

Antriebssysteme mobiler Maschinen

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

Kurzfassung

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

Schlüsselwörter

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

Drive systems for mobile machines

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

Abstract

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

Keywords

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

Ausgeführte technische Innovationen

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

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



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

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

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

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

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



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

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

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



Bild 3: Steyr Hybrid CVT [4].

Figure 3: Steyr Hybrid CVT [4].



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

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

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



Bild 5: Digitalhydraulisches Regelsystem für Axialkolbenpumpen [6].

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

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

Wissenschaftliche Arbeiten

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

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

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

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

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

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

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

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

Zusammenfassung

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

Literatur

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

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

Autorendaten

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

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

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

Zitierfähige URL / Citable URL

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

Link zum Beitrag / Link to Article

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

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