

Timo Vocke und Bernd Johanning

# Untersuchungen an einem Schlegelmulcher mittels Feldversuch und Simulation

In dem vom Europäischen Fond für regionale Entwicklung geförderten Forschungsprojekt „Optimierung des Energieeinsatzes bei der Reststoppelpbearbeitung“ wird der unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten zentrale Zusammenhang von eingesetzter Energie und erreichtem Aufbereitungsgrad untersucht. Durch die Erfassung der Antriebsleistung eines Mulchgerätes in verschiedenen Betriebszuständen ist es möglich, die einzelnen Leistungsanteile darzustellen. Mithilfe der Modellierung eines Teilsystems und der Auswertung von Messergebnissen eines Feldversuches konnte auf das Auslenkverhalten der Werkzeuge zurückgeschlossen werden.

## Schlüsselwörter

Feldversuch, Reststoppelpbearbeitung, Simulation

## Keywords

Field test, stubble processing, simulation

## Abstract

Vocke, Timo and Johanning, Bernd

Studies on a mulcher by field test and simulation

Landtechnik 67 (2012), no. 4, pp. 251–255, 6 figures, 4 references

In the research project „Optimization of energy input at rest-stubble processing“ supported by the European Fund of Regional Development the central connection between used energy and the achieved level of treatment is examined. By detecting the drive power of a mulching machine at different operating conditions it is possible to represent the various power components. Using the model of a subsystem and the evaluation of measurement results of a field trial it could be projected on the deflection behaviour of the tools.

die nach der Ernte auf dem Feld verbleiben. Sie bieten einen Lebensraum für Schädlinge und Fusarien, die die Folgefrucht infizieren [1]. Hieraus resultieren Ernteverluste und ein massiver Einsatz von Pestiziden und Insektiziden. Die mechanische Aufbereitung der Stoppeln, also das bodennahe Abschneiden und die gleichzeitige Zerstörung der Halmstruktur, ermöglicht eine schnelle Verrottung der Stoppeln. Hierdurch wird das Schädlings- und Fusarienrisiko minimiert und in der Regel kann auf den Einsatz von chemischen Mitteln zur Reststoppelpbearbeitung verzichtet werden.

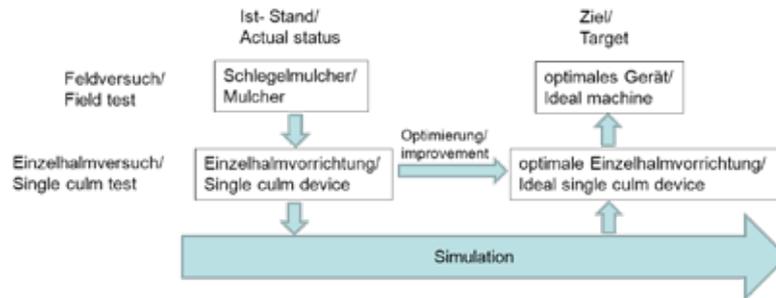
Die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen eingesetzter Energie und dem Aufbereitungsgrad erfolgt zum einen über den klassischen Feldversuch und zum anderen über Einzelhalmversuche im Labor. Die Feldversuche finden vorrangig auf Silo- bzw. Körnermaisflächen mit am Markt erhältlichen Schlegelmulchgeräten statt. Der hier ermittelte durchschnittliche Leistungsbedarf wird in Zusammenhang mit dem erreichten Aufbereitungsgrad als momentaner Stand der Technik definiert und gilt als Benchmark für die folgende Entwicklung im Rahmen des Projektes.

Parallel werden die Ergebnisse aus den Feldversuchen auf Einzelhalmversuche im Labor übertragen. Die Optimierung von Energieeinsatz und Aufbereitungsgrad erfolgt zunächst in weiteren Einzelhalmversuchen, deren Ergebnisse anschließend im Feldversuch verifiziert werden (**Abbildung 1**).

