

Markus Heckmann, Michael Gallmeier, Hermann Auernhammer und Heinz Bernhardt

Lasten im Fahrtriebsstrang eines selbstfahrenden Feldhäckslers

In selbstfahrenden landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen ist der notwendige stufenlose Fahrtrieb vielfach mit hydrostatischen Komponenten realisiert. Bisher veröffentlichte Untersuchungen über auftretende Lasten in solchen Antriebssträngen decken die Entwicklungen der letzten Jahre in diesem Bereich nicht ab. In der vorliegenden Untersuchung werden Lastkollektive im hydrostatischen Antriebsstrang eines selbstfahrenden Feldhäckslers gemessen, in drei verschiedenen Aggregationsstufen dargestellt und interpretiert. Die gemessenen Daten beinhalten typische Feld- und Straßenfahrten mit Variation verschiedener Maschinen- und Einsatzparameter.

Schlüsselwörter

Lastkollektiv, Feldhäcksler, hydrostatischer Fahrtrieb

Keywords

Load spectra, forage harvester, hydrostatic traction drive

Abstract

Heckmann, Markus; Gallmeier, Michael; Auernhammer, Hermann and Bernhardt, Heinz

Loads in the traction drive of a self-propelled forage harvester

Landtechnik 65 (2010), no. 1, pp. 38-41, 5 figures, 7 references

For self-propelled agricultural machines the required continuously variable traction drive is nowadays mainly based on hydraulic components. Published researches according to the load spectra of those drivelines do not cover the rapid machine development of the last years. Therefore, the complementary load spectra of the traction drive of a self-propelled forage harvester were measured, illustrated in three different aggregation levels and interpreted. The established data represent typical in-field conditions including different groundspeeds, modes of header guidance and driving, as well as on-road operations.

fahrgeschwindigkeiten von 40 km/h und Arbeitsbreiten von 10,5 m Stand der Technik, um nur einige Beispiele zu nennen. Von der installierten Motorleistung benötigt der eigentliche Häcksel- und Aufbereitungsprozess über 70 % und der Fahrtrieb ca. 10 % [1]. Je nach Einsatzspektrum und Einstellung der Maschine ist der Anteil für den stufenlosen Fahrtrieb deutlichen Schwankungen unterworfen. Wenn diese unter realen Bedingungen aufgezeichnet werden, können sie in Lastkollektiven abgebildet werden. Für selbstfahrende Erntemaschinen wie Mähdrescher oder Feldhäcksler sind bereits Lastkollektive für den Fahrtrieb veröffentlicht worden [2; 3]. Diese werden allerdings dem aktuellen Stand der Technik hinsichtlich des Gesamtgewichts der Maschinen sowie des Stellbereiches und des Aufbaus der Getriebe nicht mehr gerecht.

