

Jürgen Karner, Martin Baldinger, Peter Schober, Burkhard Reichl und Heinrich Prankl

# Hybridsysteme für die Landtechnik

In den letzten Jahren sind zahlreiche elektrisch betriebene Landmaschinen präsentiert worden. Elektrische Antriebe bieten den Vorteil der exakten Regelbarkeit, Drehzahlvariabilität und Überlastfähigkeit. Um den Vorteil einer variablen Antriebsdrehzahl zu nutzen, stehen vielfältige Möglichkeiten zur Verfügung. Dabei ist zu beachten, dass die Architektur des Antriebsstrangs die realisierbaren Funktionen maßgeblich beeinflusst. Dieser Beitrag befasst sich mit ausgewählten Hybridstrukturen und -funktionen am Beispiel eines Traktors und eines Antriebs an einem Stallmiststreuer. Des Weiteren wird über das Potenzial von elektrischen Antrieben aus Sicht österreichischer Landmaschinenhersteller berichtet.

## Schlüsselwörter

Hybrid, elektrischer Antrieb, Leistungsverzweigung, Umfrage

## Keywords

Hybrid, electric drive, power-split, survey

## Abstract

Karner, Jürgen; Baldinger, Martin; Schober, Peter; Reichl, Burkhard and Prankl, Heinrich

## Hybrid systems for Agricultural Engineering

Landtechnik 68(1), 2013, pp. 22–25, 3 figures, 1 table, 20 references

Many electric driven agricultural machines have been presented in the recent years. Their advantages, apart from exact controllability, are speed variability and overload capability. To utilize the advantage of variable speed some more possibilities are available. It has to be considered, that the architecture of the drive-train determines the realizable functions. This paper considers selected hybrid-structures and functions on the example of a tractor and a drive on a manure spreader. Furthermore the potential of electric drives from the view of Austrian manufacturers of agricultural machinery is reported.

■ Aufgrund der hohen Energiedichte des Dieselmotorkraftstoffes ist davon auszugehen, dass auch in den nächsten Jahrzehnten überwiegend der Dieselmotor in der landwirtschaftlichen Außenwirtschaft eingesetzt wird. Vergleiche zur volumenbezogenen Energiedichte finden sich z. B. in [1]. Hinsichtlich Energiedichte ist der Diesel im Vergleich zu Akkumulatoren um den

Faktor 50-100 besser. Bei den bisher vorgestellten Maschinen und Geräten mit elektrischem Leistungsantrieb handelt es sich vorwiegend um reine Elektrifizierung oder um serielle Hybrid-Strukturen [2–7].

Bei seriellen System-Architekturen wird die gesamte vom Dieselmotor gelieferte Leistung generatorisch in elektrische Leistung umgewandelt und motorisch in mechanische Leistung rücktransformiert. Dazwischen sind Steuereinheiten und ggf. Speicher installiert. In Anbetracht der Umwandlungsverluste ist dem Betrag der transformierten Leistung besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Je nach Funktionalität sind für ausgewählte Anwendungen auch leistungsverzweigte oder parallele Hybrid-Strukturen, wie sie z. B. in [8] und [9] beschrieben werden, sinnvoll (**Abbildung 1**).

## Agro-Hybrid-Funktionen

Entwicklungen aus dem Automotive-Bereich beziehen sich vorwiegend auf den Fahrtrieb. Landmaschinen verfügen darüber hinaus über eine Vielzahl von weiteren Funktionsantrieben. Ein mit einem Generator ausgestatteter Traktor kann z. B. die in **Abbildung 2** gezeigten Funktionen realisieren.

