

Michael Gallmeier, Freising

Elektrische Baugruppenantriebe – eine Alternative zur Hydraulik?

Mit zunehmend steigenden Kosten für Kraftstoffe wird die Forderung der Nutzer nach Optimierung des Betriebsmitteleinsatzes immer lauter. Einen direkten Ansatz dazu bietet die Steigerung der Wirkungsgrade der Antriebstechnik. Aufgrund positiver Erfahrungen haben elektrische Antriebssysteme zunehmende Verbreitung im stationären Bereich gefunden [1]. Für den mobilen landtechnischen Bereich muss aber ein anderes, weiter gefächertes Einsatzspektrum berücksichtigt und die Eignung eines elektrischen Antriebsstrangs bezüglich anderer Kriterien bewertet werden.

Dipl.-Ing. (FH) Michael Gallmeier ist wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik (komm. Leitung: Prof. Dr. agr. Dr. agr. habil. Hermann Auernhammer) der TU-München, Am Staudengarten 2, 85354 Freising; e-mail: michael.gallmeier@wzw.tum.de.

Schlüsselwörter

Antriebsstrang, elektrische Antriebe, Wirkungsgrad

Keywords

Power train, electric drives, efficiency factors

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 07SH21 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

In Zusammenarbeit mit der Maschinenfabrik Bernard Krone GmbH wurde ein Projekt mit der Zielsetzung initiiert, elektrische und die heute typischen hydraulischen Baugruppenantriebe bezüglich ihrer Eignung als verteilt einsetzbare drehzahlvariable Baugruppenantriebe vergleichend zu bewerten. Eines der wesentlichen Kriterien ist dabei der Wirkungsgrad der Leistungsübertragung. Besonders zu beachten im Vergleich zu Industrieanwendungen sind die stark schwankenden Betriebspunkte durch dynamische Lastmomente oder Drehzahlen. Deshalb ist neben einer stationären Wirkungsgradbetrachtung auch eine unter typischen dynamischen Lasten notwendig.

Ziel des Projektes ist es deshalb, zwei vergleichbare Systeme zu bewerten und die Eignung der elektrischen Lösung im Feldversuch unter Beweis zu stellen.

Elektrisches Prototypantriebssystem

Dazu wurden im Projektverlauf beispielhaft die Baugruppen Einzug und Vorsatz eines Feldhäcklers auf elektrische Antriebe umgerüstet. Der Auslegung liegen Belastungsdaten der hydraulischen Baugruppenantriebe aus Feldversuchen während der Erntekampagne 2005 zu Grunde. Bild 1 zeigt das diesel-elektrische Antriebssystem des Prototyps. Dieses ist sowohl konstruktiv als auch von Bedienung und Steuerung her vollständig in die Serienmaschine integriert. Die Axialkolbenschwenkpumpen der beiden unabhängigen geschlossenen hydraulischen Kreise sind durch einen gemeinsamen permanenterrregten Synchrongenerator ersetzt, welcher über eine Diodengleichrichterbrücke einen Zwischenkreis mit va-

riabler Zwischenkreisspannung speist. Auf der motorischen Seite kommen Reluktanzmotoren mit im Klemmkasten integrierten Umrichtern zum Einsatz. Für den Betrieb des Einzuges ist der hydraulische Einzugsmotor direkt gegen einen elektrischen getauscht. Der vorher zentral in der Grundmaschine verbaute hydraulische Vorsatzantrieb hingegen ist aufgeteilt auf zwei Elektromaschinen. Durch die Integration ins Schneidwerk bietet dies die Möglichkeit zur Einsparung mechanischer Übertragungselemente. Die gemeinsame Schnittstelle zwischen Hydraulik und Elektrik bildet hier das Kettenradgetriebe. Sowohl Generator als auch Motoren und Leistungselektronik sind wassergekühlt ausgeführt, um die Leistungsdichte zu steigern und die Kühlung auch unter Feldbedingungen zu gewährleisten. Eine Einbindung in den Fahrzeugkühlkreislauf ist durch das niedrigere geforderte Temperaturniveau in der aktuellen Ausbaustufe noch nicht möglich, weshalb ein eigener Kühlkreis notwendig ist. Zur Drehzahlregelung der Motoren wird zum einen der eingepreßte Strom der Pumpenansteuerung zur Steuerung der Schnittlänge und zum anderen die Dieselmotordrehzahl zur Anpassung der Grunddrehzahl ausgewertet.

