusche im Spaltenbereich dazu führen, dass die Liegefläche weniger verschmutzt wird und dadurch die Ammoniakemissionen reduziert werden. Jedoch kann der Einsatz einer Dusche die relative Luftfeuchtigkeit steigern, zu einer Verwässerung der Gülle führen und ist meistens nur von wenigen Tieren gleichzeitig nutzbar [32; 33].

Eine weitere Möglichkeit, die Wärmebelastung der Schweine zu senken, ist der Einsatz einer Bodenkühlung. Im Rahmen des Projektes „Schweinehaltung fit für das Tierschutz-Label: Integrierte Entwicklung von Haltungs- und Verfahrenstechnik zur Transformation konventioneller Ställe (Label-Fit)“ [34] wurde der Einfluss einer Bodenkühlung auf das Verhalten von Aufzuchtferkeln und Mastschweinen untersucht [22; 28]. In der Ferkelaufzucht führte die Kühlung dazu, dass gegen Ende der Aufzucht die Ferkel in Buchten mit Bodenkühlung enger

beieinander und insgesamt mehr auf der Liegefläche lagen. Jedoch muss die Bodenkühlung in der Ferkelaufzucht genau überwacht und eingestellt werden, da es für Ferkel schnell zu kalt werden kann, was zu einer Meidung der Festfläche führen kann. Bei Mastschweinen führte die Kühlung der Liegefläche dazu, dass auch bei hohen Temperaturen mehr Tiere auf der Liegefläche lagen. Zudem waren die Mastschweine teilweise weniger verschmutzt, was darauf schließen lässt, dass sie sich weniger gesuhlt haben, um ihre Körpertemperatur zu regulieren. Die gekühlte Liegefläche bestand in diesen Versuchen aus nicht perforierten Bodenelementen aus Beton, in welche Wasserleitungen eingegossen waren. Die Wasserleitungen der einzelnen Bodenelemente wurden miteinander verbunden. Mittels einer Wärmepumpe wurde die Liegefläche gekühlt und über die Rücklauftemperatur gesteuert. Durchschnittlich lag die Temperatur des Wassers, welches in den Boden in der Schweinemast geleitet wurde, bei 23,1 °C und führte zu einer Senkung der Oberflächentemperatur um 3,8 K im Vergleich zu den Buchten ohne Kühlung. Auch wenn eine Bodenkühlung je nach Haltungssystem schwierig nachzurüsten ist, ist sie eine gute Alternative zu anderen Kühlsystemen. Eine Bodenkühlung beeinflusst die Luftfeuchtigkeit nicht, ist für mehrere, im besten Fall alle Tiere gleichzeitig nutzbar und funktioniert in geschlossenen Ställen sowie Außenklimaställen. Zudem unterstützt eine Bodenkühlung das natürliche Thermoregulationsverhalten von Schweinen. Bei niedrigeren Temperaturen bietet sie zudem die Möglichkeit den Boden zu heizen, wodurch der restliche Stall weniger geheizt werden muss.

Zusammenfassung

Aufgrund der Novelle der TierSchNutzTV, der Forderungen des Lebensmitteleinzelhandels nach mehr Tierwohl sowie der Anforderungen der Label stehen Mast- und Aufzuchtbetriebe vor neuen Herausforderungen. Das Angebot von organischem Beschäftigungsmaterial, die Entwicklung weg von Vollspaltensystemen sowie die Vorgabe zur Reduktion der Wärmebelastung sind teilweise mit viel Aufwand und Kosten verbunden. Vor allem in Systemen mit Spalten führt der Einsatz von organischem Beschäftigungsmaterial wie Heu oder Stroh zu Problemen. Auch die Auswahl und abwechslungsreiche Gestaltung des Beschäftigungsmaterials kann aufwändig sein. In Buchten mit Teilspalten oder ohne Spalten entstehen vor allem in Warmställen und im Sommer Probleme aufgrund der Verschmutzung von Festflächen durch Kot und Harn. Hier können eine gezielte Beleuchtung oder Abdunkelung, die Schaffung von Mikroklimabereichen oder der Einsatz von erhöhten Ebenen helfen, die Bucht zu strukturieren. Zur Reduktion der Wärmebelastung gibt es verschiedene Möglichkeiten, welche die Raumlufttemperatur senken oder direkt auf das Tier wirken. Hier ist es wichtig eine zum Haltungssystem passende Maßnahme auszuwählen.

Weitere Ansatzpunkte und Planungsbeispiele für zukunftsfähige Ställe, sowie weitere Bewertungsansätze (z. B. Fütterung, ökonomische Betrachtungen) werden in den Gesamtbetrieblichen Haltungskonzepten Schwein der BLE aufgezeigt [27; 35].

Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt - Destatis: Land und Forstwirtschaft, Fischerei – Viehbestand - Vorbericht. URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Tiere-Tierische-Erzeugung/_inhalt.html#sprg239762, Zugriff am: 10.01.2022.
- [2] Statistisches Bundesamt - Destatis: Tierhaltung: Dominierende Haltungsformen gewinnen weiter an Bedeutung. URL: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/08/PD21_N051_41.html?nn=371820, Zugriff am: 11.01.2022.
- [3] N.N.: Nutztierstrategie – Zukunftsfähige Tierhaltung in Deutschland. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.), 2019, URL: <https://www.bmel.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Broschueren/Nutztierhaltungsstrategie.html>, Zugriff am: 25.02.2022.
- [4] N.N.: Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe – Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft. Zukunftskommission Landwirtschaft (Hrsg.), 2021, URL: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/zukunftskommission-landwirtschaft.html>, Zugriff am: 25.02.2022.
- [5] Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz sowie des Bundesamts für Justiz: Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung – TierSchNutzV (2021), S. 1-32.
- [6] N.N.: Ausführungshinweise zur TierSchNutzV : Abschnitt 5, Anforderungen an das Halten von Schweinen. 2021, URL: https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00067711, Zugriff am: 25.02.2022.
- [7] N.N.: Referentenentwurf - Entwurf einer Verordnung zur Verwendung des Tierwohlkennzeichens (Tierwohlkennzeichenverordnung-TierWKV). 2015, URL: <https://www.bmel.de/DE/themen/tiere/tierschutz/tierwohl-kennzeichen/tierwohlkennzeichen.html>, Zugriff am: 03.01.2022.
- [8] Deutscher Tierschutzbund e.V.: Mindestanforderungen Ferkelerzeugung und Ferkelaufzucht – Mindestanforderungen für die Haltung und Behandlung von Sauen, Saugferkeln und Absatzferkeln in Zukaufbetrieben des Tierschutzlabel-Systems. Version 2021, 2021, URL: <https://www.tierschutzlabel.info/richtlinien>, Zugriff am: 04.01.2022.
- [9] Deutscher Tierschutzbund e.V.: Richtlinie Mastschweine 2022 – Kriterienkatalog für die Haltung von Mastschweinen. 2022, 2022, URL: <https://www.tierschutzlabel.info/richtlinien>, Zugriff am: 04.01.2022.
- [10] N.N.: Handbuch Landwirtschaft Kriterienkatalog Schweinemast rev01 – Programm 2021-2023. 2020, URL: <https://initiative-tierwohl.de/tierhalter/downloads-ab-2021/>, Zugriff am: 04.01.2022.

- [11] Vier Pfoten: "Tierschutz-kontrolliert" - Gütesiegel - Richtlinien für die Haltung von Mastschweinen - "Silber"-Stufe – Version 3.6. 2019, URL: <https://www.tierschutz-kontrolliert.org/partner/mastschweine>, Zugriff am: 04.01.2022.
- [12] Vier Pfoten: "Tierschutz-kontrolliert" - Gütesiegel - Richtlinien für die Haltung von Mastschweinen - "Gold"-Stufe – Version 4.0. 2021, URL: <https://www.tierschutz-kontrolliert.org/partner/mastschweine>, Zugriff am: 04.01.2022.
- [13] Kauselmann, K.; Krause, E. T.; Glitz, B.; Gallmann, E.; Schrader, H.; Schrader, L.: Effect of plant-based enrichment materials on exploration in rearing and fattening pigs (*Sus scrofa domesticus*). *App. Anim. Behav. Sci.* 236 (2021), S. 105261.
- [14] Kauselmann, K.: Attraktives Beschäftigungsmaterial zur Reduktion von Schwanz- und Ohrschäden beim Schwein. Dissertation, Universität Hohenheim, 2021, URN: [urn:nbn:de:bsz:100-opus-19279](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:100-opus-19279).
- [15] Kauselmann, K.; Schrader, L.; Glitz, B.; Gallmann, E.; Schrader, H.; Krause, E. T.: Tasty straw pellets - Exploration of flavoured rooting material by pigs. *Animal* 15 (2021), S. 100239.
- [16] Kauselmann, K.; Schrader, L.; Glitz, B.; Gallmann, E.; Schrader, H.; Krause, E. T.: Turning the gaze to maize The effects of maize kernels in straw as enrichment on exploration in pigs. *Berl. Munch. Tierärztl. Wochenschr.* 2020 (2020).
- [17] Fritzsche, S.: Beschäftigungsmöglichkeiten für Schweine – KTBL Fachartikel. URL: <https://www.ktbl.de/themen/beschaefigungsmoeglichkeiten>, Zugriff am: 13.01.2022.
- [18] N.N.: Merkblatt Beschäftigungsmaterial für Schweine. URL: <https://www.landkreis-straubing-bogen.de/politik-verwaltung/organisation-landratsamt?Tierschutz&view=org&orgid=b4b2618c-ca93-44b8-8f6b-a77873c3af2f>.
- [19] Nehf, H.; Stalljohann, G.; Pohl, C.; Riewenherm, G.; Feller, B.; Kampf, D.: DLG-Merkblatt 463 - Fütterung und Tierwohl beim Schwein – Teil A: Futter, Fütterung und Faserstoffversorgung. 2021, URL: <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/tierhaltung/futter-und-fuetterung/dlg-merkblatt-463>, Zugriff am: 17.01.2022.
- [20] N.N.: Beschäftigungsmaterial für Schweine. URL: <https://www.laves.niedersachsen.de/startseite/tiere/tierschutz/tierhaltung/beschaefigungsmaterial-fuer-schweine-125541.html>, Zugriff am: 28.02.2022.
- [21] Kolb, B.; Tomalla, M.; Gallmann, E.: Erprobung alternativer Entmistungsmethoden für Schweineställe in einem neu entwickelten Versuchsstand für Flüssigmistsysteme. 24.-26. September, Bonn. In: 14. Tagung Bau Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, KTBL-Tagungsband, Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft 2019, ISBN: 9783945088692, S. 287-292.
- [22] Opderbeck, S.; Keßler, B.; Gordillo, W.; Schrader, H.; Piepho, H.-P.; Gallmann, E.: Influence of a cooled, solid lying area on the pen fouling and lying behavior of fattening pigs. *Agriculture* 10 (2020), S. 307.
-

- [23] Opderbeck, S.; Keßler, B.; Gordillo, W.; Schrader, H.; Piepho, H.-P.; Gallmann, E.: Influence of increased light intensity on the acceptance of a solid lying area and a slatted elimination area in fattening pigs. *Agriculture* 10 (2020), S. 56.
- [24] Becker, C.; Böck, N.; Drexler, 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.
- [25] Götz, S.; Raoult, C. M. C.; Reiter, K.; Wensch-Dorendorf, M.; Borell, E. von: Lying, Feeding and Activity Preference of Weaned Piglets for LED-Illuminated vs. Dark Pen Compartments. *Animals* 12 (2022) H. 2, S. 202.
- [26] Opderbeck, S.; Keßler, B.; Gordillo, W.; Schrader, H.; Gallmann, E.: Einfluss einer gekühlten oder beheizten Liegefläche auf das Liegeverhalten von Mastschweinen. 14. Mai, Online Veranstaltung. In: HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Hrsg.): Nutztierschutztagung 2020, 2020, ISBN: 902849-78-6.
- [27] 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.; Neser, S.; Paulke, T.; Preißinger, W.; Sandhäger, A.; Schrader, H.; Zacharias, T.: Gesamtbetriebliches Haltungskonzept Schwein – Mastschweine. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.), 2019, URL: <https://www.ble-medienervice.de/1007/gesamtbetriebliches-haltungskonzept-schwein-mastschweine>, Zugriff am: 28.02.2022.
- [28] Opderbeck, S.; Keßler, B.; Gordillo, W.; Schrader, H.; Piepho, H.-P.; Gallmann, E.: Influence of cooling and heating systems on pen fouling, lying behavior, and performance of rearing piglets. *Agriculture* 11 (2021), S. 324.
- [29] Krause, E. T.; Schrader, L.; Dippel, S.: Erhöhte Ebenen in der Haltung von Aufzuchtferkeln und Mastschweinen. Friedrich-Loeffler-Institut, Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit (Hrsg.), 2016, URL: <https://www.fli.de/de/aktuelles/kurznachrichten/neues-einzelansicht/erhoehte-ebenen-in-der-haltung-von-aufzuchtferkeln-und-mastschweinen/>, Zugriff am: 19.01.2022.
- [30] Pertagnol, J.: Untersuchung zu verschiedenen Zuluffführungs- und Kühlmöglichkeiten in Mastschweinställen. Dissertation, Universität Hohenheim, 2014, URN: urn:nbn:de:bsz:100-opus-9334.
- [31] Threm, J.; Pflanz, W.: Vergleichende Untersuchungen zur Zuluffführung in Schweineställen im Hinblick auf Energieeffizienz, Emissionsgeschehen, Tierwohlbefinden und Wirtschaftlichkeit – Artikelserie Teil 2: Einfluss der Kühlung auf das Stallklima. URL: <https://lsz.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Wissen/Stallklima?SORTK=Seiten-%2FObjekt-Name&REVERSEK=false>, Zugriff am: 20.01.2022.
- [32] Mösenbacher-Molterer, I.; Zentner, E.; Gasteiner, J.; Eingang, D.; Bachler, C.; Zainer, J. (Hrsg.): Einsatz einer Schweinedusche in Hinblick auf stallklimatische Veränderungen, Wasserverbrauch und Leistung von Mastschweinen. Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2007, May 23-24, 2007, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 2007, DOI: 10.1515/9783110924992-003.
-

- [33] Jeppsson, K.-H.; Olsson, A.; Nasirahmadi, A.: Cooling growing/finishing pigs with showers in the slatted area: Effect on animal occupation area, pen fouling and ammonia emission. *Livest. Sci.* 243 (2021), S. 104377.
- [34] N.N.: Projekte in den Förderprogrammen des BMEL, betreut durch den Projektträger BLE (ptble). URL: https://service.ble.de/ptdb/index2.php?detail_id=229291&site_key=141&sLfd=abgeschlossen&lbm=1&lbj=2017&lem=7&lej=2020&stichw=schwein&zeilenzahl_zaehler=164&NextRow=140#newContent, Zugriff am: 28.02.2022.
- [35] Bauer, T.; Böhmfeld, J.; Feller, B.; Formowitz, B.; Franke, G.; Fritzsche, S.; Grimm, E.; Häuser, S.; Jais, C.; Janssen, H.; Lösel, D.; Meyer, C.; Meyer, E.; Meyer-Hammer, S.; Naser, S.; Paulke, T.; Peperkorn, K.; Preißinger, W.; Sandhäger, A.; Scholz, A.; Schrade, H.; Weber, M.; Zacharias, T.: Gesamtbetriebliches Haltungskonzept Schwein – Sauen und Ferkel. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.), 2021.

Autorendaten

M. Sc. Svenja Opderbeck ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Hohenheim im Fachgebiet Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 01.04.2022

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Opderbeck, Svenja: Technik in der Schweinehaltung. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2021*. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-11

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202031005-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/schweinehaltung.html>

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

Ammoniak-Emissionen mindern und mehr Tierwohl in der Schweinehaltung erreichen

Jochen Hahne

Kurzfassung

Während bei der Fütterung, Lagerung und Ausbringung in den letzten Jahren erhebliche Emissionsminderungen erreicht worden sind, sind die Schweineställe selbst noch relevante Emissionsquellen. Der Umbau der Schweinehaltung soll zu einer tiergerechteren Haltung mit deutlich mehr Platz und Außenkontaktkontakt für die Tiere führen. Hierdurch wird eine Reduzierung des Tierbestandes erforderlich werden, was wiederum zur Emissionsminderung beiträgt. Viele Forschungsarbeiten konzentrieren sich daher auf stallinterne Maßnahmen zur Emissionsminderung und die Gewinnung von Emissionsfaktoren, die für die Genehmigung von Stallanlagen sehr wichtig sind. Aktuelle Forschungsarbeiten zur Abluftreinigung bestätigen neben hohen Reinigungsleistungen, dass diese Technik vor allem bei größeren, zwangsbelüfteten Tierhaltungen eine wirksame Emissionsminderung bietet.

Schlüsselwörter

Schweinehaltung, Ammoniak, Emissionsminderung, Außenklimastall, Abluftreinigung

Reducing ammonia emissions and increasing animal welfare in pig keeping

Jochen Hahne

Abstract

While considerable emission reductions in pig keeping have been achieved in nutrient adjusted feeding, manure storage and disposal in recent years, pig stables are still relevant emission sources. The reconstruction of pig stables should contribute to more animal welfare which provides animals with more space and outdoor climate contact. A livestock reduction is required through this which again contributes to an emission reduction. Therefore, numerous research activities concentrate on indoor stable measures to reduce ammonia emissions and to generate emission factors which are important for the approval of new livestock buildings. Besides high efficiencies actual research on exhaust air treatment systems show that this technique is well suited for bigger and forced ventilated pig stables.

Keywords

pig keeping, pig farming, ammonia, emission reduction, exhaust air cleaning

Ziele der Bundesregierung für eine zukunftsfähige Tierhaltung

Zur kontinuierlichen Verbesserung der Tierhaltung in Deutschland hat das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) eine Nutztierstrategie erarbeitet [1]. Ziel der Nutztierstrategie ist es, das Tierwohl in der Nutztierhaltung deutlich zu verbessern und negative Umweltwirkungen zu minimieren. Um diese Ziele zu erreichen, hat das BMEL das Bundesprogramm Nutztierhaltung aufgelegt [2], in dem Forschungsarbeiten zur Verbesserung des Tierwohls und zur Minderung von Umweltauswirkungen gebündelt werden. Das Bundesprogramm gliedert sich in insgesamt sieben Module mit den Schwerpunkten Tierwohl-Monitoring, praxisnahe Forschung und Auswertung laufender Projekte, Innovationsnetz „Stall der Zukunft“, Wissenstransfer und Umsetzung praxistauglicher Erkenntnisse in die breite Landwirtschaft, Information und Kommunikation, Automatisierung und Digitalisierung sowie einer Wissensplattform. Einen aktuellen Überblick über die Fülle geförderter Forschungsprojekte liefert das Bundesinformationszentrum Landwirtschaft [3]. Ziel eines Projektes (NaTiMon) ist es beispielsweise, Grundlagen für ein regelmäßiges, indikatorgestütztes Monitoring und eine Berichterstattung über den aktuellen Status des Tierwohls und dessen Veränderung über die Zeit zu erarbeiten. Im Rahmen des Bundeswettbewerbs „Landwirtschaftliches Bauen“ werden zukunftsfähige Stallbaulösungen gefördert, die den Ansprüchen an eine tiergerechte Haltung bei minimalen Umweltauswirkungen und einer hohen Verbrauchertransparenz gerecht werden.