Um eine Aussage über die Güte der Aufbereitung zu erhalten, ist es geplant Proben aus den Feld- und Laborversuchen mit Bakterien, die auf Ackerflächen vorkommen zu versetzen. Die anschließende Beobachtung und Auswertung des Rotteprozesses gibt Aufschluss über die Wirkung der vorangegangenen Bearbeitung. Ursache und Wirkung können somit in ein Verhältnis gebracht werden.

■ Durch den zunehmenden Anbau von Energiepflanzen kommt es in der landwirtschaftlichen Praxis zu immer engeren Fruchtfolgen. Eine hiermit verbundene Problematik ist häufig die unzureichende Verrottung der sogenannten Reststoppeln,

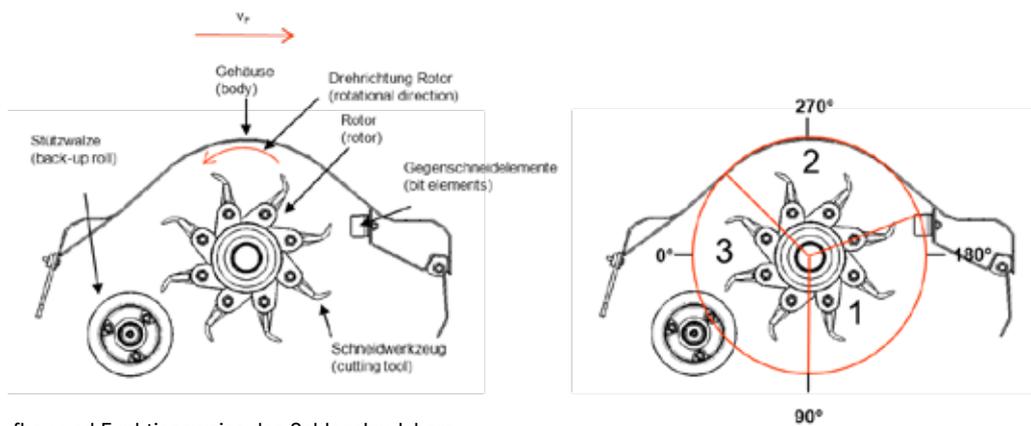
Abb. 1



Versuchsstrategie für den Optimierungsprozess

Fig. 1: Experimental strategy for process optimization

Abb. 2



Schematischer Aufbau und Funktionsweise des Schlegelmulchers

Fig. 2: Schematic assembly and operating mode of a mulcher

### Gesamtsystem und Funktionsweise des Schlegelmulchers

Das derzeit am häufigsten eingesetzte Gerät zur Reststoppelpbearbeitung ist der Schlegelmulcher. Den schematischen Aufbau zeigt **Abbildung 2**.

Der Arbeitszyklus eines Werkzeuges, das am Rotor befestigt ist, kann hinsichtlich der Funktionsweise in drei Zonen eingeteilt werden:

- Zone 1: Das Stoppelmateriale wird bodennah abgeschnitten und in das geschlossene Mulchergehäuse befördert. Hierbei wird es, aufgrund eines gewollten Gutstaus an den Gegenschneidelementen, mehrfach zerkleinert. Oftmals ist es möglich in den Gehäusen noch weitere Gegenschneidelemente anzubringen, um die Intensität der Bearbeitung zu steigern. Die verwendeten Bauteile sind reine Staulemente mit welchen kein Schnitt mit Gegenschneide, wie z. B. im Mährescher- bzw. Feldhäcksler, umzusetzen ist. Die Nennzahl des Rotors ( $n_{\text{Rot, Nenn}}$ ) liegt in einem Bereich von 25 1/s, sodass sich bei entsprechenden Abmessungen Werkzeuggeschwindigkeiten ( $v_{\text{Werkzeug}} \leq 65 \text{ m/s}$ ) ergeben.
- Zone 2: In diesem Bereich wird das Material entlang des Gehäuses befördert. Eine Nachzerkleinerung aufgrund der Massenträgheit des Stoppelmateriale und der Reibung am Gehäuse ist bei entsprechenden Gutparametern (Feuchtigkeit, Reifezustand, Durchsatz) möglich. Für die Bearbeitung von Körnermaisflächen bedeutet dies, dass bis zu neun

Tonnen Ernterrückstände pro Hektar vorliegen können, die mit einem mittleren Trockenmassegehalt von ca. 40 % vom Mulcher zerkleinert werden [2]. Am Ende dieser Zone verlässt das zerkleinerte Gut tangential den Flugkreis der Werkzeuge und fliegt zwischen Gehäuse und Stützwalze auf den Boden.