Methodik zur Bewertung von Antriebssträngen

Der Bewertung des Wirkungsgradverhaltens und damit der Ausnutzung der Primärenergie im elektrischen Prototypsystem und in

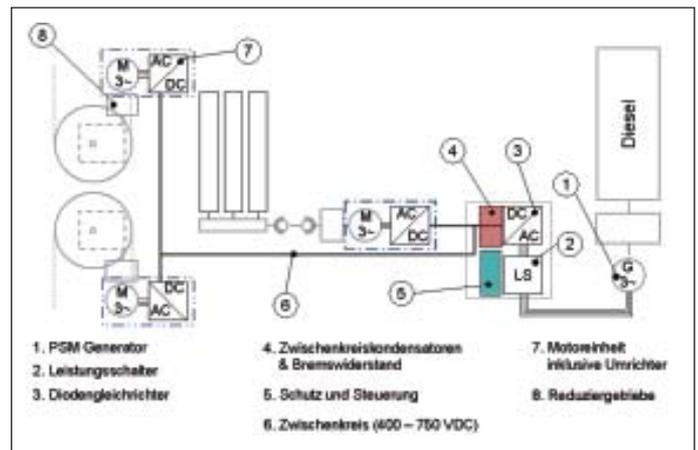


Bild 1: Elektrischer Antriebsstrang für Einzug und Vorsatz

Fig. 1: Electric power train for the modules intake and header

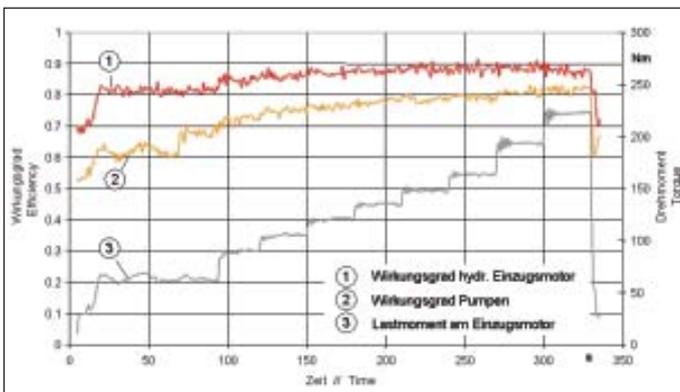


Bild 2: Wirkungsgradverhalten von hydraulischem Einzugsmotor und Pumpen bei stufenweiser Erhöhung des Lastmoments an Einzug und Vorsatz (Dieselmotordrehzahl = 1750 min⁻¹, theor. Häcksellänge = 8 mm)

Fig. 2: Efficiency factor ratios of the hydraulic intake drive and of the pumps at different load levels

der hydraulischen Serienlösung liegen reproduzierbare Prüfstandsversuche im DLG Testzentrum für Landtechnik und Betriebsmittel in Groß-Umstadt zu Grunde. Als regelbare Lastmaschine dient dabei der DLG-Powermix Zugleistungsmesswagen [2]. Dazu wurde der Vorsatzantrieb inklusive aller mechanischen Übertragungselemente über ein Summiergetriebe an die Gelenkwellenschnittstelle des Prüf-LkW gekoppelt. Da nur eine mechanische Schnittstelle zur Verfügung steht, wurde der Einzugsmotor über ein hydraulisches Pumpenaggregat und die hydraulische Schnittstelle belastet.

In stationären Messungen wurde das Verhalten unter Lastniveau zwischen 10 und 140 % des Nennmomentes bei jeweils unterschiedlichen Häcksellängen von 6, 8 und 10 mm untersucht. Außerdem ist eine Differenzierung unterschiedlicher Dieselmotordrehzahlen angezeigt. Zum einen hat im hydraulischen Triebstrang eine Variation der Dieselmotordrehzahl eine Anpassung der Baugruppendrehzahl zur Folge, zum anderen schwankt im elektrischen System zusätzlich die Zwischenkreisspannung. Dies hat bei gleichen Leistungen an den Baugruppen unterschiedliche Effektivströme zur Folge und ändert somit wesentliche Betriebsparameter der Elektromaschinen. Obige Variationen wurde deshalb für Dieselmotordrehzahlen zwischen 1500 und 1850 min⁻¹ mit einer Abstufung von 50 min⁻¹ untersucht.

Die Wirkungsgradmessungen basieren sowohl bei der Hydraulik als auch bei der Elektrik auf Messung der mechanisch eingespeisten und genutzten Leistung über Drehmomentmessnaben an Pumpen/Generator, Einzug und Vorsatz. Bei der Hydraulik wurden zusätzlich die umgesetzte hydraulische Leistung an Pumpen und Motoren über Druckdifferenz und Volumenstrom sowie die Temperatur des Öls dokumentiert. Beide Baugruppen wurden dazu am DLG-Zugleistungsmesswagen parallel mit den Prüfzyklen beaufschlagt, so dass auch für Pumpen und Generator eine typische Belastung gegeben ist. Auf Seite des elektrischen Triebstranges wurden in drei Durchgängen nacheinander

das Verhalten des Generators, das des Einzugsmotors und das Verhalten des Gesamtsystems über ein 4-kanaliges Leistungsmessgerät ermittelt. Eine parallele Ermittlung war mangels eines mehrkanaligen elektrischen Leistungsmessgerätes nicht möglich. Für die Beurteilung des Kühlsystems wurden die Temperaturen jeweils im Kühlwasserrücklauf der Aggregate, am Kühlein- und Kühlerausgang und in den Wicklungsköpfen von Generator und Einzugsmotor aufgezeichnet.

