

Florian Kogler, Johannes Heissenberger, Manfred Schrödl, Markus Hofinger, Jürgen Karner, Heinrich Prankl, Gerald Kalteis und Ernst Prand-Stritzko

Optimierung einer Mäher-Aufbereiterwelle durch einen elektrischen Antrieb

Die optimale Leistungsanpassung von landwirtschaftlichen Bearbeitungsvorgängen und die damit verbundene Steigerung der Effizienz stellen immer höhere Anforderungen an Antriebe auf Landmaschinen. So eröffnet auch die Anpassung der Drehzahl eines Mähaufbereiters neue Möglichkeiten der Prozessoptimierung. Aufgrund ihrer vorteilhaften Eigenschaften bieten Elektromotoren eine gute Voraussetzung für drehzahlvariable Antriebe. Der folgende Beitrag beschreibt die Entwicklung eines integrierten Rohrantriebes.

Schlüsselwörter

Mähaufbereiter, elektrischer Antrieb

Keywords

Mowing conditioner, electric drives

Abstract

Kogler, Florian; Heissenberger, Johannes; Schrödl, Manfred; Hofinger, Markus; Karner, Jürgen; Prankl, Heinrich; Kalteis, Gerald and Prand-Stritzko, Ernst

Optimization of a mowing conditioner using electric drives

Landtechnik 67 (2012), no. 6, pp.425–428, 6 figures, 2 tables, 2 references

The optimal power adaptation of agricultural processes and the associated increase of efficiency require high demands on drives for the agricultural machinery. In a sense the adaptation of the speed of a mowing conditioner gives new chances for process optimization. Due to their advantageous properties electrical drives provide good speed variability. The following article describes the development of an integrated tubular drive.

neuer und innovativer Antriebskonzepte [1]. Durch den Einsatz von elektrischen Antrieben können einige bisher nur schwer zu erreichende Anforderungen an Anbaugeräte erfüllt werden.

Der Mähaufbereiter bei Scheiben- und Trommelmähwerken sorgt durch gezielte Verletzung der Pflanzenfasern für eine deutliche Verkürzung der Abtrocknungszeit, erfordert aber eine hohe Antriebsleistung. Der Aufbereitungsgrad ist von der Drehzahl der Aufbereiterwelle abhängig. Bei kleiner Drehzahl ist die Wirkung kaum bis gar nicht vorhanden, eine zu hohe Drehzahl steigert den Leistungsbedarf und erhöht die Bröckelverluste.

Elektrische Antriebe haben den Vorteil, dass sie präzise drehzahleregelt betrieben werden können. Vom Stillstand bis zur Nenn Drehzahl steht durchgehend das maximale Moment zur Verfügung. Die Aufbereiterwelle kann durch den Einsatz eines elektrischen Antriebs mit beliebigen Drehzahlen gefahren werden. Somit kann in Abhängigkeit von der Art des Mähgutes, der Dichte des Bestandes oder anderen gewünschten Parametern eine optimale Abtrocknung mit gleichzeitig minimalen Bröckelverlusten erreicht werden.

Entwicklung des elektrischen Antriebs

Im Rahmen des Forschungsprojektes „FFT – Future Farm Technology“ wurde an der Technischen Universität Wien in Kooperation mit Josephinum Research und BLT Wieselburg sowie mit den Firmen Alois Pöttinger Maschinenfabrik, High Tech Drives und Egston ein solcher Antrieb entwickelt. Dabei wird auch der Vorteil eines Elektromotors bezüglich der baulichen Möglichkeiten ausgenutzt: Der Motor ist als Außenläufer konzipiert und direkt in das Aufbereiterrohr integriert. Für den effizienten Betrieb wurde eigens eine Leistungselektronik entwickelt und aufgebaut.