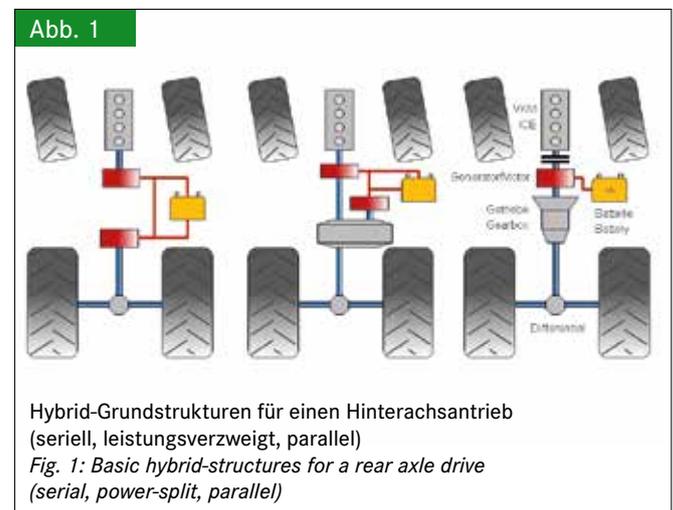


Abb. 2

Lastpunktverschiebung Operation point shift	
Start-Stopp Start-Stop	
Emissionsarmer Betrieb Low emission movement	
Rekuperation Recuperation	
Elektrischer Allradantrieb Electric all-wheel drive	
Einzelradansteuerung Torque-Vectoring	
Spannungsversorgung (am Fahrzeug, extern) Power supply (on-board, external)	
Leistungsaddition (passiv/aktiv) + Verkleinerung Boost (passive/active) + Downsizing	
Variable Zapfwelle Variable PTO	

Mögliche Funktionen eines Hybrid-Traktors  
 Fig. 2: Feasible functions on a hybrid-tractor

Der spezifische Kraftstoffverbrauch des Dieselmotors ist im Teillastbereich relativ hoch. Wenn eine Drehmomentreserve vorhanden ist, kann diese zum Antreiben des Generators genutzt werden. Hierfür ist ein Batterie-Management-System notwendig [10]. Der Nutzen durch die Reduktion des spezifischen Kraftstoffverbrauchs muss jedenfalls größer sein als die Verluste durch die Energieumwandlung. Bei Fahrzeugstillstand kann die Verbrennungskraftmaschine (VKM) abgestellt werden, sofern die Betriebstemperaturen von Kühlmittel, Abgasnachbehandlungssystem usw. erreicht wurden. Für kurze Wege kann ein rein elektrischer Fahrtrieb vorteilhaft sein, da sowohl der Schadstoffausstoß als auch die Lärmbelastung verringert werden. Das Rekuperations-Potenzial ist bei Landmaschinen gering [9]. In Analogie zur Baumaschinen-Branche [8] können jedoch auch rotierende Maschinenteile auf Anbaugeräten oder wechselnde hydrostatische Lasten zur Energierückgewinnung genutzt werden (Geräteantriebsstrang, Zapfwelle, Zylinder). Für kleine elektrische Lasten ist die Nutzung der thermischen Energie im Abgas vorstellbar.

Am Traktor könnte die Vorderachse elektrisch angetrieben werden. Dadurch ließen sich die Kraftübertragung zu den Vorderrädern und die Konstruktion der Vorderachse vereinfachen. Beispielsweise kann das Vorderachsdifferential bei elektrischem Vorderradantrieb entfallen. Durch radindividuelle Ansteuerung kann die Voreilung optimiert und die Vorderraddrehzahl in Abhängigkeit des aktuellen Lenkeinschlages und weiterer Parameter geregelt werden. Vorteile, wie z.B. eine geringere Reifenabnutzung, können aus [12] abgeleitet werden. Voraussetzung hierfür sind einzeln angesteuerte Radmotoren [13]. Mittels einer variablen oder teilvariablen Zapfwelle kann die Arbeitsgeschwindigkeit auf starr gekoppelten Antrieben auf Anbaugeräten unabhängig von der VKM-Drehzahl gesteuert werden.

