

Thorsten Stamm von Baumgarten, Hans-Heinrich Harms und Thorsten Lang

Bedienerbezogene Bewertung mobiler Arbeitsmaschinen

Aufgrund stetig steigender Energiekosten und verschärften Emissionsvorschriften sind rechnergestützte Simulationen mobiler Arbeitsmaschinen zur Abschätzung der Effizienz notwendig. Dieser Beitrag beschreibt den Ansatz einer Bewertungsmethode, mit dessen Hilfe mobile Arbeitsmaschinen mit hohen Bewegungs- und Lastwechselanteilen hinsichtlich Produktivität und Effizienz bewertet werden können. Ein Kernpunkt des hier vorgestellten Forschungsprojektes ist die Entwicklung eines parametrierbaren Bedienermodells. Neben der Darstellung der zugrundeliegenden Struktur des Bedienermodells wird eine noch zu verifizierende Methode, mit der die bedienerspezifischen Parameter des Bahnplaners und -reglers ermittelt werden, vorgestellt.

Schlüsselwörter

Effizienz, Bewertung, mobile Arbeitsmaschine, Bedienermodell

Keywords

Efficiency, evaluation, mobile machine, operator model

Abstract

Stamm von Baumgarten, Thorsten; Harms, Hans-Heinrich and Lang, Thorsten

Operator-driven evaluation of mobile machines

Landtechnik 66 (2011), no. 6, pp. 414–417, 5 figures, 5 references

To estimate productivity and efficiency of mobile machines due to increasing energy costs and stricter emission regulation, computer based simulation is essential. The necessity and the steps taken for an evaluation method, with which mobile machines with high motion and load alternations can be evaluated regarding productivity and efficiency is presented in this paper. One aspect of the research project is the development of an parameter driven operator model. Next to the basic structure of the operator model, the method with which the operator specific parameters for the path planners and controllers are determined is presented.

Anforderungen optimiert werden. Dabei wird grundsätzlich vorausgesetzt, dass zum einen ein entsprechend detailliertes Modell der leistungsübertragenden Komponenten des Antriebsstrangs und zum anderen die Eigenschaften der Prozesses in der die mobile Arbeitsmaschine zum Einsatz kommt, bekannt sind.

Im Rahmen dieser Betrachtung beschreibt der Prozess die durchzuführende Aufgabe sowie die Umgebung der mobilen Maschinen. Da letzteres nur mit erhöhtem Aufwand beschreibbar ist, wird grundsätzlich auf gemessene Lastzyklen z. B. für Radlader und Gabelstapler zurückgegriffen und im Rahmen einer Rückwärtssimulation bzw. inversen Simulation genutzt: d. h. die Eingangs- und Ausgangsgrößen, z. B. Drehzahl und Drehmoment der Rückwärtssimulation, sind die Abtriebsgrößen bzw. Antriebsgrößen des Antriebsstrangs. Dieser Simulationsansatz weist grundsätzlich zwei Nachteile aufgrund des zeitbasierten Ansatzes auf. Zum einen hängt der gemessene Lastzyklus von den maschinen- (Fahrzeugmasse, -trägheit), prozess- (Traktion, Schüttguteigenschaften) und bedienerbezogenen Eigenschaften ab. Die prozess- und bedienerbezogenen Eigenschaften rufen aufgrund ihrer komplexen Zusammenhänge eine zu erwartende Messwertstreuung in den Lastzyklen hervor. Daher wurde in [1] von Deiters eine Methode zur Standardisierung von gemessenen Lastzyklen entwickelt. Das Steuerverhalten des Bedieners kann hauptsächlich durch die durchzuführende Tätigkeit und dem Erfahrungsgrad charakterisiert werden. Der Erfahrungsgrad beschreibt dabei inwieweit der Bediener das Verhalten der Maschinen einschätzen und somit vorausschauend bedienen kann. In [2] wird von Kunze aufgezeigt, welchen Einfluss der Ausbildungsgrad des Bedieners eines mobilen Baggers auf die Zyklusdauer beim Verladen mit der Maschine hat.

