

Wolfgang Aumer, Uwe Schuffenhauer, Thomas Herlitzius, Mirko Lindner, Mike Geißler und Norbert Michalke

Funktionsintegration eines elektrischen Antriebes in eine Dreschtrommel

Der Kostendruck in der Landwirtschaft zwingt dazu, die Produktivität und Effizienz der Agrartechnik in Mähdreschern weiter zu steigern. Die Notwendigkeit, wesentlich größere Maschinenleistungen in einem eingeschränkten Bauraum unterzubringen, erfordert neue Antriebskonzepte. Am Beispiel einer elektrisch direkt angetriebenen Dreschtrommel wird die Möglichkeit der Integration elektrischer Antriebe in die Funktionselemente gezeigt.

Schlüsselwörter

Elektrische Antriebe, Dreschtrommel, Mähdrescher, Antriebsstrang

Keywords

Electrical drive, threshing cylinder, combine, driveline

Abstract

Aumer, Wolfgang; Schuffenhauer, Uwe; Herlitzius, Thomas; Lindner, Mirko; Geißler, Mike and Michalke, Norbert

Functional integration of an electrical drive in a threshing cylinder

Landtechnik 65 (2010), no. 3, pp. 194-197, 5 figures, 1 table, 5 references

A further increase of productivity and efficiency in harvesting combines will be necessary in the future. The requirements to increase machine performance within a limited space will create new drive concepts. With the example of the electrically direct driven threshing cylinder the potential for integration of electrical drives into functional elements is presented.

■ Produktivitätssteigerungen in Mähdreschern wurden bislang durch größere Breiten des Schneidwerks und des Bearbeitungskanal, durch Intensivierung der Abscheidefunktionen sowie durch eine stetige Leistungserhöhung der Dieselmotoren erreicht. Im Durchschnitt vergrößerte sich die Motorenleistung in den letzten 10 Jahren um 3 % pro Jahr [1]. Mähdrescher zur

Ernte von verschiedenen Fruchtarten besitzen derzeit 150-470 kW Dieselmotorleistung. Eine kontinuierliche Steigerung der Produktivität bei gleichbleibendem Bauraum ist auf der Grundlage klassischer Antriebskonzepte schwierig.

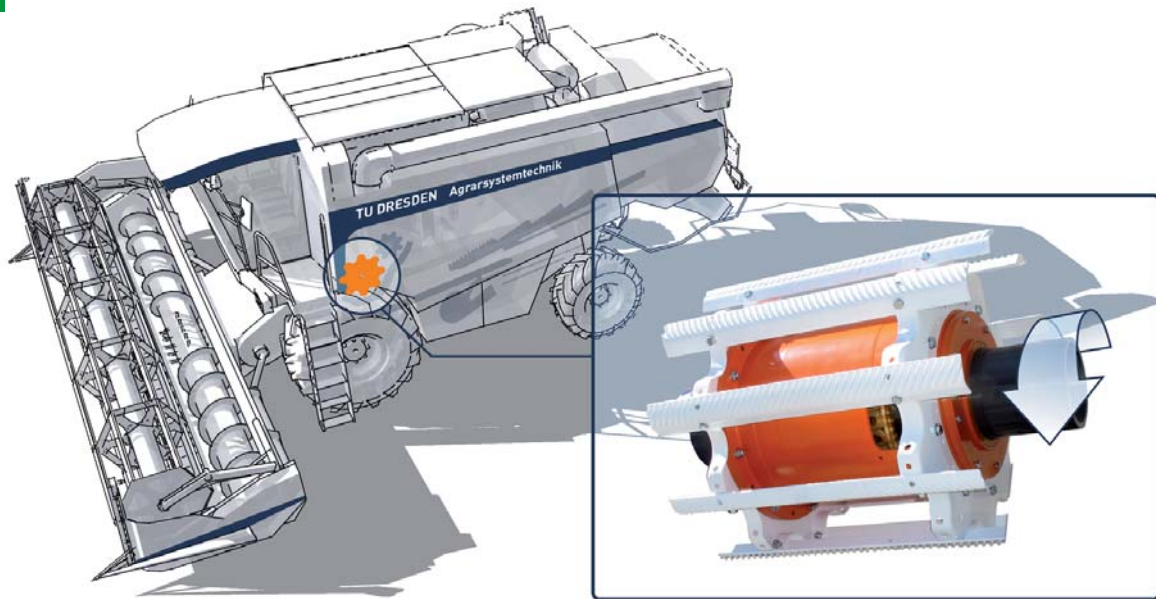
Die Antriebsstränge im Mähdrescher sind komplex aufgebaut. Viel Bauraum wird für die Übertragung der Antriebsleistung zu den verschiedenen Verbrauchern benötigt. Elektrische Antriebssysteme können die Antriebsstränge vereinfachen [2]. Für eine optimale Bauraumausnutzung sind hocheffiziente und kompakte Antriebe, die in die Funktionselemente integriert sind, vorteilhaft. Dezentrale Antriebe ermöglichen lokale Intelligenz. Das bedeutet, dass sie eine eigene Regelungsebene besitzen und selbstständig agieren können. Elektrische Antriebe sind hierfür prädestiniert. Sie ermöglichen neue Strategien des Antriebsstrangmanagements (**Abbildung 1**). Mit den zur Verfügung stehenden Informationen, wie Drehmoment und Drehzahl, ist der Leistungsfluss im Antriebsstrang bekannt. Individuelle und stufenlose Drehzahl- und Drehmomenteinstellungen erlauben höchste Flexibilität bei der Auslegung von Funktion und Konstruktion der Antriebselemente [3; 4].