Tierwohlkennzeichen und Haltungsformen

Ein staatliches Tierwohlkennzeichen für Schweine, das eine Fülle von Kriterien umfasst (u.a. Platzansprüche, Beschäftigungsmaterial, Buchtenstrukturierung, Eigenkontrolle mit Stallklima- und Tränkwasser-Check) befindet sich in der Vorbereitung [4]. Eine Grundlage für das staatliche Tierwohl sind Kriterien der Branchen-Initiative Tierwohl, die über die aktuell geltenden gesetzlichen Standards hinausgehen [5]. Tierhalter, die an der Initiative Tierwohl teilnehmen, müssen bestimmte Tierwohlkriterien erfüllen, die für die Schweine- und Geflügelhaltung in Abhängigkeit von der Anzahl der gehaltenen Tiere entwickelt wurden. Für die freiwillig umgesetzten Maßnahmen erhält der Tierhalter dann ein Tierwohlentgelt, um den Aufwand bei der Umsetzung der Kriterien auszugleichen. Generelle Voraussetzung für die Tierhalter ist allerdings die Teilnahme am Qualitätssicherungssystem QS mit seinen Anforderungen an Herstellungs- und Vermarktungskriterien entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Einen anderen Weg verfolgen viele Lebensmitteleinzelhändler mit einer transparenten Darstellung von vier Haltungsformen „Stallhaltung“ (Haltungsform 1), „Stallhaltung Plus“ (Haltungsform 2), „Außenklima“ (Haltungsform 3) und „Premium“ (Haltungsform 4) [6]. Die Kriterien und Mindestanforderungen der jeweiligen Haltungsformen sind für Schweine, Hähnchen, Puten, Jungbullen / Ochsen, Färsen und Mastkälber, Milchkühe, Pekingenten und Kaninchen vergleichend und gut verständlich beschrieben [7]. Beispielsweise steigt die Mindestanforderung je Tier in der Schweinemast von 0,75 m² (Haltungsform 1) über 0,825 m² (Haltungsform 2) auf 1,05 m² (Haltungsform 3) bis hin zu 1,5 m² (Haltungsform 4). Die Haltungsform 3 muss Außenklimareize bieten (mindestens Offenfrontstall) und die Haltungsform 4 muss ständigen Auslauf ermöglichen oder eine Freilandhaltung sein. Vertiefende Informationen zu Offenfrontställen zu Bau-

weise, Betriebsergebnissen, Vor- und Nachteilen sowie genehmigungsrechtlichen Fragen finden sich in der Literatur [8; 9]. Zur Förderung von Tierwohlställen wurden Förderprogramme aufgelegt [10]. Ein Forschungsprojekt zur Beurteilung von Immissionsschutzanforderungen bei der Errichtung von Tierwohlställen mit dem Schwerpunkt Schweinehaltung läuft aktuell in Bayern [11].

Wie groß die Aufgabe in Hinblick auf den Umbau der Schweinehaltung zu Tierwohlställen in Deutschland ist, können die nachfolgenden Zahlen verdeutlichen. Die Tönnies-Gruppe ist der größte Schweineschlachter Deutschlands mit 16,3 Millionen Schlachtungen im Jahr 2020 [12]. Nach Firmenangaben entfallen aktuell 78 % der Schlachtungen auf die Haltungsform 1 (Stallhaltung), 20 % auf die Haltungsform 2 (Stallhaltung Plus), 0,5 % auf die Haltungsform 3 (Außenklima) und 1,5 % auf die Haltungsform 4 (Premium) [13].

Emissionen aus der Schweinehaltung und deren Minderung

Nach der Emissionsberichterstattung entfallen 70 % der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen auf die Tierhaltung, wobei hiervon 43 % aus der Rinder-, 19 % aus der Schweine- und 8 % aus der Geflügelhaltung stammen. In der Schweinehaltung stammt der Großteil der Emissionen direkt aus den Ställen, während bei der Rinder- und Geflügelhaltung Lagerungs- und Ausbringungsverluste überwiegen [14]. Darüber hinaus fallen weitere Ammoniakverluste bei der Ausbringung von Gärresten an. Da die Vergärung von Wirtschaftsdüngern aber im erheblichen Umfang zur Einsparung fossiler Energieträger und auch zur Minderung von Methanemissionen bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern beitragen kann [15], dürfte die Vergärung von Wirtschaftsdüngern zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen. Aufgrund des höheren pH-Wertes und einer weitgehenden Mineralisierung organischer Stickstoffverbindungen (N) zu Ammonium in vergorener Gülle können bei der Lagerung und Ausbringung aber erhöhte Ammoniakemissionen auftreten [16; 17].

Das wirksamste Mittel zur Reduzierung der Ammoniakemissionen aus der Schweinehaltung ist die Reduzierung der Tierbestände. Bundesweit sind die Schweinebestände kontinuierlich von 28,1 Mio. Tiere im Jahr 2015 auf 24,7 Mio. Tiere im Jahr 2021 gefallen [18]. Die Zahl der Schweinehalter ist von 60.100 (2010) auf 31.900 (2020) gesunken. Allerdings haben sich mit dieser Entwicklung auch deutliche Veränderungen in den Bestandsgrößenklassen ergeben. Während im Jahr 2010 rund 17,5 Mio. Schweine in Beständen mit mehr als 1.000 Tieren gehalten wurden, waren es im Jahr 2020 bereits 20,6 Mio. Tiere. Für diese Entwicklung gibt es viele Gründe, wie der in Deutschland sinkende Pro-Kopf-Verzehr von Schweinefleisch sowie sinkende Erlöserpreise [19], altersbedingte Betriebsaufgaben, aber sicher auch die steigenden Anforderungen an die Tierhaltung z.B. durch die Initiative Tierwohl oder den Lebensmittel-Einzelhandel mit wachsenden Platzvorgaben, die bei den vorhandenen Stallanlagen zwangsläufig zur Verringerung des Tierbestandes führen müssen.

Ein weiteres sehr wirksames Instrument ist die Verbesserung der bedarfsgerechten Fütterung verbunden mit einer Anpassung des Stickstoffanteils in den Futtermitteln, passend zum Bedarf der Tiere [20; 21]. Beispielsweise kann die mittlere N-Ausscheidung von Mastschweinen bei

einer vergleichbaren Tageszunahme von 850 g/Tier von 12,2 kg N je Tierplatz und Jahr (Standardfutter) über 11,7 (N-reduziertes Futter) auf 10,6 kg N je Tierplatz und Jahr (stark N-reduziertes Futter) reduziert werden [22]. Dies würde einer N-Minderung von 13,1 % entsprechen. Mit der Umsetzung der neuen Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft werden für die Mastschweinehaltung Minderungen der N-Emissionen durch verbesserte Fütterung in Höhe von 20 % für genehmigungspflichtige Schweinehaltungs-Anlagen gefordert [23].

Die Abdeckung von Lagerbehältern trägt vor allem zur Minderung von Geruchs- und Ammoniakemissionen bei. Eine umfassende Literaturlauswertung über die Verluste an Ammoniak und klimarelevanten Gasen bei der offenen und abgedeckten Lagerung sowohl für unbehandelte als auch behandelte Gülle liefern Kupper et al. [24]. Ein zusätzliches Minderungspotenzial kann sich ergeben, wenn durch tragfähige verfahrens- und sicherheitstechnische Lösungen sogar eine gasdichte Lagerung mit entsprechender Verwertung der freigesetzten Gase ermöglicht werden kann. Alternativ würde auch eine verstärkte Güllevergärung zur Reduzierung klimarelevanter Emissionen bei der anschließenden Lagerung beitragen können [25]. Die TA Luft [23] fordert für genehmigungspflichtige Lagerstätten Abdeckungen, die eine Minderung von NH₃- und Geruchsemissionen von mindestens 90 % gegenüber nicht abgedeckten Lagerstätten erreicht. Nach Angaben des Bauernverbandes [19], die auf den Zahlen des Statistischen Bundesamtes basieren, waren von insgesamt 101.770 Lagerstätten für Wirtschaftsdünger im Jahr 2020 nur 15 % ohne Abdeckung, während 47,5 % der Lagerstätten eine feste Abdeckung aufwiesen, 33 % mit einer natürlichen Schwimmdecke und 4,5 % mit einer Folienabdeckung ausgestattet waren. Natürliche Schwimmdecken sind bei feststoffreichen Gülle, insbesondere im Rinderbereich, weit verbreitet. Im Vergleich zu den festen Abdeckungen sind diese aber weniger wirksam und werden durch das erforderliche Homogenisieren vor der Ausbringung auch wiederkehrend zerstört. Anhand dieser Zahlen wird deutlich, dass es hier in Hinblick auf die Emissionsminderung noch relevante Potenziale zu nutzen gibt.

Eine weitere, sehr wirksame Maßnahme zur Emissionsminderung sind emissionsarme Ausbringungstechniken für flüssige Wirtschaftsdünger. Nach Angaben des Deutschen Bauernverbandes [19], die auf Angaben des Statistischen Bundesamtes basieren, wurden im Jahr 2010 69,5 % der flüssigen Wirtschaftsdünger (insgesamt 190,9 Mio. m³) mit Breitverteilern ausgebracht, die zu hohen Emissionen beitragen. Im Jahr 2020 wurden nur geringfügig kleinere Mengen an flüssigen Wirtschaftsdüngern landwirtschaftlich verwertet (187,8 Mio. m³). Allerdings ist der Anteil der Breitverteiler bei der Gülleausbringung auf nur noch 35 % gefallen. Die Breitverteilung ist im Grünlandbereich noch bedeutsam, da viele emissionsarme Ausbringungstechniken auf Grünland nicht oder nur mit hohem energetischem Aufwand (Injektionstechniken, Schlitztechniken) anwendbar sind. Für die Ausbringung von Gülle auf Grünland bieten sich die Verdünnung mit Wasser (1:1) und die Ansäuerung der Gülle unmittelbar vor der Ausbringung an [22]. Als besonders wirksam in Hinblick auf die Emissionsminderung ist die schnelle Einarbeitung der Wirtschaftsdünger auf unbestellten Ackerflächen zu bewerten. Während im Jahr 2010 lediglich 35,4 % der flüssigen Wirtschaftsdünger unmittelbar oder innerhalb einer Stunde eingearbeitet wurden, erhöhte sich dieser Anteil im Jahr 2020 auf 86,5 % [19].

Eine relevante Quelle für Geruchs-, Ammoniak- und Staubemissionen sind die Schweineställe selbst. Während für zwangsbelüftete Tierhaltungen eine Fülle von Emissionsfaktoren dokumentiert und für Genehmigungsverfahren anwendbar sind [26], bestehen für die tiergerechten Ställe noch erhebliche Erkenntnislücken hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens. Bei der Genehmigung von Stallanlagen muss aber sichergestellt sein, dass Anwohner vor Geruchsbelästigungen und Gesundheitsgefahren geschützt und übermäßige Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme wie Wälder oder Flora-Fauna-Habitate (FFH-Gebiete) vermieden werden. Hinsichtlich dieser Anforderungen gibt es keine Bevorzugung bei der Genehmigung tiergerechter Ställe [28]. Weil tiergerechte Ställe mit freier Lüftung und Auslauf nach dem aktuellen Kenntnisstand höhere Emissionen verursachen [27], sind sie daher oft schwieriger zu genehmigen als zwangsbelüftete Ställe, bei denen die Abluft über hohe Kamine in der Atmosphäre stärker verdünnt wird. Beispielsweise führt der Auslauf bei der Schweinehaltung nach Experteneinschätzung zu einer Erhöhung des Ammoniak-Emissionsfaktors um 30 % gegenüber der Haltung ohne Auslauf [26]. Bei frei belüfteten Ställen mit Auslauf treten die Immissionen vor allem im Nahbereich verstärkt auf. Um dennoch zu einer Genehmigung zu kommen, muss daher im Regelfall der Tierbestand gegenüber zwangsbelüfteten Varianten reduziert werden. Hinsichtlich den Geruchsemissionen wird aktuell davon ausgegangen, dass diese bei Schweinehaltungen mit Auslauf um 30 % über dem Emissionswert von Haltungen ohne Auslauf liegen. Durch eine Überdachung sinkt dieser Anteil auf 20 % [27]. Diese erhöhten Emissionen an Gerüchen und Ammoniak werden verständlich, wenn man sich vor Augen führt, dass die Ausläufe auch dem Ziel dienen, den Tieren das Koten und Harnen im Auslauf zu ermöglichen und damit die Liegeflächen im Stallinneren sauber halten zu können [22].

Dass die Abluftreinigung ein sehr wirksames Mittel zur Minderung von Ammoniak-, Geruchs- und Staubemissionen aus Tierställen ist, zeigt nicht nur die Fülle der inzwischen eignungsgeprüften Abluftreinigungsverfahren [29]. Auch aktuelle Untersuchungen in Österreich an drei Abluftreinigungsanlagen für die Schweinemast ergaben für alle getesteten Systeme (Chemowäscher plus Biostufe, Rieselbettreaktor und Biofilter mit anerkannter N-Abscheidung) eine „sehr gute Ammoniak- und Geruchsabscheidung“ [30]. Als Abscheidegrad für Ammoniak werden 81-93 % angegeben und für Geruch-Abscheidegrade von 80-93 %. Die Autoren kommen bei ihren Untersuchungen zu Gesamtkosten von 20-40 € pro Tierplatz und Jahr für Anlagen von ca. 500 Mastschweinen, bei noch kleineren Anlagen sogar auf Kosten von bis zu 80 €. Dementsprechend sehen die Autoren die Ammoniakreduktion mit Abluftreinigungsanlagen für kleinere Tierhaltungsanlagen nicht als kosteneffiziente Maßnahme an. Weil für kleinere Tierhaltungen die Abluftreinigung nicht wirtschaftlich zu betreiben ist, ist diese u.a. für Neuanlagen in Deutschland auch erst ab einer Bestandsgröße von mehr als 2.000 Mastschweinen zukünftig vorgeschrieben [23]. Für Anlagen ab 1.500 Mastschweinen und darüber kann sie im Teilstromreinigungsverfahren oder im Vollstromreinigungsverfahren nachgerüstet werden, wenn die Nachrüstung wirtschaftlich verhältnismäßig ist [23]. Die **Tabelle 1** verdeutlicht anhand eigener Auswertungen, wie deutlich beispielsweise der spezifische Stromverbrauch je Tierplatz und Jahr mit der Anzahl der gehaltenen Tiere – also der Anlagengröße – bei biologisch arbeitenden Rieselbettfiltern sinkt. Insofern ist es außerordentlich wichtig, bei Berechnungen von Gesamt- und Betriebskosten immer die zugrunde liegende Anlagengröße anzugeben. Bei den

Untersuchungen in Österreich lag die Anzahl der Mastschweine, an die die Abluftreinigungsanlagen angeschlossen waren, bei lediglich 138 Mastschweinen.

Tabelle 1: Einfluss der Größe der Schweinehaltung auf den Energieverbrauch in kWh je Tierplatz und Jahr für die Abluftreinigung des gesamten Abluftvolumenstromes mit biologisch arbeitenden Rieseltbettfiltern

Table 1: Influence of pig keeping size on energy consumption in kWh per animal place and year for complete exhaust air treatment with biotrickling filters

	Minimum minimum	Maximum maximum	Mittelwert mean	SA* sd**	Median median	Anzahl number
Mastschweine fattening pigs						
297 - 999	10,1	55,0	28,2	11,3	28,6	28
1.000 - 1.499	10,7	37,2	18,1	6,8	15,8	42
1.500 - 1.999	9,0	27,6	15,7	4,4	14,9	29
> 2.000	8,5	26,9	15,0	5,2	13,7	13
Ferkel piglets						
1.000 - 1.499	3,8	15,0	8,4	3,9	7,7	5
1.500 - 1.999	5,8	7,2	6,5	0,6	6,6	4
Laktierende Sauen lactating sows						
99 – 112	85,1	153,3	106,0	32,0	92,7	4
340 - 732	26,7	41,2	34,0	10,3	34,0	2

*Standardabweichung; **standard deviation

Die Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute hat bereits vor Jahren Empfehlungen zum Einsatz der Abluftreinigung formuliert [31]. Zum Hintergrund dieser Empfehlungen wird beschrieben, dass mehr als 90 % der Ammoniakemissionen in der Schweiz aus der Landwirtschaft kommen und dass es angesichts des Zieles, die Ammoniakemissionen in der Schweiz zu halbieren, erheblichen Handlungsbedarf gibt. Ferner führe der Strukturwandel in der Schweiz auch zu immer größeren Anlagen. Hierauf aufbauend wird das Ziel formuliert, eine gezielte Rückhaltung der in der Abluft solcher Anlagen enthaltenen Stickstoffmengen anzustreben. Basierend auf diesen Empfehlungen hat das Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartement des Kantons Luzern aktuelle Hinweise zu Planung und Betrieb von Abluftreinigungsanlagen herausgegeben [32].

Tabelle 2: Überblick über verschiedene und mögliche Maßnahmen zur Minderung von NH₃-Emissionen aus Schweineställen

Table 2: Overview on different and possible measures to reduce ammonia emissions from pig stables

Maßnahme /measure	Ziele /objectives
Neubau von emissionsarmen Ställen (Außenklimaställe ohne Auslauf) / building of new low emission stables (outdoor climate stables without open area)	Mehr Tierwohl, geringere Emissionen durch geringere Temperaturen und Erreichung höherwertiger Haltungsformen / more animal welfare, lower emissions by lower temperatures and achieving of a superior form of animal keeping
Neubau von emissionsarmen Ställen (Außenklimaställe mit Auslauf) / building of new low emission stables (outdoor climate stables with open area)	Erhöhte Emissionen durch Ausläufe, Kompensation durch deutliche Bestandsabstockung, mehr Tierwohl, höherwertige Haltungsformen / increased emissions by open areas, compensation by significant reduction of livestock, more animal welfare, superior form of animal keeping
Umbau von Bestandanlagen mit Reduzierung der Tierbestände / reconstruction of existing stables with reduction of livestock	Verringerung von NH ₃ -Emissionen und der N-Ausscheidung, mehr Tierwohl, höherwertige Haltungsformen / reduction of NH ₃ emissions and N excretion, more animal welfare, superior form of animal keeping
Stallintegrierte Maßnahmen wie Güllekühlung, Kot-Harntrennung, Güllekanalverkleinerungen etc. / indoor housing measures as manure cooling, faeces and urine separation, manure channel downsizing et al.	Verringerung von NH ₃ -Emissionen möglichst ohne Bestandsabstockung / reduction of NH ₃ emissions preferably without livestock reduction
Schnelle und regelmäßige Gülleabfuhr und Entmistung / rapid and regular manure and dung removal	Verringerung von NH ₃ -Emissionen / reduction of NH ₃ emissions
Teilstrom – und Vollstromabluftreinigung /partial and total volume exhaust air cleaning	Verringerung von NH ₃ - und Geruchsemissionen / reduction of NH ₃ and odour emissions

Allerdings steht zur Minderung von Ammoniakemissionen aus Schweineställen auch eine Reihe baulicher und verfahrenstechnischer Möglichkeiten zur Verfügung, die in der Neufassung der TA Luft, Anhang 11, beschrieben und zugelassen sind [23]. Zu diesen gehören u.a. Maßnahmen zur Verringerung emittierender Oberflächen, Einbau von Unterflurschiebern zur regelmäßigen Kotabfuhr sowie Maßnahmen zur Güllekühlung und Ansäuerung, die mit Minderungspotenzialen von 50-75 % angegeben werden. Einzelne Techniken und deren Funktionsweise haben Christ et al. in übersichtlicher und verständlicher Form beschrieben [33]. Im Verbundvorhaben Emissionsminderung Nutztierhaltung (EmiMin) werden aktuell verfahrenstechnische Maßnahmen zur Emissionsminderung in der Schweinehaltung untersucht. Zu diesen Maßnahmen gehört u.a. der Einsatz von Urease-Inhibitoren zur Oberflächenbehandlung. Durch Aufbringen dieser Stoffe soll die Harnstoffhydrolyse und damit die Freisetzung von Ammoniak z.B. von Spaltenböden reduziert werden. Ferner werden in dem Projekt die Gülleküh-

lung, Güllekanalverkleinerungen sowie Verfahren zur Kot-Harntrennung untersucht und bewertet [34; 35]. Diese Untersuchungen mit Laufzeit bis zum 30.06.2023 werden zu einer besseren Bewertung der verfahrensintegrierten Maßnahmen zur Emissionsminderung in Deutschland beitragen können.

Einen Überblick über verschiedene mögliche NH₃-Minderungsmaßnahmen bei der Stallhaltung von Schweinen liefert **Tabelle 2**.