Wirkungsgrade im Vergleich

Bei der Betrachtung der Einzelaggregate treten deutliche Unterschiede zwischen der motorischen und generatorischen/pumpenseitigen Energiewandlung zu Tage. Auf der motorischen Seite sind die Wirkungsgrade der Wandlung annähernd identisch. Für den hydraulischen Einzugsmotor schwanken die erzielbaren hydraulisch-mechanischen Wirkungsgrade unter Volllast bei unterschiedlichen Dieselmotordrehzahlen und bei einer eingestellten Häcksellänge von 8 mm zwischen 89,8% und 87,2%. Im Teillastbereich mit einer Belastung von 30% M_N werden immer noch Wirkungsgrade über 81% erreicht. Bild 2 zeigt das Wirkungsgradverhalten und den Verlauf des Lastmomentes des hydraulischen Einzugsantriebes und der Pumpen bei unterschiedlichen Belastungsstufen an Einzug und Vorsatz bei einer theoretischen Häcksellänge von 8 mm und einer Dieselmotordrehzahl von 1750 min⁻¹. Der elektrische Einzugsantrieb schwankt unter Volllast zwischen 88,1% und 90,6%. Im Teillastbereich sinken die Wirkungsgrade bis auf 80,7% ab.

Deutliche Vorteile für das elektrische System resultieren hingegen aus der wesentlich effizienteren Bereitstellung der elektrischen Leistung. Unter Volllast bieten Generator und Gleichrichterbrücke rund 95%. Die Wirkungsgrade der hydraulischen Pumpen variieren zwischen 78,2% und 82,5%. Bild 3 spiegelt die vergleichbare Situation zu Bild 2 am elektrischen Antriebsstrang wider und

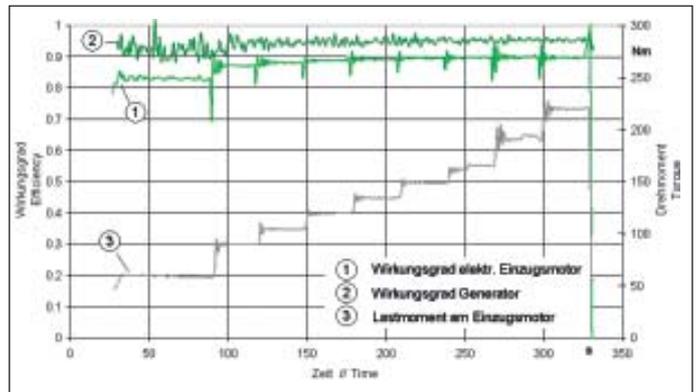


Bild 3: Wirkungsgradverhalten von elektrischem Einzugsmotor und Generator bei stufenweiser Erhöhung des Lastmoments an Einzug und Vorsatz (Dieselmotordrehzahl = 1750 min⁻¹, theoretische Häcksellänge = 8 mm)

Fig. 3: Efficiency factor ratios of the electric intake drive and of the generator at different load levels

stellt Wirkungsgrad und Momentenverlauf an Einzugsmotor und Generator dar. Augenfällig ist insbesondere der auch im Teillastbereich konstant hohe Wirkungsgrad des Generators. Die Pumpen zeigen eine wesentlich stärkere Lastabhängigkeit.

Für den hydraulischen Gesamtantriebsstrang resultiert damit unter Volllast ein Wirkungsgrad von kleiner 70%. Im elektrischen Triebstrang hingegen sind Wirkungsgrade in der Leistungsübertragung von etwa 85% realisiert. Dies ist zum einen auf die effektivere generatorische Wandlung, zum anderen aber auch auf die Einsparung mechanischer Übertragungsglieder in der Antriebskette des Vorsatzes zurückzuführen.

Bauvolumen und Leistungsgewicht

Im Gegensatz dazu stellt sich das Leistungsgewicht der Elektrik der hier verwendeten Komponenten als nachteilig dar. Bezogen auf den häufigsten Betriebspunkt weist der hydraulische Einzugsmotor eine Leistungsgewicht von etwa 1 kg/kW auf, der elektrische inklusive Wechselrichter allerdings von 5,9 kg/kW. Bei der Leistungsbereitstellung sind hingegen geringere Unterschiede festzustellen. Der hydraulische Pumpenturm wiegt insgesamt 121 kg, der Generator 160 kg bei gleicher Nutzleistung.

Fazit

Die Ergebnisse zeigen stationäre Wirkungsgradvorteile des elektrischen Triebstrangs in einer Größenordnung von etwa 15% auf. Noch gravierender wird dieser im Vergleich zu offenen hydraulischen Kreisläufen mit mehreren Abtrieben je Pumpe ausfallen. Als kritisch hingegen ist das wesentlich höhere Leistungsgewicht der Elektromaschinen zu bewerten. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass Leistungsgewichte zwischen 1,25 und 1,5 kW/kg in optimierten Lösungen bereits realisiert wurden [3]. Permanentmagnetisch erregte Synchronmotoren als Radnabenmotoren eingesetzt, weisen sogar ein Leistungsgewicht unter 1 kg/kW auf [4].