

Michael Schwarz, Steffen Häberle und Stefan Böttinger

# Kornverlustfassung an Getreidevorreinigern

Die piezoelektrische Kornverlustfassung hat sich in der Körnerfruchternte mit dem Mähdröschler etabliert und bietet sich damit auch zur Prozessüberwachung von stationären Getreidevorreinigern an. Hierfür werden die von den auftreffenden Körnern erzeugten Schwingungen einer Prallplatte mittels eines Beschleunigungssensors gemessen und elektronisch in ein verlustproportionales Signal umgewandelt. Die derzeit am Markt angebotenen Getreidevorreiniger, die nach dem Windsichtprinzip arbeiten, sind elektronisch nicht steuer- oder regelbar ausgeführt, da die Rückführung der Messgröße Kornverlust nicht vorgesehen ist. Die Charakterisierung eines neuen Sensorsystems erfolgte an einem neu konzipierten Prüfstand anhand einer Korndosierung. Zahlreiche Messungen mit unterschiedlichen Getreidearten belegen eine Abweichung im Bereich von weniger als  $\pm 3\%$ .

## Schlüsselwörter

Kornverlust, Getreidevorreiniger, Beschleunigungssensor, Prüfstand, Reinigungssystem, Detektion

## Keywords

Grain loss, grain pre-cleaner, acceleration sensor, test rig, cleaning system, detection

## Abstract

Schwarz, Michael; Häberle, Steffen and Böttinger, Stefan

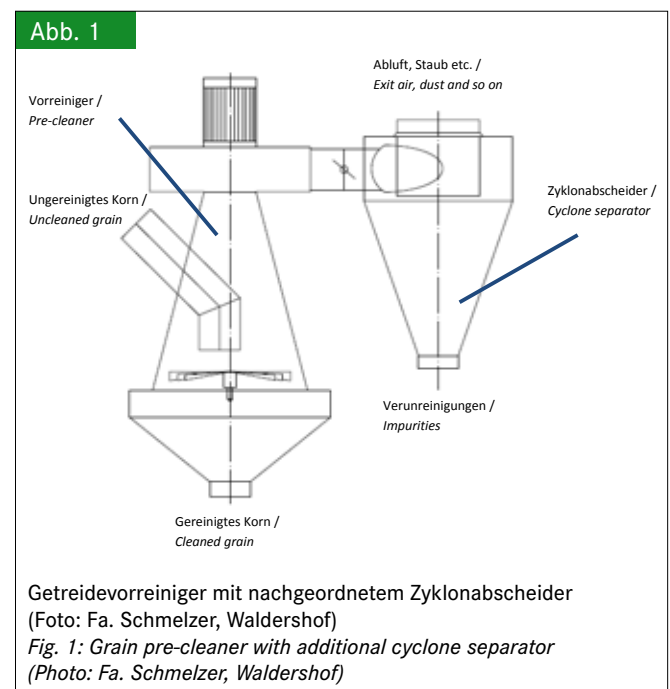
## Grain loss detection in grain pre-cleaners

Landtechnik 67 (2012), no. 1, pp. 42–46, 6 figures, 3 references

The piezoelectric grain loss detection has been established for mobile machinery, and is also suitable for process monitoring of grain pre-cleaning. For this purpose, an acceleration sensor measured vibrations of the grain impact of a baffle plate and converted it into an electronic signal which is proportional to the loss. A variety of pre-cleaners, that on the market today, are not electronically controlled or regulated, and a feedback from the loss to the control unit is not provided. The characterization of the sensor system was performed on the new test rig with a grain dose unit. Numerous measurements with different species of crop verify a deviation in the relevant range of less than 3%.

In landwirtschaftlichen Betrieben werden heute häufig Getreidevorreiniger zur Getreideeinlagerung eingesetzt. Sie sind vorwiegend in der Bauform eines Steigwindsichters ausgeführt (**Abbildung 1**). Dieses einfache und kostengünstige Vorreinigungsverfahren zeichnet sich durch den Betrieb bei einem konstanten Luftdurchsatz mit einer festen Gebläsedrehzahl aus. Damit wird die Ausreinigung von Nichtkornbestandteilen (NKB) ermöglicht, deren Schwebezustand bei einer niedrigeren Strömungsgeschwindigkeit eintritt als der der Kulturfrucht [1].

Heutige Vorreiniger besitzen zur Anpassung der Luftgeschwindigkeit für eine Steigerung der Reinigungsqualität



lediglich die Möglichkeit eine abluftseitig angebrachte Drosselklappe zu verstellen. Die Praxis zeigt allerdings, dass eine regelmäßige Kontrolle des Reinigungsprozesses und somit eine Kornverlustüberwachung nur in den seltensten Fällen durchgeführt wird. Wechselnde Stoffeigenschaften von Getreide- und Ölsaaten wie beispielsweise Gutfeuchte, prozentualer Fremdbesatz und Tausendkorngewicht (TKG) erfordern eine flexible und autarke Anpassung der Reinigungsparameter an die jeweiligen Umgebungsbedingungen. Darauf basierend soll ein Kornverlustsensor in den Abluftstrom der Getreidevorreinigung integriert werden und somit die Prozessgröße Kornverlust direkt messbar und an die Reinigungssteuerung zurückgeführt werden. Zur Untersuchung von geeigneten Kornverlustsensoren wurde am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim eigens ein Prüfstand entwickelt und aufgebaut [2]. Die Betrachtung der gegebenen Randbedingungen im Getreidevorreiniger, wie:

- Betrieb in extrem staubiger Umgebung,
- Schwingungsanregung durch das Gebläse und
- niedrige Stückkosten eines Getreidevorreinigers

führen zu der Erkenntnis, dass sich zur Kornverlusterkennung in Getreidevorreinigern piezoelektrische Beschleunigungssensoren gut eignen. Diese Sensoren zeichnen sich durch eine hohe Robustheit, Schmutzunempfindlichkeit und hohe Zuverlässigkeit aus. Untersucht wurde ein Sensor, welcher zur Erfassung der Reinigungsverluste im Mährescher CLAAS Lexion verbaut ist. Im Mährescher werden die auf den Sensor auftreffenden Verlustkörner absolut erfasst und auf einem vom Fahrer festgelegten Nullpunkt bezogen. Diese Anwendung soll nun zur Kornverlustbestimmung in einem Getreidevorreiniger eingesetzt werden.

### Theoretische Vorbetrachtung

Im Abluftstrom eines Getreidevorreinigers befindet sich ein Stoffgemisch mit stark variierenden physikalischen Eigenschaften. Die Hauptbestandteile sind: Körner der Kulturpflanze, Bruchkörner, Schmachtkörner und NKB, wie beispielsweise Spreu, Kurzstroh, Insekten, Staub und Samen von begleitenden Kräutern und Gräsern. Um die zu detektierende Größe Kornverlust spezifizieren zu können, muss ein Unterscheidungsmerkmal gefunden werden, welches lediglich das Korn der Kulturpflanze als Verlustkorn charakterisiert. Hier bietet sich die Kornmasse an, da die Schwingungsamplitude der Prallplatte des verwendeten Kornverlustsensors maßgeblich vom Impuls eines auftreffenden Kornes abhängig ist. Die Schwingungen des Impulsaufnehmers werden vom Beschleunigungssensor in eine amplitudenproportionale Spannung gewandelt und als Messsignal ausgegeben. Wird sichergestellt, dass die Geschwindigkeit der auftreffenden Bestandteile konstant ist, so kann anhand der Amplitude des Messsignals ein unversehrtes Korn der Kulturpflanze mit hoher Wahrscheinlichkeit als Verlustkorn detektiert werden. Zunächst wird davon ausgegangen, dass im Abluftstrom eines Vorreinigers die Verlustkörner die Bestandteile mit der größten Einzelmasse sind und somit den größten

Impuls erzeugen. Deshalb wurde im ersten Schritt lediglich eine Grenzspannung definiert, welche beim Überschreiten die Detektion eines Verlustkornes auslöst. Diese Vorgehensweise impliziert die Verwendung spezifischer Grenzspannungen für jede Fruchtart, welche durch eine Kalibrierung ermittelt werden müssen. Zur Absicherung der Funktionsfähigkeit des Messsystems sind weiterführende Versuche geplant.

Um die gewonnenen Messergebnisse miteinander vergleichen und Rückschlüsse auf das Sensorverhalten des Korndetektionssensors ziehen zu können, müssen speziell auf das verwendete Messsystem abgestimmte Beurteilungsgrößen eingeführt werden. Folgende Beurteilungsgrößen wurden definiert: die Signalstärke  $\sigma$  wurde aus dem Sensorsignalbeitrag  $|y|$  mit einem gleitenden arithmetischen Mittelwert über 1 000 Einzelmesswerte, bei einer Abtastfrequenz von 1 kHz berechnet und stellt eine nichtproportionale, an die Schwingungsamplitude gekoppelte Messgröße dar, da das Sensorsignal über den Messbereich schwankt [3].

$$\sigma = \overline{|y|}$$

Da die Signalstärke bei konstanter Mittelungsbreite und konstanter Abtastrate im quasistationären Betriebspunkt sowohl von der Sensoranordnung als auch von den physikalischen Stoffeigenschaften abhängig ist, erlaubt diese relative Bewertungsgröße für den über den Sensor geleiteten Gutmassenstrom weitreichende Schlussfolgerungen über die Detektierbarkeit einzelner Körnerfrüchte.

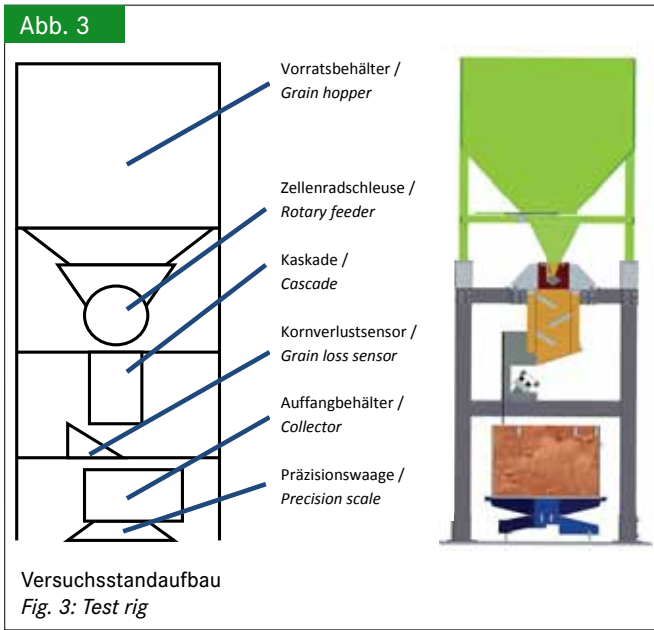
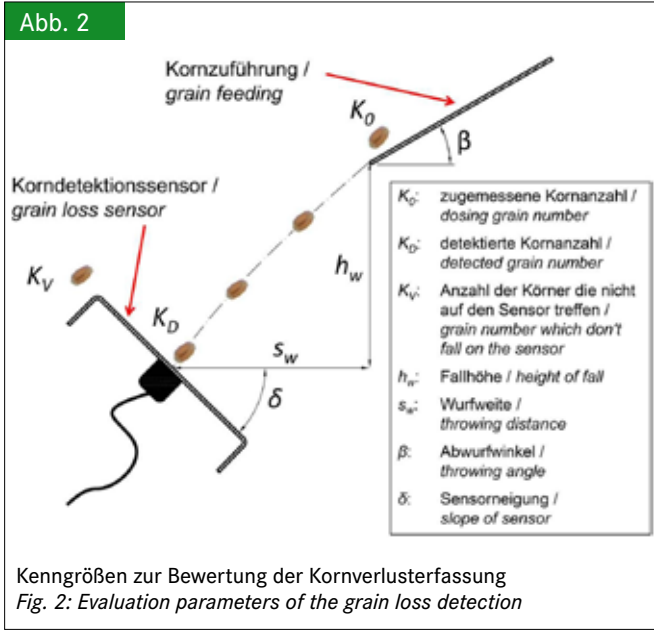
Zur Beurteilung der Einzelkorndetektion wird der Korndetektionseffizienzgrad  $\eta_D$  eingeführt. Dieser bildet sich aus dem Produkt des Erkennungseffizienzgrades und des Auftreffeffizienzgrades. Der Erkennungseffizienzgrad  $\eta_E$  gibt an, wie viele der Körner, die auf den Sensor treffen, von der Software tatsächlich erkannt werden. Der Auftreffeffizienzgrad  $\eta_A$  gibt an, wie viele der zu detektierenden Körner auf dem Sensor auftreffen [3].

$$\eta_D = \eta_E \cdot \eta_A = \frac{K_D}{K_0 - K_V} \cdot \left(1 - \frac{K_V}{K_0}\right) = \frac{K_D}{K_0}$$

Die zur Definition notwendigen Größen sind in **Abbildung 2** dargestellt.

Am Prüfstand zur Kornverlusterkennung kann die zu detektierende Kornanzahl  $K_0$  noch nicht gemessen werden. Aufgrund des hohen Zeitaufwandes wird der Korndetektionseffizienzgrad näherungsweise über das Tausendkorngewicht und die am Prüfstand ermittelte Masse bestimmt.

Zur Charakterisierung des ausgewählten Kornverlustsensors müssen folgende Bedingungen erfüllt werden: Reproduzierbare Randbedingungen, keine Abhängigkeit vom Einbauort und eine variable, aber genau bekannte Gutdosierung. Da diese Anforderungen beim Einbau des Sensors in einen Getreidevorreiniger nicht erfüllt werden können, ist es unumgänglich einen Prüfstand zu betreiben. **Abbildung 3** zeigt den prinzipi-



ellen Prüfaufbau ohne Messtechnik. Die am Prüfstand ermittelten Werte werden unter idealisierten Bedingungen aufgezeichnet und lassen somit lediglich Schlussfolgerungen auf das Sensorverhalten im Getreidevorreiniger zu [3]. Allerdings ist zu beachten, dass ein Sensor nur unter genau bekannten Randbedingungen hinreichend charakterisiert werden kann.

**Versuchsstandaufbau**

Eine drehzahlregelbare Zellenradschleuse entnimmt das Versuchsgut aus dem darüber angeordneten Vorratsbehälter und gibt es nach unten an eine nachgeschaltete Kaskade weiter. Die Kaskade sorgt einerseits für eine Verteilung des Gutstroms quer zur Zellenradschleuse über die Zellenradbreite hinaus und glättet zudem die Gutstromspitzen in Gutflussrichtung, welche durch die intermittierende Gutabgabe der Zellenradschleuse entstehen. Unterhalb der Kaskade ist der Kornverlustsensor angeordnet. Dieser ist sowohl horizontal und vertikal als auch in der Neigung verstellbar gelagert. Unterhalb des Sensors befindet sich ein Auffangbehälter, welcher auf einer Präzisionswaage steht. Durch das Differenzieren des Messsignals der Waage kann, unter Berücksichtigung der Laufzeit, jedem Signal des Kornverlustsensors ein momentaner Massenstrom zugeordnet werden. Dies ermöglicht, unter Berücksichtigung des TKG und des prozentualen Fremdbesatzes, die Berechnung der Kornanzahl, welche den Sensor passiert. Damit besteht die Möglichkeit ständig die prozentuale Abweichung der Sensormessung von dem errechneten Wert zu bestimmen. Die Messdatenauswertung wird über die Messsoftware DayLab 11 vorgenommen. Hierbei werden die von der Messdatenerfassung bereitgestellten Signale eingelesen und mit den vorher beschriebenen mathematischen und regelungstechnischen Operatoren konditioniert. **Abbildung 4** zeigt den schematischen Aufbau der Messsignalverarbeitung.

**Versuchsdurchführung**

Um eine Kornverlustdetektion zu gewährleisten, muss zunächst die optimale Einbaulage des Sensors ermittelt werden. Dabei zeigte sich, dass die freie Fallhöhe zwischen Kaskade und Sensormittelpunkt zwischen 120 und 180 mm liegen sollte. Kleinere Fallhöhen führen dazu, dass die zu detektierenden Körner einen zu geringen Impuls haben und dadurch nur noch bedingt erfassbar sind. Größere Fallhöhen begünstigen zwar die Detektion, jedoch treffen mit steigender Fallhöhe anteilig weniger Körner auf den Sensor, da sich ein nach unten öffnender Streukegel ausbildet. Die vertikale Position des Sensors ist direkt über die Gesetze des schiefen Wurfs an die Fallhöhe gekoppelt. Die optimale Sensorneigung lässt sich durch Maximieren der Signalstärke bei konstantem Gutmassenstrom ermitteln. Wird die Amplitude maximal, dann treffen die Körner genau senkrecht zur Sensoroberfläche auf. Ist dies der Fall, so wird der maximal mögliche Impuls auf den Sensor übertragen.

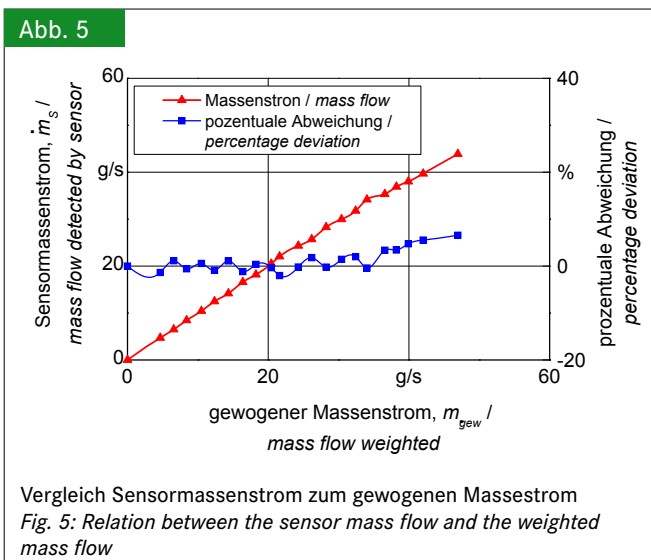
Lässt sich eine Korrelation zwischen dem Sensorsignal und dem darüber geleiteten Gutmassenstrom herstellen, dann kann

der Sensor als quantitatives Messinstrument eingesetzt werden. Um einen kausalen Zusammenhang beider Messgrößen zu finden, werden quasistationäre Messpunkte mit konstanter Zellenraddrehzahl gefahren und anschließend die innerhalb einer Messzeit ermittelte Kornmasse in Bezug zum Sensorsignal gesetzt.

Eine weitere Möglichkeit der Kornverlustfassung ist die Detektion einzelner Körner. Die Schwierigkeit dieser Methode liegt in der präzisen Unterscheidung zwischen Schmachtkorn, Bruch- und Verlustkorn. Mit einem mathematischen Algorithmus in der Messauswertung kann anhand der Signalamplitude des Sensorsignals genau dieses erreicht werden. Zur Überprüfung der Messgenauigkeit werden wiederum quasistationäre Messpunkte gefahren und auf eine errechnete Referenz bezogen.

## Ergebnisse

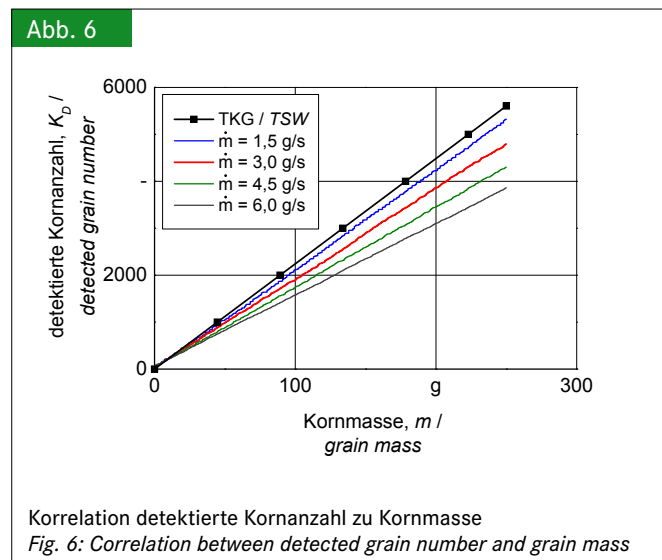
Zwischen dem mit dem Kornverlustsensor ermittelten und dem gewogenen Kornmassenstrom zeigt sich ein annähernd linearer Zusammenhang (**Abbildung 5**). Für Kornmassenströme unterhalb von 35 g/s liegt die prozentuale Abweichung unter  $\pm 3\%$ . Dies ist in Anbetracht der verwendeten Messmethode ein präzises Ergebnis. Es setzt allerdings die Verwendung einer fruchtartspezifischen Proportionalitätskonstante voraus. Für den Einsatz im Getreidevorreiniger können diese Parameter in einem Kennfeld der Steuerung abgelegt werden, die je nach Fruchtart und Umgebungsbedingung dann zur Verfügung stehen. Nachteil dieser Art der Signalauswertung ist die geringe Unterscheidbarkeit von Schmachtkorn, Bruch- und Verlustkorn bei hohen Gutdurchsätzen. Dabei werden alle im Gutstrom enthaltenen Bestandteile, außer den leichten NKB, erfasst. Die Subtraktion eines Korrekturwertes kann Abhilfe schaffen, setzt jedoch voraus, dass die Gutzusammensetzung des über den Sensor geleiteten Massenstroms bekannt und konstant ist. Um dies zu realisieren wäre ein weiterer Sensor notwendig, der die Gutzusammensetzung bestimmt.



Allerdings muss hier die Frage gestellt werden: ob ein nach Vorreiniger und Zyklon angeordneter Kornverlustsensor überhaupt mit NKB, Schmachtkorn und Bruchkorn beaufschlagt wird? Bei ausreichend hoher Reinigungsgüte der Anlage kann der Kornverlust über die eben beschriebene Messmethode ermittelt werden.

Eine weitere Möglichkeit der Verlustfassung ist die Einzelkorndetektion. Diese ist für eine Applikation im Getreidevorreiniger besser, da zwischen den einzelnen Kornbestandteilen unterschieden werden kann. Allerdings hängt die Qualität der Detektion stark von einer TKG-spezifischen Kalibrierung ab. Da die Sensorsignalamplitude vom Impuls eines auftreffenden Korns abhängt, muss genau festgelegt werden, ab welcher Impulsgröße die Detektion eines Einzelkorns stattfinden soll. **Abbildung 6** zeigt die Summen der detektierten Kornanzahl, dargestellt als Funktion der ermittelten Kornmasse für unterschiedliche Korndurchsätze. Als Referenz sind die aus den Kornmassen und den TKG errechneten Summen ohne Berücksichtigung des Fremdbesatzes dargestellt.

Dies erklärt den steileren Kurvenverlauf, da der vorhandene, aber mengenmäßig unbekannte Besatz ebenfalls in die Kornanzahlberechnung mit einfließt. Deutlich zu sehen ist, dass die detektierte Kornanzahl mit steigendem Massenstrom bei konstanter Kornmasse abnimmt. Mit steigendem Kornmassendurchsatz nimmt die Anzahl der Körner, die je Zeiteinheit auf die Sensorplatte prallen, zu. Dadurch kommt es zu einem Überlagern der einzelnen Signalamplituden die durch den Aufprall eines Korns entstehen. Können sich die Schwingungsamplituden nicht mehr frei ausbilden oder werden sie durch Superposition überlagert, so können zeitlich dicht aufeinanderfolgende Körner nicht mehr als Einzelkörner detektiert werden. Der Sensor ist besonders mit steigendem Gutmassenstrom zur präzisen Einzelkorndetektion ungeeignet. Jedoch stellt sich die Frage: welche Messauflösung ist zur Verlustregelung eines Getreidevorreinigers nötig? Die Trägheit des Systems ist vom Verstellen der Drosselklappe, über die Anpassung der Gebläsedrehzahl, bis zur Änderung des



Kornverlustniveaus im Abluftstrom der Reinigung sehr hoch. Daher ist es ausreichend, wenn der Sensor lediglich eine Verlusttendenz ausgibt. Hierfür ist die ermittelte Messgenauigkeit ausreichend und die ermittelte Messwertdrift bei steigendem Massendurchsatz unproblematisch.

### Schlussfolgerungen

Die Messungen am Prüfstand zur Kornverlustfassung zeigen, dass es zwei Möglichkeiten der Verlustermittlung gibt: Einerseits der Kornverlustmassenstrom und andererseits die Einzelkorndetektion der Verluste. Letztere bietet die Möglichkeit zwischen Bruch-, Schmach- und Verlustkorn zu unterscheiden und hat dadurch eine höhere Wertigkeit für eine Applikation im Getreidevorreiniger. Es kann eine verlustproportionale Messgröße eingeführt werden, die eine absolute Erfassung der Kornverluste und dadurch eine verlustgeregelte Getreidevorreinigung ermöglicht. Des Weiteren ist aufgrund des hohen Gütegrades von Vorreiniger und nachgeschalteten Zyklon die Detektion der Verlustkörner am Austritt der Anlage gut umsetzbar.

### Literatur

- [1] Mühlbauer, W. (2009): Handbuch der Getreidetrocknung. Agrimedia Verlag
- [2] Köhler, C. (2011): Untersuchungen zu Sensoren für Getreidevorreiniger. Studienarbeit, Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, unveröffentlicht
- [3] Häberle, S. (2011): Prüfstands-inbetriebnahme zur Kornverlustfassung an Getreidevorreinigern. Studienarbeit, Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, unveröffentlicht

### 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

**Steffen Häberle** studiert Fahrzeug- u. Motorentchnik, mit dem Schwerpunkt Landmaschinen, an der Universität Stuttgart.

### Danksagung

Das Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim dankt der Firma Ambros Schmelzer & Sohn, Waldershof für die Anregungen und die kompetente Unterstützung bei der Prüfstandplanung und -fertigung. Das Projekt wurde gefördert mit Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank. Die fachliche Betreuung der Förderung erfolgte durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.