Zusammenfassung

Aktuell stammen ca. 19 % der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen aus der Schweinehaltung. Da konventionelle Schweinehaltungsverfahren in geschlossenen Tierställen neben relevanten Emissionen von vielen Menschen auch als nicht tiergerecht empfunden werden, ist die Forderung nach der Entwicklung von neuen oder veränderten und zugleich emissionsarmen Schweinehaltungsanlagen nachvollziehbar. Während viele Maßnahmen zur Minderung von Ammoniakemissionen aus der Schweinehaltung inzwischen einen recht hohen Umsetzungsgrad in der Praxis erreicht haben (nährstoffangepasste Fütterung, Lagerung von Wirtschaftsdünger in abgedeckten Lagerstätten, emissionsarme Ausbringung), ist die Entwicklung tiergerechter und zugleich emissionsarmer Schweineställe noch in vollem Gange. Tiergerechtere Schweineställe erfordern mehr Stallfläche je Tierplatz, was im Regelfall jedoch mit erhöhten tierplatzbezogenen Emissionen verbunden ist. Um diese Effekte zu kompensieren, muss der Tierbestand dementsprechend reduziert werden, um nach geltenden gesetzlichen Bestimmungen überhaupt genehmigungsfähig zu sein. Denn die Mindestabstände zu Wohnbebauung und empfindlichen Ökosystemen sind unabhängig von der Tierhaltungsform einzuhalten. Erschwerend kommt hinzu, dass bei tiergerechten Ställen mit Außenklima die Emissionen verstärkt im Nahbereich auftreten und dort entsprechend zu Konflikten führen können. Die laufende Abstockung der Schweinebestände, der vermehrte Einsatz von verfahrensintegrierten Maßnahmen, die Neuerrichtung emissionsarmer Ställe sowie die Abluftreinigung bei großen Schweinehaltungsanlagen werden zu einer weiteren, kontinuierlichen Minderung der Emissionen aus diesem Sektor beitragen.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Nutztierstrategie - Zukunftsfähige Tierhaltung in Deutschland. URL: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Nutztierhaltungsstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=6, Zugriff am 11.01.2022.
- [2] Bundesinformationszentrum Landwirtschaft: Nutztierstrategie. URL: <https://www.nutztierhaltung.de/nutztierstrategie/>, Zugriff am 09.02.2022.
- [3] Bundesinformationszentrum Landwirtschaft: Bundesprogramm Nutztierhaltung BUNTH. URL: <https://www.nutztierhaltung.de/nutztierstrategie/bundesprogramm/>, Zugriff am 11.01.2022.

- [4] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Staatliches Tierwohlkennzeichen für Schweine. URL: <https://www.bmel.de/DE/themen/tiere/tierschutz/tierwohl-kennzeichen/tierwohkkennzeichen.html>, Zugriff am 11.01.2022.
- [5] Initiative Tierwohl: Kriterien. URL: <https://initiative-tierwohl.de/tierhalter/kriterien/>, Zugriff am 11.01.2022.
- [6] Haltungsform.de (Hrsg.): Haltungsform: Informativ, transparent, bewusst. URL: <https://www.haltungsform.de/>, Zugriff am 11.01.2022.
- [7] Haltungsform.de (Hrsg.): Haltungsform: Informativ, transparent, bewusst - Kriterien und Mindestanforderungen für Tierwohlprogramme. URL: <https://www.haltungsform.de/kriterien-und-mindestanforderungen/>, Zugriff am 11.01.2022.
- [8] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: Schweinemast in zwei unterschiedlich gestalteten Offenfrontställen. URL: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_19788.pdf, Zugriff am 11.01.2022.
- [9] Verein zur Förderung der Offenstallhaltung von Schweinen E.V.: Das Schwein als Baumeister. URL: info@offenstall.com, Zugriff am 11.01.2022.
- [10] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Förderung für Tierwohlställe: Verlängerte Antragsfrist tritt in Kraft. URL: <https://www.bmel.de/Shared-Docs/Pressemitteilungen/DE/2021/062-Stallumbau.html>, Zugriff am 11.01.2022.
- [11] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Immissionsschutzanforderung bei der Errichtung von Tierwohlställen in Bayern – Schwerpunkt Schweinehaltung. URL: https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsschutz_tierwohlstaelle/index.htm, Zugriff am 11.01.2022.
- [12] Statista: Anzahl der Schlachtungen von Schweinen durch die Tönnies-Gruppe in den Jahren 2015 – 2020. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/827687/umfrage/schlachtungen-von-schweinen-der-toennies-gruppe/>, Zugriff am 11.01.2022.
- [13] Tönnies: Tierwohl in der Tierhaltung. Unsere Verantwortung gemeinsam mit den Erzeugern. URL: <https://www.toennies.de/verantwortung/nachhaltigkeitsthemen/tierwohl-in-der-tierhaltung/>, Zugriff am 11.01.2022.
- [14] Umweltbundesamt: Ammoniak, Geruch und Staub. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/ammoniak-geruch-staub#emissionen-der-landwirtschaft>, Zugriff am 11.01.2022.
- [15] Deutsches Biomasseforschungszentrum: Stand und Perspektiven der Biogaserzeugung aus Gülle. URL: https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Broschueren/Broschuere_Peggue.pdf, Zugriff am 11.01.2022.
- [16] Bayern Biogas Forum: Biogasgärreste. Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel. URL: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/leitfaden_2012-03_biogasforum.pdf, Zugriff am 11.01.2022.
- [17] DLG-Merkblatt 397: Gärreste im Ackerbau effizient nutzen. URL: https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_397.pdf, Zugriff am 11.01.2022.

- [18] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Visualisierte Auswertung der Schweinehaltung und Bestandsklassen. URL: <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/tierhaltung/schweinehaltung/>, Zugriff am 11.01.2022.
- [19] Deutscher Bauernverband: DBV-Situationsbericht 2021/2022. URL: <https://www.bauernverband.de/situationsbericht>, Zugriff am 11.01.2022.
- [20] DLG (2014): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeiten der DLG, Band 199, 2. Auflage, 120 Seiten, DLG-Verlag Frankfurt a.M.
- [21] DLG: DLG-Merkblatt 418: Leitfaden zur nachvollziehbaren Umsetzung stark N/P-reduzierter Fütterungsverfahren bei Schweinen. URL: https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_418.pdf, Zugriff am 11.01.2022.
- [22] Umweltbundesamt und Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.): Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft mindern. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2021_fb_ammoniakemissionen_in_landwirtschaft_mindern_final_bf.pdf, Zugriff am 11.01.2022.
- [23] N.N.: Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). URL: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Glaeserne_Gesetze/19_Lp/ta_luft_neu/Entwurf/ta_luft_neu_refe_bf.pdf, Zugriff am 11.01.2022.
- [24] Kupper, T; Häni, C.; Neftel, A.; Kincaid, C.; Bühler, M.; Amon, B.; VanderZaag, A.: Ammonia and greenhouse gas emissions from slurry storage – A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 300 (2020) 106963, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106963>, Zugriff am 11.01.2022.
- [25] KTBL (Hrsg.): Gasdichte Lagerung von Rinder- und Schweinegülle. URL: https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Artikel/Energie/Guelle/Gasdichte_Guellelagerung.pdf, Zugriff am 11.01.2022.
- [26] Landesamt für Umwelt Brandenburg (Hrsg.): Ammoniak-Emissionsfaktoren Tierhaltungsanlagen, Stand: November 2020. URL: <https://forst.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Ammoniakemissionsfaktoren-Tiere-Biogas-Wirtschaftsduenger.pdf>, Zugriff am 18.01.2022.
- [27] Landesamt für Umwelt Brandenburg (Hrsg.): Ammoniak-Emissionsfaktoren Tierhaltungsanlagen, Stand: November 2020. URL: <https://forst.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Geruchsemissionsfaktoren-Tiere-Biogas-Wirtschaftsduenger.pdf>, Zugriff am 18.01.2022.
- [28] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BMEL): Schweinemastställe der Zukunft: Mehr Platz und Wohlbefinden fürs Schwein. URL: <https://www.praxis-agrar.de/tier/schweine/schweinemaststaelle-der-zukunft/>, Zugriff am 11.01.2022.
- [29] Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG): Prüfberichte. <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/tests/suche-nach-pruefberichten/?unterkategorie=95&page=1&pruefgebiet=3>, Zugriff am 19.01.2022.

- [30] Kropsch, M.; Fritz, C.; Zehnter, E.: Untersuchung von drei Abluftreinigungsanlagen für die Schweinemast. URL: https://raumberg-gumpenstein.at/forschung/infotehek/downloads/download.html?path=Tagungen%252FBautagung%252FBautagung_2021%252F3n_2021_tagungsband%2Bgesamt.pdf, Zugriff am 19.01.2022.
- [31] Cercl'Air-Empfehlung Nr. 21-D: Abluftreinigung bei Tierhaltungsanlagen. URL: https://cerclair.ch/assets/pdf/21D_2011-05-19_D_Abluftreinigung_bei_Tierhaltungsanlagen.pdf, Zugriff am 24.02.2022.
- [32] Kanton Luzern (Hrsg.): Abluftreinigung in der Tierhaltung. URL: https://uwe.lu.ch/-/media/UWE/Dokumente/Themen/Luft/Abluftreinigung_in_der_Tierhaltung.pdf?la=de-CH, Zugriff am 24.01.2022.
- [33] Christ, F.; Dr. Wagner, K.; Zang, S.; KTBL e.V.: Schweinestall: Alternativen zur Abluftreinigung. URL: <https://www.wochenblatt-dlv.de/feld-stall/tierhaltung/schweinestall-alternativen-abluftreinigung-566696>, Zugriff am 19.01.2022.
- [34] KTBL (Hrsg.): Ermittlung von Emissionsdaten für die Beurteilung der Umweltwirkungen der Nutztierhaltung (EmiDat). URL: https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Tagungen-2018/EmiDaT-EmiMin.pdf, Zugriff am 24.01.2022.
- [35] KTBL (Hrsg.): Verbundvorhaben Emissionsminderung Nutztierhaltung (EmiMin). URL: <https://www.ktbl.de/themen/emimin/>, Zugriff am 24.01.2022.

Autorendaten

Dr. rer. nat. Jochen Hahne ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Thünen-Institut für Agrartechnologie in Braunschweig.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 27.02.2022

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Hahne, Jochen: Ammoniak-Emissionen mindern und mehr Tierwohl in der Schweinehaltung erreichen. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-11

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202031007-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/bioverfahrens-und-umwelttechnik.html>

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

Über die Entwicklung landtechnischer Lehrbücher in Deutschland

Klaus Krombholz

Kurzfassung

Ausgehend von der Überlegung, dass mit einem Lehrbuch der Entwicklungsstand des betreffenden Fachgebietes (Landmaschinen und die dazu gehörenden Kraftmaschinen/Traktoren) auf der Grundlage des aktuellen Bestandes mathematisch-naturwissenschaftlicher Theorien für die Vermittlung vor allem an Studierende aufbereitet wird, wurden einige ausgewählte Publikationen aus den vergangenen 200 Jahren betrachtet, die vorwiegend für die Ausbildung von Ingenieuren mit der Arbeitsrichtung der Erforschung, Entwicklung und Herstellung von Landmaschinen vorgesehen waren.

Schlüsselwörter

Landtechnik, Lehrbücher

About the development of agricultural engineering textbooks in Germany

Klaus Krombholz

Abstract

Based on the idea that the development status of the relevant subject area (agricultural machinery and the associated power machines/tractors) is prepared in a textbook on the basis of the current inventory of mathematical and scientific theories for teaching primarily to students, a few selected publications were examined from the past 200 years, which were primarily intended for the teaching of engineers with a focus on researching, developing and manufacturing agricultural machinery.

Keywords

Agricultural engineering, textbooks

Einleitung

Wenn in einem Lehrbuch der aktuelle Wissensstand eines Fachgebietes auf der Grundlage des Wissensstandes mathematisch-naturwissenschaftlicher Theorien für die Ausbildung aufbereitet wird und dazu Hinweise auf noch bestehende Wissenslücken und Entwicklungstendenzen gegeben werden, dann haben solche Publikationen in der Vergangenheit auch die Ingenieurausbildung von Landtechnikern wesentlich unterstützt. Da die Erarbeitung solcher Lehrbücher, vor allem auch aus der Sicht des Anspruches der ständigen Aktualität sehr aufwendig ist, haben sich in Deutschland auf diesem Gebiet vor allem Lehrer an den höheren Bildungseinrichtungen dieser Aufgabe gestellt. Da sich nur wenige Fachleute zu einer solchen Aufgabe entschließen konnten, ist die Zahl der Lehrbücher von deutschen Autoren überschaubar. Die vorhandenen Publikationen verdienen deshalb angemessene Beachtung und Wertschätzung.

Das erste landtechnische Lehrbuch?

Die erste und gleichzeitig älteste Publikation, die in diesem Rahmen zu betrachten ist, stammt aus der Feder des Begründers der Lehre von der Landwirtschaft als eigenständige Wissenschaft in Deutschland, Albrecht Daniel Thaer, und wurde Anfang des 19. Jahrhunderts veröffentlicht [1]. THAER schrieb über die „nutzbarsten neuen Ackergeräte“ in einer Zeit, als die Ausbildung von Landwirten noch in den Anfängen steckte, das Ingenieurwesen sich noch nicht mit den landtechnischen Arbeitsmitteln befasste und in den deutschen Ländern noch keine industrielle Herstellung von Landtechnik existierte. Die beschriebenen „nutzbarsten neuen Ackergeräte“ sind deshalb vor allem englischen Ursprungs.

Für seine Darstellungen hat THAER in der „Vorrede“ folgenden Anspruch formuliert: „Mein Vorsatz ist und bleibt daher, kein anderes Werkzeug abbilden zu lassen, als solche, von deren Nutzen ich mich selbst überzeugt, deren Gebrauch ich praktisch kennen gelernt und völlig ausstudiert habe. Von diesen Werkzeugen werde ich dann aber so genaue mathematische und vollständige Abbildungen im Ganzen und in einzelnen Theilen geben, dass ein Arbeiter, der den Gebrauch des verjüngten Maassstabes, des Zirkels und Winkelmasses kennt, und die gehörige Aufmerksamkeit darauf wendet, solche nach den Figuren muss verfertigen können.“

Diesem Anspruch ist THAER mit seinen teilweise auch ingenieurmäßig geprägten textlichen und bildlichen Darstellungen, darunter eine noch heute aktuelle Definition für die Pflugarbeit, in vollem Umfang gerecht geworden [2]. Damit ist diese Publikation einerseits ein Handbuch/Kompendium, in dem Funktion, Nutzungsmöglichkeiten und Kosten von aktuellen landtechnischen Arbeitsmitteln beschrieben und gleichzeitig konkrete Anleitungen für deren Herstellung durch die seinerzeit auf diesem Gebiet tätigen Handwerker (**Bild 1**).

Diesem Beispiel folgend sind in der vorindustriellen Zeit der Landmaschinenherstellung in Deutschland weitere Publikationen mit konkreten Anleitungen/Zeichnungen für eine handwerkliche Herstellung entstanden, darunter die Kataloge der Hohenheimer Ackergerätefabrik. Dem gleichen Zweck dienten die von der Hohenheimer Ackergerätefabrik hergestellten und vertriebenen Modelle [3].

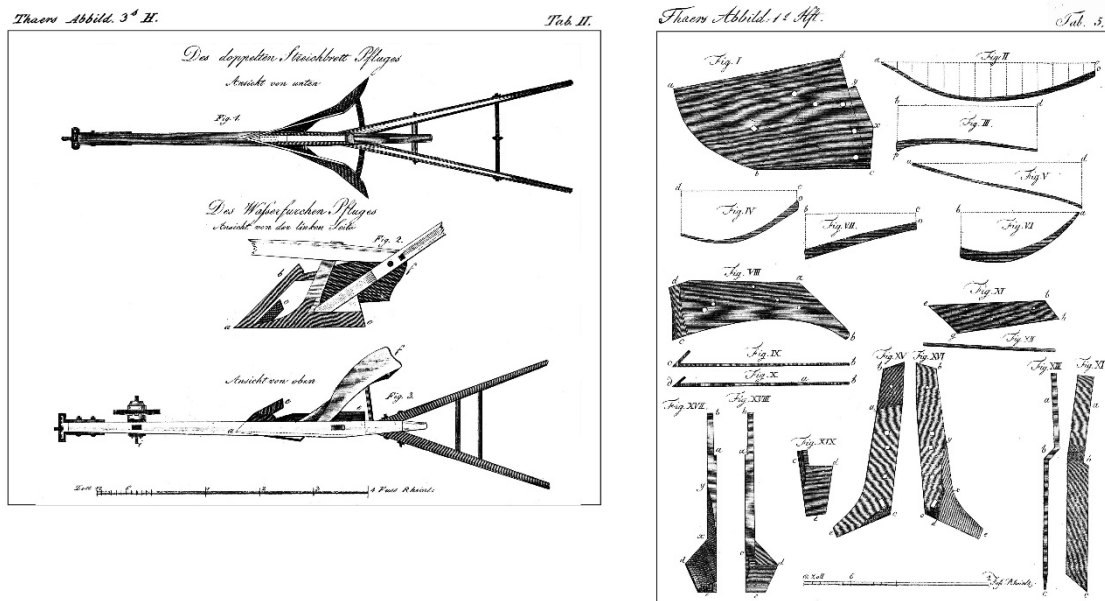


Bild 1: Seiten aus [1]
Figure 1: Pages from [1]

Entwicklung differenzierter landtechnischer Ausbildungsrichtungen

Ausgangspunkt und dominierend war und ist die landtechnische Ausbildung von Landwirten an den landwirtschaftlichen Bildungseinrichtungen, wobei die Lehrer für dieses Fachgebiet zunächst selten aus dem Bereich Technik kamen [4; 5]. Nach [6] war die Universität Halle/Saale die erste landwirtschaftliche Bildungseinrichtung in Deutschland, an der auf Initiative von KÜHN, dem Ordinarius des landwirtschaftlichen Instituts, die technische Ausbildung der Landwirte einem Ingenieur übertragen wurde. Mit dieser Aufgabe war ab 1867 PERELS als Dozent für landwirtschaftliche Maschinen- und Gerätekunde in Halle tätig.

In der Folgezeit wurden auch an den anderen universitären Bildungseinrichtungen in Deutschland immer mehr Ingenieure für die technische Ausbildung der Landwirte wirksam, darunter FÖPPL 1892 in Leipzig, FISCHER 1902 in Berlin, HOLLDACK 1908 in Hohenheim [5]. Ab Beginn des 20. Jahrhunderts haben mehrere Generationen von Ingenieuren, die zunehmend auch als Landtechniker ausgebildet waren, an den agrarwissenschaftlichen Bildungseinrichtungen gewirkt. Ab den 1960er und 1970er Jahren wurde dieses Prinzip in beiden Teilen Deutschlands vielerorts wieder aufgegeben und landtechnisch ausgebildete Landwirte mit dieser Aufgabe betraut [5].

Für die Entwicklung und Herstellung von Landtechnik haben sich die Ingenieure in Deutschland erst relativ spät interessiert. In [7] wird dazu ausgeführt, dass die Maschinenbauingenieure zunächst größere und ihr wichtiger scheinende Aufgaben in Angriff nahmen. „Die Landmaschinen waren ihnen gerade gut genug für den Dorfschmied“ [7].

Die ersten Ingenieure, die für die Entwicklung und Herstellung von Landtechnik tätig wurden, hatten in der Regel keine spezielle landtechnische Ingenieurausbildung.

Einer der ersten Ingenieure in Deutschland, von dem die Notwendigkeit einer speziellen Ingenieurausbildung für die Entwicklung und Herstellung von Landmaschinen erkannt wurde, war PERELS. Da PERELS diese Überlegungen mit einer entsprechenden Lehrtätigkeit und mit der Herausgabe des „Handbuch zur Anlage und Konstruktion landwirtschaftlicher Maschinen und Geräte, für Maschinenfabrikanten, Konstrukteure, für Studierende der Technik etc.“, das im Zeitraum von 1862 bis 1868 in 8 Einzelheften erschien [8], verband, gilt er nach [4; 9] in Deutschland als Begründer der Landmaschinentechnik als eigenständige Ingenieurdisziplin.

Einen ersten Lehrauftrag an einer technischen Bildungseinrichtung, der den landwirtschaftlichen Maschinenbau einschloss, erhielt NACHTWEH 1905 an der Technischen Hochschule Hannover. Ab 1919 hielt FISCHER neben seinen Lehraufgaben für die landtechnische Ausbildung von Landwirten auch Vorlesungen über Landmaschinen vor Ingenieurstudenten an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg [5].