Der zweite Nachteil ist, dass ein Teil der Eingangsgrößen des Simulationsmodells gesteuert und ein anderer Teil geregelt wird, sobald die Komponenteneffizienz, die teilweise aus den

■ Neben der Abschätzung der Effizienz mobiler Arbeitsmaschinen können mithilfe der Simulation u. a. Antriebsstrang Management Systeme entwickelt und hinsichtlich bestimmter

Eingangsgrößen bestimmt wird, berücksichtigt wird. Das hat zur Folge, dass die Übereinstimmung der tatsächlichen und der im Simulationsmodell momentanen Leistung maßgeblich von der Güte der implementierten Regler abhängt. Dies ist im Rahmen dynamischer Vorgänge problematisch. Die Methode ist für mobile Arbeitsmaschinen nutzbar, wenn bezogen auf die gesamte Betriebsdauer ein relativ geringer Anteil dynamischer Vorgänge in der Arbeitsaufgabe vorhanden ist. D. h. zur Simulation mobiler Arbeitsmaschinen mit einem hohen Anteil wechselnder Lastspiele, ist eine hinreichend genaue Abbildung der Prozessumgebung wie auch des Bedieners notwendig.

Im Rahmen eines von der DFG geförderten Forschungsvorhabens wird eine Methode entwickelt, die es ermöglichen soll, aus gemessenen Bedienerzyklen ein parametrierbares Bedienermodell aufzubauen.

Versuchsmaschine

Zur Gewinnung von Messdaten wird im Rahmen dieses Forschungsprojekts ein Traktor mit Frontlader mittlerer Leistungsklasse eingesetzt. Der Fahrtrieb ist ein hydraulisch-mechanisches leistungsverzweigtes Getriebe. Ein Load-Sensing Hydrauliksystem mit Frontlader stellt den Arbeitsantrieb dar (**Abbildung 1**).

Die Maschine ist mit Sensoren ausgestattet, die zum einen die maschinenbezogenen Größen wie Drehzahl, Druck, Geschwindigkeit usw. und zum anderen die bedienerbezogenen Größen Fahrpedal, Fahrtrichtung und Kreuzhebel aufzeichnen. Zurzeit wird ein Simulationsmodell der Maschinen aufgebaut, mit dem zu einem späteren Zeitpunkt das Bedienermodell verifiziert werden soll. Das Maschinenmodell setzt sich aus Teilmodellen zusammen, welche die Längsdynamik der Traktorkinematik, den Reifen-Boden-Kontakt, die Schaufel-Schüttgut-Interaktion sowie den Fahr- und Arbeitsantrieb des Traktors mit Frontlader beschreiben. Das Bedienermodell steuert - wie bei der realen Maschine - die Fahrzeugsollgeschwindigkeit, Fahrtrichtung und die Ventile der Arbeitshydraulik. Der Len-

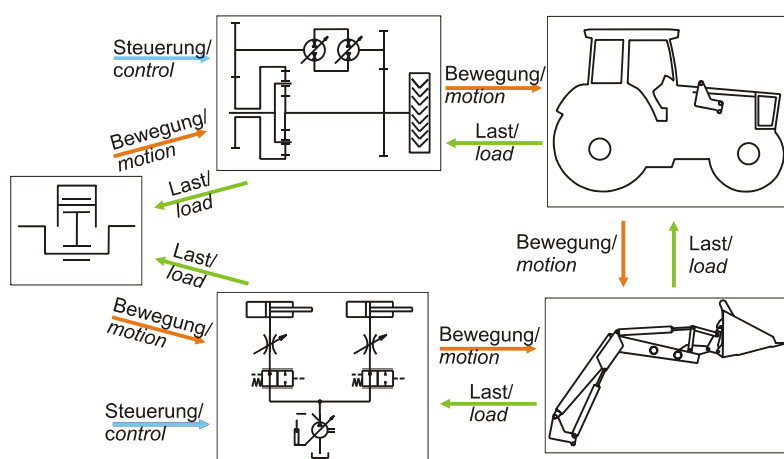
kantrieb wird aufgrund der relativ geringen Leistungsanforderung nicht berücksichtigt. Die Größen, auf dessen Basis der Bediener die Maschine steuert, können in weg- und lastbezogen aufgeteilt werden. Die Fahrzeuggeschwindigkeit, Schaufelhöhe und -winkel usw. sind wegbezogene Größen, die hauptsächlich visuell erfasst werden. Hydraulische Drücke und Motorauslastung sind lastbezogene Größen und werden über mechanische Schwingungen und Geräusche vom Bediener erfasst.