Funktions- und Systemintegration elektrischer Antriebe

Die Leistung der Dreschtrommel im konventionellen Antriebsstrang, wie in **Abbildung 2 links** zu sehen, wird über Kuppelung, Zwischenwelle, Variator zur Drehzahlstellung, Vorgelege und Reduziergetriebe übertragen. Viele rotierende Teile bedeuten eine hohe aktive Masse, die zum Gesamtgewicht von 500-1000 kg beitragen. Der Wirkungsgrad bei dem mechanischen Dreschtrommelantriebsstrang liegt bei 0,89-0,92.

Mit dem Ziel der Systemvereinfachung wurde eine Dreschtrommel mit integriertem elektrischen Direktantrieb entwickelt. **Abbildung 2 rechts** zeigt den elektrischen Antriebsstrang der Dreschtrommel im Mähdrescher, der wesentlich

Abb. 1



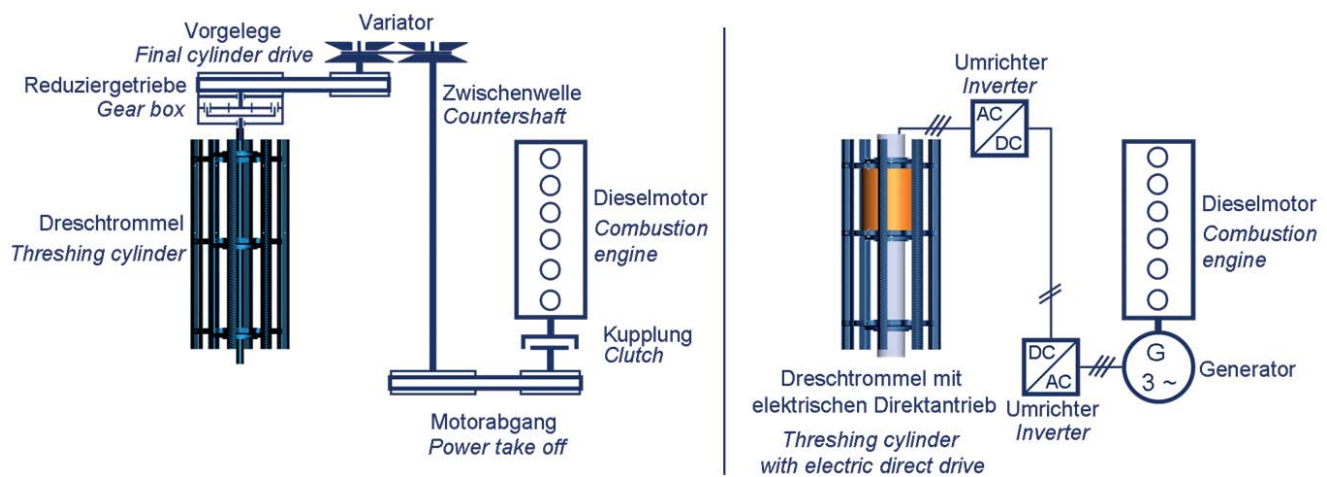
Elektrifizierte Dreschtrammel im Mähdrescher
 Fig. 1: Electrified threshing cylinder in the combine