KÜHNE war nach seiner Berufung an die Technische Hochschule München 1924 für die landtechnische Ausbildung von Landwirten und Ingenieuren verantwortlich [4]. In dieser Doppelfunktion wurden die unterschiedlichen Anforderungen an die Ausbildungsrichtungen und Inhalte besonders deutlich wahrgenommen. Von KÜHNE wurde deshalb erstmals eine konsequente Differenzierung vorgenommen zwischen dem an einer Maschinenbau-Fakultät ausgebildeten „Landmaschinen-Ingenieur“, der in der Forschung, Entwicklung und Fertigung von Landmaschinen tätig werden sollte, und dem an einer Landwirtschaftlichen Fakultät ausgebildeten „Land-Ingenieur“, dessen Berufsbild vor allem von der wirtschaftlichen Anwendung der Landtechnik geprägt ist. Eine solche Doppelfunktion gab es in der landtechnischen Ausbildung an der Universität Rostock ab den 1960er Jahren [4; 5].

Da sich mit der Einführung industriemäßiger Produktionsmethoden in der Landwirtschaft der Umfang und die Komplexität der technischen Ausrüstungen in den Landwirtschaftsbetrieben im Osten Deutschlands gravierend erhöhten, wurde dem durch die Differenzierung der landtechnischen Ingenieurausbildung an der Technischen Universität Dresden durch eine Ausbildungsrichtung zum landtechnischen Betriebsingenieur für den Einsatz im Landwirtschaftsbetrieb Rechnung getragen [5].

Landtechnische Lehrbücher für Landwirte

Es ist naheliegend, dass die unterschiedlichen Ausbildungsrichtungen und damit die Lehrinhalte entsprechend differenzierte Lehrmaterialien und -bücher erforderten. Durch den relativ großen Umfang der landwirtschaftlichen Ausbildung dominieren die dafür entstandenen Lehrbücher, die in Anpassung an die betreffenden Lehrgebiete zunächst vorzugsweise als landwirtschaftliche Maschinen- und Gerätekunde abgefasst waren.

Eine der ersten Publikationen in Deutschland, die in diesem Sinne eingeordnet werden kann, ist das Buch von HAMM aus dem Jahr 1845, in dem er die landwirtschaftlichen Maschinen Englands beschreibt [10]. In dieser Publikation werden die landtechnischen Arbeitsmittel dieser Zeit in Handgeräte, Spanngeräte und Maschinen gegliedert. Das Ziel dieser Publikation wird im Vorwort wie folgt definiert: „Den deutschen Landwirth mit dem regen Erfindungsgeist,

mit den Fortschritten der landwirtschaftlichen Mechanik und ihrer Abhängigkeiten in England bekannt zu machen und demselben zugleich eine übersichtliche Darstellung der Landwirtschaft Britanniens zu geben, ist der Zweck meines Werkes.“

Das von HAMM beschriebene englische Landtechnik-Sortiment kam zunehmend in ähnlicher Form auch in Deutschland in Anwendung. Obwohl diese Publikation nicht als Lehrbuch angelegt war, wird sie nach Meinung des Autors dem oben definierten Anspruch an ein Lehrbuch gerecht und wurde sicherlich auch in diesem Sinne verwendet. 1858 erschien eine 2. Auflage, die in den Publikationen bis Anfang des 20. Jahrhunderts häufig zitiert wird.

Ab Mitte des 19. Jahrhunderts setzte in Deutschland eine umfangreiche Publikationstätigkeit auf dem Gebiet der landwirtschaftlichen Geräte und Maschinen ein, an der vor allem die in ihrer Anzahl zunehmenden Lehrbeauftragten für dieses Fachgebiet mit der Herausgabe entsprechender Lehrbücher beteiligt waren. Darunter die Publikationen von WÜST [11], STRECKER [12], FISCHER [13], HOLLDACK [14] und SEGLER [15]. Ein zunächst krönender Abschluss dieser Publikationstätigkeit ist zweifellos das von DENCKER Anfang der 1960er Jahre herausgegebene „Handbuch der Landtechnik“ [16].

Die in dieser Zeit und auch später als Lehrbeauftragte für die landtechnische Ausbildung der Landwirte wirkenden Ingenieure haben in ihren Lehrbüchern auf der Grundlage des zunehmenden landtechnischen Theorienbestandes immer mehr auch ingenieurmäßige Darstellungsweisen angewendet, so dass diese Publikationen bei den landtechnischen Ingenieurstudenten ebenfalls Interesse fanden. Das betrifft unter anderem die Publikationen [16-19] und auch [20], die mit dem Titel „Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion“ als eines der neuesten Lehrbücher ebenfalls in dieser Kategorie eingeordnet werden kann.

Ein Lehrbuch für Landwirte und Ingenieure

Das von PERELS in Verbindung mit seiner Lehrtätigkeit an der Berliner Gewerbeakademie, der späteren Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg, auf dem Gebiet der Landmaschinentechnik für angehende Ingenieure in den 1860er Jahren entstandene Lehrmaterial [8] gilt als das erste Lehrbuch in Deutschland für dieses Ausbildungsgebiet. [4; 9; 21]

Bereits davor war 1861 ein Buch unter dem Titel „Die neueren und wichtigeren landwirtschaftlichen Maschinen und Geräte, ihre Theorie, Konstruktion, Wirkungsweise und Anwendung“ erschienen [22]. Die Zivil-Ingenieure und Fabrikanten landwirtschaftlicher Maschinen und Geräte SCHNEITLER und ANDREE hatten dieses „Handbuch der landwirtschaftlichen Maschinen- und Gerätelehre zum Selbststudium und Unterricht“ bereits 1857 in einem Prospekt angekündigt. Dem Buch ist das Lieferprogramm ihrer in Berlin angesiedelten Fabrik beigelegt.

Als Konstrukteure und Hersteller war das Anliegen der Autoren, „den gegenwärtigen Stand des landwirtschaftlichen Maschinewesens darzustellen“ und dabei „neben der Theorie und Constuction der Maschinen und Geräte die Wirkungsweise und Anwendung derselben nur kurz anzudeuten“ mit dem Hinweis, dass die „Details jeder Maschine für den Constructeur“ und „die eingehende Darlegung des Gebrauchs“ „besonderen Darstellungen vorbehalten sein müssen.“ [22 - Vorwort].

In einer Einleitung von 44 Seiten werden wesentliche Grundlagen der Physik und Mechanik vermittelt und die in der Landtechnik verwendeten Maschinenelemente behandelt. Dazu kommen die für die Herstellung von Landtechnik verwendeten Werkstoffe und die Eigenschaften wichtiger landwirtschaftlicher Stoffe, die mit dieser Technik zu bearbeiten sind. Dargestellt sind außerdem die Leistungsfähigkeit von Mensch und Tier und die für die Umsetzung der Muskelkräfte in Zug- und Drehantriebe erforderlichen Gerätschaften. Während des Druckes wurde in Preußen das Maßsystem geändert. In der Publikation werden noch die alten Maße verwendet. So ist beispielsweise die Arbeit in „FußPfund“ angegeben.

Die Beschreibung der technischen Lösungen ist vielfach durch theoretische Betrachtungen mit teilweise beachtlichem mathematischen Gehalt untermauert (**Bild 2**). Behandelt ist das gesamte aktuelle Sortiment, das von den Handgeräten bis zu den Dampflokombilen reicht, wobei die Bodenbearbeitungsgeräte mit etwa 42 % des Umfanges den Schwerpunkt bilden. Obwohl mit dieser Publikation auch für die Studierenden dieser Zeit etwas geboten wird, haben die Autoren als Fabrikanten sicherlich andere Zielgruppen im Vordergrund gesehen.

Im Gegensatz dazu sah sich PERELS bereits nach relativ kurzer Zeit veranlasst, eine überarbeitete Neuauflage seiner eindeutig als Lehrbuch adressierten Publikation herauszugeben. Sie erschien 1880 unter dem Titel „Handbuch des Landwirthschaftlichen Maschinenwesens“ in zwei Bänden [23] und stellt im Vorwort fest: „Die erste Auflage dieser Arbeit erschien zu einer Zeit, als das landwirthschaftliche Maschinenwesen sich noch in voller Entwicklung befand. Viele Geräte und Maschinen, welche heute allen Anforderungen entsprechen, waren noch in dem ersten Stadium ihrer Ausbildung.“

Die Zielgruppe definiert der Autor wie folgt: „Bei der Neubearbeitung des vorliegenden Handbuches stellte ich mir die Aufgabe, dem Landwirth und Maschinentechniker den jetzigen Standpunkt des landwirthschaftlichen Maschinenwesens vorzuführen...“ „Es musste hierbei der Grundsatz festgehalten werden, nur solche Geräte und Maschinen darzustellen, welche sich im practischen Betriebe unter den entsprechenden wirthschaftlichen und Bodenverhältnissen durchaus bewährt haben...“

Damit war nach Meinung von SOUCEK, von dem diese Publikation in [21] in umfassender Form bewertet und gewürdigt wird, ein Buch entstanden, das für Landwirte und Techniker gleichermaßen geeignet ist, was in der Folgezeit nicht mehr erreicht wurde. Das Handbuch von PERELS wird in [21] als das erste deutschsprachige Lehrbuch eingeordnet, das einen vollständigen Überblick zum Stand der Landmaschinentechnik als Einheit von Antriebsquelle und Arbeitsmaschine aus ingenieurtechnischer Sicht vermittelt. Das Gebiet der Landmaschinen ist darin erstmals nach landwirtschaftstechnologischen und ingenieurtechnischen Gesichtspunkten geordnet und mit lehrmethodischen Fragen durchdrungen behandelt und hat damit Langzeitwirkung.

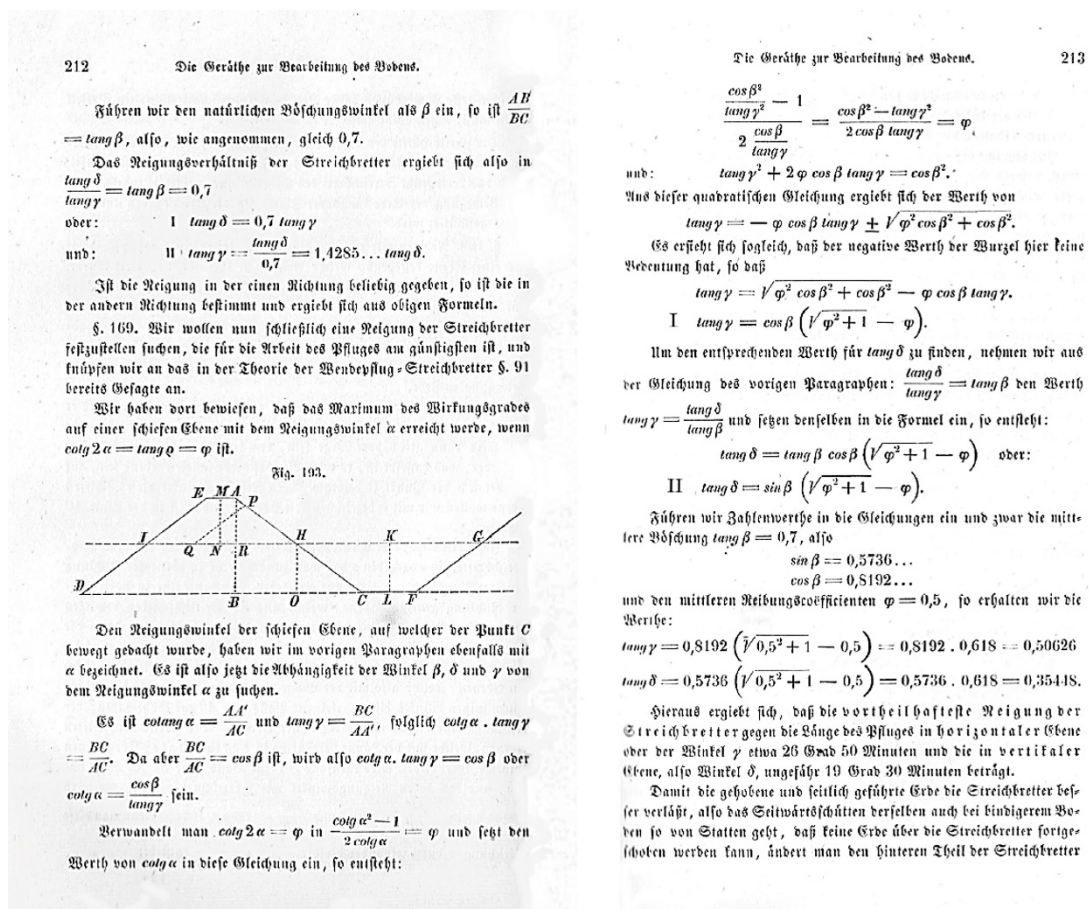


Bild 2: Seiten aus [22] mit theoretischen Betrachtungen zu den Arbeitsflächen des Pfluges
Figure 2: Pages from [22] with theoretical considerations on the working surfaces of the plough

Es werden an Hand von technischen Zeichnungen die Stoffeigenschaften und Vorgänge bei der Stoffbearbeitung sowie der konstruktive Aufbau, die Beanspruchung der Bauteile, die zweckmäßigen Werkstoffe, die wirtschaftliche Fertigung und die teilweise verwickelten mechanisch-technologischen Arbeitsgänge betrachtet. Die Arbeitsmaschine ist bereits durch die beiden Operationen Ortsänderung oder Formänderung des Stoffes, die einzeln oder gemeinsam ablaufen, charakterisiert [21].

Die Abschnitte über die animalischen Motoren, wo alles über die Arbeitsfähigkeit von Mensch, Pferd, Maultier und Rind zu finden ist, und die dazugehörigen Hand- und Gespanngeräte sucht man in späteren Publikationen vergeblich. Sie entsprachen nach Meinung von SOUCEK weitgehend einem zeitgemäßen Lehrbuch für die aktuelle Landbewirtschaftung in zahlreichen Regionen der Welt [21].

Obwohl es zu dieser Zeit auch in Deutschland bereits einige bemerkenswerte Landmaschinenhersteller mit entsprechenden Erzeugnisprogrammen gab, basieren die Darstellungen von PERELS noch hochgradig auf englischen und amerikanischen Erzeugnissen. Neben den Antrieben durch Mensch und Tier waren die Dampftriebe auf dem Vormarsch, wobei nach [23]

mit dem Zweimaschinen-Seilzugsystem auch für die mobile Anwendung, zumindest bei der Pflugarbeit, eine tragfähige Lösung gefunden war.

Eine Funktionstheorie, wie sie heute für die meisten Wirkvorgänge existiert, ist bei PERELS noch nicht zu finden. Somit stellt auch der Autor in seinem Vorwort fest: „Trotzdem sind wir noch keineswegs beim Abschlusse; einige Maschinen und Geräte, deren Bedeutung allseitig anerkannt wird, erfüllen ihre Aufgabe zur Zeit noch nicht in befriedigender Weise.“

Das Lehrbuch für Ingenieure

50 Jahre später erschien das zweibändige Lehrbuch von KÜHNE „Handbuch der Landmaschinenteknik – Für Studierende, Ingenieure und maschinentechnisch unterrichtete Landwirte“ [24]. In seinem Vorwort schreibt der Autor: „Die bisherige Buchliteratur, welche die Landmaschinen behandelt, beschäftigt sich vorwiegend mit der Beschreibung von Ausführungsbeispielen und der Schilderung ihrer Arbeitsweise, sowie mit Fragen der wirtschaftlichen Anwendung der Maschine in der Landwirtschaft. Dagegen fehlt bis heute eine zusammenfassende Arbeit, die den konstruktiven Aufbau der Landmaschinen betont, die Fragen nach der Beanspruchung einzelner Bauteile, nach den zweckmäßigen Werkstoffen und der wirtschaftlichen Fertigung beantwortet und welche die z. T. verwickelten mechanisch-technologischen Arbeitsvorgänge in ihren Einzelheiten verfolgt...“ „Das vorliegende Buch versucht diese Lücke des maschinentechnischen Schrifttums zu schließen.“

Auch wenn sich bereits PERELS keineswegs auf die „Beschreibung“ beschränkt hat, ist das Lehrbuch von KÜHNE zweifellos ein weiterer wesentlicher Schritt in Richtung einer ingenieurmäßigen Behandlung der Landmaschinenteknik, bei der vom Autor der Landwirt als Interessent und Nutzer nicht ausgeschlossen wird.

Neben Prinzipdarstellungen zur Funktion und Arbeitsweise und dem Kräftespiel an den Funktionselementen und Maschinen dominiert auch in diesem Buch die Beschreibung von praxistauglichen Erzeugnissen, die hauptsächlich auf der Grundlage von exakten technischen Zeichnungen für einzelne Baugruppen oder die gesamte Maschine, vorzugsweise von deutschen Herstellern, erfolgt und besonderes Augenmerk auf die landtechnischen Maschinenelemente verwendet. Dazu kommen Hinweise auf die Beanspruchungen und die anzuwendenden Werkstoffe. In großem Umfang wird auf Prüfergebnisse von vorhandenen Maschinen, die durch ein gut entwickeltes Prüfwesen in dieser Zeit reichlich verfügbar waren, Bezug genommen.

Zugenommen hat die Untersetzung der Darstellungen durch mathematische Beziehungen. Erste funktionstheoretische Betrachtungen sind zu finden. Insgesamt befindet sich diese Seite des landtechnischen Ingenieurwesens jedoch noch in den Anfängen (**Bild 3**).

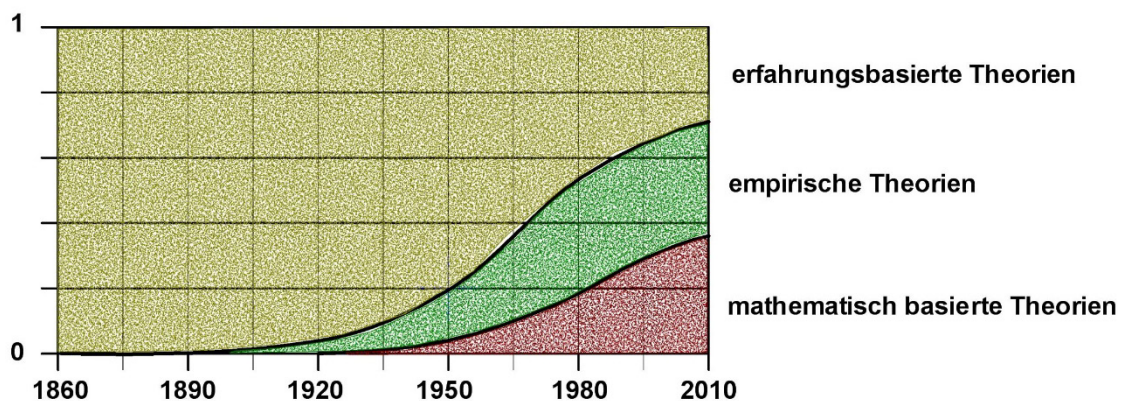


Bild 3: Entwicklungstendenz für das theoretische Fundament der Landtechnik nach [26]

Figure 3: Development trend for the theoretical basis of agricultural engineering according to [26]

Handgeräte spielen in diesem Lehrbuch keine Rolle. Für den mobilen Bereich dominiert der Gespannzug. Die Dampfantriebe werden mit dem Zweimaschinen-Dampfseilzug-System dargestellt. Seit mehr als einem Jahrzehnt wurde in Deutschland mit den Motortragpflügen auf der Basis des Verbrennungsmotors experimentiert. Sie werden mit Hinweis auf die Grenzen dieses Konzepts relativ ausführlich behandelt. Ebenso die ersten Lösungen bei den Rad- und Gleiskettentraktoren mit ihren Anhängengeräten für die Bodenbearbeitung. Die Möglichkeiten des Zapfwellenantriebes sind in Verbindung mit der Erntetechnik erwähnt. Bei der Getreidernte wird auf Überlegungen einer Direkternte mit Mähdrescher hingewiesen, ein Mähdrescher der Firma Case für den Einsatz in den Prärierregionen der USA beschrieben und die Probleme einer Mähdrescherernte in Mitteleuropa dargelegt.

