

Björn Bernhard, Kiel, und Matthias Schreiber, Hohenheim

Experimenteller Vergleich von Fahrtrieben am Mähdrescher

Für Erntemaschinen der oberen Leistungsklasse haben sich hydrostatische Fahrtriebe seit Mitte der 80er Jahre weitgehend durchgesetzt. Durch kontinuierliche Weiterentwicklung elektrischer Antriebskonzepte in den letzten Jahren wurden diese auch für den Bereich der selbstfahrenden Landmaschinen interessant. Im Rahmen eines DFG-Forschungsprojektes sind in Hohenheim 2003 und 2004 mit einem Mähdrescher erstmals Vergleichsversuche zwischen einem elektrischen und einem hydrostatischen Fahrtrieb durchgeführt worden, die zu einer quantitativen Aussage befähigen und als Bewertungsbasis dienen können.

Dipl.-Ing. sc. agr. Björn Bernhard ist Entwicklungsingenieur bei der Rheinmetall Landsysteme GmbH, Falckensteiner Str. 2, 24159 Kiel, und war von 2000 bis 2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Grundlagen der Agrartechnik des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H. D. Kutzbach). Dipl.-Ing. sc. agr. Matthias Schreiber ist Doktorand am gleichen Lehrstuhl; e-mail: bjoern.bernhard@rheinmetall.com, schreib@uni-hohenheim.de
Prof. Dr. Ing. Dr. h.c. H. D. Kutzbach zum 65. Geburtstag gewidmet

Schlüsselwörter

Mähdrescher, elektrische Antriebe, Fahrtrieb

Keywords

Combine harvester, electric ground drive, ground drive

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 05217 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Bild 1: Hohenheimer Versuchsmähdrescher

Fig 1: Hohenheim test combine



Die Effizienz und Leistungsfähigkeit von Antriebskonzepten - insbesondere des Fahrtriebes [1, 2] - stehen in jüngster Zeit auch im Bereich der Landtechnik in der Diskussion. Nachdem elektrische Fahrtriebe in der Ausbildung als Parallelhybrid im Automobilbereich bereits Serienreife erreicht haben, gibt es mittlerweile auch erste Prototypen von Traktoren und selbstfahrenden Erntemaschinen, welche die Einsatztauglichkeit der mobilen elektrischen Antriebstechnik für den landwirtschaftlichen Einsatz nachweisen konnten [3, 4]. Da ein Vergleich verschiedener Fahrtriebe nur unter identischen Rahmenbedingungen sinnvoll ist, wurde der Hohenheimer Versuchsmähdrescher (Bild 1) mit zwei parallel verlaufenden Fahrtriebsträngen ausgerüstet.

wie einem Verstellmotor. Zum anderen wurde eine elektrische Leistungsübertragung, bestehend aus einem Synchrongenerator, zwei Wechselrichtern und einem Asynchronmotor, aufgebaut. Alle elektrischen Komponenten sind flüssigkeitsgekühlt ausgeführt. Die Leistungsaufnahme der Antriebsstränge vom Dieselmotor und deren Leistungsabgabe an das Verteilergetriebe der Antriebsachse erfolgen jeweils über identische Wellen, so dass die systemunabhängigen Leistungsverluste sowie die Übersetzungen Dieselmotor-Antriebsstrang und Antriebsstrang-Radnabe für beide Antriebe identisch sind (Bild 2). Um das Fahrgefühl subjektiv vergleichbar zu machen, werden beide Fahrtriebe über den gleichen Fahrhebel gesteuert.

Der Versuchsmähdrescher

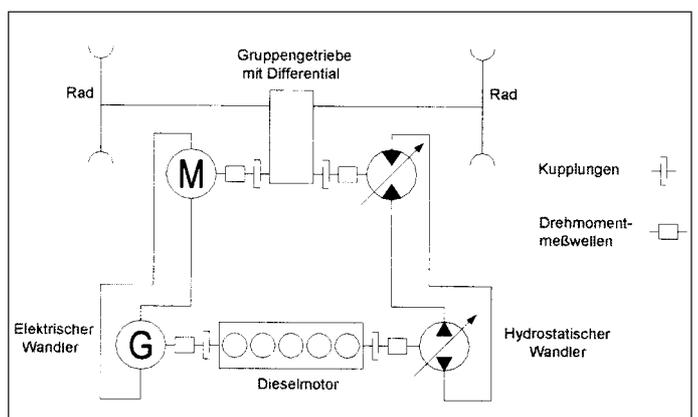
Der Antrieb der Versuchsmaschine kann zum einen durch einen elektronisch geregelten hydrostatischen Fahrtrieb erfolgen. Dieser besteht aus einer Verstellpumpe, einer Reglereinheit so-

V Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Feldversuche im Hauptarbeitsbereich des Mähdreschers zeigen für

Bild 2: Prinzipieller Aufbau der parallelen Fahrtriebe

Fig 2: Schematic set up of the parallel ground drives



den Ernteeinsatz vergleichbare Wirkungsgrade beider Antriebe. Abhängigkeiten von der Viskosität des Hydrauliköls η_D und der Spannung des elektrischen Gleichstromzwischenkreises U_{ZK} wurden deutlich [4].