- Zone 3: Hier wird vom Rotor und den Werkzeugen ausschließlich Luft verdrängt. Der Leistungsbedarf in dieser Zone entspricht somit der reinen Leerlaufleistung.

### Feldversuche

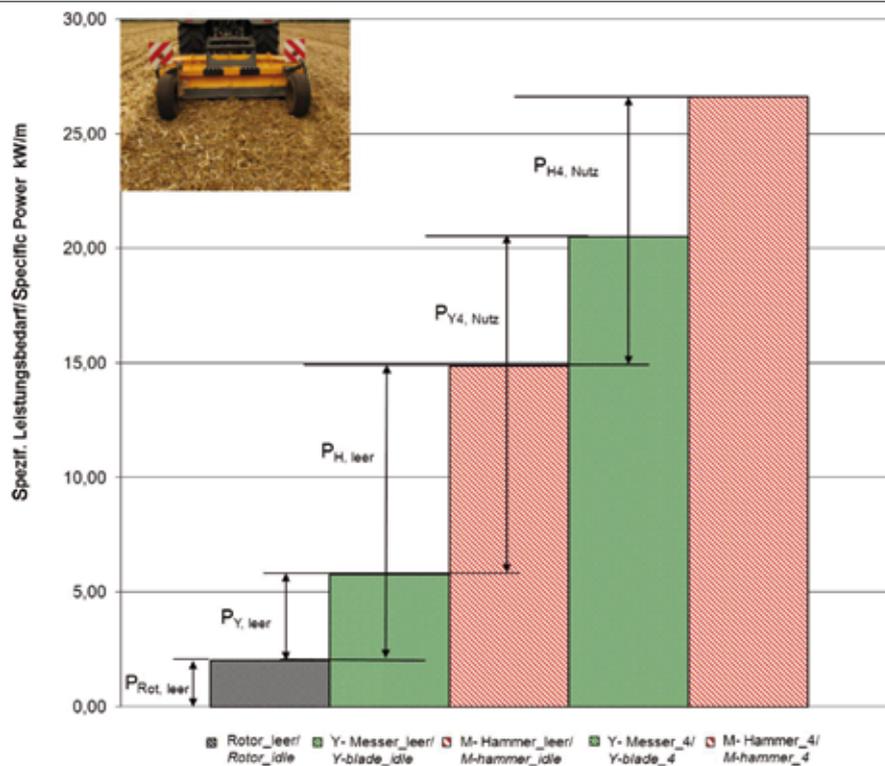
**Abbildung 3** zeigt Ergebnisse erster Versuchsreihen, die vorrangig auf Körnermaisflächen im Herbst 2011 durchgeführt wurden.

Dargestellt sind die spezifischen mittleren Leerlauf- ( $P_{\text{spez, H}}$ ) und Antriebsleistungen ( $P_{\text{spez, Y}}$ ) im Arbeitsbetrieb für den unbestückten Rotor und zwei verschiedene Schneidwerkzeuge. Es handelt sich hierbei um zwei gebräuchliche Werkzeuge für den Einsatz zur Reststoppelpbearbeitung, die mehrgliedrigen Y-Messer bzw. Hammerschlegel. Die spezifische Gesamtleistung des jeweiligen Werkzeuges ergibt sich wie folgt:

$$P_{\text{spez, H}} = P_{\text{Rot, leer}} + P_{\text{H, leer}} + P_{\text{H, Nutz}} \quad \text{bzw.}$$

$$P_{\text{spez, Y}} = P_{\text{Rot, leer}} + P_{\text{Y, leer}} + P_{\text{Y, Nutz}} \quad (\text{Gl. 1})$$