KÜHNE war sich bewusst, dass er sein Buch in einer Zeit gravierender Veränderungen verfasst, was einen schnellen Aktualitätsverlust zur Folge haben kann. Er vermerkt dazu: „Die Maschinenteknik kennt keine längeren Ruhepausen in ihrer Entwicklung, und das gilt im gleichen Maße für die Landmaschinenteknik. Außerdem darf nicht außer acht gelassen werden, daß gewisse Grundlagen von der fortschreitenden Entwicklung unberührt gelassen werden und ihren Wert behalten.“

Zweifellos bleibt eine solche Publikation umso länger aktuell, je höher der Anteil grundlegender mathematisch-naturwissenschaftlichen Funktionstheorien in den Darstellungen ist. Der Entwicklungsschritt und Stellenwert, den diese Publikation für die Ausbildung und die Arbeit bei den Entwicklern und Herstellern von Landmaschinen darstellt wird sichtbar, wenn man sich den Stand zu dieser Zeit vergegenwärtigt, den der Autor unter anderem mit folgender Feststellung charakterisiert: „Es gibt nämlich noch immer zahlreiche Landmaschinenfabriken, die ihre Erzeugnisse nach empirisch geschaffenen Modellen fertigen und infolgedessen überhaupt keine Werkzeichnungen besitzen.“

Publikationen der 1950er/1960er Jahre

Etwa ein Vierteljahrhundert später erschienen die Lehrbücher „Landmaschinen – Lehr- und Handbuch für den Landmaschinenbau“ von SCHILLING [25]. Er hatte bereits in den 1930er

Jahren im Rahmen seiner Lehrtätigkeit an der Technischen Lehranstalt Bad Frankenhausen für die Einführung der Berufsbezeichnung „Ingenieur für landwirtschaftliches Maschinenwesen“ gesorgt und in den 1940er Jahren mit der Arbeit an diesen Lehrbüchern begonnen. [5] Sein Anspruch war, „... den Landmaschinenbau auf die gleiche Ebene in der ingenieurmäßigen Behandlung wie die sonstigen Fachgebiete des Maschinenbaus zu stellen“, wobei er auch immer wieder die Besonderheiten dieses Fachgebietes hervorhob und behandelte. Dazu gehörte die Erkenntnis, dass „die Feststellung der Kräfte, die von den Werkzeugen in die Bauelemente der Landmaschinen eingeleitet werden schwierig und von vielen Faktoren abhängig ist“, und „neben der wissenschaftlichen Erforschung der Vorgänge zwischen Werkzeug und Bearbeitungsmittel die Erfassung des Kraft- und Leistungsbedarfs durch Meßinstrumente tritt.“

Wiederzufinden sind in diesen Publikationen die Fortschritte in den Ingenieurwissenschaften, durch die auch in der Landmaschinenteknik die erfahrungsbasierten Theorien zunehmend durch empirische und mathematisch basierte Theorien ersetzt wurden [26].

Die Beschreibung vorhandener Erzeugnisse, die in der Regel von deutschen Herstellern stammen, wurde von SCHILLING stark reduziert und ersetzt durch die Darstellung der Prinzipien der landtechnischen Werkzeuge mit einer dem aktuellen Wissenstand entsprechenden mathematisch-naturwissenschaftlichen Untersetzung von Funktion, Einsatzverhalten und Haltbarkeit (**Bild 4**). Der Autor selbst charakterisiert diesen Stand wie folgt: „Theoretische Überlegungen, die Teilergebnisse der landtechnischen Grundlagenforschung und die Registrierung von Versuchsergebnissen an Landmaschinen gestatten, die Beanspruchungen der Maschinenteile zu erfassen und die Berechnungsgrundlagen zu schaffen.“ „Die wissenschaftliche Behandlung der Landmaschinen leitet eine neue Entwicklungsstufe ein.“

Die Lehrbuchreihe, die SCHILLING mit 7 Bänden konzipiert, aber nur bis zum 3. Band realisiert hat, war nicht nur für seine Lehrtätigkeit an der Ingenieurschule Köln, sondern auch für die landmaschinenteknische Hochschulausbildung in Deutschland über Jahrzehnte eine wichtige Grundlage.

Ein ähnliches theoretisches Niveau hat das aus dem Russischen übersetzte und 1955 in der DDR erschienene Buch „Theorie, Berechnung und Konstruktion der Landmaschinen“ [27], das auf den Bereich Bodenbearbeitung, Düngung, Aussaat und Pflanzenschutz beschränkt war und auf sowjetischen Erzeugnissen basiert. Gemäß dem Vorwort zur Originalausgabe von 1951 hatten die Verfasser ihr Werk „...als den ersten Versuch auf diesem Gebiet...“ gesehen. Im Vorwort zur deutschen Ausgabe heißt es: „Wissenschaftlich-mathematische Überlegungen und die Berücksichtigung physikalisch-technischer Erkenntnisse beim Entwurf und Bau von Landmaschinen erscheinen notwendig, wenn die angestrebte weitere Mechanisierung der Landwirtschaft mit der Entwicklung der übrigen Technik Schritt halten soll.“

Das Gebiet der Erntemaschinen wurde in dieser Zeit mit einer Übersetzung aus dem Polnischen abgedeckt [28]. Auch in der Folgezeit bis in die 1970er Jahre waren die für die landtechnische Ingenieurausbildung in der DDR verfügbaren Lehrbücher zunächst Übersetzungen aus dem Polnischen.

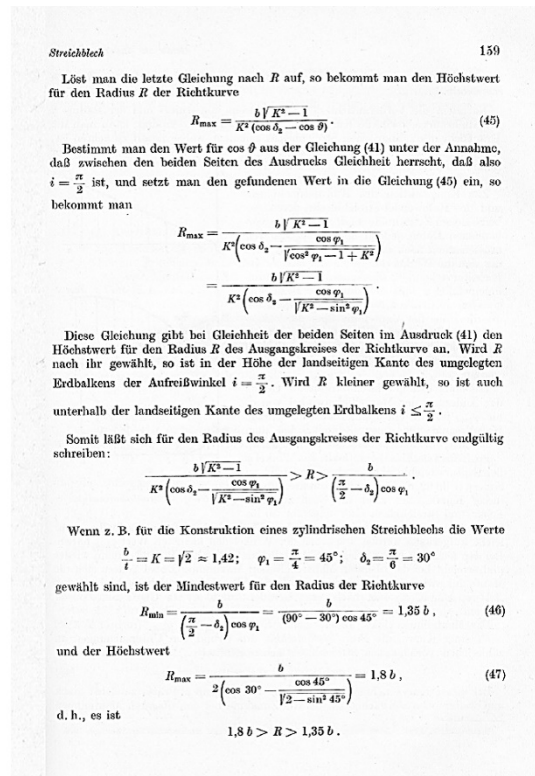
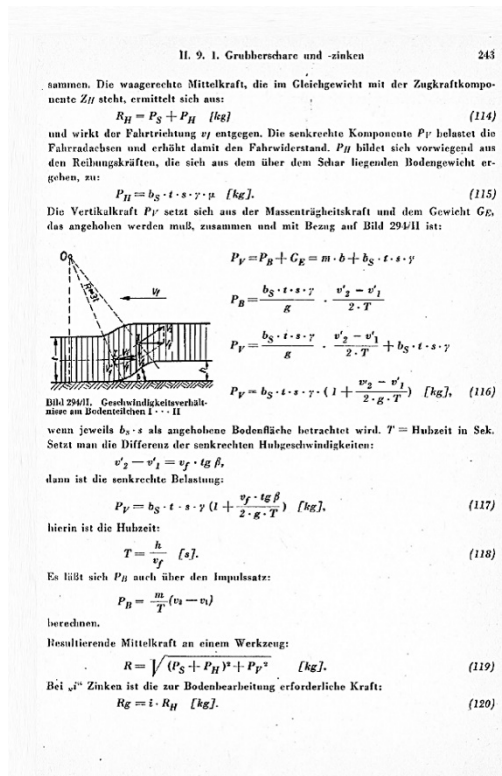


Bild 4: Seiten aus [25] (links) und [27] (rechts) mit theoretischen Betrachtungen zum Grubber bzw. zum Streichblech

Figure 4: Pages from [25] (left) and [27] (right) with theoretical considerations on the cultivator resp. mouldboard

Fahrzeug oder Landmaschine – Lehrbücher über Traktoren

Mit dem Übergang zur Vollmechanisierung der mobilen Prozesse auf Basis des Verbrennungsmotors wurde ab Mitte des 20. Jahrhunderts der Traktor zu einem Schwerpunkt in der Landtechnik. Dabei war zunächst nicht klar, ob der Traktor in seinen vielfältigen Erscheinungsformen als Fahrzeug oder als Landmaschine zu behandeln und einzuordnen ist. Forschung und Lehre sowie Entwicklung und Herstellung der Traktoren tendierten zunächst in beiden Teilen Deutschlands mehr zum Fahrzeugbau. Die landmaschinenrelevanten Elemente dieses Fahrzeugs sind die Kopplung mit den landwirtschaftlichen Geräten und Maschinen, die für die Arbeitsverrichtung auf landwirtschaftlichen Flächen und Fahrbahnen mit ihren speziellen Eigenschaften und mit mehr oder weniger hohen Zugkraftanforderungen zu bewegen und anzutreiben sind. Der Traktor war Mitte des 20. Jahrhunderts auf dem Weg, sich zur universellen Antriebsquelle für die mobile Landtechnik zu entwickeln.

Als SCHILLING sein Lehrbuch „Ackerschlepper“ im Jahr 1955 veröffentlichte [25], konnte er sich bereits auf ein gutes theoretisches Niveau für die fahrzeugrelevanten Baugruppen stützen. Gleichzeitig waren für die landmaschinenrelevanten Elemente vor allem empirische Theorien im Entstehen.

Den Ackerschlepper charakterisiert SCHILLING als das Mittel, mit dem die Maschinen angetrieben und an das zu verarbeitende Gut herangefahren werden. Weiter vermerkt er in seinem Vorwort: „Unter gleichzeitiger Beachtung der Synthese zwischen Ackerschlepper und Arbeitsmaschine weicht die Mechanik der Ackerschlepper teilweise erheblich von den ähnlichen Betrachtungen an Kraftfahrzeugen ab.“ „In diesem Buch sind mit einigen Sätzen aus der Mechanik unter Berücksichtigung der Einsatzbedingungen der Landmaschinen die Berechnungsgrundlagen für Ackerschlepper erarbeitet.“

Die Dynamik, vor allem auf theoretischem Gebiet, kommt u.a. zum Ausdruck, dass in der 2. Auflage 1958 geschrieben ist: „In dieser kurzen Zeit konnten der Abschnitt über die Schleppermechanik ergänzt, die Theorie und Berechnung weiter unterbaut und die Konstruktion der Ackerschlepper in ihrer Entwicklung verfolgt werden.“

Der weitere Erkenntniszuwachs dieser Zeit fand seinen Ausdruck in der 1960 erstmals erschienenen Publikation „Technisches Handbuch Traktoren“ von BLUMENTHAL [29]. Das Objekt wird hier nicht mehr als „Ackerschlepper“, sondern als „Traktor“ bezeichnet. Neu an diesem Buch war, dass die Autoren nicht aus dem Bereich der Lehre kamen, sondern vorwiegend in der industriellen Entwicklung tätig waren, womit die dabei gewonnenen praktischen Erkenntnisse eingeflossen sind. Herausgeber war der Chefkonstrukteur des Traktorenwerkes Schönebeck.

Auf der Grundlage einer umfassenden Analyse des Standes der Technik erfolgen detaillierte Darstellungen zur Funktion, Auslegung, Berechnung und Konstruktion der verschiedenen Traktorbauarten und ihrer einzelnen Baugruppen, einschließlich der ergonomischen Gestaltung des Fahrerstandes, der Betriebsmittel und Werkstoffe. Ein gesondertes Kapitel ist dem Zusammenwirken von Traktor und Gerät gewidmet. Wenn SCHILLING in seinem Buch noch „die Mathematik nur soweit verwendet, wie sie zum Verständnis des Ansatzes, der Ableitung und der Berechnungsgleichung notwendig ist.“ [25], wird in dieser Publikation von Mathematik, Physik, Mechanik usw. reichlich Gebrauch gemacht.

„Die theoretischen Darstellungen und praktischen Hinweise dieses Handbuches dienen damit gleichermaßen der Betriebspraxis und Instandhaltung wie der Unterweisung des landtechnischen Ingenieur Nachwuchses.“ [29 - Vorwort]. In den Folgejahren gab es für dieses Buch bis 1970 noch 5 Nachauflagen mit teilweise gravierenden Neubearbeitungen.

Das Lehrbuch von SOUCEK/PIPPIG – Abschluss der konventionellen Lehrbücher?

Sicherlich waren die umfangreiche universitäre landtechnische Ingenieurausbildung und der inzwischen entstandene theoretisch gut fundierte Wissensstand auf diesem Gebiet der Grund, dass erneut der Mangel an einem zeitgemäßen Lehrbuch erkannt wurde und die betreffende Lehrerschaft zu einem entsprechenden Projekt veranlasste.

Es war SOUCEK als Ordinarius für Landmaschinentechnik an der Technischen Universität Dresden, der die Herausgeberschaft für eine „Reihe Landmaschinentechnik“ übernahm. Neben dem Einführungsband 1979 ist jedoch nur der zweite Band „Maschinen und Geräte für

Bodenbearbeitung, Düngung und Aussaat“ 1990 erschienen [30]. Für den von JAKOB herausgegebenen Band „Maschinen zur Hackfruchternte und Aufbereitung des Erntegutes“ entstand 1992 ein Manuskriptdruck. Die weiteren Bände, darunter „Halmfruchterntemaschinen und Erntegutaufbereitung“ und „Maschinen und Anlagen für die Tierproduktion“ wurden im Manuskriptstadium abgebrochen [Vorwort zum Reprint von [30] aus dem Jahr 2019].

Die Autoren hatten mit dieser Publikation den Anspruch, dass „...die Funktionstheorie und Konstruktion der Landmaschine im Mittelpunkt steht“ und „...der Ingenieurstudent wie auch der in Forschung, Entwicklung, Konstruktion, Erprobung und Prüfung sowie im Maschineneinsatz tätige Ingenieur eine möglichst geschlossene Darstellung der Maschine als Arbeitsmittel zur Bearbeitung landwirtschaftlicher Stoffe erhält.“ [30]

In den Darstellungen werden die verarbeitungstechnischen Grundlagen des Bodens, Düngers und Saatgutes sowie die Systematik der Wirkprinzipie und Arbeitsorgane als die weniger zeitabhängigen Sachverhalte den sich schneller verändernden maschinentechnischen Lösungen vorangestellt. Die Bezugnahme auf die konstruktiven Lösungen ausgeführter Maschinen und Geräte erfolgt unter Berücksichtigung des internationalen Entwicklungsstandes. Von ihren Vorgängern unterscheidet sich diese Publikation auch dadurch, dass auf Haltbarkeitsberechnungen der Funktionselemente und Tragsysteme verzichtet wurde.

In [31] wird vermerkt, dass vor allem die naturwissenschaftlichen Grundlagen eingehend behandelt werden und eine geschlossene Darstellung der physikalisch-technischen Wirkprinzipie der behandelten Gebiete erfolgt.

Damit wird in dieser Publikation im Ergebnis der vielfältigen und umfassenden Forschungsarbeiten der vergangenen Jahrzehnte erreichte Wissensstand zu den Wirkprinzipien und Arbeitsorganen von Bodenbearbeitung, Düngung und Aussaat in einer hochgradig abgerundeten Form dargestellt.

Ein ähnlicher Stand wurde auch auf den anderen Gebieten der landwirtschaftlichen Stoffverarbeitung erreicht, ohne dass es auf diesen Gebieten zu einer analogen lehrbuchmäßigen und den internationalen Entwicklungsstand präsentierenden Darstellung gekommen ist. Die gängigen und meist auch schon sehr lange bekannten und angewendeten Wirkprinzipien und Arbeitsorgane der Landtechnik waren zu dieser Zeit weitgehend erforscht.

So wie in den vorangegangenen Lehrbüchern wird von SOUCEK/PIPPIG auf den Fortgang der Dinge hingewiesen. So werden die Anfänge der Prozessautomatisierung mit Absicht „... sehr gestrafft dargestellt, da sie nur den Anschluß zur auf diesen Gebieten stark zunehmenden Spezialliteratur herstellen sollen.“ [30]

Auf der Grundlage der inzwischen hochgradig erforschten und beherrschten Wirkprinzipien und Funktionselemente verlagerte sich der Schwerpunkt in der Folgezeit auf die Regelung der Betriebsparameter, die zunehmende Prozessautomatisierung und schließlich in Richtung des Precision Agriculture.

Die treibenden Kräfte

Zur Bewertung des etwa 200-jährigen Geschehens auf dem Gebiet der Landtechnik, das in den zitierten Publikationen etwas reflektiert wird, erscheint es zweckmäßig, in zusammengefasster Form auf die jeweils verfügbaren Energie- und Antriebsquellen als die entscheidende Voraussetzung einer Anwendung technischer Arbeitsmittel hinzuweisen.

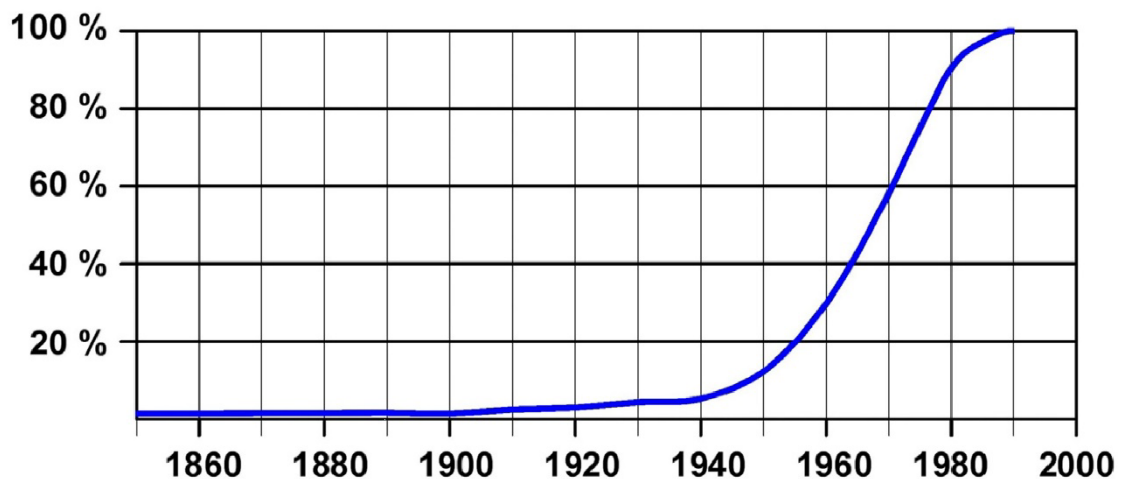


Bild 5: Tendenz für die Entwicklung des Potentials der Muskel- und Kraftantriebe in PS/100 ha in Deutschland (der Stand von 1990 in der Bundesrepublik ist 100 % gesetzt) nach [32]

Figure 5: Trend for the development of the potential of muscle and power drives in hp/100 ha in Germany (the 1990 level in the Federal Republic is set at 100 %) according to [32]

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts, als THAER seine Publikation verfasste [1], dominierten die Handgeräte mit gelegentlicher Unterstützung durch Ochsenpannen. Ein Dreivierteljahrhundert später konnte PERELS in seinem Buch [23] für die behandelte Landtechnik von einem zunehmenden Anteil von Pferden bei den tierischen Muskelantrieben und den ersten Dampftrieben für den stationären und den mobilen Bereich ausgehen. Ein halbes Jahrhundert später war zur Zeit der Publikation von KÜHNE [24] der Anteil der Pferde an den tierischen Muskelantrieben auf über 50 % angewachsen [9]. Bei rückläufiger Bedeutung der Dampftriebe hatten die Elektroantriebe für den stationären Bereich bereits einen zählbaren Anteil (**Bild 6**).