### Agro-Hybrid-Strukturen

Prinzipiell stehen folgende Strukturen für Funktions- und Traktionsantriebe auf landwirtschaftlichen Systemen (Agro-Hybrid, d.h. Traktor bzw. selbstfahrende Erntemaschine oder Traktor-Geräte-Kombination mit Hybridantrieb) zur Verfügung:

- Elektrifizierung
- serieller Agro-Hybrid
- leistungsverzweigter Agro-Hybrid
- paralleler Agro-Hybrid

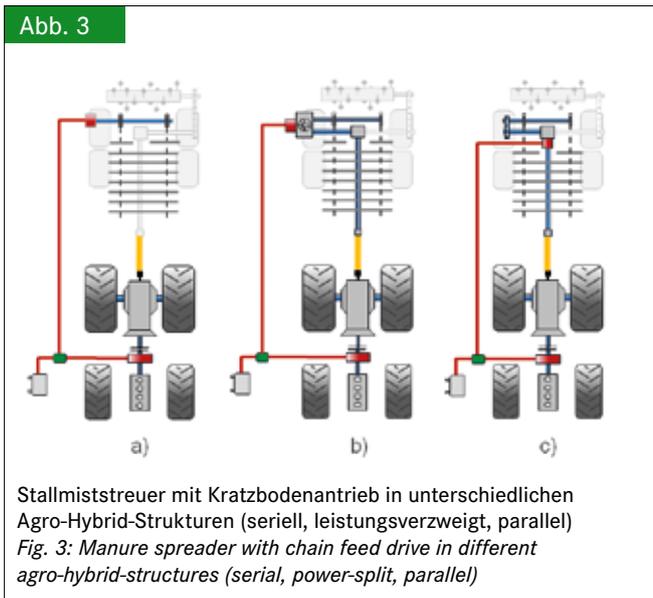
Es ist zwischen selbstfahrenden landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen und Traktor-Geräte-Kombinationen zu unterscheiden. Bei Selbstfahrern handelt es sich weitgehend um abgeschlossene Systeme, bei denen Wechsel der Funktionsbaugruppen wie Vorsätze oder Schneidwerke nur selten vorkommen. Spannungsarten und Spannungsniveaus, Geräteidentifikation, Protokolle oder Steckerdesign obliegen dem Hersteller einer selbstfahrenden Erntemaschine selbst. Somit ist die Schnittstellenproblematik bei diesen vergleichsweise einfach zu lösen. Im Weiteren werden ein Traktor und ein Anhänger mit variablem Kratzbodenvorschub betrachtet.

Je nach gewählter Agro-Hybrid-Struktur sind unterschiedliche Funktionalitäten realisierbar.

Um die volle Variabilität des dargestellten Kratzbodens in beiden Drehrichtungen (-n...0...+n) zu gewährleisten, wird eine serielle Struktur bevorzugt (**Abbildung 3, a**). Die Antriebsleistung wird elektrisch bereitgestellt. Dies erfordert die mehrfache Transformation der gesamten für diesen Kratzbodenantrieb erforderlichen Antriebsleistung, die am Traktor, einem Zapfwellengenerator oder am Gerät generiert werden kann [7].

Sofern die Anwendung keine volle Variabilität erfordert, können leistungsverzweigte Strukturen vorteilhaft sein. Diese Teilvariabilität ( $n \pm \Delta n$ ) wird über ein sogenanntes Überlagerungsgetriebe ermöglicht. Ein wesentlicher Teil der Leistung

Abb. 3



wird herkömmlich z. B. mechanisch über die Zapfwelle übertragen. Der Elektromotor übersteuert die von der Zapfwelle bereitgestellte Leistung und deckt den variablen Leistungsbedarf ab (Abbildung 3, b). Wenn die Drehzahl nur in einem Teilbereich des gesamten Drehzahlbandes stufenlos verändert wird, kann der Anteil des variablen elektrischen Leistungsbedarfs an der Gesamtleistung verringert werden. Gleichzeitig verringern sich auch die Verluste durch die Energieumwandlung. Alternativ kann die Übersteuerung hydraulisch erfolgen.

Zur Abdeckung von Spitzenlasten kann z. B. eine parallele Struktur angewandt werden (Abbildung 3, c). Durch den elektrischen Zweig ist eine Leistungsanhebung möglich ( $P+\Delta P$ ). Eine Unterstützung beim Beschleunigen der Maschinenteile ist vorstellbar. Für das Boosten sind auch hydraulische Elemente verfügbar [14–16].

Die Hybridisierung könnte auf weitere Antriebe erweitert werden:

- Kratzboden
- Streuteller
- Radantrieb
- Streuwalzen

**Tabelle 1** zeigt, dass die Hybrid-Struktur und somit die erforderliche elektrische Leistung von der angestrebten Funktion abhängen.