■ Um die Effizienz bei der Futterbereitung weiter zu steigern, ist eine möglichst optimale Leistungsanpassung an die Prozessbedingungen erforderlich. Dies wiederum erfordert den Einsatz

Abb. 1



Elektromotor mit Befestigungsflansch (Foto: TU Wien)
 Fig. 1: Electric drive with flange

Tab. 1

Technische Daten des Motors

Table 1: Motor specifications

Motorart <i>Type of Engine</i>	Permanentmagneterregte Synchronmaschine (PSM) <i>Permanent magnet synchronous machine (PMSM)</i>
Bauart <i>Construction type</i>	Außenläufer mit Oberflächenmagneten <i>Outer rotor with surface magnets</i>
Polpaare <i>Pole pairs</i>	5
Nuten <i>Slots</i>	12
Wicklung <i>Winding</i>	konzentriert, einschichtig <i>concentrated single layer</i>
Nenn Drehzahl <i>Nominal speed</i>	1000 rpm

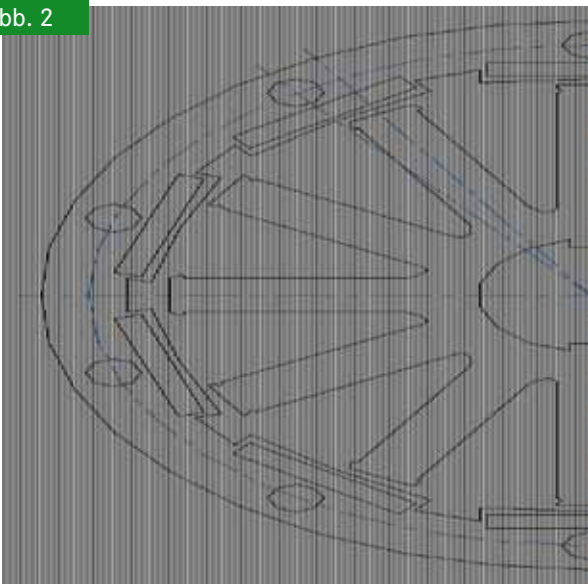
Abbildung 1 zeigt den Elektromotor mit Flansch zur Befestigung im Rohr. Am oberen Ende sind die Spulen des Stators zu sehen. In **Abbildung 2** ist der Querschnitt der Blechschnitte von Rotor und Stator zu erkennen. Technische Daten zum Elektromotor sind **Tabelle 1** zu entnehmen.

Bei der Entwicklung des Motors waren als Designvorgaben sowohl die passenden Leistungsdaten als auch der Durchmesser des Motors, der durch die Größe der bereits bestehenden konventionellen Aufbereiterwelle gegeben ist, zu berücksichtigen.

Die Wahl des Elektromotors fiel auf einen permanentmagneterregten Synchronmotor. Dieser ist durch die Permanentmagnete am Rotor wartungsarm und hat verglichen mit anderen Motoren einen hohen Wirkungsgrad.

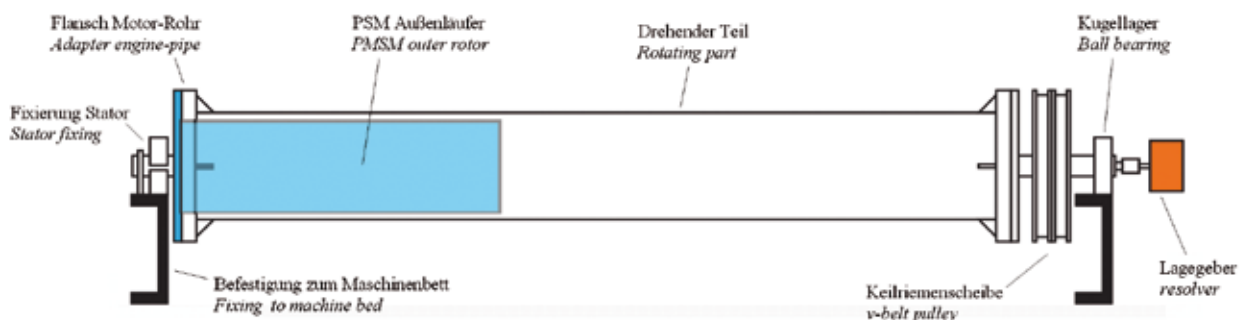
Der Motor wird in das Rohr geschoben und an der Stirnseite mit dem Aufbereiterrohr verschraubt. Der Stator in der Mitte des Motors ist dabei außen starr am Rahmen verbunden. Der Rotor ist starr mit dem Rohr verbunden und am Stator gelagert. So kann das Prinzip des Außenläufers ohne Getriebe angewendet werden, die Welle dreht sich direkt mit dem Rotor mit. **Abbildung 3** zeigt den schematischen Aufbau der Aufbereiterwelle.