weniger Bauraum beansprucht. Der Generator ist direkt mit dem Dieselmotor verbunden. Die erzeugte elektrische Energie wird über den Umrichter mit Gleichspannungszwischenkreis an den elektrischen Direktantrieb der Dreschtrammel weitergeleitet. Im Gleichspannungszwischenkreis überbrückt ein Kondensator kurzzeitige Lastspitzen. Auf dem Prüfstand wurde der Dreschtrummelmotor über eine stationäre Leistungselektronik betrieben. Für die Anwendung im Mähdrescher vereinfacht sich der Antriebsstrang dahingehend, dass mit der Integralbauweise der permanenterrregte Synchronmotor und Umrichter in einer räumlichen Einheit zusammengefasst werden können [5].

Technische Besonderheiten von elektrischen Direktantrieben

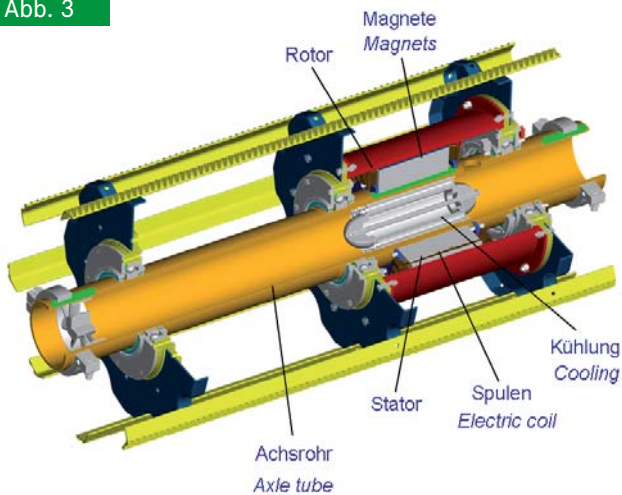
Der verwendete Elektromotor ist ein speziell für diese Anwendung ausgelegter permanenterrregter Synchronmotor als Außenläufer. Synchronmotoren sind Drehfeldmotoren, bei denen Ständerdrehfeld und Läuferdrehfeld synchron laufen. Durch die räumliche Anordnung der Ständerspulen und die zeitliche Abfolge des Eingangsstroms wird ein Drehfeld erzeugt. Im Gegensatz zu den bei stationären Anwendungen häufig verwendeten Asynchronmotoren haben permanenterrregte Synchronmotoren keine Verluste im Läufer, einen besseren Wirkungsgrad

Abb. 2



Mechanischer (links) und elektrischer Antriebsstrang für die Dreschtrammel
 Fig. 2: Mechanical (left) and electrical drive line for the threshing cylinder

Abb. 3



Dreschtrammel mit Direktantrieb durch permanentmagnetten Synchronmotor als Außenläufer

Fig. 3: Direct driven threshing cylinder with permanently synchronous motor as external rotor

und meist eine geringere Masse. Aufgrund des maximalen Motordrehmomentes und des geringen Massenträgheitsmoments weist der Synchronmotor eine kleine Hochlaufzeit auf, was sich speziell in Bezug auf die Dynamik vorteilhaft auswirkt. In **Abbildung 3** ist die Dreschtrammel mit dem permanentmagnetten Synchronmotor im Schnittmodell zu sehen.