Thermische Lasten, die aus den Umwandlungsverlusten resultieren, sollten bei der Maschinenkonzeption angemessen berücksichtigt werden [17; 18]. Sie lassen sich z. B. durch kleine Leistungen gering halten, um ggf. auf ein separates Kühlsystem verzichten zu können oder mit Luftkühlung auszukommen.

### Potenzial von elektrischen Antrieben in der Landtechnik

Mögliche Anwendungen und erforderliche Leistungsdaten wurden in zwei Umfragen bei Landmaschinenherstellern erhoben [19; 20]. Dabei wurde ermittelt, dass typische Antriebe auf Landmaschinen einen Leistungsbedarf von 50–60 kW haben.

Tab. 1

Hybridfunktionen je Hybridstruktur

Table 1: Hybrid functions according to hybrid structure

Funktion Function	Seriell Serial	Leistungs- verzweigt Power-split	Parallel Parallel
Variabler Kratzbodenvorschub Variable chain-feed drive	x	x	
Variable Streubreite Variable spreading width	x	(x)	
Zugkraftunterstützung Supported traction force	x	(x)	
Variable Walzendrehzahl Variable drum-speed	x	(x)	
Unterstützung bei Kurvenfahrt Torque vector control	x	(x)	
Boost Boost	x	x	x
Instationäsausgleich Dynamic load compensation	x	x	x

Der Einsatz erscheint dort sinnvoll, wo stufenlose hydrostatische Antriebe durch elektrische ersetzt werden können, z. B. bei Fahrantrieben in großen selbstfahrenden Erntemaschinen, oder wenn automatische Abläufe eine Produktivitätssteigerung erwarten lassen. Die traktorseitige Verfügbarkeit von elektrischen Antrieben wird innerhalb der nächsten 5–10 Jahre erwartet. Ein gänzlicher Ersatz von hydraulischen oder mechanischen Antrieben durch elektrische ist jedoch nicht zu erwarten.

Auf die Identifikation nutzbringender Anwendungen ist im Hinblick auf die Kundenakzeptanz besonderes zu achten. Bei elektrisch betriebenen Landmaschinen sind i. d. R. höhere Anschaffungskosten zu erwarten. Diese müssen sich durch geringere Betriebskosten oder höheren Anwendernutzen amortisieren.

### Schlussfolgerungen

Die Vorzüge elektrischer Antriebe auf Landmaschinen wurden in vielen Projekten untersucht. Dieselkraftstoff wird aufgrund seiner hohen Energiedichte weiterhin die primäre Antriebsquelle sein. Elektrischer Strom wird folglich von einem diesel-elektrischen System bereitgestellt. Die Effizienzsteigerung und Funktionserweiterung/Produktivitätssteigerung tragen dazu bei, dass elektrische Antriebe auf Landmaschinen künftig an Bedeutung gewinnen werden. Die breite Einführung von elektrisch betriebenen Landmaschinen wird in 5 bis 10 Jahren erwartet.

Die gewünschte Funktion ist für die jeweils günstigste Hybrid-Struktur maßgebend. Serielle, leistungsverzweigte oder parallele Systeme erfüllen unterschiedliche Funktionen. Im Hinblick auf geringe thermische Belastungen kann sich eine Systemarchitektur, die einen geringen variablen (elektrischen oder hydraulischen) Leistungsanteil erfordert, als günstig erweisen.

Viele Antriebe auf Landmaschinen erfordern eine Maximalleistung von 50–60 kW. Zur Identifikation von vorteilhaft zu elektrifizierenden Antrieben laufen weitere Untersuchungen.