Abb. 2



Stator und Rotor im Querschnitt
 Fig. 2: Profile of stator and rotor

Abb. 3



Skizze der Aufbereiterwelle für Messungen am Prüfstand
 Fig. 3: Sketch of the mowing conditioner on the test bench

Für die Messungen am Prüfstand wurde die Länge des Aufbereiterrohrs – abweichend von der Serienausführung – halbiert und entsprechend gelagert (rechter Teil im Bild). Die statischen Teile der Aufbereiterwelle wurden auf beiden Seiten mit zwei Stützen am Maschinenbett befestigt. Gegenüber dem Motor (blau) befinden sich zwei Riemenscheiben zur Belastung an einer Lastmaschine. Rechts ist ein Lagegeber (orange) eingezeichnet, welcher für Testzwecke am Prüfstand verwendet wird. Im Normalbetrieb wird die PSM sensorlos geregelt [2].

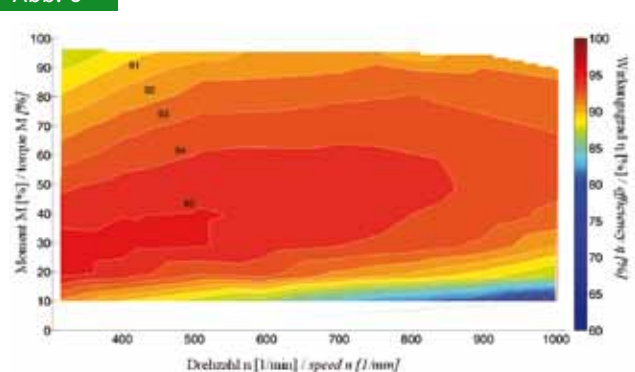
Messergebnisse

Bei den Prüfstandsmessungen wurde das Hauptaugenmerk auf die Dynamik des Systems gerichtet. Die Aufbereiterwelle wurde dabei mit unterschiedlichen Drehzahlen betrieben und die angekoppelte Lastmaschine lieferte nach einem vordefinierten Lastprofil ein Gegenmoment. Die Lastprofile spiegeln die durchschnittliche Momentbelastung einer Aufbereiterwelle am Feld im Praxiseinsatz wider. In **Abbildung 4** ist das gemessene Ist-Moment der Welle zum Soll-Moment des Lastprofils aufgetragen. Eine vergrößerte Darstellung zeigt, dass die Anforderungen an die Drehmomentdynamik des Motors erfüllt wurden.

Elektrische Antriebe haben nicht nur den Vorteil leicht regelbar zu sein, sie weisen außerdem auch höhere Wirkungsgrade auf. **Abbildung 5** zeigt die Muschelkurve der Aufbereiterwelle, aufgenommen bei 80 °C Statortemperatur. Bemerkenswert ist, dass in weiten Bereichen Wirkungsgrade von 90 bis 95 % erreicht wurden, welche typisch für einen Elektromotor in dieser Baugröße sind.