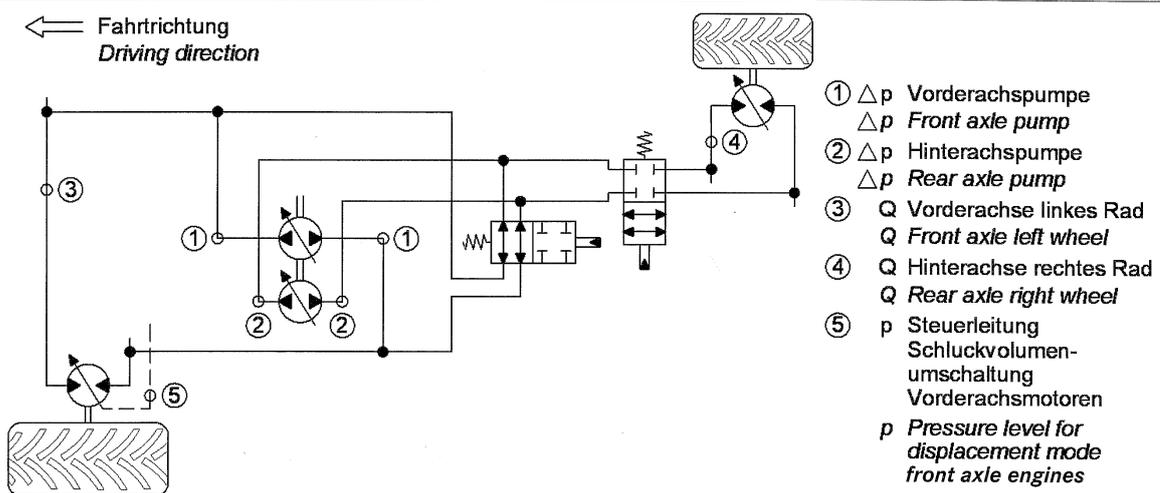
Material und Methoden

Von dieser Situation ausgehend wurden während der Silomais-ernte 2007 Lastkollektivmessungen im hydrostatischen Antriebsstrang eines selbstfahrenden KRONE BiG X 1000 Feldhäckslers durchgeführt. Da eine direkte Aufzeichnung der zu untersuchenden Parameter Drehmoment und Drehzahl am Rad messtechnisch nur sehr aufwendig zu realisieren ist, erfolgte eine Bestimmung der korrespondierenden hydraulischen Größen Druck und Volumenstrom mit einer Aufzeichnungsfrequenz von 33 Hz [4]. Für je ein Rad einer Achse ist die notwendige Messtechnik am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik verfügbar. Aufgrund der besseren Zugänglichkeit wurden das linke Vorderrad und das rechte Hinterrad zur Untersuchung ausgewählt. Der schematische Überblick über den Fahrtrieb mit den verschiedenen Messpunkten ist in **Abbildung 1** dargestellt. Der Fahrtrieb basiert auf einem Zweipumpensystem [5].

Für die Feldversuche wurde der Feldhäcksler in der Silomais-ernte 2007 auf Flächen in der Nähe der Versuchsstation Hirschau der Technischen Universität München eingesetzt. In dem ebenen Gelände waren während der gesamten Versuchs-

■ Selbstfahrende Feldhäcksler gewinnen innerhalb der Grün-
guternte in den letzten Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung.
Dabei sind Motorleistungen bis 750 kW, maximale Straßen-

Abb. 1



Messaufbau für Lastkollektivmessungen im stufenlosen Fahrtriebsstrang eines selbstfahrenden Feldhäckslers
 Fig. 1: Measurement assembly for load spectra in the hydrostatic traction drive of a self-propelled forage harvester

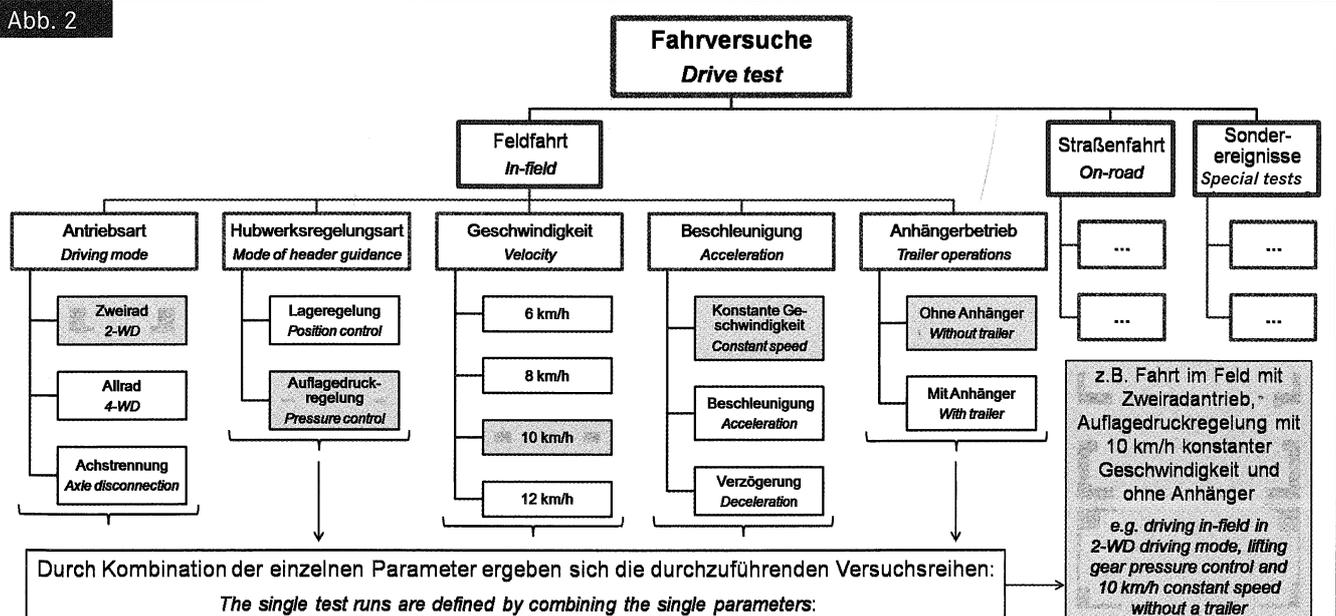
dauer sehr gute Boden- und Ernteverhältnisse anzutreffen. Die verschiedenen Versuchsreihen konnten primär in Feldfahrten, Straßenfahrten und Sonderereignisse, die beispielsweise das Verladen auf einen Tieflader simulieren sollten, unterschieden werden (Abbildung 2). Insgesamt wurden 119 verschiedene Versuchsreihen durchgeführt, die sich aus der Kombination der einzelnen Parameter ergaben [6]. Die damit gewonnenen Daten wurden im Anschluss auf drei verschiedenen Ebenen aggregiert. Für jede einzelne Versuchsfahrt wurden Drehmoment und Leistung für die untersuchten Räder im Zeitverlauf dargestellt. Alle Versuchsfahrten, die sich nur in ihrer konstanten Geschwindigkeit unterscheiden, sind zu jeweiligen Versuchsgruppen zusammengefasst. Gruppen, die sich in nur einem Maschinenparameter unterscheiden, können verglichen und in Abhängigkeit der Geschwindigkeit dargestellt werden. Die Auswirkung einzelner