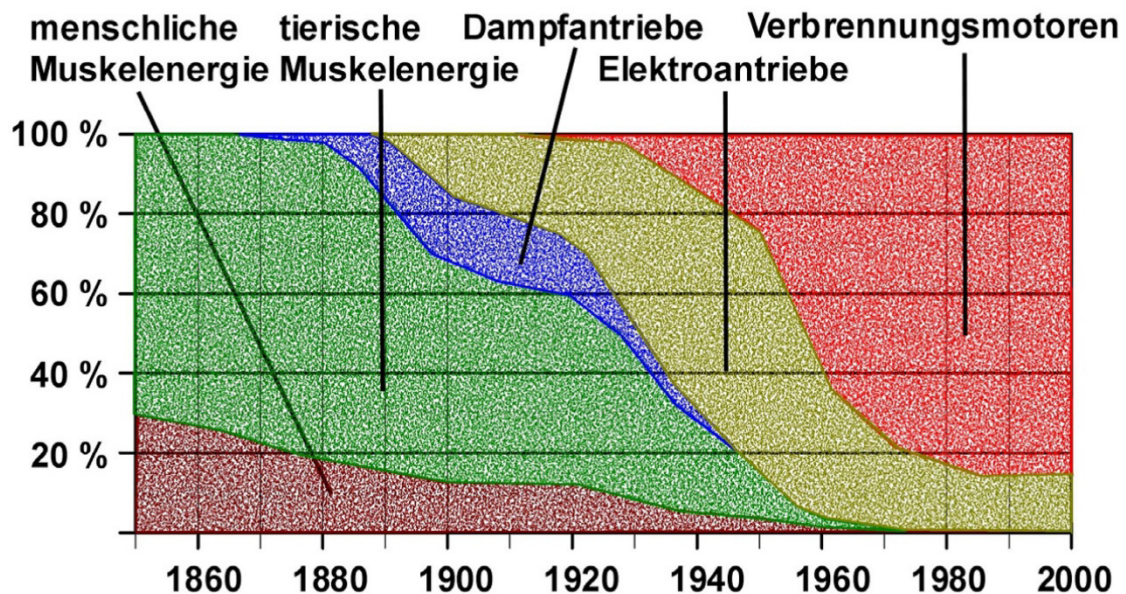


Bild 6: Tendenz für die Entwicklung der Anteile des Potentials der verschiedenen Varianten von Muskel- und Kraftantrieben in der Landwirtschaft Deutschlands auf Basis PS/100 ha nach [32]

Figure 6: Trend for the development of the shares of the potential of the different variants of muscle and power drives in Germany's agriculture on the basis of hp/100 ha according to [32]

Gleichzeitig waren die ersten Traktoren auf Basis des Verbrennungsmotors im mobilen Bereich im Einsatz und im stationären Bereich wurde diese Antriebsquelle dort angewendet, wo noch kein entsprechendes E-Netz verfügbar war.

Ein Vierteljahrhundert später war dieser Mangel weitgehend behoben. Gleichzeitig waren die in zunehmender Zahl auf die Felder gelangenden Traktoren dabei, die tierischen Zugkräfte abzulösen, wobei sich die PS-Ausstattung für 100 ha landwirtschaftliche Nutzfläche zunächst im unteren bis mittleren zweistelligen Bereich bewegte. Nach einem weiteren Vierteljahrhundert, als die Publikation von SOUCEK/PIPPIG entstand, waren die in der Vergangenheit existenten und die landtechnischen Entwicklungen hemmenden Engpässe an Antriebs- und Zugenergie überwunden und man konnte diesbezüglich sozusagen „aus dem Vollen schöpfen“. Die PS-Ausstattung mit Traktoren reichte in dieser Zeit bereits bis in den mittleren dreistelligen Bereich.

Renaissance für das klassische Lehrbuch?

Mit dem Internet als zunehmend universelle Informationsquelle auch für die Studierenden und mit der Anwendung digitaler Medien im Lehrbetrieb verändert sich schließlich auch die Form des Lehrmaterials, womit die konventionellen Lehrbücher auf jeden Fall starke Konkurrenz bekommen haben.

Ungeachtet dessen haben sich beispielsweise RENIUS und KÖLLER/HENSEL nach erneut einem Vierteljahrhundert zur Herausgabe aktueller landtechnischer Lehrbücher entschlossen [20; 33].

Zu den Besonderheiten des ingenieurmäßig aufgebauten Traktorenlehrbuches von RENIUS [33] gehört, dass die Originalausgabe in Englisch abgefasst und damit für einen internationalen Leserkreis gedacht ist. Dieser Leserkreis wird unter anderem dadurch bedient, dass die Thematik für unterschiedliche Niveau- und Technologiestufen des Traktors, beispielsweise 5 Niveaustufen für die Getriebe, und somit vom einfachen und für Entwicklungsländer relevanten Traktor bis zum Hightec-Erzeugnis behandelt wird.

Die Traktorentwicklung und in der Folgezeit die gesamte mobile Landtechnik mit ihren selbstfahrenden Arbeitsmaschinen partizipierte in hohem Grade an den Entwicklungen des Fahrzeugbaus, einschließlich des dafür verfügbaren Lehrmaterials. Der Traktorenentwickler ist somit erst einmal Anwender der entsprechenden Fahrzeugbaugruppen. Als Entwicklungsaufgaben für den Landtechnik-Ingenieur verbleiben die Elemente, die aus dem Fahrzeug einen landwirtschaftlichen Traktor machen. Dabei hat sich der Anteil dieser Elemente immer weiter erhöht und ihre Spezifik vertieft. Angesichts der Tatsache, dass der Traktor nach wie vor das Hauptelement in der landwirtschaftlichen Produktionstechnik ist, ist dieses Gebiet weiterhin ein Schwerpunkt der landtechnischen Ingenieurausbildung.

Die gestrafften Darstellungen in [33] sind eine Mischung aus wissenschaftlichen Grundlagen, aktuellen Berechnungsverfahren, praktischen Konstruktionsgrundlagen, Fertigungshinweisen, Testmethoden bis zu Checklisten für die abzuarbeitenden Aufgaben und mehr als 600 Hinweisen auf vertiefende Quellen, womit den Anforderungen eines breit gefächerten Leserkreises, der vom Ingenieurstudenten bis zum Restaurator von Oldtimern reicht, entsprochen wird.

Auch der relativ geringe Umfang von weniger als 300 Seiten weist darauf hin, dass diese Darstellungen Welten von der in den früheren Publikationen verbreiteten, oft sehr „weitschweifigen und blumigen Prosa“ trennen.

Literatur

- [1] Thaer, A. D.: Die Beschreibung der nutzbarsten neuesten Ackergeräthe. Verlag Gebrüder Hahn, Hannover, 1803 bis 1806.
- [2] Krombholz, K.: Wer schrieb das erste landtechnische Lehrbuch in Deutschland? Landtechnik 68(6), 2013.
- [3] Weisser, J.: Vom Beginn der Hohenheimer Ackergerätefabrik und der Hohenheimer Modellsammlung (1818 – 1945). In: Der Goldene Pflug, Zeitschrift des Fördervereins des Deutschen Landwirtschaftsmuseums, Stuttgart-Hohenheim, Heft 36/2014.
- [4] Söhne, W.: Geschichte des Instituts für Landmaschinen der TU München und Entwicklung der Landtechnischen Institute in der Bundesrepublik. Institut für Landmaschinen, Technische Universität München, 1990.
- [5] Krombholz, K.: Über die Institutionen und Personen der landtechnischen Ausbildung und Forschung im 19. und 20. Jahrhundert in Deutschland. Förderverein des Deutschen Landwirtschaftsmuseums, Universität Hohenheim, 2015, ISBN 978-3-9817225-0-5.
- [6] Bachner, A.; Herrmann, K.: Die Geschichte der Landtechnik an der Universität Halle. In: Jahrbuch Agrartechnik 2009, DLG-Verlag, Frankfurt/Main, ISBN 978-3-7690-0728-2.
- [7] Luben, A. R.: Die Deutsche Landmaschinenindustrie. Dissertation, Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin, 1926.
- [8] Perels, E.: Handbuch zur Anlage und Konstruktion landwirtschaftlicher Maschinen und Geräte, für Maschinenfabrikanten, Konstrukteure, für Studierende der Technik etc. Acht Einzelhefte, erschienen im Verlag Costenoble, Jena 1862-1866.
- [9] Gießmann, E.-J.: Emil Perels – Begründer landtechnischer Ausbildung. In: Wissenschaftliche Beiträge der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Band 1, Berlin 1988.
- [10] Hamm, W.: Die landwirtschaftlichen Maschinen Englands – Mit besonderer Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Mechanik und einer Uebersicht der englischen Agricultur. Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig 1845.
- [11] Pintus, J.: Die landwirtschaftlichen Maschinen und Ackergeräthe. Verlag von Barthel & Co, Berlin, 1864.
- [12] Wüst, A.: Landwirtschaftliche Maschinenkunde – Handbuch für den praktischen Landwirt. Verlag Paul Parey, Berlin 1882.
- [13] Strecker, W.: Landwirtschaftliche Geräte und Maschinen. Verlag Paul Parey Berlin, 1906.
- [14] Fischer, G.: Landmaschinekunde – Lehr und Hilfsbuch für Studierende und Landwirte. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1928.
- [15] Holldack, H.: Maschinenlehre für Landwirte - Lehr- und Hilfsbuch für Unterricht und Praxis. Verlag Paul Parey, Berlin, 1934.
- [16] Segler, G.: Maschinen in der Landwirtschaft. Verlag Paul Parey, Hamburg Berlin, 1956.

- [17] Dencker, C. H. (Hrsg.): Handbuch der Landtechnik. Verlag Paul Parey, Hamburg Berlin, 1961.
- [18] Heyde, H.; Kühn, G. (Hrsg.): Landmaschinenlehre, Band 2, Geräte und Maschinen der Pflanzenproduktion. Verlag Technik Berlin, mehrere Auflagen 1967 bis 1980.
- [19] Thum, E. (Hrsg.): Maschinen und Anlagen für die Tierproduktion. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 1985.
- [20] Köller, K.; Hensel, O. (Hrsg.): Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion. 1. Auflage. Bd. 5198. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer 2019.
- [21] Soucek, R.: EMIL PERELS' Handbuch des Landwirtschaftlichen Maschinenwesens - eine Wertung aus heutiger Sicht. In: Heinrich-Heyde-Kolloquium anlässlich des 150. Geburtstages von Emil Perels am 11. September 1987. Wissenschaftliche Beiträge der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg Jg. 7, 1988, Heft 2.
- [22] Schneitler, C.; Andree, J.: Die neueren und wichtigeren landwirtschaftlichen Maschinen und Geräte, ihre Theorie, Konstruktion, Wirkungsweise und Anwendung. Druck und Verlag von B.G. Teubner, Leipzig 1861.
- [23] Perels, E.: Handbuch des Landwirtschaftlichen Maschinenwesens. 2. Auflage, Band I und II, Verlag Hermann Costenoble, Jena 1880.
- [24] Kühne, G.: Handbuch der Landmaschinentechnik. 2 Bände, Berlin, Julius Springer Verlag (1. Band 1930, 2. Band 1934).
- [25] Schilling, E.: Landmaschinen – Lehr- und Handbuch für den Landmaschinenbau. Eigenverlag, Köln, 1. Band: Ackerschlepper, 1955, 2. Band: Maschinen und Geräte für die Bodenbearbeitung, 1953, 3. Band: Maschinen für die Düngung, Bestellung, Pflanzenpflege, 1958.
- [26] Krombholz, K.; Soucek, R.: Die Landtechnik auf dem Weg zur Wissenschaft. In: Jahrbuch Agrartechnik, Band 23, DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 2011, ISBN 978-3-7690-0773-2.
- [27] Krutikow, N. P. (Hrsg.): Theorie, Berechnung und Konstruktion der Landmaschinen Maschinen und Geräte für die Bodenbearbeitung, die Aussaat und das Pflanzen, für die Düngung und den Pflanzenschutz, Übersetzung aus dem Russischen. Verlag Technik Berlin, 1955.
- [28] Kanafojski, C.: Halmfruchterntemaschinen. Verlag Technik Berlin, 1961, Übersetzung aus dem Polnischen.
- [29] Blumenthal, R.: Technisches Handbuch Traktoren. Verlag Technik Berlin, 1. Auflage 1960.
- [30] Soucek, R.; Pippig, G.: Maschinen und Geräte für die Bodenbearbeitung, Düngung und Aussaat. Verlag Technik, Berlin 1990.
- [31] Heege, J.: Buchbesprechung zu Soucek/Pippig „Maschinen und Geräte für Bodenbearbeitung, Düngung und Aussaat“. agrartechnik, Berlin 41 (1991), Seite 288.
-

- [32] Krombholz, K.: Zur Entwicklung von Technologie, Technik und Produktivität in der Landwirtschaft Deutschlands. Förderverein des Deutschen Landwirtschaftsmuseums, Universität Hohenheim, 2018, ISBN 987-3-9817225-5-0.
- [33] Renius, K. T.: Fundamentals of Tractor Design. Verlag Springer Nature, 2019.

Autorendaten

Dr.-Ing. Dr. sc. agr. Klaus Krombholz ist Mitglied des Fachausschusses Geschichte der Agrartechnik im VDI-Fachbereich Max-Eyth Gesellschaft Agrartechnik.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 28.03.2022

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Krombholz, Klaus: Über die Entwicklung landtechnischer Lehrbücher in Deutschland. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-19

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202031009-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/lehrbuecher.html>

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

100 Jahre RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH

Norbert Rauch

Kurzfassung

Die Rauch Landmaschinenfabrik GmbH feiert 2021 ihr 100-jähriges Firmenjubiläum. Der Gründung der heutigen RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH ging bereits eine lange Vorgeschichte voraus. In dem 1855 geborenen Schmiedemeister Franz Rauch wird der Ursprung des Unternehmens gesehen. Das Unternehmen entwickelte sich, nach anfänglich großen Schwierigkeiten, nach dem 2. Weltkrieg mit der Entwicklung eines Kastendüngerstreuers aus Holz recht schnell. Die aktuelle Rauch Landmaschinenfabrik GmbH wird von der 5. Generation als weltweit erfolgreiches, eigenständiges Familienunternehmen weitergeführt.

Schlüsselwörter

RAUCH Landmaschinenfabrik, Düngerstreuer, Sinzheim, 100 Jahre

100 years of RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH

Norbert Rauch

Abstract

Rauch Landmaschinenfabrik GmbH celebrates its 100th anniversary in 2021. The foundation of today's RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH was already preceded by a long history. The origin of the company is seen in the master blacksmith Franz Rauch, born in 1855. The company developed, after initially great difficulties, after the 2nd World War with the development of a box fertilizer spreader made of wood quite quickly. The current Rauch Landmaschinenfabrik GmbH is continued by the 5th generation as a worldwide successful, independent family business.

Keywords

RAUCH Landmaschinenfabrik, fertilizer spreader, Sinzheim, 100 years

Anfänge im 19. Jahrhundert

Die Historie der heutigen RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH beginnt im 19. Jahrhundert mit Franz Rauch: 1855 als Sohn des Landwirts Gotthard Rauch und dessen Frau Karolina in Sinzheim geboren, will er schon früh Schmiedemeister werden. Nach dem Ende seiner Ausbildung geht er – wie damals üblich – auf die Walz nach Württemberg und bis in die Schweiz. 1880 gründet er in Sinzheim eine eigene Schmiede.

Neben der Werkstatt eröffnet Franz Rauch einen Laden für Gebrauchsgegenstände für Haus, Hof und Feld und erweist sich als begabter Kaufmann. Er reist persönlich über die Dörfer und ist mit seinem großen Hut bald im ganzen Umland als „Schmiedrauch“ bekannt (...wie noch sein Urenkel Norbert Rauch als kleiner Junge gerufen wird!).



Bild 1: Franz Rauch mit seinem großen Hut, bekannt als „Schmiedrauch“ (links); Die Franz-Rauch-Straße in Sinzheim, in der sich die Rauch'sche Schmiede befand (rechts) [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 1: Franz Rauch with his big hat, known as “Schmiedrauch“ (left); Franz-Rauch-Straße in Sinzheim, where Rauch's forge was located (right) [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Schon 1906 siedelt der Betrieb innerhalb Sinzheim in ein größeres, selbstgebautes Haus in der heutigen Franz-Rauch-Straße über (**Bild 2**).

Franz Rauchs zweitältester Sohn Hermann, 1886 geboren, beginnt nach der Schule eine kaufmännische Lehre. Sein zwei Jahre jüngerer Bruder Johann zeigt sich als begabter Techniker und Erfinder. Mit dem Ausbruch des Ersten Weltkriegs 1914 werden beide – ebenso wie mehrere ihrer Brüder – zum Militär eingezogen.



Bild 2: Schmiede in der späteren Franz-Rauch-Straße [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]
Figure 2: Forge in the later Franz-Rauch-Straße [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Der Erste Weltkrieg

Hermann Rauch und seine Verlobte Johanna Lauinger feiern noch in den ersten Tagen der Mobilmachung eine eilige Kriegshochzeit in engstem Kreis. Als 1915 ihr erster Sohn Gerhard geboren wird, steht Hermann Rauch längst im Heeresdienst: Er wird in der Rastatter Militärverwaltung eingesetzt, bleibt also vom Kampfeinsatz verschont – anders als sein Bruder Johann.

Am Heiligabend 1917 schickt Johann Rauch nach über drei Jahren als Frontsoldat einen Feldpostbrief an den Bruder Hermann. Voller Zuversicht kommt er darin auf den Plan zurück, nach Kriegsende gemeinsam eine Fabrik für landwirtschaftliche Geräte und Maschinen in der Tradition der väterlichen Schmiede zu gründen. Dem Schreiben legt er die Skizze einer im Kriegsdienst erdachten Neuentwicklung bei: einer verbesserten Eggenzinkenbefestigung – verbunden mit der Bitte an den Bruder, sich möglichst schnell damit ans Kaiserliche Patentamt zu wenden.

Tatsächlich wird Johann Rauchs Erfindung am 3. Februar 1918 patentiert, allerdings nicht auf seinen Namen, sondern auf den seiner Schwägerin Johanna Rauch. Da auch deren Mann Hermann im Militärdienst steht, ist es offenbar sie, die die Korrespondenz mit dem Patentamt führt.

Doch Johann Rauch stirbt wenige Tage vor dem Waffenstillstand im November 1918 an einer Granatsplitterwunde – im Alter von nur 30 Jahren. Durch den Tod seines Sohnes verliert Franz Rauch einen fähigen Nachfolger, die Trauer ist groß. Aber bei allem Schmerz zwingt Franz Rauch sich, nach vorne zu schauen. Er ist inzwischen Mitte sechzig – und hat nicht mehr viel Zeit zu verlieren. Als Unternehmer will er einen letzten großen Schritt wagen, bevor er das Ruder an die nächste Generation übergibt.

Geburtsstunde der RAUCH Landmaschinenfabrik

1920 bietet sich eine günstige Gelegenheit: Die traditionsreiche Brauerei Altenburg in Sinzheim hat 1918 Konkurs angemeldet und steht zum Verkauf.



Bild 3: Eine der ältesten Fotografien aus Sinzheim zeigt die Altenburg-Brauerei im Jahr 1890. Der Betrieb steht damals im Zenit seines Erfolgs. [Stadtgeschichtliches Institut Bühl]

Figure 3: One of the oldest photographs from Sinzheim shows the Altenburg brewery in 1890. The company is at the zenith of its success at that time. [Stadtgeschichtliches Institut Bühl]

Das große Gebäudeareal wird in drei Teile aufgespalten und mittels Los auf die Interessenten verteilt. Franz Rauch hat Glück: Er bekommt den größeren Mittelteil mit altem und neuem Sudhaus, einer Werkstätte und mehreren Anbauten. Durch den Kauf ist ein wesentlicher Grundstein für die Zukunft des Familienunternehmens gelegt.

In den Brauereigebäuden wird der alte Traum wahr: eine eigene Fabrik als zeitgemäße Weiterentwicklung der Schmiede. Franz Rauch selbst geht in den Ruhestand – er überlässt es seinen Söhnen Hermann und Josef, den neuen Betrieb aufzubauen. Der erfahrene Kaufmann Hermann Rauch übernimmt den Vertrieb und die kaufmännische Leitung. Für die technische Seite ist Josef Rauch der Fachmann: Ebenso wie der Vater und der verstorbene Bruder ist er gelernter Schmied.

Unter dem Namen „Gebrüder Rauch GmbH, Fabrik landwirtschaftlicher Maschinen und Geräte“ melden Hermann und Josef Rauch ihr Gewerbe an: Am 1. August 1921 schlägt die Geburtsstunde der RAUCH Landmaschinenfabrik.

In einem der Brauereigebäude entsteht eine Schmiede, während die im Nachbargebäude eingerichtete Wagnerei für die Holzverarbeitung zuständig ist. Der Werkstoff Holz wird für RAUCH lange eine wichtige Rolle spielen. Die Fertigungsmethoden ähneln zwar noch denen eines Handwerksbetriebs, aber die Verbindung von Holz- und Metallverarbeitung sprengt die klassischen Grenzen zwischen den Gewerben. So entsteht ein Betrieb mit industriellem Charakter. Das vorläufige Programm für die ersten drei Monate sieht die Fertigung von 800 Eggen aus Metall, 40 Holzeggen und 40 Pflügen vor.