Bei Versuchen zur Straßenfahrt ergeben sich Vorteile für den elektrischen Fahrtrieb (Bild 3, oben), die sich durch die geringe Auslastung des hydrostatischen Fahrtriebs bei maximalem Ölstrom, der ohne eine zusätzliche Schaltstufe nicht reduziert werden kann, erklären. Beim elektrischen Antrieb dagegen steigt der Wirkungsgrad mit der Drehzahl an. Dieser Vorteil ist allerdings durch den geringen Straßenfahranteil von Erntemaschinen nur eingeschränkt von Bedeutung.

Um die Fahrtriebe definiert zu belasten, wurden Zugkraftversuche durchgeführt. Hierzu wurde der Mährescher über eine Abschleppstange und den in [5] beschriebenen Zugkraftmessrahmen von einem Traktor abgebremst. Bedingt durch die hohe Auslastung der Antriebe ergaben sich dabei Wirkungsgrade η zwischen 0,55 und 0,80, wobei sich geringe Vorteile bei der elektrischen Leistungsübertragung zeigten. Allerdings war die maximal übertragbare Leistung beim elektrischen Antrieb geringer (Bild 3, unten). Die Ursache hierfür liegt in der Auslegung der Wechselrichter begründet, deren Maximalstrom auf $I_{max}=200$ A begrenzt ist. Durch Stromspitzen kommt es allerdings bereits bei einem eingestellten Magnetisierungsstrom von $I_M=150$ A zu einer Abschalt-

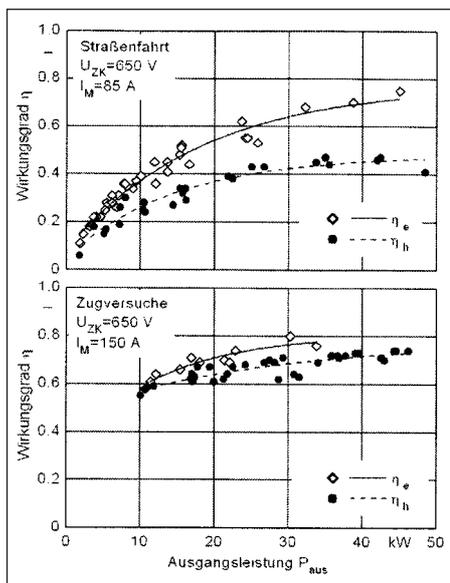


Bild 3: Antriebswirkungsgrad η in Abhängigkeit von der Wandlerausgangsleistung P_{aus} bei Straßenfahrt (oben) und bei Zugversuchen (unten)

Fig 3: Drive train efficiency η depending on the power output of the torque converter P_{aus} during on-road and traction tests

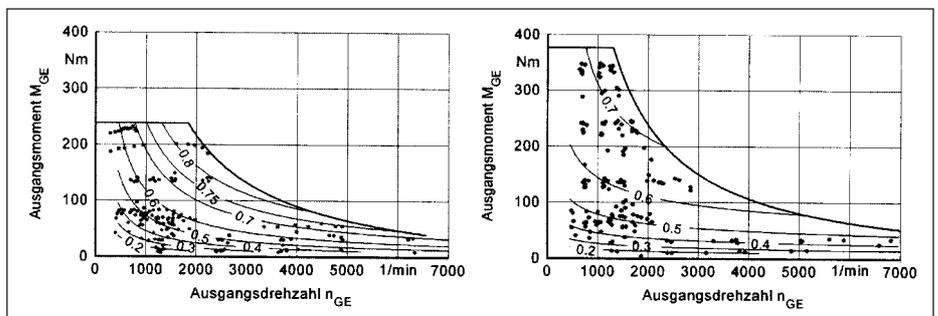


Bild 4: Drehzahl-Drehmoment Kennfeld elektrischer Wandler bei $U_{ZK}=650$ V (links) und hydrostatischer Wandler (rechts)

Fig 4: Ground drive operating maps of the electric torque converter at $U_{ZK}=650$ V (left) and hydraulic torque converter (right) regarding torque and rotational speed

tung des Antriebes, und es konnte lediglich das Nennmoment des Elektromotors von $M_N=240$ Nm erreicht werden.