Der als Außenläufer konzipierte permanentmagnette Synchronmotor ist in die Dreschtrammel integriert und treibt diese an. Der Außenläufer überträgt die Drehmomente und ist zugleich Teil der Dreschorgane. Die entstehende Verlustwärme wird im Achsrrohr, auf dem der Stator aufgebracht ist, über den Kühlkörper abgeführt. Der Stator des Dreschtrammelmotors besteht aus dem Blechpaket und der Ständerwicklung,

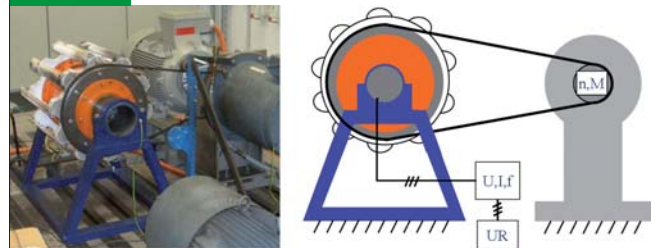
Tab. 1

Betriebskennlinien des Dreschtrammelmotors mit der Leistungselektronik

Table 1: Characteristic of the electric drive for the threshing cylinder with power electronic

Nennleistung Nominal power	62,5 kW	Nennstrom Nominal current	108 A
Nenn Drehmoment Nominal torque	597 Nm	Maximaldrehmoment Maximum torque	1200 Nm
Nenn Drehzahl Nominal speed	1000 min ⁻¹	Drehzahlbereich (reversibel) Speed range (reversible)	0-1500 min ⁻¹
Strangspannung Phase voltage	528,6 V	Frequenz bei Nenn Drehzahl Frequency at nominal speed	200 Hz
Pole Pole	24	Nuten Slots	27

Abb. 4



Untersuchungen des Dreschtrammelmotors auf dem Prüfstand
U: Spannung; I: Strom; f: Frequenz; n: Drehzahl; M: Drehmoment;
UR: Umrichter