Herausforderungen der Nachkriegszeit

Die deutsche Wirtschaft ächzt unter den Nachwirkungen des Krieges. Eine direkte Folge ist die starke Inflation, die 1923 ihren Höhepunkt erreicht. Ein Laib Brot kostet erst Tausende, dann Millionen und schließlich rund eine Billion Mark, bis die Einführung der „Rentenmark“ als Übergangswährung dem Spuk ein Ende macht.

Seit Beginn der 1920er Jahre steigt die Zahl der Auswanderer wieder erheblich. Allein im Krisenjahr 1923 kehren mehr als 7.000 Badener der Heimat den Rücken, in den Folgejahren sind es ebenfalls Tausende. Auch Hermann Rauchs Bruder und Kompagnon Josef entschließt sich in den unruhigen 1920er Jahren zur Auswanderung. Wann genau er die Heimat verlässt, ist nicht überliefert, vermutlich aber spätestens 1925. Josef Rauch lässt sich im US-Bundesstaat Ohio nieder – er wird die Heimat nur noch besuchsweise wiedersehen.

Für Hermann Rauch ist es nicht leicht, den Firmenanteil des Bruders auszubezahlen. „Meinem Vater ist dies finanziell sehr schwer gefallen“, schreibt der älteste, am 24. Oktober 1915 geborene Sohn Gerhard Rauch. Mit seiner Frau Johanna und den mittlerweile vier Kindern ist Hermann Rauch 1923 von Karlsruhe nach Sinzheim gezogen, wo die Familie direkt neben der Fabrik in der Landstraße 14 wohnt. Die Auswanderung ist für ihn keine Option. Er glaubt an die Zukunft seines Unternehmens.

Gerhard Rauch – damals noch Schüler– beschreibt im späteren Rückblick, wie mühsam der Aufbau des Unternehmens in den 1920er Jahren war. In manchen der frühen Jahre steht die Fabrik gar nahe am Konkurs. „Nur durch äußerste Sparsamkeit“ und großen Fleiß habe der Vater diese Zeit überstehen können. Doch das Sortiment der Fabrik wird Schritt für Schritt größer. Traubenmühlen zählen bald ebenso dazu wie Strohschneider und Kreissägen.

Es ist ein prestigeträchtiger Erfolg, als die RAUCH-Ackerregge im Juli 1925 auf einer Fachmesse in Köln „mit dem Diplom des landwirtschaftlichen Vereins für Rheinpreußen ausgezeichnet“ wird. Gelobt wird dabei vor allem die Zinkenbefestigung der Egge – jeder Zinken kann einzeln „durch einfaches Lösen einer Mutter“ abgenommen und ersetzt werden.

Noch sehr viel wichtiger für die Zukunft des Unternehmens ist jedoch ein anderes neues Produkt: der erste eigene Düngerstreuer. Den Anreiz dafür bildet Mitte der 1930er Jahre die Anregung eines Beamten bei der Landwirtschaftskammer in Karlsruhe, der dem Unternehmen wohlgesonnen ist. Technisch ist der erste RAUCH-Düngerstreuer zwar keine bahnbrechende Neuerung – er ist betont einfach konstruiert. Doch in wirtschaftlicher Hinsicht ist er ein Meilenstein: Er kann günstig genug angeboten werden, um auch für kleinere landwirtschaftliche Betriebe erschwinglich zu sein.



Bild 4: Am Ende der 1940er Jahre gibt es im deutschen Südwesten rund 400.000 landwirtschaftliche Betriebe, die mindestens einen Hektar Nutzfläche bewirtschaften [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 4: At the end of the 1940s, there are about 400,000 farms in the German southwest that cultivate at least one hectare of farmland [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Generationswechsel durch Zweiten Weltkrieg verzögert

Hermann Rauch denkt bereits an die Nachfolge im Familienbetrieb. Der älteste Sohn Gerhard studiert bis 1939 Maschinenbau an der Technischen Hochschule Karlsruhe, um danach als technischer Leiter ins Unternehmen einzusteigen, der zweitälteste Sohn Alfred macht seit 1935 eine kaufmännische Lehre im väterlichen Betrieb.

Die Vorbereitung des Generationswechsels verzögert sich durch den Ausbruch des Zweiten Weltkriegs im Spätsommer 1939. Gerhard und sein jüngerer Bruder Alfred Rauch werden zur Wehrmacht einberufen. Für den Familienbetrieb sind die Rauch-Söhne damit vorerst verloren.

Die deutsche Kriegswirtschaft wird, je schwieriger die militärische Lage ist, immer einseitiger auf die Rüstungsproduktion ausgerichtet. Unternehmen, die nicht „kriegswichtig“ sind, werden Arbeitskräfte und Rohstoffe entzogen. Gerhard Rauch zufolge ruht der Betrieb der Landmaschinenfabrik noch vor Kriegsende vollständig, weil „die Fertigungsräume beschlagnahmt waren“.

Bei Kriegsende 1945 rechnen nur wenige Optimisten mit einem schnellen Aufschwung – die Wirtschaft liegt am Boden. Sinzheim ist nun Teil der französischen Besatzungszone. Viele

Betriebe werden zeitweilig beschlagnahmt, so auch die RAUCH Landmaschinenfabrik. Doch als ehemaliger Gemeinderat der Zentrums-Partei, der sich geweigert hat, der NSDAP beizutreten, gilt Hermann Rauch als politisch unbelastet. Sein Betrieb bleibt von Demontagen verschont und kann bald wieder öffnen.

Hermann Rauch engagiert sich für den demokratischen Neubeginn, der zuerst auf der kommunalen Ebene stattfindet. Schon seit 1945 gehört der Unternehmer dem Kreistag des Landkreises Bühl an. Zunächst geht es darum, den Betrieb wieder zum Laufen zu bringen. Improvisation ist gefragt: „Man hat alles gefertigt, wofür man Material bekam und mit allem gehandelt“, erinnert sich Gerhard Rauch mehr als vier Jahrzehnte später. Auch habe man sich mit „Reparaturen aller Art, vom Kinderwagen bis zur Dreschmaschine [...] über Wasser gehalten“. Bezahlt wird häufig in Naturalien – zum Beispiel „Zwetschgen gegen Ersatzteile“. Erst ab Juni 1948 gibt es mit der neueingeführten D-Mark wieder eine stabile Währung.

Der Düngersteuer als Verkaufsschlager

Während des „Wirtschaftswunders“ der 1950er Jahre wird in der Landwirtschaft wieder verstärkt investiert – ideale Voraussetzungen für die Sinzheimer Fabrik. Der Düngerstreuer aus den 1930er Jahren wird „wieder hervorgeholt, weiterentwickelt und auf der 1. DLG-Ausstellung in Frankfurt im Jahre 1950, schön blau angestrichen, ausgestellt“, wie Gerhard Rauch sich erinnert. Es handelt sich um einen Kastendüngerstreuer mit Taumelscheiben. Bei einer Arbeitsbreite von zwei Metern kostet er lediglich 80 Mark – und verkauft sich hervorragend.

Als weitere wichtige Innovation folgt 1956 der Zweisorten-Düngerstreuer Zwilling mit getrennt bedienbaren Streuwellen. Er ermöglicht das gleichzeitige und gezielt dosierbare Ausstreuen verschiedener Dünger, ohne sie vorher mischen zu müssen. Die Nachfrage ist auch hier gewaltig.

In den 1960er Jahren geht das „Wirtschaftswunder“ in die nächste Runde. RAUCH setzt auf neue Produkte und Produktionsmethoden. Ein Meilenstein ist der Einstieg in die Serienfertigung von Scheibendüngerstreuern – eine Technologie, die sich damals allgemein durchzusetzen beginnt. Ihr Vorzug: weit größere Arbeitsbreiten, was gerade für mittlere und große Betriebe attraktiv ist. Den Anfang macht RAUCH 1963 mit dem Einscheiben-Schleuderdüngerstreuer Komet I. Er ist nicht nur zum Düngen, sondern auch zur Aussaat von Getreide geeignet. 1966 präsentiert das Unternehmen den ersten Zweischeiben-Streuer Komet ZS, der das Grenzstreuen am Feldrand präziser und das Streubild noch gleichmäßiger macht. Mit den Scheibenstreuern folgt bei RAUCH der Umschwung vom Werkstoff Holz zum Metall. Und dank der gesteigerten Flächenleistung werden die RAUCH-Maschinen nun auch für Großbetriebe interessanter. Frühzeitig keimt außerdem der Gedanke, die Scheibenstreuertechnik für andere, neuartige Zwecke zu nutzen: 1964 kommt der Schleudersandstreuer Komet S auf den Markt, der im Winterdienst eingesetzt wird.

1967 zieht sich Hermann Rauch aus der Geschäftsführung zurück – seine Söhne Gerhard (Entwicklung und Produktion) und Alfred Rauch (Finanzen und Vertrieb) übernehmen das Ruder. Die Düngerstreuer machen in den 1970er Jahren schon rund 60 Prozent der RAUCH-

Produktion aus. Vor allem die modernen Schleuderstreuer verkaufen sich glänzend – und es gibt hier noch viel Raum für technische Verbesserungen.

Für Gerhard Rauch ist die Entwicklungsarbeit Chefsache. „Mein Vater hatte immer ein Stück Papier und einen Stift bei sich. Wenn ihm Ideen kamen, hat er sich sofort eine Skizze gemacht“, erinnert sich Norbert Rauch. Ein besonderer technischer Meilenstein, der auf Gerhard Rauch, seine Marktbeobachtung und die sich daraus ergebenden Potentiale zurückgeht, ist der 1972 vorgestellte Zweiseiben-Schleuderstreuer „Komet ZSN“.

Bisher wurden von den Düngerherstellern „hygroskopische“ Düngerarten hergestellt, die in 25 kg-Säcken geliefert wurden und trockengehalten werden mussten. Mit dem Umstieg der Düngerhersteller zu versiegelten, als „lose Dünger“ bezeichneten Düngerarten wird nunmehr per LKW in die Lager des Handels geliefert. Über einen Schieber an der geschlossenen, angekippten LKW-Pritsche werden direkt mehrere Tonnen des neuartigen Düngers in die holzrahmten Lagerboxen überladen.

Die Potentiale dieser Neuerung erkennt Gerhard Rauch zuerst. Die neuen, versiegelten Düngergranulate rutschen auch in flach gebauten Behälterformen ausreichend gut. Statt bisher in Säcken werden die Dünger nun mit dem vollen Anhänger des Landwirts an den Feldrand gebracht und sollten idealerweise direkt in den Düngerstreuer überladen werden können.

Mit dieser Erkenntnis kommt Gerhard Rauch als Erster auf die Idee, einen „flachen“ Zweiseibenstreuer zu entwickeln, der mit einer Einfüllhöhe von 89 cm besonders niedrig konstruiert und dadurch direkt vom Anhänger aus befüllbar ist. „Das war eine Revolution“, erinnert sich Norbert Rauch. Der „ZSN“ steigert die Bekanntheit von RAUCH enorm. Im Vergleich zu den herkömmlichen, hohen Düngerstreuern mit den bisher erforderlichen, steilen Trichterwänden bewährt sich der neue RAUCH-Streuer hervorragend und sorgt für einen großen Umsatzsprung.



Bild 5: RAUCH-Zweiseibendüngerstreuer ZSN 600 N mit 89 cm Einfüll-Höhe und 600 Liter Behälterinhalt [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 5: RAUCH twin-disc fertilizer spreader ZSN 600 N with 89 cm filling height and 600-liter container capacity [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Expansion mit dem RAUCH-Werk II in Bühl und einer Düngerstreuertesthalle

Die vorhandenen Flächen auf dem Firmengelände in Sinzheim sind nun bereits fast vollständig mit Produktionshallen belegt. Auf der Suche nach einem weiteren, nahegelegenen Standort wird RAUCH 1978 im benachbarten Bühl fündig: RAUCH erwirbt dort ein Fabrikgebäude in der Dieselstraße. 1979 läuft im RAUCH-Werk II die Produktion von Zweiseiben-Düngerstreuern an.

Die Werksleitung in Bühl übernimmt als erster Vertreter der vierten Rauch-Generation der damals 28-jährige Dipl.-Ing. Norbert Rauch, der zuvor in Karlsruhe Maschinenbau studiert hat. Seit 1967 – und bis heute – besteht eine Vertriebskooperation mit der französischen Firma KUHN SA (Saverne), die sich zu einem der größten Landmaschinenhersteller der Welt entwickelt und Werke außerhalb Frankreichs in den USA und Brasilien betreibt. Anfänglich werden RAUCH-Düngerstreuer unter dem Label KUHN im Wesentlichen in Frankreich, später auch in England, Italien und Spanien vertrieben. Mit dieser Vertriebskooperation erschließen sich für RAUCH Märkte, die bisher aufgrund der Umsatzpotentiale und der entsprechenden Aufbaukosten eines eigenen Vertriebs unerreichbar waren – seit den 1980er Jahren exportiert KUHN die RAUCH-Streuer auch zunehmend in die USA, nach Kanada und nach Südamerika.

1981 überträgt Gerhard Rauch seinem Sohn Norbert die Verantwortung für die Entwicklung der RAUCH-Produkte. Inzwischen sind auch Düngerstreuer mit größeren Arbeitsbreiten von 24 m gefragt, ebenso Streuer mit höherer Präzision bei der Verteilung verschiedenster Düngersorten und -arten wie Harnstoff, Kali, KAS, Pellets etc. Um diesen gestiegenen Anforderungen gerecht zu werden und auch die Erarbeitung von sogenannten Streutabellen zu ermöglichen, errichtet RAUCH eine Düngerstreuertesthalle, die 1982 in Betrieb geht.



Bild 6: Zweiseibendüngerstreuer ZSB mit Arbeitsbreite bis 24 m (links) und Düngerstreuertesthalle (rechts) [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 6: Twin-disc fertilizer spreader with working width up to 24 m (left) and fertilizer spreading test hall (right) [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Neue Technologien: Pneumatik, Elektronik, Hydraulik

Im Bereich Hydraulik, Elektrik und Elektronik zeigen sich damals neue technologische Potentiale, die den Weg für innovative Konzepte bei der Düngerapplikation ebnen. Neben dem neuen 24 m-Zweischeibenstreuer ZSB, der ab 1981 bereits in sehr großen Stückzahlen geliefert werden kann, beginnt auch die Entwicklung eines völlig neuen Düngerstreuertyps, eines Pneumatikstreuers, der den Namen „AERO“ erhält. Statt mittels einer querschnitts-verändernden Dosieröffnung im Behälterboden eines Scheibendüngerstreuers, wodurch die entsprechende Düngermenge der jeweiligen Verteilschneibe zugeführt wird, erfolgt die Dosierung eines Pneumatikstreuers mittels Nockenrädern. Diese dosieren den Dünger mittels Injektoren in nach rechts und nach links auskragende Ausleger, die aus mehreren einzelnen, von Luftstrom durchströmten Zuführrohren den Dünger zu den Endverteilern transportieren. Diese verteilen die Düngerkörner in sogenannten Streufächern auf den Ackerboden bzw. über das aufgewachsene Getreide.



Bild 7: Rauch-Pneumatikstreuer AERO 1112: 12 m Arbeitsbreite, 1100 Liter Behälterinhalt [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 7: Rauch pneumatic spreader AERO 1112: 12 m working width, 1100-liter container capacity [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Die weltweit erste elektronische fahrgeschwindigkeitsgeregelte Düngerdosierung mit automatisierter Abdrehprobe, elektronischer Ein-Abschaltung der Dosierung, elektronischer Streumengenveränderung während der Fahrt, fernbedienter 4-fach-Teilbreitenschaltung, Streumengendokumentation etc. wird 1984 vorgestellt:

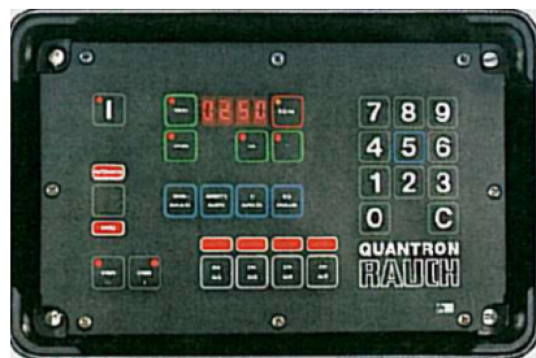


Bild 8: Quantron für Pneumatikstreuer AERO [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 8: Quantron for pneumatic spreader AERO [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]



Bild 9: RAUCH Pneumatikstreuer AGT6036, 36 m Arbeitsbreite (2005) [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 9: RAUCH pneumatic spreader AGT6036, 36 m working width (2005) [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Mit Hilfe der neuen Düngerstreuertesthalle kann RAUCH in der Scheibenstreuerentwicklung weitere große Fortschritte erzielen. Der erste hydraulisch angetriebene Zweiseibendüngerstreuer DELTA mit Aufgabepunktverstellung und digitaler Drehzahlanzeige und -einstellung für die Streuscheibendrehzahl erzielt 1989 anlässlich eines Düngerstreuervergleichstests auf 24 m Arbeitsbreite den ersten Platz.



Bild 10: Zweiseibenstreuer DELTA mit hydraulischem Scheibenantrieb und Aufgabepunktverstellung [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 10: Two-disc spreader DELTA with hydraulic disc drive and supply point adjustment [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Diese Technologie setzt RAUCH daraufhin 1993 in einem mechanischen Scheibenantriebskonzept mit Aufgabepunktverstellung um: BETA 1100.

Um auch für kleinere bis mittelgroße landwirtschaftliche Betriebe einen Zweiseibenstreuer mit einfacher Einstellung für Grenzstreuen – wahlweise rechts oder links – mit einfach abzunehmenden Streuscheiben mittels Schnellverschluss zur Abdreprobe und Spätdüngungsmöglichkeit zu realisieren, wird 1993 der Zweiseibenstreuer MDS vorgestellt, der bis heute gebaut und weltweit sehr erfolgreich in großen Stückzahlen verkauft wird:



Bild 11: Zweischeibenstreuer MDS: 12-21 m Arbeitsbreite (links) und MDS-Streuscheibe mit Winkel- und Längenverstellung der Wurfblätter (rechts) [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 11: Two-disc spreader MDS: 12-21 m working width (left) and MDS spreading disc with angle and length adjustment of the throwing wings (right) [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]



Bild 12: Weitere Zubehöre, wie Aufsätze, fernbedienbare Grenzstreueinrichtungen sowie elektronische Stell- und Regeltechniken kommen hinzu [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 12: Other attachments, such as top units, remote-controlled boundary spreading devices, and electronic positioning and control technologies are added [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Zur Erweiterung der „großen“ Düngerstreuerbaureihe nach unten, näher zur MDS-Baureihe wird mittels der MDS-Technologie die Baureihe ALPHA für Arbeitsbreiten bis 28 m entwickelt.

Goldmedaille für EMC-Technologie zur Bestimmung des Düngermassenstroms

Abdrehproben zur präzisen Einstellung der gewünschten Dosiermenge in kg/ha sind nach wie vor sehr unbeliebt. Die erforderliche Fixierung auf eine definierte Arbeitsbreite, die einzuhaltende Fahrgeschwindigkeit und Applikationsmenge engen die Streuarbeit auf dem Feld sehr ein – insbesondere hinsichtlich einer Variation der Applikationsmenge zur Anpassung an den Pflanzenbestand.

Auf dem Markt werden die ersten Wiegestreuer angeboten. Mittels Wiegezellen in den 3-Punkt-Kupplungselementen kann pro Sekunde das aktuelle Gewicht des gesamten Streuers inkl. des Düngergewichts erfasst werden.

Ein Nachteil der Wiegetechnik ist die Gesamterfassung des Streuergewichts anstelle einer Kontrolle/Regelung des Düngermassenstroms pro Dosierung/Verteilerscheibe. Außerdem werden die Erschütterungen des Düngerstreuers samt Dünger im Behälter während der Fahrt direkt auf das Wiegesignal der Wiegezellen übertragen.