Bedienermodell

Gegenüber dem inversen Ansatz wird der Lastzyklus bei der direkten Simulation durch eine Aufgabe, z. B. Schüttgut zu verladen, definiert. Die Aufgabe enthält die Parameter der Prozessumgebung sowie das aufgabenspezifische Bewegungsmuster der Maschine. Bezüglich der modellbasierten Beschreibung des Bedieners hat Filla in [3] ein ereignisbasiertes Bedienermodell für Radlader entwickelt. Dabei wurden zwei ereignisbasierte Bedienermodelle entwickelt, mit deren Hilfe ein Radlader im Y-Zyklus bewertet werden kann. Der ereignisbasierte hat gegenüber dem zeitbasierten Ansatz den entscheidenden Vorteil, dass das Anpassungsverhalten des Bedieners an die Maschine und die Prozessumgebung nachbildbar werden. In [4] wird von Hughes et al. am Beispiel eines Baggers eine diskrete Abbildung des Bedieners im Rahmen einer Gesamtsimulation entwickelt, mit der die Leistungsfähigkeit des Bedieners und die Interaktion zwischen Bediener und Maschine während einer Arbeitsaufgabe untersucht werden können. Den Maschinen in [3] und [4] ist gemeinsam, dass sie grundsätzlich von professionellen Bedienern gesteuert werden, da der Einsatzzweck dieser Maschinen speziell ist. Der Bediener hat sich dementsprechend optimal auf die Arbeitsaufgabe wie auch auf die Maschine eingestellt.

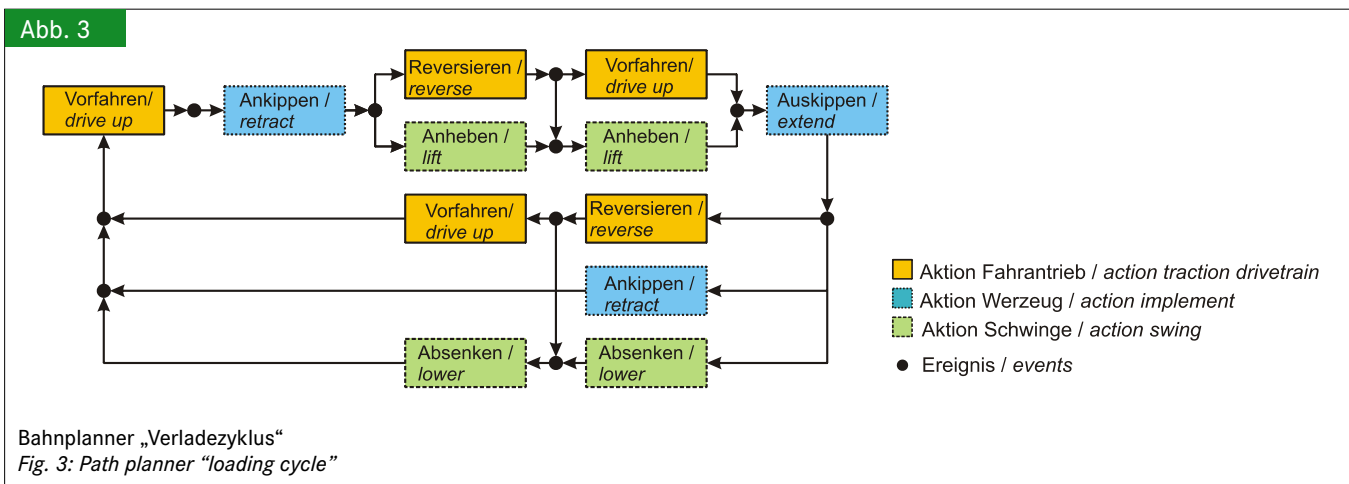
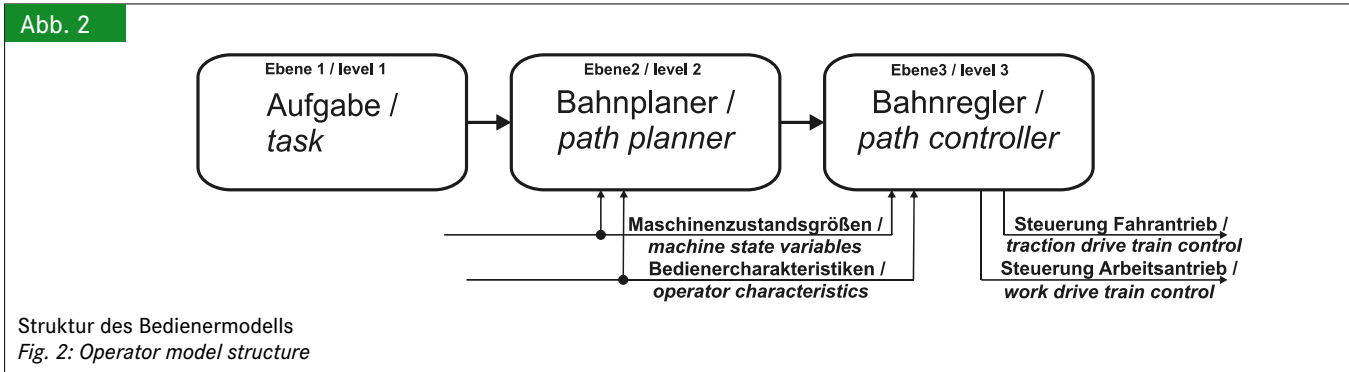
Im Gegensatz dazu wird im Rahmen dieser Untersuchung eine Maschine ausgewählt, die verschiedene Einsatzprofile aufweist. Repräsentativ hierfür sind landwirtschaftliche Traktoren. Diese werden für diverse landwirtschaftliche Zwecke wie auch für das Verladen von Schüttgut eingesetzt. Das hat zur Folge,