Abb. 3



Aufgenommene Leistungen im Leerlauf- und Arbeitsbetrieb

Fig. 3: Total input power in idle and working mode

Die Leerlaufleistung  $P_{\text{Rot, leer}}$  setzt sich aus den mechanischen Reibungsverlusten im Antriebsstrang, der Lagerung und dem Strömungswiderstand des werkzeuglosen Rotors zusammen. Die Größen  $P_{\text{H, leer}}$  und  $P_{\text{Y, leer}}$  enthalten nur die bei Nenndrehzahl auftretenden werkzeugspezifischen Leerlaufleistungen. Die Nutzleistungen  $P_{\text{H, Nutz}}$  und  $P_{\text{Y, Nutz}}$  setzen sich aus mehreren Anteilen zusammen, d. h., Schneiden, Zerkleinern und Fördern bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 4 km/h.

Unter identischen Einsatzbedingungen ergeben sich unterschiedliche Gesamtleistungen, die vorrangig aus den unterschiedlichen Leerlaufleistungen resultieren.

### Aufteilung des mittleren Drehmomentes über einen Arbeitszyklus

Für eine detailliertere Auswertung wird eine Methode, die bei der Untersuchung von Schneidprozessen aus dem Mähwerksbereich [3] bekannt ist, auf die Untersuchung am Schlegelmulcher angepasst. Im ersten Schritt wird hierfür das mittlere angreifende Moment am Rotor pro Werkzeug berechnet und auf die drei Zonen aufgeteilt (**Abbildung 2**). Hierfür müssen die Verluste im Antriebsstrang berücksichtigt werden. Dies ist mithilfe der Messungen des unbestückten Rotors möglich (**Abbildung 3**). Nach dieser Vorgehensweise ergeben sich  $M_{\text{H4, mittel}}$  bzw.  $M_{\text{Y4, mittel}}$ , die mittleren Niveaus der Antriebsmomente am Rotor pro Werkzeugeinheit (**Abbildung 4**).

Damit die aufgenommene Leistung des Rotors nach Durchlauf eines Arbeitszyklus zwischen Messung und dem Verlauf nach Arbeitszonen identisch ist, müssen die eingeschlossenen

Flächen der jeweiligen Momentenverläufe nach einem Zyklus gleich groß sein (Gl. 2).

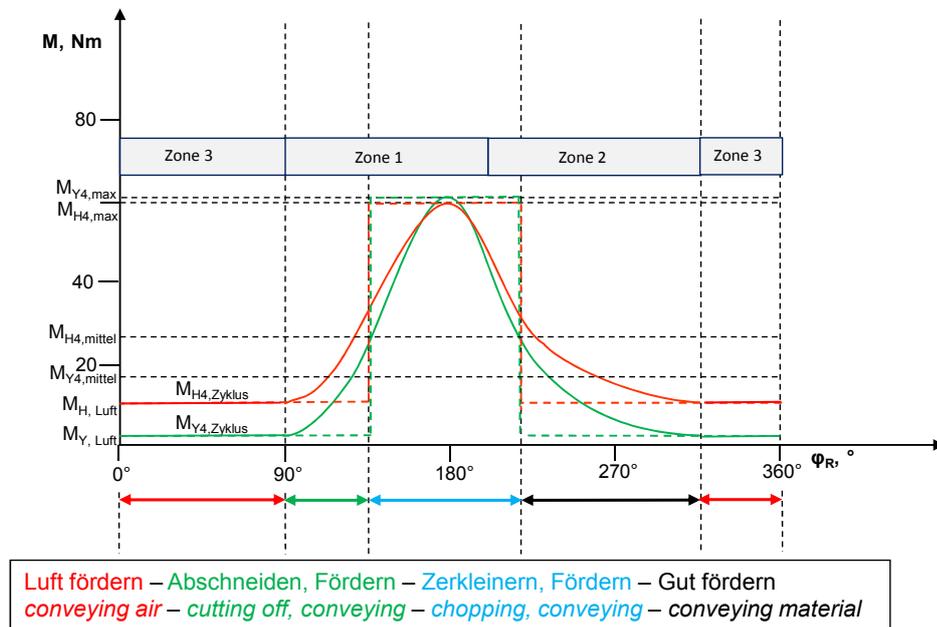
$$\int_0^{360^\circ} M_{\text{H4, mittel}} d\varphi_R = \int_0^{360^\circ} M_{\text{H4, Zyklus}} d\varphi_R \quad \text{bzw.}$$

$$\int_0^{360^\circ} M_{\text{Y4, mittel}} d\varphi_R = \int_0^{360^\circ} M_{\text{Y4, Zyklus}} d\varphi_R \quad (\text{Gl. 2})$$

Wobei  $\varphi_R$  den aktuellen Winkel des Rotors beschreibt (**Abbildung 2**). Der Bereich der reinen Luftförderung (Zone 3) lässt sich direkt aus den Messergebnissen in **Abbildung 3** ablesen und auf das angreifende Moment am Rotor pro Werkzeug umrechnen.  $M_{\text{H, Luft}}$  und  $M_{\text{Y, Luft}}$  liegen mit 12,4 Nm und 3,5 Nm deutlich unter den mittleren gemessenen Momenten  $M_{\text{H4, mittel}} = 24,8 \text{ Nm}$  und  $M_{\text{Y4, mittel}} = 18,3 \text{ Nm}$ . Der Vergleich der Zahlenwerte macht deutlich, dass die Aufteilung zur Betrachtung eines Arbeitszyklus sinnvoll ist.

Um eine möglichst differenzierte Aufteilung aus dem Modell zu entwickeln, wurde Zone 1 in zwei Bereiche unterteilt. In dem Bereich von  $90^\circ$  - ca.  $135^\circ$  wird vorrangig abgeschnitten, in dem Bereich der Gegenschneide,  $135^\circ$  -  $215^\circ$ , staut sich das Material und wird intensiver durch Mehrfachschnitte zerkleinert. Vorerst wird nur in diesem Bereich das Drehmoment in Form eines Rechtecksignals angehoben, welches aus der rechnerischen Aufteilung des mittleren Drehmomentes nach den drei Zonen resultiert. Es ergeben sich die gestrichelten Verläufe mit den errechneten maximalen Momenten  $M_{\text{H4, max}} = 62 \text{ Nm}$  und  $M_{\text{Y4, max}} = 62,7 \text{ Nm}$  (**Abbildung 4**).

Abb. 4



Aufgenommene Leistungen im Leerlauf- und Arbeitsbetrieb  
Fig. 4: Total input power in idle and working mode

Beim Vergleich der werkzeugspezifischen Verläufe fällt auf, dass das maximale Moment der Y-Messer etwas größer als das der Hammerwerkzeuge ist, obwohl das gemessene mittlere Moment kleiner ist. Der wesentlich geringere Luftwiderstand der Y-Messer ist hierfür ausschlaggebend.

In Anlehnung an Kämmerer [4] wurde ein realer Momentenverlauf, während eines Zyklus durch die eingezeichneten Parabeln qualitativ abgeschätzt.

### Mittlere Werkzeugauslenkungen im Leerlauf- und Arbeitsbetrieb

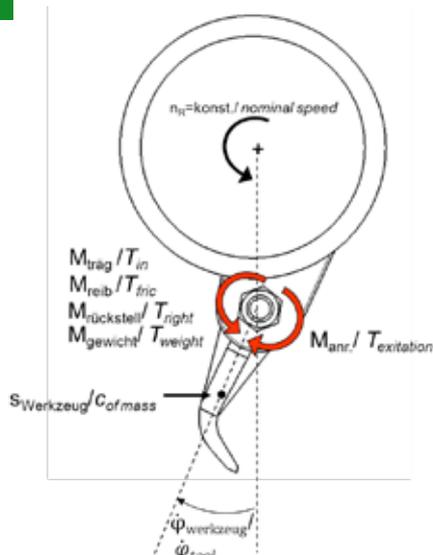
Hinsichtlich der Einzelhalmversuche wurde das betrachtete Gesamtsystem „Mulcher“ für die Erstellung eines Simulationsmodells in Matlab/Simulink auf ein Teilsystem „Rotor-Schlegel“ reduziert.