Fig. 4: Test bench for the threshing cylinder

U: voltage; I: current, f: frequency, n: speed, M: torque, UR: inverter

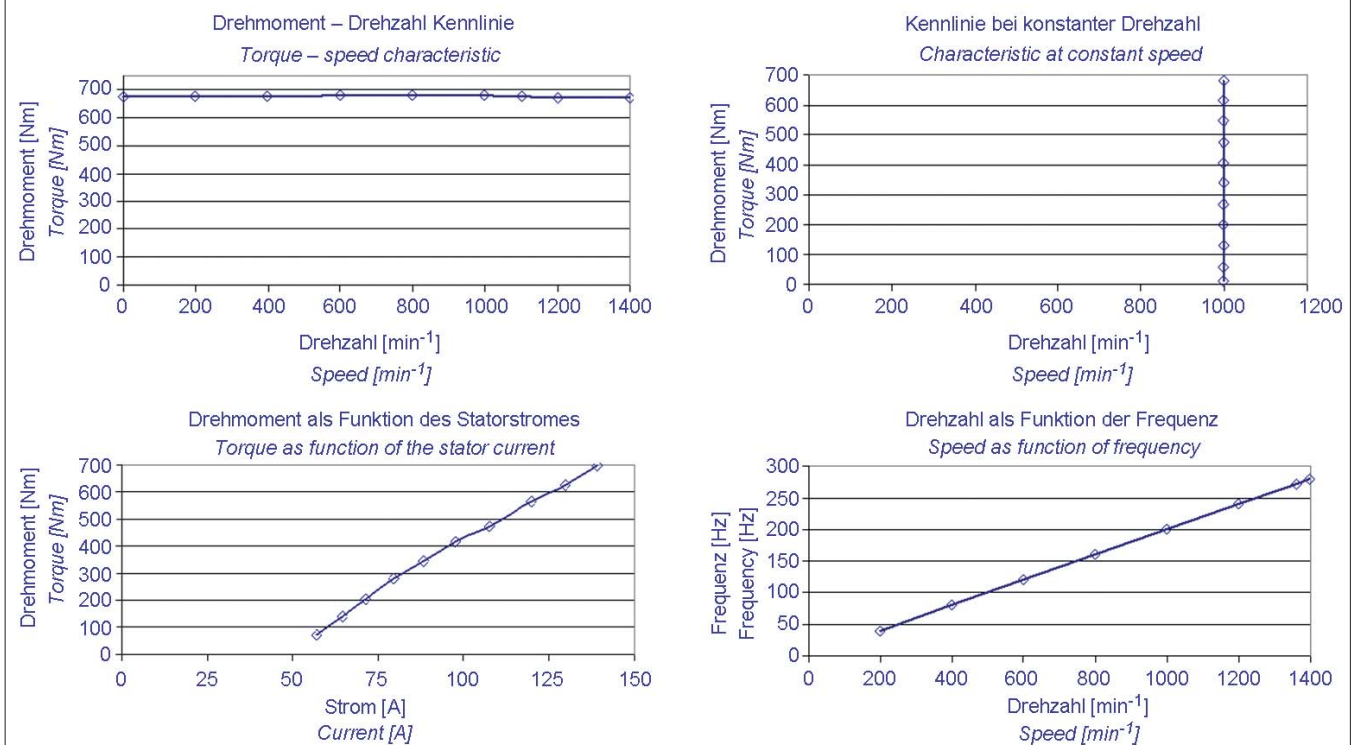
der Rotor aus Außenring mit Permanentmagneten. Die eingesetzten Permanentmagnete sind aus dem Seltenerdmaterial Neodym-Eisen-Bor. Diese Magnete haben im Vergleich zu den Ferrit-Magneten besonders gute magnetische Eigenschaften bezüglich der hohen Energiedichte und ermöglichen größere Drehmomente. Das Nenndrehmoment ist im Dauerbetrieb bis zur Nenndrehzahl verfügbar. Kurzzeitig kann der Elektromotor sein Drehmoment bis zum Vielfachen seines Nenndrehmomentes aufbringen. In **Tabelle 1** sind die Kennlinien des elektrischen Direktantriebes der Dreschtrammel zusammengefasst.

Auf dem Prüfstand wurden mithilfe eines Lastmotors Untersuchungen im Hinblick auf die Drehzahlsteifigkeit und das thermische Verhalten der elektrischen Dreschtrammel durchgeführt. In **Abbildung 4** ist der Aufbau des Prüfstandes ersichtlich.

Dreschtrammelmotor und Lastmotor sind mit einer Kette direkt mechanisch gekoppelt. Der Dreschtrammelmotor läuft im drehzahlgeregelten Betrieb. Mittels Drehmomentregelung stellt der Lastmotor die gewünschte Belastung dar. In **Abbildung 5** sind die Teilergebnisse der Prüfstanduntersuchungen aufgezeigt.

Die Möglichkeit, mit konstantem maximalem Drehmoment die elektrische Dreschtrammel von 0 bis zur Nenndrehzahl von 1000 min⁻¹ zu betreiben, zeigt die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie. In **Abbildung 5** oben rechts ist die Drehzahlsteifigkeit unabhängig von der Last des permanentmagnetten Synchronmotors ersichtlich. Die Drehzahlsteifigkeit ist ein neues Funktionsmerkmal der Dreschtrammel, die sich vorteilhaft auf die Druschqualität und Abscheideleistung bei unterschiedlichen Durchsätzen und Lastschwankungen auswirkt. Zudem ist die Drehzahl stufenlos und von 0-1500 min⁻¹ für das entsprechende Erntegut einzustellen. Die Reversierbarkeit ist ebenfalls ein neues Funktionsmerkmal. Die unteren Kennlinien in **Abbildung 5** zeigen die direkten Abhängigkeiten von Drehmoment zu Statorstrom und Frequenz zu Drehzahl. Mit den verfügbaren Informationen wie Drehmoment und Drehzahl ist der Leistungsfluss im Antriebsstrang bekannt. Der Umrichter regelt die Drehzahl oder das Drehmoment der Dreschtrammel ohne zusätzlichen Sensor. Des Weiteren kann der Umrichter das Massenträgheitsmoment bestimmen und den