## Literatur

- [1] Wallentowitz, H., Freialdenhoven, A. (2011): Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges – Technologien, Märkte und Implikationen. ATZ/MTZ-Fachbuch. Wiesbaden, Vieweg+Teubner Verlag
- [2] Stöcklin, V. (2008): Die Vorteile des elektrischen Antriebs am Beispiel Zweischeidenstreuer. Vortrag bei der Tagung Agritronica 2008, St. Florian, 25.01.2008, [http://www.hblflorian.at/joomla-1\\_5/images/stories/agritronica08/stoecklin.pdf](http://www.hblflorian.at/joomla-1_5/images/stories/agritronica08/stoecklin.pdf); Zugriff am 17.04.2008
- [3] Rahe, F. (2011): Möglichkeiten elektrischer Antriebstechnik am Anbaugerät. Vortrag beim VDI-MEG Kolloquium Elektrische Antriebe in der Landtechnik, Wieselburg, 05./06.07.2011, <http://blt.josephinum.at/index.php?id=1421>; Zugriff am 13.07.2011
- [4] Geißler, M.; Aumer, W.; Lindner, M.; Herlitzius, Th. (2010): Elektrifizierte Einzelradantriebe in mobilen Landmaschinen. Landtechnik 65(5), S. 368–371
- [5] Hofinger, M.; Baldinger, M. (2011): Schwaderantrieb. Vortrag beim VDI-MEG Kolloquium Elektrische Antriebe in der Landtechnik, Dresden, 26./27.06.2011, VDI
- [6] Karner, J. (2011): Elektrische Antriebe in Landmaschinen. Der Fortschrittliche Landwirt 24; S. 53–55
- [7] Prankl, H.; Nadlinger, M.; Demmelmayr, F.; Schrödl, M.; Colle, T.; Kalteis, G. (2011): Multi-Functional PTO Generator for Mobile Electric Power Supply of Agricultural Machinery. Tagung LAND.technik AgEng 2011, VDI-MEG, AgEng, 11.-12.11.2011, Hannover, S. 7–13
- [8] Vahlensieck, B.; Gruhle, W.-D. (2009): Elektrische Antriebe für mobile Arbeitsmaschinen – Ein methodischer Ansatz zum Übertragen existierender Lösungen. <http://www.baumaschine.de/wissensportal-archiv/2009-03>, Zugriff am 30.07.2012
- [9] Thiebes, P.; Geimer, M. (2008): Potenziale von Hybridantrieben. Mobile Maschinen 1(4), S. 14–17
- [10] Hofmann, P. (2010): Hybridfahrzeuge – Ein alternatives Antriebskonzept für die Zukunft. Wien, Springer Verlag
- [11] Geimer, M. (2008): Hybridantriebe – Ein realistischer Vergleich der Systeme. 19. Aschaffener Fachtagung „Alternative Antriebskonzepte“, 21.11.2008, Aschaffenburg, [digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/documents/792938](http://www.baumaschine.de/wissensportal-archiv/2009-03); Zugriff am 20.11.2009
- [12] Hannukainen, P.; Ruokola, T.; Lehto, E.; Virtanen, V. (2011): Study in Benefits of Controlled 4-Wheel Drive Clutch. Tagung LAND.technik AgEng 2011, VDI-MEG, AgEng, 11.-12.11.2011, Hannover, S. 223–230
- [13] Schmid, B.: Elektrischer Radantrieb. die grüne 21, S. 31–33
- [14] Hohenlohe, P.F. zu (2012): Serielle Hybridlösung für Radharvester, ATZ offhighway 1, S. 34–43
- [15] Kohlmächer, T.; Grütterl, S.; Skirde, E. (2011): HPB – Hydraulischer Power Boost in kostensensitiven Anwendungen – Flexible Integration in bestehende Hydrauliksysteme. Tagung „Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen 2011“, 17.02.2011, Karlsruhe, S. 125–135
- [16] Bauer, F.; Feld, D.; Grün, S. (2011): Doppelkolbenspeicher – Innovativer Hydraulikspeicher für mobile Arbeitsmaschinen. Tagung „Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen 2011“, 17.02.2011, Karlsruhe, S. 136–149
- [17] Buccolits, R. (2012): Aufbau und messtechnische Beurteilung einer permanentmagneterregten Synchronmaschine für Rohrantriebe. Diplomarbeit TU-Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe
- [18] Kogler, F.; Heissenberger, J.; Schrödl, M.; Hofinger, M.; Karner, J.; Prankl, H.; Kalteis, G.; Prand-Stritzko, E. (2012): Optimierung einer Mäher-Aufbereiterwelle durch einen elektrischen Antrieb. Landtechnik 67(6), S. 425–428
- [19] Möhrer, M. (2011): Landwirtschaftliche Geräte mit elektrischen Antrieben – Anforderungen an die traktorseitige Technik. Vortrag beim Kolloquium „Elektrische Antriebe in der Landtechnik“, 05./06.07.2011, Wieselburg, <http://blt.josephinum.at/index.php?id=1421>; Zugriff am 13.07.2011
- [20] Karner, J.; Prankl, H. (2012): Erwartungshaltung der österreichischen Landtechnik-Industrie hinsichtlich elektrischer Antriebe. Tagung „Land.technik 2012“, VDI-MEG, 06./07.11.2012, Karlsruhe, S. 335–340