Parameter auf die Leistungs- und Drehmomentaufnahme der untersuchten Räder wird somit verdeutlicht. Basierend auf allen Versuchsdaten wurden Lastkollektive für Zweirad- und Allradantrieb erstellt.

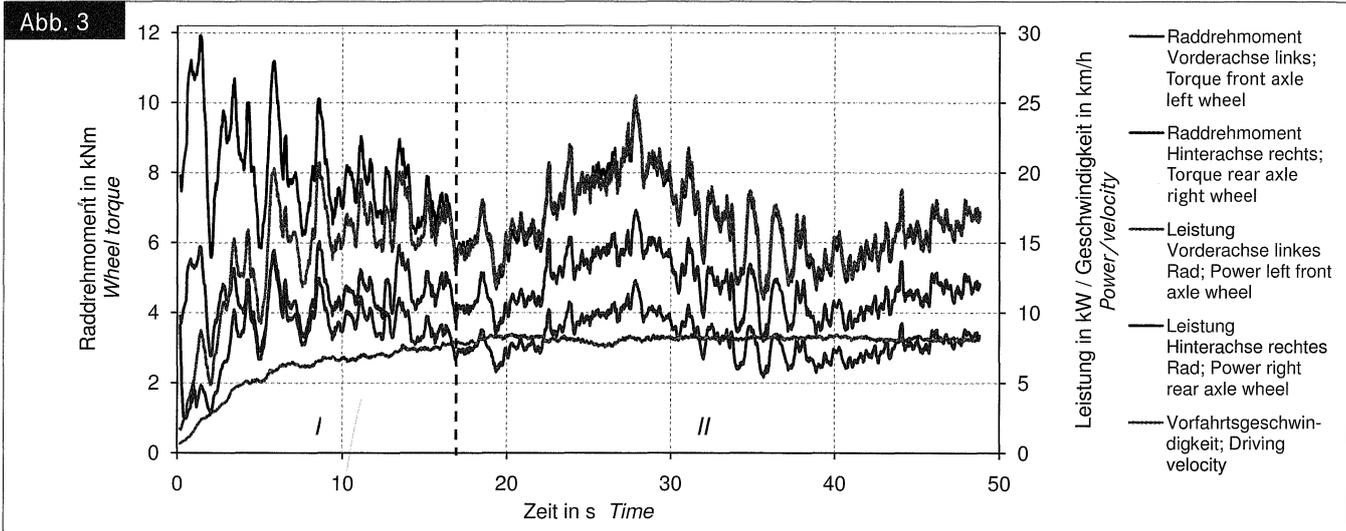
Ergebnisse

Als Beispiel für eine Einzelmessung wird an dieser Stelle eine Messung während des Häckselbetriebes in ebenem Gelände dargestellt (Abbildung 3). Darin ist sowohl die Drehmoment- als auch die Leistungsaufnahme beider untersuchten Räder sowie die Geschwindigkeit im Zeitverlauf abgebildet. Um die teilweise systembedingten Druckschwankung nicht zu deutlich zur Ausprägung zu bringen, wird bei allen dargestellten Messwerten ein gleitendes Mittel aus sechs Werten angewandt. In der Versuchsmaschine sind alle vier Radialkolbenmotoren parallel geschal-

Abb. 2



Beispielhafte Zusammenstellung einer Versuchsreihe aus den variierten Maschinenparametern
 Fig. 2: Exemplary compilation of one single test trial out of the varied machine settings



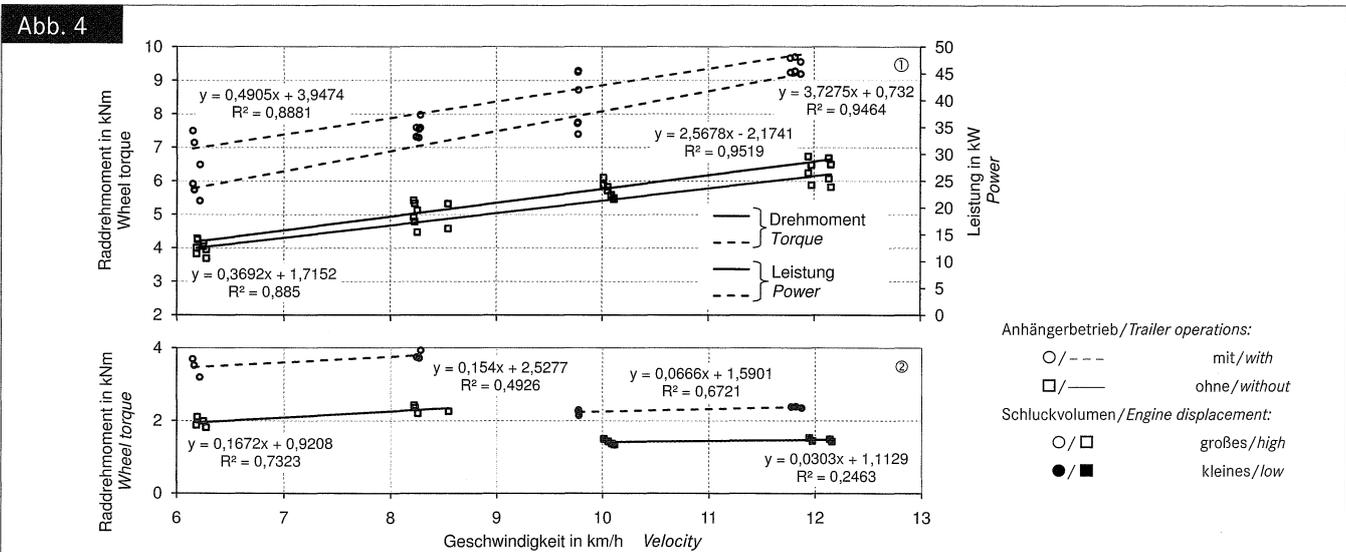
Darstellung der Parameter Drehmoment, Leistung und Vorfahrtsgeschwindigkeit für eine Versuchsreihe bei Häckselbetrieb, Allradantrieb, Auflagedruckregelung, ohne Anhänger

Fig. 3: Illustration of torque, power and velocity for a test trial during harvesting operations, engaged 4-WD drive, header lifting gear pressure control, without trailer

tet, was folglich zu einem annähernd gleichen Druck im gesamten System führt. Das Drehmomentverhältnis stellt sich deshalb analog zu dem Verhältnis der Schluckvolumina der Motoren ein. Aufgrund des kleineren Reifenabrollradius an der Hinterachse ist eine höhere Abtriebsdrehzahl bei gleicher Geschwindigkeit notwendig. Das Verhältnis der Leistungen an beiden Achsen zueinander ist deshalb geringer als das der Schluckvolumina. Die erheblichen Schwankungen zu Beginn der Messreihe bilden die Fahrt an das Hauptbeet über die Fahrspuren im Vorgehende (I) ab, wobei gleichzeitig auf die Arbeitsgeschwindigkeit im Bestand von 8 km/h beschleunigt wird (II). Bei Fahrt im Hauptbeet liegen die maximalen Leistungen des linken Vorder-

rades bei ca. 25 und die des rechten Hinterrades bei ca. 17 kW. Unter der Annahme, dass sich der Ölfluss zu gleichen Teilen auf beide Motoren einer Achse verteilt, beträgt die kalkulatorische Leistungsanforderung des gesamten Fahrtriebes zu diesem Zeitpunkt ca. 84 kW. Dieser Wert bezieht sich auf die von den Pumpen bereitgestellte Leistung. Verluste bei der Energieumwandlung in den Pumpen und beim vorgeschalteten Motorverteilergetriebe sind in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

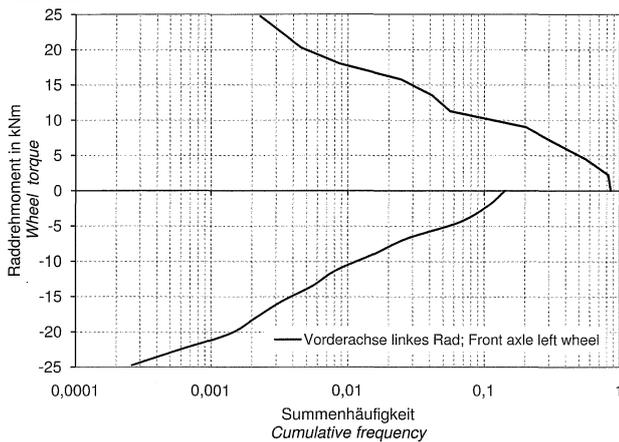
Um die Auswirkungen von einzelnen Maschinenparametern und Einsatzbedingungen abzuleiten, werden Versuche, beispielsweise mit und ohne Anhänger, gegenübergestellt (Abbildung 4). Sowohl für das Drehmoment am linken Vorder-



Raddrehmoment (Rad vorne links in ① und Rad hinten rechts in ② dargestellt) und Leistung (Kumuliert Rad vorne links und Rad hinten rechts in ① dargestellt) in Abhängigkeit der Geschwindigkeit für Feldversuche mit Allradantrieb bei Vergleich von Fahrten mit und ohne Anhänger (Anhängermasse 10 160 kg) in ebenem Gelände

Fig. 4: Wheel torque (Front axle left wheel in ① and rear axle right wheel in ②) and power (Cumulated front axle left wheel and rear axle right wheel in ①) depending on velocity for test trials under in-field conditions with 4-WD driving mode comparing trailer operations (trailer mass 10 160 kg) with non-trailer operations on flat surface

Abb. 5



Lastkollektiv des Feldhäckslerfahrantriebes für Straßenfahrt im Zweiradantrieb bei wechselnden Fahrbahnen und Steigungen
 Fig. 5: Load spectra of the traction drive of the forage harvester during on-road operations for varying road conditions and slopes

rad als auch für die Leistungsaufnahme beider untersuchter Räder ist die Steigung des Graphs bei Anhängerbetrieb größer. Die Geschwindigkeitssteigerung von 6 auf 12 km/h verursacht einen Drehmomentanstieg von ca. 50 % am linken Vorderrad und einen Leistungsanstieg von ca. 37 % bei beiden betrachteten Rädern. Durch die Fahrt mit einer Anhängemasse von 10 160 kg steigt das aufgenommene Drehmoment am Vorderrad im abgebildeten Geschwindigkeitsbereich um 60 bis 75 %. Ähnliche Werte sind für die Leistungsaufnahme dargestellt. Die Regressionsgeraden der Hinterachsdrehmomente sind aufgrund der Schluckvolumenschaltung in den Radialkolbenmaschinen geteilt. Basierend auf dem dadurch reduzierten Drehmoment ist der Beitrag der Hinterachse zur Gesamttriebkraft des Fahrzeugs im hohen Geschwindigkeitsbereich geringer.

Um die Messwerte in einen größeren Zusammenhang einzuordnen, sind alle Versuchsdaten zu Lastkollektiven, unterschieden nach Zweirad- und Allradantrieb, aggregiert [7]. Alle Drehmomentmesswerte werden entsprechend ihrer Summenhäufigkeit abgebildet, wie in **Abbildung 5** beispielhaft für Fahrten im Zweiradantrieb dargestellt wird. Für das linke Vorderrad treten positive Raddrehmomente bis 10 kNm in 75 % aller Fälle auf. Höhere Drehmomente werden bei 10 % aller Werte gemessen. Negative Drehmomente, die Folge von hydraulischen Verzögerungen oder Rückwärtsfahrten sind, kommen in 15 % der Messungen vor. Innerhalb der negativen Raddrehmomente treten Messwerte bis 10 kNm in 93 % der Fälle auf, bis 25 kNm in 7 %. Aufgrund seiner Überbreite und entgegenkommendem Verkehr ist das Fahrzeug sehr oft gezwungen abzubremsen und auszuweichen, vor allem auf Neben- und Verbindungsstraßen.

Schlussfolgerungen

Die vergleichende Einordnung der Gesamtlastkollektive ist auf Grundlage der nur begrenzt verfügbaren Literatur für selbstfahrende Erntemaschinen kaum möglich, vor allem auch im Hinblick auf den bereits zu Beginn erläuterten technischen

Fortschritt der letzten Jahre. Ein Vergleich mit bestehenden Publikationen im Traktorenbereich ist wegen der grundlegenden Unterschiede in den Fahrantriebsanforderungen nicht sinnvoll. Die untersuchten Maschinenparameter können allerdings nach ihrem Einfluss auf die Leistungsaufnahme des Fahrantriebes eingeordnet werden. Die nachfolgende Reihung gibt die Parameter in absteigender Folge ihres relativen Einflusses auf den Antriebsstrang bei konstanter Fahrt wieder:

- Anhängerbetrieb
- Geschwindigkeit
- Hubwerksregelungsart
- Antriebsart

Die einzelnen Maschinenparameter wirken sich direkt auf die Leistungs- und Drehmomentaufnahme des Fahrantriebes aus. Bei der Bewertung von Maschineneinstellungen kann nun auch die Auswirkung auf den Fahrantrieb mit in die Bewertung einfließen. Des Weiteren können die Daten auch zur Optimierung, Weiterentwicklung oder Neuentwicklung von Antriebssträngen bei vergleichbaren Maschinen herangezogen werden.

Literatur

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] Garbers, H. und L. Frerichs: Leistungs- und Technologieentwicklung von selbstfahrenden Feldhäckslern. Landtechnik 56 (2001), H. 6, S. 394–395
- [2] Delfs, L. M. and A.M. Cuerington: Cumulative Damage Theory Applied to Combine Transmission Design. Farm, Construction and Industrial Machinery Meeting, Milwaukee, Wisconsin, USA, 13.–16. September 1965, SAE-paper No. 650685
- [3] Wendorff, J.: Daueruntersuchung von Hydraulikölen auf Rapsölbasis in Mähreschern und selbstfahrenden Feldhäckslern. Biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe und Arbeitsflüssigkeiten, speziell auf pflanzlicher Basis, Seminar Ostfildern 1. bis 3. Februar 1995, Technische Akademie Esslingen, Ostfildern (Nellingen)
- [4] ● Matthies, H. J. und K. Th. Renius: Einführung in die Ölhydraulik. B.G. Teubner Verlag, Wiesbaden, 2006
- [5] Hinsch, W.: Vollhydrostatischer Fahrantrieb mit Zweipumpensystem für selbstfahrende Erntemaschinen. Tagung Landtechnik 2001, Hannover 9. und 10. November, Tagungsband, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, S. 365–370
- [6] Gallmeier, M.: Vergleichende Untersuchungen an hydraulischen und elektrischen Baugruppenantrieben für landwirtschaftliche Arbeitsmaschinen. Dissertation. Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik. Freising-Weihenstephan, 2009
- [7] Heckmann, M., M. Gallmeier, H. Auernhammer und H. Bernhardt: Measuring and interpreting load spectra in the hydrostatic traction drive of a self-propelled forage harvester - Determining loads and load differences caused by various modes of driving. Proceedings of the international Conference Agricultural Engineering AgEng 2009, Hannover 6. and 7. November. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, S. 489–494

Autoren

Dipl.-Ing. agr. Markus Heckmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik der Technischen Universität München (Emeritus: **Prof.Dr.agr.Dr.agr.habil. Hermann Auernhammer**; Ordinarius: **Prof.Dr.agr.Dr.agr.habil. Heinz Bernhardt**), Am Staudengarten 2, 85354 Freising, E-Mail: markus.heckmann@wzw.tum.de

Dr.-Ing. Michael Gallmeier war bei Projektdurchführung wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik und ist nun Leiter der Entwicklung bei der Firma Holmer Maschinenbau GmbH, Regensburger Straße 20, 84069 Schierling/Eggmühl, E-Mail: michael.gallmeier@holmer-maschinenbau.com

Danksagung

Der Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH wird für die Unterstützung während der Feldversuche in der Silomaisernte 2007 sehr herzlich gedankt.