Abb. 5



Ergebnisse der Prüfstanduntersuchungen

Fig. 5: Results of the test bench

Elektromotor identifizieren. Die Ansteuerung des Umrichters erfolgt über CAN Bus, womit das elektrische Antriebssystem in das Fahrzeugmanagement problemlos eingebunden werden kann.

Schlussfolgerungen

Ein überzeugendes Gesamtkonzept für Hybridantriebe mit innovativen Einzelkonzepten trägt zur weiteren Steigerung der Produktivität und Effizienz von Mähdreschern bei. Eine zukunftsweisende Alternative können hierfür funktionspezifische, dezentrale und modular gestaltete elektrische Antriebseinheiten sein, denen die Leistung über ein elektrisches Bordnetz zugeführt wird. Die Integration elektrischer Antriebe in die Funktionselemente ermöglicht eine Systemvereinfachung durch Verringerung der Antriebs- und Übertragungselemente. Neben der Dreschtrammel gibt es weitere dezentrale Antriebe im Mähdrescher, die mit elektrischer Energie betrieben werden können. Die Drehzahlsteifigkeit des Elektromotors führt dazu, dass der Entkörnungsprozess während des Dreschvorganges mit gleichbleibend hoher Qualität abläuft. Neben dem geringeren Bauraumbedarf ermöglichen elektrische Antriebe eine einfachere Konstruktion der Erntemaschine. Aufgrund der „Intelligenz“ elektrischer Antriebssysteme ist der Leistungsfluss im Antriebsstrang bekannt und kann über den CAN Bus gesteuert werden.

Literatur

- [1] Nacke, E.: Ein Simulationsmodell zur Analyse der Einsatz- und Leistungsparameter von Erntemaschinen. Landtechnik 62 (2007), Sonderheft, S. 278–279
- [2] Aumer, W.; Th. Herlitzius, M. Geißler und M. Lindner: Diesel-elektrisches Antriebssystem in selbstfahrenden Landmaschinen. In: VDMA (Hg.): Tagungsband 4. Fachtagung Baumaschinentechnik, Dresden, 15.05.2009. Schriftenreihe der Forschungsvereinigung der Bau- und Baustoffmaschinen e. V. (FVB), Heft 37, 2009, Frankfurt
- [3] Herlitzius, Th.; Aumer, W., Lindner, M., Bernhardt, G., Schuffenhauer, U., Michalke, N. and Kuß, H.: System Integration and Benefits of Electrical Solutions in Mobile Machines. In: Tagungsband ECPE-Seminar: More Electric Vehicles, München 30.-31.03.2009
- [4] Rauch, N.: Mit elektrischen Antrieben Traktor-Geräte-Kombinationen optimieren. In: Tagung Land.Technik für Profis 2010. Traktor – quo vadis? Tagungsband, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 2010, S. 85–100
- [5] Eversheim, W.; J. Schernikau und R. Niemeyer: Mechatronik – Konsequenzen einer Technologieintegration. VDI-Zeitschrift Integrierte Produktion, Band 140 (1998), H. 11/12, S. 24–26

Autoren

M.Sc. Wolfgang Aumer, Dipl.-Ing. Mirko Lindner und Dipl.-Ing. Mike Geißler sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl Agrarsystemtechnik der TU Dresden (Leiter: **Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Herlitzius**), Bergstraße 120, 01069 Dresden, E-Mail: aumer@ast.mw.tu-dresden.de

Dipl.-Ing. Uwe Schuffenhauer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fakultät Elektrotechnik der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (Leiter: **Prof. Dr.-Ing. Norbert Michalke**), Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden