

Michael Schwarz, Waldemar Schulz, Joachim Baumgarten und Stefan Böttinger

Untersuchung am luftdurchströmten Vorbereitungsboden

Eine Optimierung der Funktionsbaugruppen in der Mähdrescherreinigung aufgrund immer stärkerer Motorleistung im Mähdrescher sowie des steigenden Marktanteils von Hybrid- und Axialdreschsystemen - mit dem damit verbundenen hohen Anteil an Nichtkornbestandteilen (NKB) aus der Restkornabscheidung - ist weiterhin erforderlich. Einen entscheidenden Einfluss auf eine hohe Reinigungsleistung besitzt dabei die Vorentmischung des Gutstromes aus Korn- und Nichtkornbestandteilen auf dem Vorbereitungsboden. Um eine bessere Vorentmischung zu erreichen wurden in Zusammenarbeit mit der Firma CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH Untersuchungen durchgeführt, bei denen ein Serienvorbereitungsboden durch einen teilweise luftdurchströmten Stufenboden ersetzt wurde. In diesem Stufenbodenteil soll eine Fluidisierung der Gutschicht erreicht werden, die zu einer Wirbelschichtausbildung und damit zu einer verbesserten Vorsortierung führt.

Schlüsselwörter

Reinigungsanlage, Mähdrescher, Wirbelschichtvorbereitungsboden (WSVB), Neigungswinkel, pneumatisch unterstützt

pan was replaced by a partly air streaming one to increase the pre-separation on the preparation pan. The air streaming parts shall fluidise the grain/chaff mix, create a fluidised bed and support the pre-separation.

Keywords

Cleaning unit, combine harvester, fluidized bed preparation pan (FBPP), angles of inclination, pneumatically aided

Investigation on airflow supported preparation pan

Abstract

Schwarz, Michael; Schulz, Waldemar; Baumgarten, Joachim and Böttinger, Stefan

Landtechnik 66 (2011), no. 5, pp. 358–362, 6 figures, 9 references

An optimisation of the cleaning unit in combines is still required due to increasing engine power as well as rising market shares of hybrid and axial threshing systems with their higher MOG-ratios (material other than grain) coming from the separation. The pre-separation of the crop flow on the preparation pan consisting of grain and MOG crucially influences the cleaning power. In cooperation with CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH a serial preparation

Der Einfluss der mechanischen und pneumatischen Parameter auf die Arbeitsqualität der Mähdrescherreinigungsanlage speziell auf Ober- u. Untersieb wurde in der Vergangenheit hinreichend untersucht. Dabei wurden die Gesetzmäßigkeiten zum Bewegungsverhalten von Gutgemischen auf luftdurchströmten Schwingsieben betrachtet und einflussnehmende kinematische Randparameter identifiziert, denen der Vorentmischungsprozess auf dem Vorbereitungsboden ebenfalls zugrundeliegt [1, 2]. Die Basis der theoretischen Analyse des Vorbereitungsbodens legte Rochell, indem er die Wechselwirkungen zwischen Fördergeschwindigkeit und der zur Vorentmischung der Gutmatte notwendigen Verweilzeit auf der Schwingrinne ermittelte [3]. Diese Wechselwirkung bestimmt maßgeblich die Abscheideeffektivität und das Kornverlustniveau der Reinigungsanlage. Rochell untersuchte die Anstellwinkel $\alpha_{VB} = -10, 0$ und 10° des Vorbereitungsbodens hinsichtlich der Fördergeschwindigkeit, dem optimalen Schwingungsrichtungswinkel und der Wurfkennzahl sowie verschiedene Stufengeometrien. Rochell stellte fest, dass mit abnehmendem Vorbereitungsbodenwinkel die Fördergeschwindigkeit ansteigt [3]. Auf den Einfluss der idealisierten Schichtung von Spreu auf Kurzstroh auf Korn vor Eintritt in die Sichtstufe der Reinigungsanlage weisen u. a. Manig [4] und Haase [5] hin. Da sich die Flugbahnen der einzelnen Partikel in der Fallstufe nicht



Neuer Reinigungsprüfstand, Universität Hohenheim
 Fig. 1: New test rig for cleaning units, University of Hohenheim

kreuzen ist dann eine optimale Voraussetzung für die anschließende Auslese auf dem Obersieb gegeben [4, 5]. Desweiteren wurde der Vorbereitungsboden ohne Luftunterstützung von Spittel [6] untersucht, der bei Abwärtsneigung ebenfalls eine erhöhte Fördergeschwindigkeit feststellte. Die dabei auftretende Verminderung des Kornverlustes führte er auf eine geringere Gutmattenstärke zurück, die gewinnbringend auf die Vorentmischung wirkt. Er bestätigte den positiven Effekt eines langen Vorbereitungsbodens auf die Vorentmischung; merkte allerdings an, dass die Gutschichtung in konventionellen Reinigungsanlagen noch optimiert werden kann. Begründet ist dies in der Gutübergabe vom Rücklaufboden auf den Vorbereitungsboden. Dabei kommt auf das entmischte Gut vom Dreschwerk, der Gutstrom der Restkornabscheidung, wodurch eine erneute Sortierung der aufliegenden Körner einsetzen müsste [6]. Timofeev beschäftigte sich mit der Vorentmischung bei höheren Gutdurchsätzen auf dem Vorbereitungsboden. In diesem Fall dringt die mechanische Anregung nicht bis in die obersten Schichten vor und erschwert damit die Vorentmischung. Eine Vergrößerung der Amplitude und eine geringere Anregungsfrequenz erhöhen hier die Effizienz [7, 8].

Um die Vorentmischung zu verbessern und damit die Effektivität der nachfolgenden Sieb-Sichtanlage zu begünstigen wurde in vorliegendem Versuch eine Luftunterstützung des Sortierprozesses im letzten Drittel des Vorbereitungsbodens eingesetzt. Damit wird in diesem Bereich eine Fluidisierung der Gutschicht erreicht, die zu einer verbesserten Vorsortierung führt. Seit 2009 wird mit diesem Ziel ein Mähdrescher-Reinigungsprüfstand an der Universität Hohenheim betrieben, an dem der Einfluss eines luftdurchströmten Vorbereitungsbodens nachgewiesen werden soll (**Abbildung 1**).

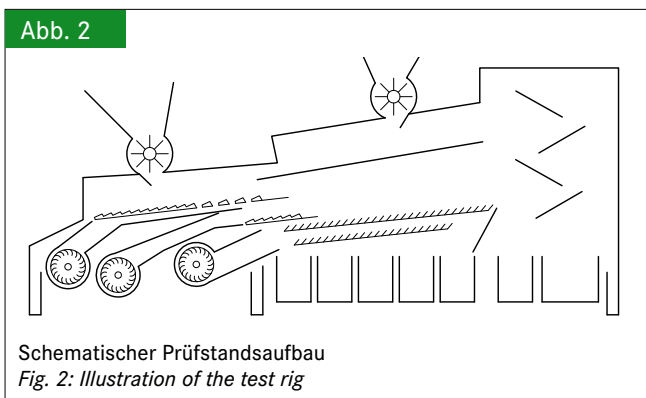
Im Folgenden werden am Beispiel des Einstellparameters „Vorbereitungsboden-Längsneigung“ erste Ergebnisse dargestellt.

Theoretische Vorbetrachtung

Bei der Bewertung des Einflusses der Längsneigung am Wirbelschichtvorbereitungsboden muss zunächst die Wirkung der Geometrieänderung auf die Fallstufe überprüft werden. Es sollte geklärt werden, welcher der beiden Parameter „Fallstufe“ oder „Wirbelschicht“ eine stärkere Wirkung auf die Reinigungsleistung ausübt. Ein erster Ansatzpunkt war die Anpassung der strömungstechnischen Parameter wie Luftvolumenstrom und Anströmgeschwindigkeit in der Fallstufe an die Längsneigung des Vorbereitungsbodens (Einbauvarianten des luftdurchströmten Vorbereitungsbodens. Dabei wurden zwei Fälle unterschieden: zum Einen wurde das die Reinigungsanlage durchströmende Luftvolumen und zum Anderen wurde die Anströmgeschwindigkeit in der Fallstufe konstant gehalten. Die Anströmgeschwindigkeit orientierte sich dabei an den Werten der Serienreinigung. Mit der Kontinuitätsgleichung wurde bei gegebener Fallstufenhöhe bzw. Durchströmungsquerschnitt die entsprechende Anströmgeschwindigkeit berechnet. Für die Auslegung der Belüftung am Vorbereitungsboden wurde die Strömungsgeschwindigkeit des Bettausdehnungspunktes von Kurzstroh-Spreu-Gemischen nach Damm zugrundegelegt [1]. Durch die Berechnung des Öffnungsquerschnittes der Perforierung am Vorbereitungsboden und unter Berücksichtigung eines Druckverlustbeiwertes konnte diese Gebläsedrehzahl festgelegt werden.

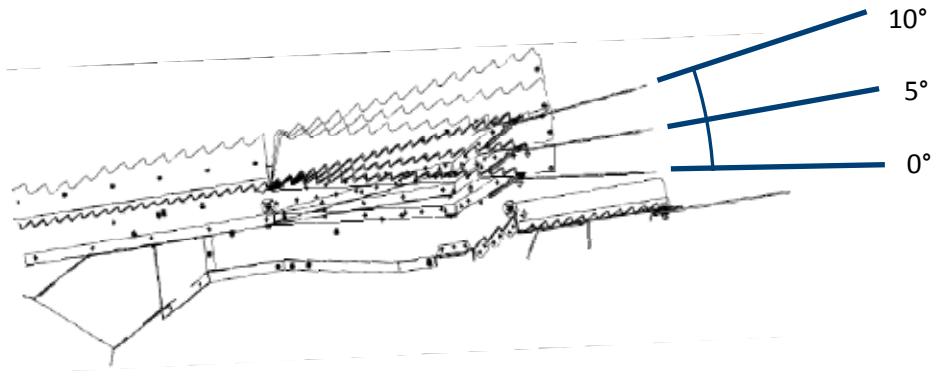
Versuchsstandaufbau

Die Untersuchungen sollten möglichst den realen Prozess in der Erntemaschine abbilden, weshalb eine separate Gutgemischbeaufschlagung über Vorbereitungs- und Rücklaufboden im Reinigungsprüfstand realisiert wurde. Die Basis des Prüfstandes bildet eine CLAAS-Jetstream Reinigung. Zur Darstellung des Strömungseinflusses an Fallstufe, Vorbereitungsboden und Siebkasten sowie zur Optimierung der Luftströmung in der Reinigung wurden drei Radialventilatoren eingesetzt, die eine separate Belüftung der genannten Funktionselemente ermöglichen. Zur Anpassung der Reinigungsanlage (500 mm breit, im Längsschnittmassstab M1 : 1 konstruiert) an die Strömungsverhältnisse der Serienreinigung wurden Voruntersuchungen ohne Gutbeladung durchgeführt und damit die Gebläsedrehzahlen verifiziert (**Abbildung 2**).



Schematischer Prüfstandaufbau
 Fig. 2: Illustration of the test rig

Abb. 3



Einbauvarianten des luftdurchströmten Vorbereitungsbodens
 Fig. 3: Test variants of fluidized bed preparation pan

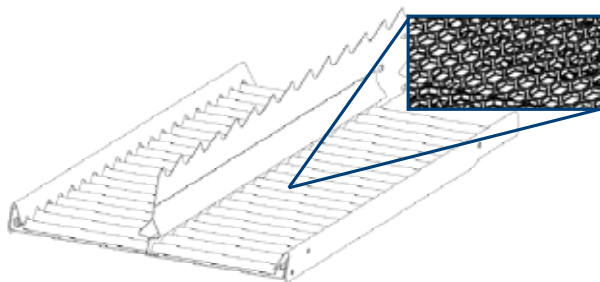
Um den Einfluss des Längsneigungswinkels am luftdurchströmten Vorbereitungsboden zu quantifizieren, wurde der Serienvorbereitungsboden dahingehend modifiziert, dass der zur Fallstufe zeigende Teil auf einer Länge von $l_{VB} = 650$ mm durch einen einseitig drehbar gelagerten, luftdurchströmten Vorbereitungsboden ersetzt wurde. In Anlehnung an die Untersuchungen von Damm [1] und der konstruktiven Ausführung des Serienvorbereitungsbodens wurden die einstellbaren Längsneigungswinkel $\alpha_{VB} = 0, 5$ und 10° festgelegt (**Abbildung 3**).

Die Perforierung des luftdurchströmten Vorbereitungsbodens bestand aus einer Sechskantlochung der Schlüsselweite $SW = 2$ mm mit einer Stegbreite von $b_s = 0,25$ mm, woraus sich eine freie Siebfläche von 64 % ergab. Die untersuchte Variante des luftdurchströmten Vorbereitungsbodens besitzt einen ähnlichen Aufbau wie in **Abbildung 4** dargestellt.

Versuchsdurchführung

Die Reinigungsanlage wurde im Versuchsbetrieb automatisiert beschickt [9]. Mit dem Reinigungsprüfstand wurden NKB-Durchsatz/Kornverlustkennlinien aufgenommen. Mittels einer zeitgesteuerten Klappenmechanik konnte der Reinigungsprüfstand den Einlaufvorgang ausblenden. Dabei wurde zwischen instationärer und stationärer Messphase unterschieden. Die

Abb. 4



Luftdurchströmter Schwingrinnenteil, dem Versuchsaufbau ähnlich
 Fig. 4: Fluidized bed oscillating conveyor, similar to test setup

Bestimmung des Kornverlustes erfolgte über die Auswertung des Reinigungsabganges. Zur Bewertung der Abscheideeffektivität und der Abscheidelänge l_{80} (Sieblänge bei der 80 % der Körner abgeschieden sind) wurde die Kornabscheidung in zehn in Fahrtrichtung unter dem Untersieb angeordnete Behälter aufgefangen. Die Einstellparameter des Versuches waren neben dem Längsneigungswinkel die Gesamtversuchszeit $t_V = 30$ s, die stationäre Messphase $t_M = 10$ s, das Korn/NKB-Verhältnis 3:1, der Vorbereitungsboden-NKB-Anteil 50 % und der Vorbereitungsboden-Kornanteil 70 %. Die kinematischen Parameter des Vorbereitungsbodens wie Amplitude, Antriebsdrehzahl, Schwingungsrichtungswinkel und Übertragungswinkel wurden nicht variiert. Die untersuchten Messreihen sind im Einzelnen definiert durch:

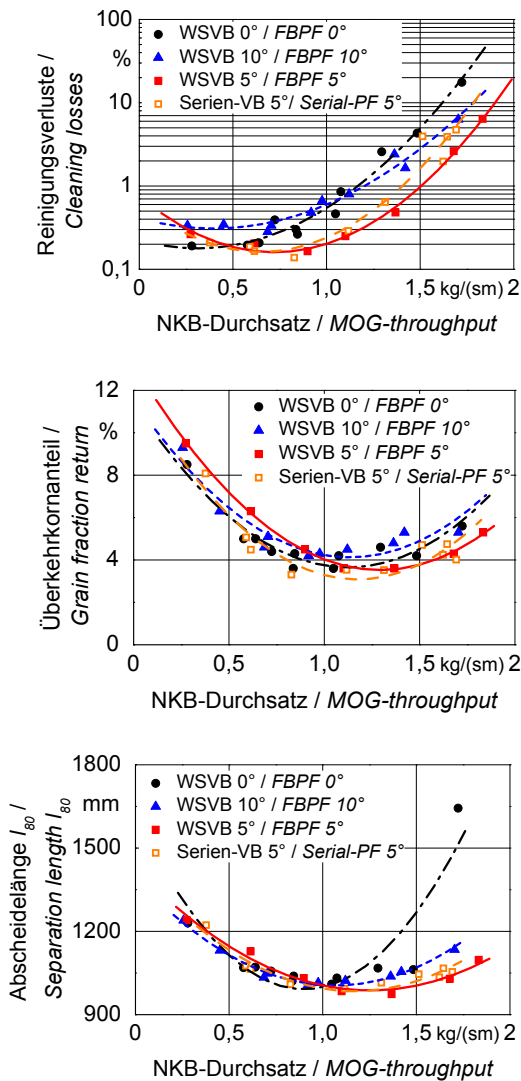
- konstante Anströmgeschwindigkeit in der Fallstufe bei $\alpha_{VB} = 0, 5$ und 10° des luftdurchströmten Vorbereitungsbodenteiles,
- konstanter Luftvolumenstrom durch die Fallstufe bei $\alpha_{VB} = 0, 5$ und 10° des luftdurchströmten Vorbereitungsbodenteiles,
- Serienvorbereitungsboden ohne Strömungseinleitung als Bezugsgröße

Ergebnisse

Die Auswertung der Versuche bezieht sich auf die Zielgrößen: Kornverlust der Reinigung, Kornanteil in der Überkehr und die Abscheidelänge l_{80} . Der aufgezeichnete Verunreinigungsgrad wurde zur Bewertung nicht herangezogen, da keine signifikanten Unterschiede nachweisbar waren. Bezugspunkt bei der Auswertung der Messergebnisse bildet der Kornverlustwert von 0,3 %.

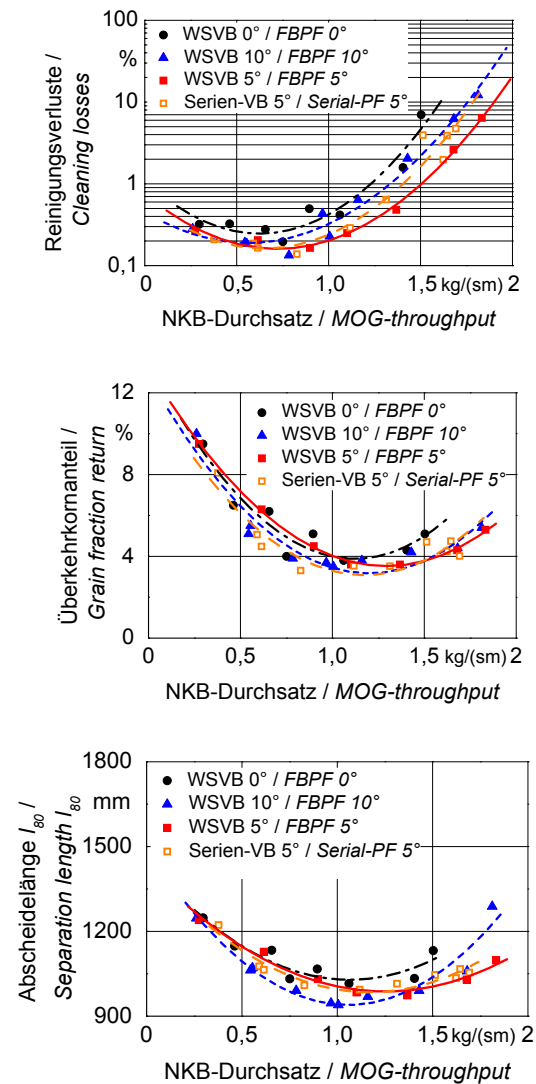
Die Versuche zum Längsneigungseinfluss bei konstanter Anströmgeschwindigkeit zeigten, dass der mit $\alpha_{VB} = 5^\circ$ arbeitende luftdurchströmte Vorbereitungsboden den höchsten spezifischen NKB-Durchsatz von $1,18$ kg/(sm) bei 0,3 % Kornverlust erreichte. Bestätigt wird diese Aussage durch den geringen Kornanteil in der Überkehr von 3,6 % und dem in di-

Abb. 5



Konstante Anströmgeschwindigkeit in der Fallstufe
 Fig. 5: Constant flow rate in the ventilated step

Abb. 6



Konstanter Luftvolumenstrom an der Fallstufe
 Fig. 6: Constant volume flow on the ventilated step

rekten Zusammenhang stehenden l_{80} -Kennwert von 990 mm. Der funktionale Zusammenhang zwischen dem festen Parameter „Schwingungsrichtungswinkel“ zu Vorbereitungsbodenslängsneigung und Kornverlust wurde bestätigt. Diesen Zusammenhang wurde schon von Splittel festgestellt [6]. Außerdem wurde eine Leistungssteigerung von ca. 5 % bei Verwendung eines belüfteten Vorbereitungsbodens im Vergleich zur Serienkonfiguration nachgewiesen. Legt man eine höhere Kornverlustgrenze der Auswertung zugrunde, wird der Unterschied zum Serienvorbereitungsboden etwas deutlicher (Konstante Anströmgeschwindigkeit in der Fallstufe). Ein abfallender belüfteter Vorbereitungsboden zeigt sowohl bei konstanter Anströmgeschwindigkeit als auch bei konstantem Luftvolumenstrom den größten Leistungsverlust. Er spiegelt sich in einem spezifischen NKB-Durchsatz von 0,96 kg/(sm) wieder (**Abbildung 5, Abbildung 6**). Dieses Ergebnis lässt sich mit der steigenden Fördergeschwindigkeit und einer dadurch abnehmen-

den Gutmattenstärke begründen. Damit tritt ein Überblaseffekt vor der anschließenden Fallstufe auf. Ein weiterer Ansatzpunkt kann die mangelnde Vorentmischung durch ein kleineres Zeitverhältnis τ sein. Das Zeitverhältnis wird aus dem Quotienten der Verweilzeit des Gutes auf einer bestimmten Förderlänge bei zurzeit 80 %iger Entmischung gebildet.