Abb. 1



Maschinenmodell

Fig. 1: Maschine model



dass diese Maschinen von verschiedenen Bedientypen gesteuert werden. Hierbei kann zwischen einem professionellen und einem „Allrounder“ Bedientyp unterschieden werden. Daher ergibt sich die Anforderung, bei der Simulation landwirtschaftlicher Traktoren beide Bedientypen zu berücksichtigen.

Das Bedienermodell besteht aus drei Ebenen (**Abbildung 2**). Die Ebene „Aufgabe“ definiert die durchzuführende Aufgabe anhand von Parametern, welche die Prozessumgebung beschreiben (z. B. Position des Schüttgutes, Schüttguteigenschaften). Die Ebene „Bahnplaner“ (**Abbildung 3**) enthält die Aktionen, die der Bediener zur Erfüllung der Aufgabe durchzuführen hat.

Die Aktionen sind aufgabenspezifisch und unabhängig vom Bediener. Es wird zwischen zwei verschiedenen Ereignistypen unterschieden: Jene, die Aktionen auslösen und jene, die in das Regelverhalten des Bedieners eingehen. Die Art und Anzahl der Ereignisse, die zu einer Aktion gehören, sind vom Bedientyp abhängig. Die Ereignisse werden aus den Eigenschaften der Zustandsgrößen der Maschinen und den Bedienercharakteristiken ermittelt. Die Bedienercharakteristiken beschreiben, wann und wie eine Aktion durchgeführt wird.

Die Gewichtungsfunktionen W_i der Bahnregler (**Abbildung 4**) beschreiben die Bedienercharakteristik bezogen auf eine Maschinenzustandsgröße. Diese Funktionen werden mithilfe der gemessenen Bedienersteuerzyklen ermittelt. Die Signale werden im ersten Schritt konditioniert, z. B. durch Filterung oder Korrelation. Dieser Schritt ist entscheidend, da die Signale in verschiedenen Formen zur Verfügung stehen

(z. B. analog, CAN). Im nächsten Schritt werden die Signale entsprechend der Zyklen segmentiert. Anschließend werden die Signaleigenschaften mittels bekannter Signalverarbeitungsmethoden ermittelt. Basierend auf dem Feedback der realen Bediener werden Signalanalysemethoden (z. B. Clustering) benutzt, die zu einer Aktion die zugehörigen Ereignisse bzw. Gewichtungsfunktionen ermitteln. Zum Beispiel hat sich gezeigt, dass ein Bediener beim Einstecken in den Schüttguthaufen nur die Motorauslastung berücksichtigt, wohingegen ein anderer Bediener neben der Motorauslastung auch einen relativen Weg einbezieht. Ein weiteres Beispiel ist in [5] zu