Für die Modellierung wird vereinfacht angenommen, dass die Rotordrehzahl  $n_R$  konstant bleibt. In **Abbildung 5** sind die angreifenden Momente am Befestigungspunkt während des positiv beschleunigten Auslenkens dargestellt. Mithilfe der Simulation dieses Teilsystems ist es möglich z. B. die mittlere Werkzeugauslenkung zu ermitteln, die am Gerät im Arbeitsbetrieb nur schwer zu erfassen ist. Die Betrachtung der mittleren Auslenkung bei pendelnder Aufhängung der Werkzeuge während des Arbeitsbetriebes, gibt indirekt Aufschluss darüber, in welchem Leistungsbereich die Maschine betrieben wird. Beim Überschreiten der Leistungsgrenze, klappen die Werkzeuge weg und die Arbeitsfunktion fehlt.

Bei Anwendung der Simulation mit den in **Abbildung 4** dargestellten Verläufen ergeben sich die mittleren Werkzeugauslenkungen in **Abbildung 6**.

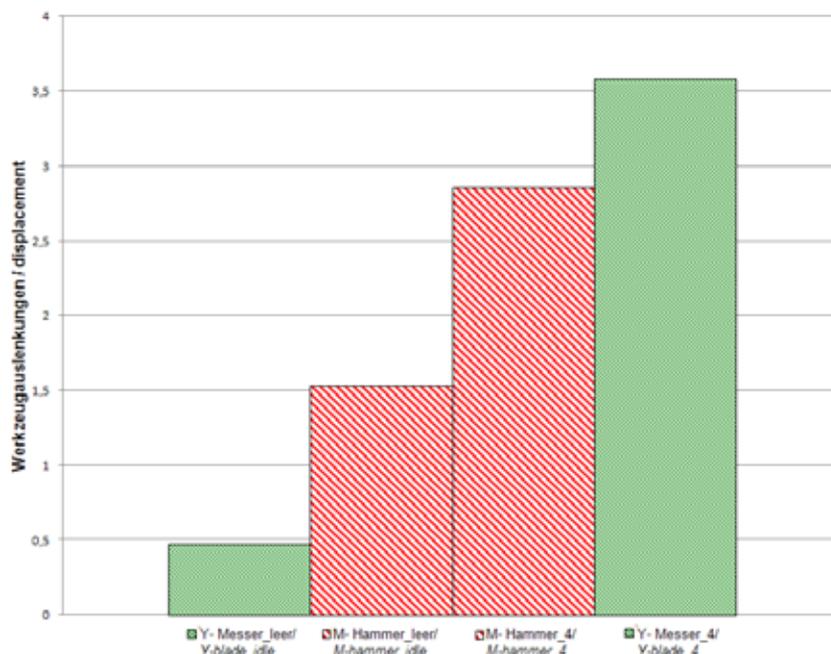
Beide Werkzeuge erfahren im Leerlaufbetrieb mit  $0,4^\circ$  bzw.  $1,6^\circ$  nur geringe Auslenkungen. Die etwas weitere Auslenkung beim Hammerwerkzeug hängt trotz des höheren Gewichtes, welches für größere Reib- und Rückstellmomente verantwortlich ist, mit dem wesentlich höheren Luftwiderstand der Hammerschlegel zusammen (**Abbildung 3**). In Verbindung mit diesen plattenförmigen Werkzeugen entwickelt der Mulcher die Funktion eines Gebläses.

Abb. 5



Teilsystem „Rotor- Werkzeug“  
Fig. 5: Part system „rotor- tool“

Abb. 6



Mittlere Werkzeugauslenkungen während des Leerlauf- und Arbeitsbetriebes  
 Fig. 6: Middle tool displacement while idle- and working mode

Im Arbeitsbetrieb hingegen wird das Y-Messer bei Anregung mit dem errechneten maximalen Moment weiter ausgelenkt, da erst hier das notwendige Potenzial zur Übertragung der Schnittkräfte erreicht wird.