Aus der Gesamtheit der Messungen wurden für beide Wandler Ausgangsdrehmoment-Ausgangsdrehzahl Kennfelder erstellt (Bild 4). Die Grenzkurven der Kennfelder basieren auf der maximal übertragbaren Leistung, die Punkte kennzeichnen die Mittelwerte der einzelnen Messungen. Durch das auf 240 Nm begrenzte Moment konnten hohe Ausgangsleistungen für den elektrischen Fahrtrieb lediglich bei hohen Fahrgeschwindigkeiten und entsprechenden Drehzahlen erreicht werden (Bild 4, links). Der hydrostatische Fahrtrieb hingegen konnte die Leistung des Dieselmotors auch bei geringen Geschwindigkeiten vollständig aufnehmen (Bild 4, rechts), so dass sich für diesen im Bereich hoher Drehmomente und niedriger Fahrgeschwindigkeiten die Masse des Mähreschers und im Bereich hoher Drehmomente und hoher Fahrgeschwindigkeiten die Dieselmotorleistung als begrenzend für die übertragbare Zugkraft erwiesen.

Die Regressionskennfelder der Wirkungsgrade folgen in beiden Kennfeldern der Form:

$$\eta = a_1 + a_2 \cdot \ln(n_{GE}) + a_3 \cdot \ln(M_{GE}) + a_4 \cdot M_{GE}$$

Für den elektrischen Fahrtrieb ließ sich allerdings keine lineare Abhängigkeit des Wirkungsgrades vom Ausgangsmoment ermitteln, so dass in diesem Fall $a_4=0$ gesetzt werden kann. Die Kennfelder verdeutlichen die Ausgeglichenheit der Wirkungsgrade der beiden Wandler im Hauptarbeitsbereich und die größere Maximalleistung der hydrostatischen Leistungsübertragung insbesondere bei niedrigen Geschwindigkeiten.

Subjektives Fahrverhalten

Die Einstellbarkeit der Fahrgeschwindigkeit war für beide Wandler gleich gut. Die Regelgeschwindigkeit musste bei beiden Antriebssträngen sowohl für Beschleunigungs- als auch für Verzögerungsvorgänge reduziert werden, da sonst zu große Beschleunigungen die Fahrstabilität und Fahrsicherheit gefährden. Die Maxima der Beschleunigungen sind folglich immer ausreichend groß und für den Vergleich der Antriebsstränge ohne

Bedeutung. Die Regler wurden so eingestellt, dass ein komfortables Fahrverhalten gewährleistet ist.

Schlussfolgerung und Ausblick

Aufgrund der beiden für den elektrischen Fahrtrieb benötigten Wechselrichter ist sowohl der für die elektrische Leistungsübertragung notwendige Regelungsaufwand, als auch der benötigte Bauraum größer als beim hydrostatischen Antrieb. Allerdings bietet der elektrische Fahrtrieb erweiterte Regelungs- und Einstellmöglichkeiten. So kann beim elektrischen Wandler beispielsweise die Fahrgeschwindigkeit 0 exakt eingestellt werden, was beim hydrostatischen aufgrund interner Leckölströme nicht möglich ist. Beide Antriebe haben während der Straßenfahrt bei identischer Übersetzung einen Verstellbereich, der ausreicht, um den für selbstfahrende Erntemaschinen relevanten Geschwindigkeitsbereich von 0 bis nahe 30 km/h abzudecken.

Trotz verbessertem Leistungsgewicht der elektrischen Komponenten ist die Masse des elektrischen Fahrtriebes bei gleicher Leistung um Faktor 6 größer als die des hydrostatischen Fahrtriebes. Bezogen auf die Gesamtmasse des Mähreschers ist die zusätzliche Masse durch Einsatz eines elektrischen Fahrtriebes mit unter 3 % Anteil an der maximalen Gesamtmasse jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Zusätzlich wirkt sich auf die Installation des elektrischen Antriebes die notwendige Wasserkühlung negativ aus. Hierdurch muss neben den elektrischen Leitungen ein zusätzliches System von Leitungen verlegt werden. Beim hydrostatischen Wandler wird das Öl als Medium der Leistungsübertragung direkt zur Kühlung genutzt.

Im Gegensatz zum hydrostatischen Fahrtrieb, der aufgrund der Drehrichtung- und Kraftumkehr als geschlossenes System ausgebildet ist, lässt sich das elektrische Antriebssystem um weitere Elektromotoren erweitern. Auch durch die Möglichkeit der Bereitstellung von größerer elektrischer Antriebsleistung für kleine Nebenverbraucher wird das Interesse der Landmaschinenhersteller geweckt.