Zu beachten ist, dass je nach Betriebsbereich bis zu 10 % an Verlustleistung auftreten kann, was bei Maschinen dieser Größe einer Wärmeleistung von größer 1 kW entspricht. Bei den mehrstündigen Tests am Prüfstand wurde diese durch eine

Abb. 5



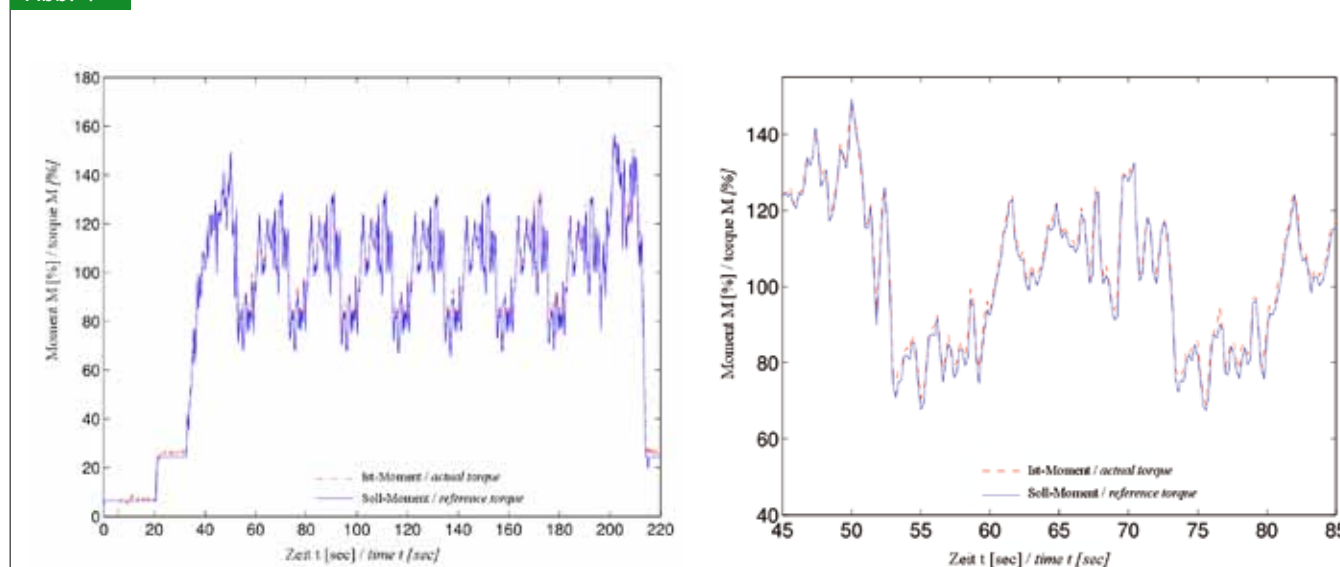
Muschelkurve der Aufbereiterwelle bei 80 °C
Fig. 5: Efficiency map of the conditioner at 80 °C

Wasserkühlung realisiert. Bei Abführung der Wärme rein über Konvektion ist eine Optimierung des thermischen Systems erforderlich. Mit einer guten thermischen Verbindung zwischen Rotor und Aufbereiterwelle, welche toleranzbedingt einen Luftspalt hat, kann die vergleichsweise große Oberfläche der Welle sehr gut als Abnehmer fungieren.

Die Leistungselektronik

Das Konzept der Elektronik umfasst eine robuste, zuverlässige Lösung, die den hohen Anforderungen in der mobilen Landtechnik gerecht werden. Die Leistungselektronik wurde für eine Leistung von 30 kVA dimensioniert und besteht aus einem Spannungszwischenkreisumrichter für Gleichspannungen bis 700 V mit einem IGBT-Modul (Insulated Gate Bipolar Transistor) für 150 A Spitze. Die Kühlung der Elektronik besteht aus einer separaten Kühleinheit. Die Leistungselektronik ist für

Abb. 4



Vordefiniertes Lastprofil, links gesamte Messung, rechts ein Ausschnitt
Fig. 4: Defined load profile, left side: overview, right side: detail

Abb. 6



30-kVA-Leistungselektronik für Landtechnikwendungen
(Foto: TU Wien)