Mittlere Auslenkwinkel von mehreren Grad im Arbeitsbetrieb oder gar ein Wegklappen bei Hinderniskontakt, wie es bei Mähwerken der Fall ist [2], sind bei Schlegelmulchern mit einer Werkzeugmasse von bis zu 3 kg und der Berücksichtigung dieser ersten Ergebnisse nicht vorstellbar.

### Schlussfolgerungen

Mit der Versuchsanordnung aus dem Feldversuch kann die Gesamtleistung in drei Leistungsbestandteile gegliedert werden. Die Rotorleistung  $P_{\text{Rot, leer}}$  und die Nutzleistungen  $P_{Y4, \text{Nutz}}$  bzw.  $P_{H4, \text{Nutz}}$  setzen sich bei näherer Betrachtung jedoch aus weiteren Einzelleistungen zusammen. Für eine Optimierung unter energetischen Gesichtspunkten ist es sinnvoll, besonders die Zusammensetzung der Nutzleistung zu untersuchen, um auf den Leistungsbedarf Einfluss nehmen zu können.

Die Leerlaufleistungen,  $P_{H, \text{leer}}$  und  $P_{Y, \text{leer}}$  hingegen werden nur durch die Geometrie des Werkzeuges beeinflusst und sind eindeutig erfasst. Die Anteile an der Gesamtleistung sind aufgrund des hohen Luftwiderstandes erheblich und könnten nach einer Optimierung zur Reduktion des Energieeinsatzes beisteuern.

Aus der Betrachtung der aufgenommenen Leistungen ist erkennbar, dass der Energieeinsatz durch die Verringerung des Luftwiderstandes der Werkzeuge und über den eigentlichen Arbeitsprozess (Schneiden, Zerkleinern, Fördern) zu optimieren ist.

Weiterhin kann mithilfe der Einteilung in die drei Zonen eine vorläufige Leistungsaufteilung während eines Arbeitszyklus,

d.h. einer Rotorumdrehung, vorgenommen werden. In Kombination mit dem Simulationsmodell vom Teilsystem „Rotor-Schlegel“, lassen sich die mittleren Werkzeugauslenkungen im Leerlauf- und Arbeitsbetrieb darstellen. Die geringen Auslenkungen zeigen, dass der Mulcher in dem untersuchten Betriebspunkt noch erhebliche Leistungsreserven aufweist.

Die ersten Ergebnisse des Forschungsprojektes machen deutlich, dass für eine genaue Identifikation und Bestimmung der Schneid- und Zerkleinerungsleistungen der klassische Feldversuch nicht ausreicht. Weiterführende Ergebnisse können daher nur über Versuchsreihen am Einzelhalmprüfstand und unterstützender Simulation erzielt werden.

### Literatur

- [1] Zellner, M. (2009): Der Maiszünsler in Bayern. Fachvortrag, Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, [http://www.lfl.bayern.de/ips/blattfruechte\\_mais/25671/linkurl\\_0\\_2.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ips/blattfruechte_mais/25671/linkurl_0_2.pdf), Zugriff am 10.05.2012
- [2] Hammerschmid, W.; Handler, F. (1992): Vergleichsuntersuchung von Schlegelhäckseln. Forschungsbericht Nr. 33, BLT Wieselburg
- [3] Horstmann, J. (1998): Untersuchungen zur Reduzierung von Antriebschäden im Getriebe eines Scheibenmähwerkes bei Hinderniskontakt. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 14, Nr. 90, VDI-Verlag, Düsseldorf
- [4] Kämmerer, D. (2002): Der Schneid- und Fördervorgang im Mährescherhäcksler. Dissertation, Technische Universität Braunschweig

### Autoren

**Dipl.-Ing. (FH) Timo Vocke, M. sc.** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Labor für Landtechnik und mobile Arbeitsmaschinen der Hochschule Osnabrück (Leitung **Prof. Dr.-Ing. B. Johanning**), Albrechtstraße 30, 49009 Osnabrück, E-Mail: T.Vocke@hs-osnabrueck.de

### Weitere Hinweise

EFRE Forschungsprojekt (Europäischer Fond für regionale Entwicklung)