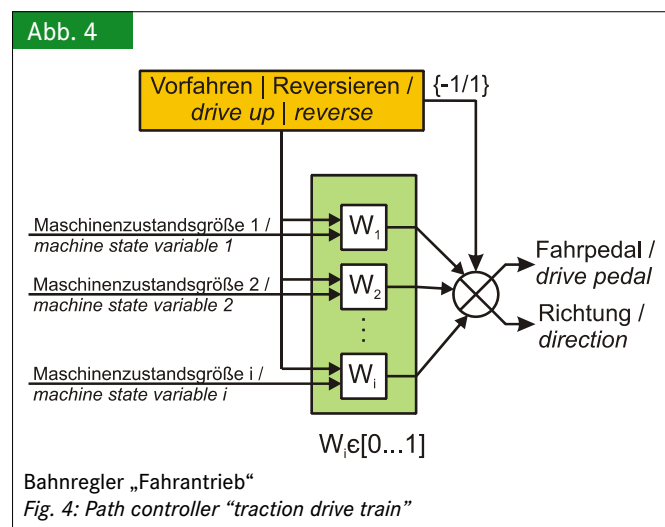
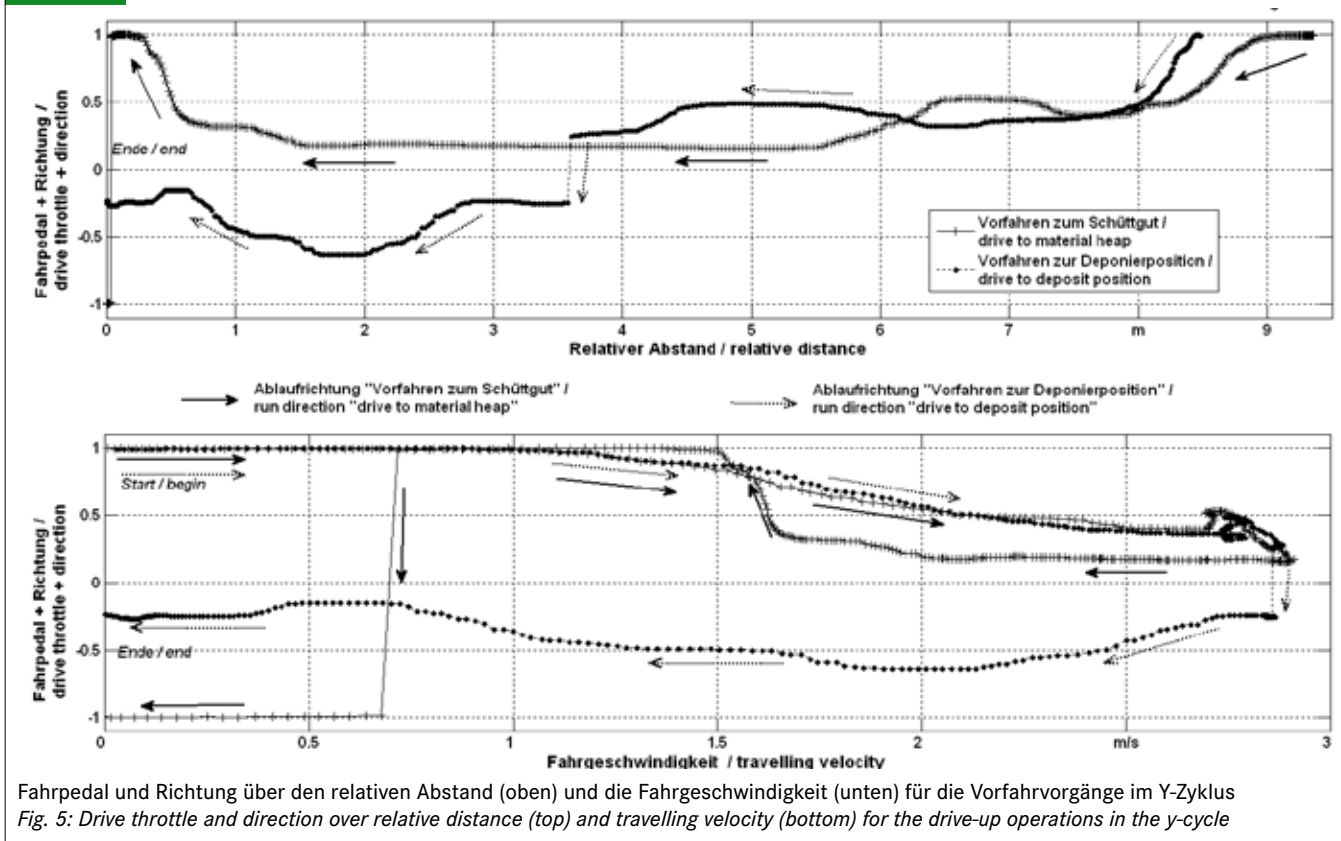