Bei der Bewertung des Einflusses der Längsneigung des Vorbereitungsbodens muss trotz angepasster Strömungsparameter wegen der sich ändernden Fallstufengeometrie auf die oben beschriebene Wechselwirkung geachtet werden. Ein abfallender Vorbereitungsboden und die dadurch verringerte Fallstufenhöhe wirkt sich leistungsmindernd auf den nachfolgenden Sieb- und Sichtprozess aus. Der ansteigende luftdurchströmte Vorbereitungsboden führte ebenfalls zu einem geringeren NKB-Durchsatz von 0,78 kg/(sm) (konst. v_{Luft}) und 0,85 kg/(sm) (konst. Q_{Luft}). Begründet wird dies mit einer geringeren Fördergeschwindigkeit und einer dabei auftreten-

den lokalen Gutmattenstauung auf dem luftdurchströmten Vorbereitungsboden, sodass die Vorentmischungswirkung verschlechtert wird. Auch die fixen kinematischen Parameter müssen beachtet werden, da mit einer Anpassung von Amplitude und Antriebsdrehzahl der Bewegungsvorgang des Gutgemisches optimiert werden kann.

Schlussfolgerungen

Die Längsneigung am belüfteten Vorbereitungsboden hat einen Einfluss auf den anschließenden Reinigungsprozess und damit auf die Kornverluste im Mähdrescher. Der optimale Winkel der Längsneigung bei Belüftung des Vorbereitungsbodens war bei der untersuchten CLAAS-Jetstream-Reinigungsanlage bei $\alpha_{VB} = 5^\circ$, was der Einstellung der aktuellen Serienreinigung entspricht.

Eine Leistungssteigerung der Reinigungsanlage im Mähdrescher durch die hier konzipierte Belüftung von Vorbereitungsbodenteilen ist im Bereich von maximal 5 % realistisch. Diese Größenordnung wurde auch durch weiterführende Untersuchungen bestätigt.

Literatur

- [1] Damm, J. (1972): Der Sortiervorgang beim luftdurchströmten Schwing-sieb. Fortschrittberichte der VDI-Zeitschriften Reihe 3, Nr. 37, Dissertation Technische Hochschule Stuttgart
- [2] Freye, T. (1980): Untersuchungen zur Trennung von Korn-Spreu-Gemischen durch die Reinigungsanlage des Mähdreschers. Forschungsbericht Agrartechnik Nr. 47, Dissertation Universität Hohenheim
- [3] Rochell, P. (1975): Untersuchungen über den Fördervorgang auf dem Schwingförderer unter besonderer Berücksichtigung der Reinigungsanlage im Mähdrescher, Dissertation Universität Hohenheim
- [4] Manig, G. (1974): Beitrag zur Untersuchung der Auflösung eines aus einem Weizenkorn-Stroh-Spreu-Gemisch bestehenden Strahles im Wirkungsbereich einer horizontalen Luftströmung. Dissertation Technische Universität Dresden
- [5] Haase, J. (1977): Beitrag zur Leistungssteigerung der Mähdrescherreinigungseinrichtung durch Intensivierung der Vorsortierung mittels Scheibentrommel, Dissertation Technische Universität Dresden
- [6] Spittel, A. (1980): Optimierungsuntersuchungen eines Rücklaufbodens der Reinigungseinrichtung, dargestellt am Beispiel des Mähdreschers und der Fruchtart Weizen. Dissertation Technische Universität Dresden
- [7] Timofeev, A.; Wacker, P.; Böttinger, S. (2007): Untersuchungen am Vorbereitungsboden von Mähdreschern. Landtechnik 62(2), S. 90-91
- [8] Böttinger, S.; Timofeev, A. (2010): Fördervorgang und Vorentmischung auf dem Vorbereitungsboden von Mähdreschern. Landtechnik 65(5), S. 380-382
- [9] Schwarz, M.; Schulz, W.; Baumgarten, J.; Böttinger, S. (2010): Gutzuführungskonzept für Laboruntersuchungen von Mähdrescherreinigungsanlagen. Landtechnik 65 (5), S. 376-379

Autoren

Dipl.-Ing. IWE Michael Schwarz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Fachgebiet Grundlagen der Agrartechnik (Leitung **Prof. Dr.-Ing. S. Böttinger**), Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart, E-Mail: m.schwarz@uni-hohenheim.de

Dipl.-Ing. Waldemar Schulz und **Dr.-Ing. Joachim Baumgarten**, CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH Harsewinkel

Danksagung

Das Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim dankt dem Projektpartner CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH Harsewinkel, Abteilung Vorentwicklung Mähdrescher für die Unterstützung in der Fertigung und Finanzierung der Anlage.