## Autoren

**Dr. Dipl.-Ing. Jürgen Karner** ist Senior Researcher bei Josephinum Research, A-3250 Wieselburg, E-Mail: [juergen.karner@josephinum.at](mailto:juergen.karner@josephinum.at)

**Dr. Dipl.-Ing. Martin Baldinger, MSc** ist Leiter der Abteilung Mechatronik, Prototypenbau, Versuch und Simulation bei der Alois Pöttinger Maschinenfabrik Ges.m.b.H, A-4710 Grieskirchen

**Dipl.-Ing. Peter Schober** ist Leiter der Entwicklung bei Reform-Werke Bauer & CO Gesellschaft m.b.H, A-4600 Wels

**Dipl.-Ing. Burkhard Reichl** ist verantwortlich für Product Validation, System Integration & ISOBUS bei der CNH Österreich GmbH, A-4300 St. Valentin

**Dipl.-Ing. Heinrich Prankl** ist Leiter für Forschung & Innovation an der BLT in A-3250 Wieselburg

## Danksagung

Diese Arbeit ist Teil des Forschungsprogrammes Future Farm Technology (FFT). Dabei geht es darum, innovative Technologien für die Landwirtschaft zu erforschen, zu entwickeln und zu verbessern. FFT wurde im Rahmen des COMET-Programmes der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft ins Leben gerufen.

# Energieeffizienz der Landtechnik – Potenziale zur CO<sub>2</sub>-Reduktion

## SYMPOSIUM AN DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

Am 12. und 13. März 2013 findet an der Technischen Universität Braunschweig das Symposium „Energieeffizienz der Landtechnik – Potenziale zur CO<sub>2</sub>-Reduktion“ statt. Veranstalter ist das Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeug unter der Leitung von Prof. Dr. Ludger Frerichs. Das Symposium will aufzeigen, mit welchen Maßnahmen die Landtechnik ihren Beitrag zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes leisten und nachweisen kann.

Aus der Landwirtschaft und der Landtechnik waren zu diesem Themenkomplex bislang nur vereinzelt Beiträge auf un-

terschiedlichen Tagungen zu hören. Mit dem Symposium soll der Diskussion um die Energieeffizienz und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Landtechnik ein eigenes Forum gegeben werden. Angesprochen und eingeladen sind neben den Fachleuten der Branche insbesondere auch Vertreter der Politik, der Regelungen schaffenden Institutionen und der Interessenverbände.

Namhafte Redner aus Industrie, Wissenschaft und Landwirtschaft legen in ihren Beiträgen dar, mit welchen globalen Entwicklungen zu rechnen ist, welchen „Carbon Footprint“ die Landwirtschaft und die Landtechnik hinterlässt und wie in-

telligente Wege in die Zukunft aussehen. Innovative Maschinenkonzepte, Informations- und Kommunikationstechnologie, moderne Betriebsführung sowie die Ausbildung und Einsatzschulung haben bei den äußerst komplexen landwirtschaftlichen Produktionsprozessen bereits in vielfältigen Ansätzen ihr zukünftiges Entwicklungspotenzial entfaltet. All diese Aspekte müssen auch in die Gestaltung der angestrebten Regulierungen und Richtlinien eingehen.

Die Anmeldung zum Symposium erfolgt über die Homepage des Instituts ([www.tu-braunschweig.de/imm](http://www.tu-braunschweig.de/imm)).