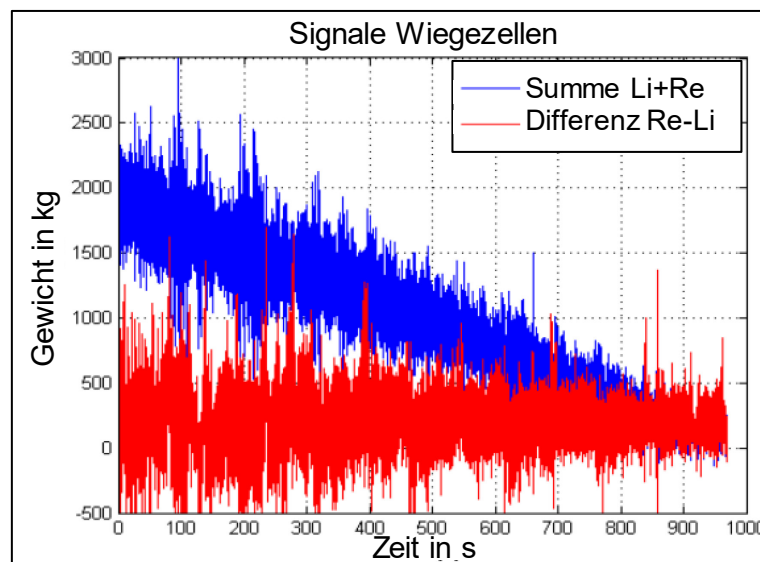


Bild 13: Das blaue Wiegezellensignal zeigt die Erschütterungen des Streuers sowie die Gewichtsabnahme während der Streufahrt [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 13: The blue load cell signal shows the vibrations of the spreader as well as the weight decrease during the spreading [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Dieses Problem löst die EMC (Electronic Massflow Control)-Technologie: Mittels der Drehmomentenerfassung des einzelnen Scheibenantriebes – im Beispiel in **Bild 14** mittels der Differenzdruckmessung am Hydraulikmotor – kann unmittelbar der momentane Düngermassenstrom bestimmt werden. Allerdings erfordert diese Technologie eine konstante Öltemperatur.

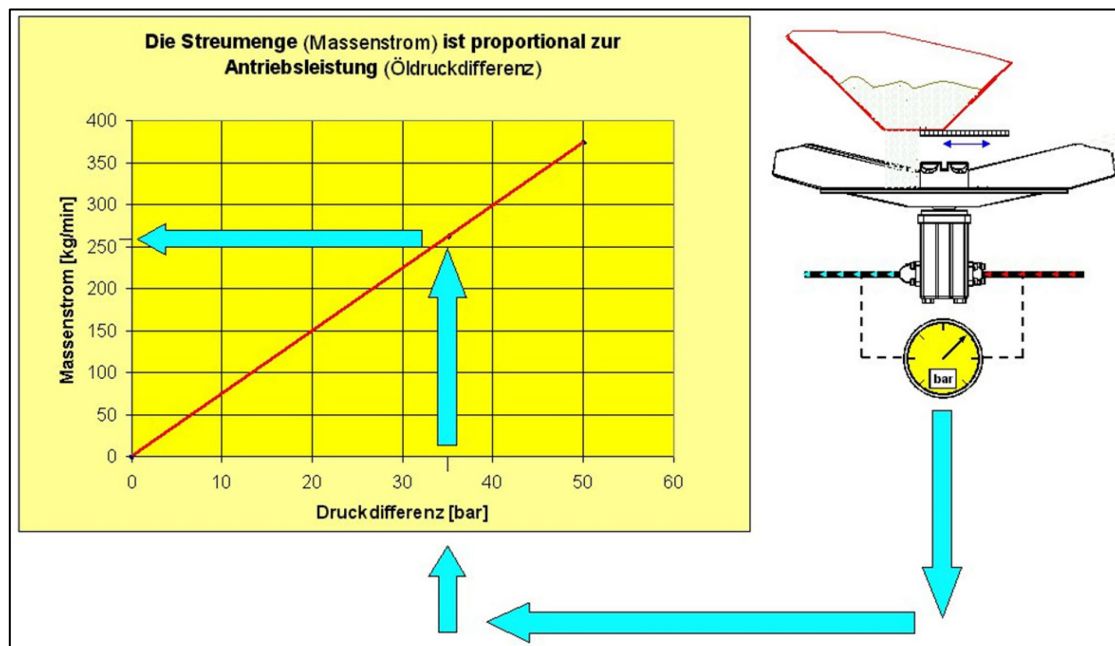


Bild 14: EMC-Technologie [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 14: EMC-Technology [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Die EMC-Technologie wird auf der AGRITECHNICA 1999 von der DLG mit der – für RAUCH ersten – Goldmedaille ausgezeichnet, siehe **Bild 15**.



Bild 15: Philipp Freiherr von dem Bussche (links) und Dipl.-Ing. Norbert Rauch (rechts) [DLG Frankfurt]

Figure 15: Philipp Freiherr von dem Bussche (left) and Dipl.-Ing. Norbert Rauch (right) [DLG Frankfurt]

Zur Vermeidung der Temperaturabhängigkeit ist eine Weiterentwicklung notwendig. Angestoßen wird diese durch die E-Bike-Technologie – genauer gesagt durch die Magnetostriktion:

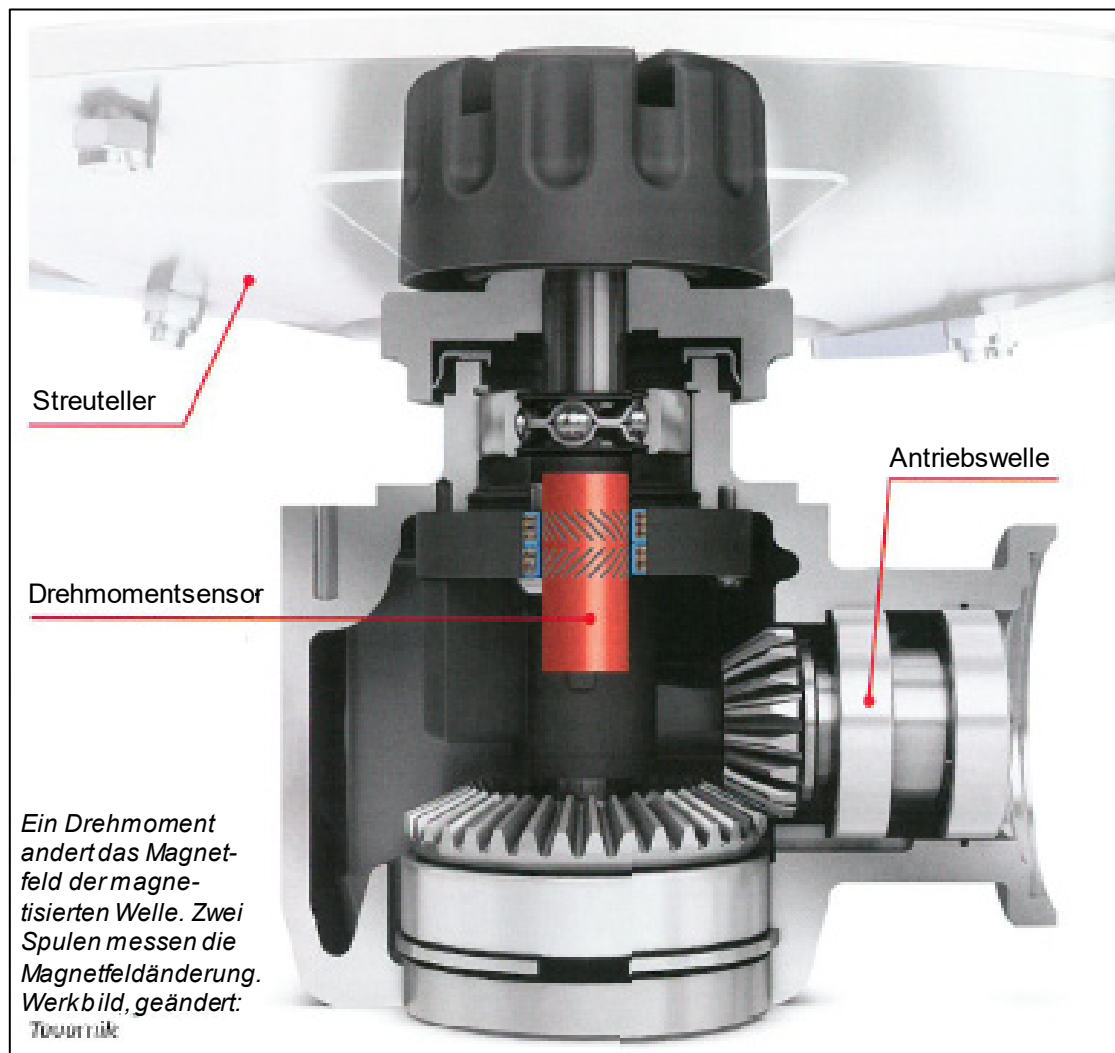


Bild 16: Wie von den E-Bikes bekannt, wird in der Kurbelwelle das anstehende Drehmoment gemessen, um den E-Bikefahrer – je nach Wunsch und Einstellung – mittels des E-Motors zu unterstützen [Redaktion profi]

Figure 16: As known from e-bikes, the applied torque is measured in the crankshaft in order to support the e-bike rider – depending on the wish and setting – by use of the e-motor [Redaktion profi]

In der vertikalen Scheibenantriebswelle wird das erforderliche Drehmoment gemessen, woraus man auf den momentanen Düngermassenstrom schließen kann. Ein großer Vorteil besteht darin, dass das EMC-System erschütterungs- und neigungsunabhängig pro Dosierseite den momentanen Düngermassenstrom erfassen kann.

Zusammenführung der Stärken in einer einzigen Baureihe – AXIS

Für das Düngerstreuersegment oberhalb der MDS-Baureihe liefert RAUCH noch zu Beginn der 2000er Jahre drei Düngerstreuerbaureihen: DELTA, BETA und ALPHA. Diese große Produktpalette erweist sich aber als zu komplex für die Produktion, für die Vermittlung im Vertrieb und bei der Entscheidungsfindung des Landwirts.

Das Ziel ist deshalb die Entwicklung einer einzigen Baureihe, die sowohl hinsichtlich der Kosten, der Potentiale und der Vorteile für den Landwirt keiner der drei obigen Baureihen nachsteht: Die Geburt der AXIS-Baureihe!



Bild 17: AXIS M mechanischer Scheibenantrieb und Dosiermengeneinstellung (links) und AXIS H-EMC mit hydraulischem Scheibenantrieb (rechts) [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 17: AXIS M mechanic disc drive and adjustment of dosage (left) and AXIS H-EMC with hydraulic disc drive (right) [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Diese Baureihe wird seit 2005 in ihrer Grundkonzeption gebaut und wird mit elektronischen Stellgliedern und GPS-Terminals permanent erweitert.

Umzug nach Rheinmünster

Inzwischen hat RAUCH ein neues Kapitel der Firmengeschichte aufgeschlagen: Aufgrund des erheblichen Umsatzwachstums ist der Umzug auf ein größeres Betriebsgelände immer dringender geworden. 2009 wird deshalb ein neu erbautes, nach modernsten Standards eingerichtetes Werk am Baden-Airpark in Rheinmünster eingeweiht (**Bild 18**) – sowohl der Produktionsstandort in Sinzheim als auch die bisher betriebenen Zweigwerke in Bühl und Vimbuch werden gleichzeitig aufgegeben. 2023 werden auch die zentrale Verwaltung und andere Abteilungen, die bisher noch in Sinzheim angesiedelt sind, in ein neues Gebäude rechts von den Produktionshallen verlagert. Die Zusammenführung des Unternehmens am Baden-Airpark wird damit – nach 44 Jahren mit getrennten Standorten – endgültig abgeschlossen.



Bild 18: Der neue RAUCH-Produktionsstandort mit Service- und Trainings-Center am Baden-Airpark in Rheinmünster. Rechts unten: die neue, 2019 eingeweihte Düngerstreuertesthalle, etwas entfernt vom Werk [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 18: The new RAUCH production site with service and training center at Baden-Airpark in Rheinmünster. Bottom right: the new fertilizer spreading test hall, opened in 2019, in some distance from the factory [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

- Zusammenführen der gesammelten Daten zu 3D-Streubildern
- 3D-Streubilder sind Grundlage für komplexe Streusimulationen
- Individuelle Vorgaben zur optimalen Einstellung für jedes RAUCH-Streuermodell, für diverse Streugüter und Einsatzbedingungen
- Ermöglicht präzise, vollautomatische Ausbringung auf dem Feld

- 3000 Streuversuche pro Jahr
- Ziel: Ermittlung von Einstellungsempfehlungen für neue Düngersorten, Erfassung von Streutabellen
- RAUCH-Streutabellen für knapp 2700 Düngersorten – führend im Bereich der präzisen Einstellungsvorgaben
- Daten werden laufend aktualisiert und kostenlos im Internet oder als App verfügbar



Bild 19: Die aktuell modernste und größte Düngerstreuertesthalle der Welt: Auf 1130 m² können insbesondere aktuelle Streutabellen für die Kunden im In- und Ausland erarbeitet werden [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 19: Currently the most modern and largest fertilizer spreading test hall in the world: On 1130 m², especially current spreading tables can be prepared for national and international customers [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Quadratmetergenaue Düngerapplikation

Die aktuellste Technologie der Firma RAUCH ist die „MultiRate-Technologie“. Sie ermöglicht erstmalig eine kleinräumige Düngerapplikation auf „Quadratmeterbasis“: Mittels neuester Technologien – Satellitendaten von Sentinel 2, Sensortechnologien zur Messung der Wasserverfügbarkeit, Spaten zur Nährstofffassung, Drohnen zur Aufwuchsbeobachtung – kann der Nährstoffbedarf der Pflanzen immer genauer und kleinräumiger ermittelt und dokumentiert werden.

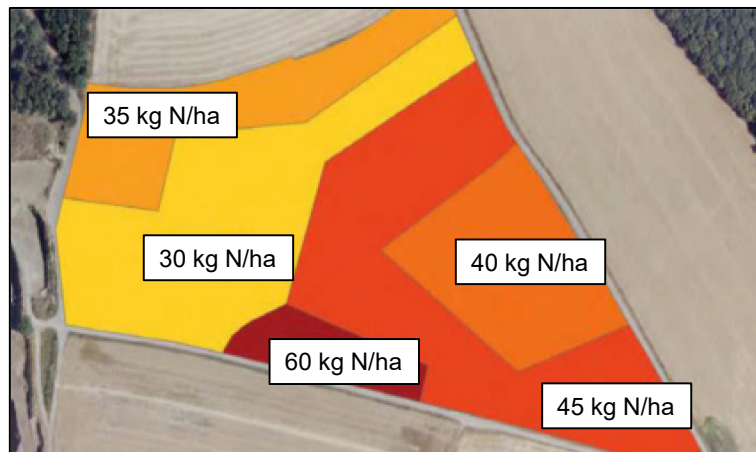


Bild 20: Der Nährstoffbedarf kann nahezu quadratmetergenau dargestellt und dokumentiert werden [LBB GmbH Göttingen]

Figure 20: The nutrient requirement can be displayed and documented almost with square meter accuracy [LBB GmbH Göttingen]

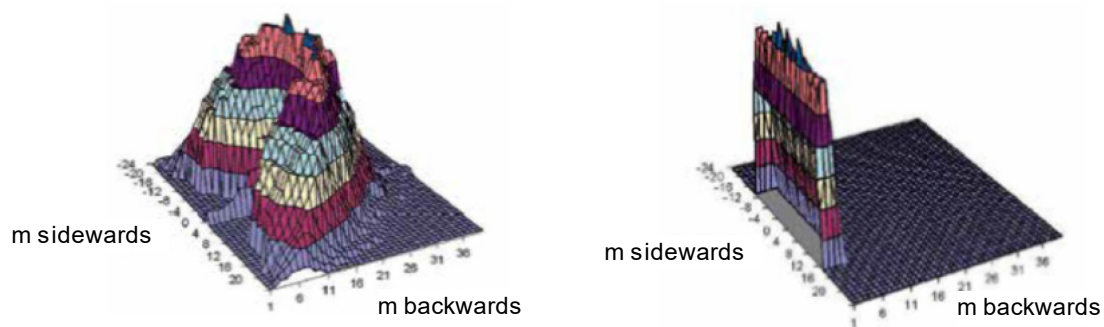


Bild 21: Die Ablagefläche des Streubilds eines Scheibendüngerstreuers beträgt bei einer Arbeitsbreite von 24 m ca. 1500 m² – bei einem Pneumatikstreuer nur 30 m² [Kongskilde Agriculture, DK 2620 Albertslund]

Figure 21: The spreading area of a disc fertilizer spreader with a working width of 24 m is approximately 1500 m² – with a pneumatic spreader only 30 m² [Kongskilde Agriculture, DK 2620 Albertslund]

Diese bahnbrechende Erfindung des aktuellen Entwicklungsleiters Volker Stöcklin ist bereits weltweit patentiert. Sie leistet einen besonderen Beitrag zum Umweltschutz und zu einer nachhaltigen wie auch effektiven Ernährung der weiterhin wachsenden Weltbevölkerung.

Diese Entwicklung wurde von dem baden-württembergischen Umweltministerium 2021 mit dem ersten Platz im Bereich „Mess- und Regeltechnik“ ausgezeichnet. Das Entscheidungsgremium stand der Landtechnik zwar nicht unbedingt nahe, hat aber dennoch die wegweisende Bedeutung der MultiRate-Technologie erkannt.



Bild 24: Übergabe des baden-württembergischen Umwelttechnikpreises 2021 [Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg]

Figure 24: Handover of the Baden-Württemberg Environmental Technology Award 2021 [Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg]

Zusammenfassung

In den 100 Jahren seit der Gründung der RAUCH Landmaschinenfabrik und den mehr als 140 Jahren seit den Anfängen der Rauch'schen Schmiede gab es für die fünf RAUCH-Generationen große Herausforderungen und auch Krisen zu meistern. Doch nie stand das Unternehmen besser da als heute: Aus der kleinen Sinzheimer Dorfschmiede ist ein global agierendes Familienunternehmen geworden, das im Jubiläumsjahr 2021 einen Rekordumsatz von mehr als 90 Millionen Euro verbuchte und heute fast 400 Mitarbeiter beschäftigt.

In allen fünf Unternehmer-Generationen war und ist die Kraft und der Wille entscheidend, für die nächste Generation zu arbeiten und den Fortbestand des Unternehmens langfristig zu sichern. Das Privatleben musste dabei oft zurücktreten – doch die Entschädigung dafür war die Freude am Vorwärtkommen, an der Entwicklung innovativer Produkte, der Einführung neuer Produktionsmethoden und der Erschließung zukunftssträchtiger Märkte in aller Welt.



Bild 25: Links: Die vierte Rauch-Generation, die 1989 die Geschäftsführung übernommen hat. Von links nach rechts: Robert Rauch (2008 verstorben), Hermann Rauch junior, Joachim Rauch, Norbert Rauch; Rechts: In der heutigen Geschäftsführung ist sowohl die vierte als auch die fünfte Rauch-Generation vertreten – von links nach rechts: Volker Stöcklin (Entwicklung), Hermann Rauch (Finanzen), Martin Rauch (Produktion und IT), Wilfried Müller (Vertrieb) [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

Figure 25: Left: The fourth Rauch generation, which took over the management in 1989. From left to right: Robert Rauch (deceased in 2008), Hermann Rauch junior, Joachim Rauch, Norbert Rauch; Right: Both the fourth and fifth Rauch generations are represented in today's management – from left to right: Volker Stöcklin (Development), Hermann Rauch (Finance), Martin Rauch (Production and IT), Wilfried Müller (Sales) [RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH]

RAUCH ist für die kommenden 100 Jahre gut vorbereitet!

Weiterführende Literatur

- [1] RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH: Zweischeibendüngerstreuer. Europäische Patentschrift EP 2 559 331 B1, 01.08.2012.
- [2] RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH: Verfahren zur Drehmomentenerfassung der Verteilerscheiben eines Scheibenstreuers und entsprechender Scheibenstreuer. Europäische Patentschrift EP 2 625 945 B1, 11.02.2013.
- [3] RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH: Landwirtschaftliche Maschine zum Ausbringen von Verteilgut und Dosierorgan für die selbe. Europäische Patentschrift EP 3 629 694 B1, 31.03.2021.

Autorendaten

Dr. h.c. sc. agr. Dipl.-Ing. Norbert Rauch ist Gesellschafter der RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH und war von 1987 bis 2017 Geschäftsführer.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 06.05.2022

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Rauch, Norbert: 100 Jahre RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-22

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202031010-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/rauch.html>

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