Abb. 5



Fahrpedal und Richtung über den relativen Abstand (oben) und die Fahrgeschwindigkeit (unten) für die Vorfahrvorgänge im Y-Zyklus
 Fig. 5: Drive throttle and direction over relative distance (top) and travelling velocity (bottom) for the drive-up operations in the y-cycle

finden, bei dem das Vorfahren zu einem Zielpunkt einerseits mit einer reinen geschwindigkeitsbezogenen Fahrpedalregelung und andererseits mit einer Kombination aus weg- und geschwindigkeitsbezogener Fahrpedalregelung realisiert wird.

Am Beispiel der in **Abbildung 5** dargestellten Diagramme werden die Unterschiede des Regelverhaltens des Bedieners bei der Aktion „Vorfahren“ im Y-Zyklus aufgezeigt. Die Daten stammen von Messfahrten mit einem professionellen Bediener. Die Dichte der zusammenhängenden Messpunkte in den Diagrammen geben aufgrund der äquidistanten Abtastung der Signale an, wie schnell ein Bereich durchlaufen wird. Die Größe „Relativer Abstand“ beschreibt aus Sicht des Bedieners den translatorischen Abstand der Maschine zum nächsten Zielpunkt. Wie in den Verläufen zu erkennen ist, wird das Regelverhalten während der Durchführung der momentanen Aktion durch die danach folgende Aktion bestimmt. Der Aktion „Vorfahren zum Schüttgut“ folgt die Aktion „Schüttgut aufnehmen“, der Aktion „Vorfahren zur Deponierposition“ folgt die Aktion „Schüttgut auskippen“. Diese Aktionen unterscheiden sich im Wesentlichen dadurch, dass zum Schüttgut aufnehmen eine kraftbezogene Regelung und zum Schüttgut auskippen eine positionsbezogene Regelung notwendig ist.

Schlussfolgerungen

Der vorgestellte Ansatz bietet die Grundvoraussetzung für die Beurteilung der Produktivität und Effizienz mobiler Arbeitsmaschinen, deren Einsatzbereich eine dynamische Wechselwirkung

zwischen Bediener, Maschine und Umgebung ist. Des Weiteren ermöglicht dieser Ansatz auf Basis gemessener Maschinenzustands- und Bedienersteuergrößen ein typenspezifisches Bedienersteuermodell aufzubauen.

Literatur

- [1] Deiters, H. (2009): Standardisierung von Lastzyklen zur Beurteilung der Effizienz mobiler Arbeitsmaschinen, Aachen, Shaker Verlag
- [2] Kunze, G.; Mieth, S.; Voigt, S. (2011): Bedienerinfluss auf Leistungszyklen mobiler Arbeitsmaschinen. ATZ offhighway, Ausgabe Nr. 4, S. 70-79
- [3] Filla, R. (2005): Operator and Machine Models for Dynamic Simulation Construction Machinery. Licentiate thesis, Linköpings universitet, Linköpings
- [4] Hughes, K.; Jiang, X. (2010): Using discrete event simulation to model excavator operator performance. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries 20, pp. 408-423
- [5] Thiebes, P.; Thees, V. (2011): Modellierung des Fahrers zur Untersuchung von Antriebssträngen in der 1D-Simulation am Beispiel eines Radladers mit Hybridantrieb. 3. Tagung Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen 2011, WVMA e.V. Wissenschaftlicher Verein für Mobile Arbeitsmaschinen, Karlsruhe, S. 47-59

Autoren

Dipl.-Ing. Thorsten Stamm von Baumgarten ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig (kommissarischer Institutsleiter: **Prof. Dr.-Ing. T. Lang**), Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig, E-Mail: t.baumgarten@tu-bs.de

Prof. i. R. Dr.-Ing. Dr. h. c. H.-H. Harms ist ehemaliger Institutsleiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig,

Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG für ihre Unterstützung.