Fig. 6: 30 kVA high power inverter for agricultural applications

Tab. 2

Technische Daten der Leistungselektronik

Table 2: Inverter specifications

Eingangsspannung <i>Input voltage</i>	3 x 400 V AC
Zwischenkreisspannung <i>DC Voltage</i>	700 V DC
Phasenstrom <i>Phase current</i>	70 A _{peak}
Schnittstellen <i>Interfaces</i>	2 Temperatursensoreingänge/ <i>temperature in</i> 4 digitale Ausgänge/ <i>digital out</i> 4 digitale Eingänge/ <i>digital in</i> 3 analoge Eingänge/ <i>analog in</i> CAN 2.0B RS232

den sensorlosen Betrieb [2] einer permanentmagneterregten Synchronmaschine konzipiert. Die Prototypen wurden für Prüfungsmessungen und auch bereits bei Feldversuchen eingesetzt. In **Abbildung 6** ist eine Umrichtereinheit dargestellt. An der Unterseite ist der Kühlkörper mit den Anschlüssen auf der rechten Seite zu erkennen. Auf dem Kühlkörper befindet sich der Leistungsteil mit Zwischenkreiskondensatoren und Spannungs- bzw. Strommesseinrichtungen. Auf dem Leistungsteil ist der Steuerteil mit dem Digitalen Signalprozessor (DSP) aufgesetzt. Technische Daten sind **Tabelle 2** zu entnehmen.

Schlussfolgerungen

Durch die Kooperation von Forschungseinrichtungen mit der Industrie entstand ein neuartiges Antriebskonzept für eine Mähauflbereiterwelle. Eine eingebaute PSM als Direktantrieb mit einer dafür konzipierten Leistungselektronik betreibt die Welle mit der gewünschten Drehzahl. Dadurch kann der gesamte Prozess optimiert werden, was zu einer Verkleinerung des Leistungsbedarf und zu einer Verkürzung der Abtrocknungszeit führt. In noch folgenden Tests im Feldeinsatz wird dieses Potenzial weiter analysiert werden. Um Perspektiven für diese in der Landwirtschaft neuen Technologie zu entwickeln, werden zukünftig grundsätzliche Aspekte zum Einsatz elektrischer Antriebe untersucht, wie die erhöhte Flexibilität, die Robustheit oder das Energieeinsparungspotenzial.

Literatur

- [1] Prankl, H.; Demmelmayr, F.; Colle, T.; Nadlinger, M.; Schrödl, M.; Kalteis, G. (2010): Mobile Electric Power Supply for Agricultural Machinery and Implements, International Conference on Agricultural Engineering, Clermont-Ferrand, France
- [2] Schrödl, M. (1996): Sensorless Control of AC Machines at Low Speed and Standstill based on the "INFORM" Method, 31. IEEE-IAS Meeting, San Diego, USA, Band 1, pp. 270–277

Autoren

Dipl.-Ing. Florian Kogler und **Dipl.-Ing. Johannes Heissenberger** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Energiesysteme und elektrische Antriebe (Institutsvorstand: **Univ.-Prof. Dr. Manfred Schrödl**) an der Technischen Universität Wien, Gußhausstraße 25-29 / E370-2, A-1040 Wien, E-Mail: florian.kogler@tuwien.ac.at

Dipl.-Ing. (FH) Markus Hofinger ist Mitarbeiter der Abteilung Mechatronik bei der Firma Alois Pöttinger Maschinenfabrik Ges.m.b.H, Industriegelände 1, A-4710 Grieskirchen

Dr. Jürgen Karner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Josephinum Research/BLT Wieselburg (Leitung: **Dipl.-Ing. Heinrich Prankl**), Rottenhauserstraße 1, A-3250 Wieselburg

Dr. Gerald Kalteis ist Geschäftsführer der Firma High Tech Drives Antriebstechnik Forschungs- und Entwicklungs GmbH, Hochbruck 16, A-3270 Scheibbs

Ing. Ernst Prand-Stritzko ist der Leiter der Vorentwicklung bei der Firma Egston, Grafenberger Straße 37, A-3730 Eggenburg

Weitere Hinweise

Die Forschungsarbeit entstand im Zuge des COMET-Projekts „FFT – Future Farm Technologie“, gefördert durch die Forschungsförderungsgesellschaft, dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, dem Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, sowie dem Land Niederösterreich und dem Land Oberösterreich.