

Christian Korn, Jens Fehrmann, Thomas Herlitzius, Michael Flanhardt und Andreas Acimas

Entwicklung eines Mähdrescherstrohhackslers für große Arbeitsbreiten

Steigende Schneidwerksbreiten führen die konventionellen Häckselsysteme mit horizontalem Rotor und passiven Verteilelementen an die Leistungsgrenze. Nur durch aufwendige und leistungsintensive Hilfsaggregate kann eine ausreichend gleichmäßige Verteilung des Stroh in Breitenrichtung erzielt werden. Unter Verwendung des Schnittprinzips Hackschnitt ohne Gegen-schneide erfolgt die Entwicklung eines Hackslerversuchsstandes in Kooperation mit der Firma Rassepe Systemtechnik, welcher aus zwei vertikalen Rotoren aufgebaut ist und die Funktionen Häckseln und Verteilen vereint. Die Ergebnisse umfangreicher Laboruntersuchungen zu Antriebsleistungsbedarf, Gutaustrittsgeschwindigkeit, Häckselqualität und Querverteilung werden in diesem Artikel vorgestellt.

Schlüsselwörter

Strohhäcksler, Mähdrescher, Querverteilung, Häckselqualität, Wurfweite

power demand, material velocity, chopping quality and lateral distribution are presented in this article.

Keywords

straw chopper, combine, lateral distribution, chopping quality, spreading width

Abstract

Korn, Christian; Fehrmann, Jens; Herlitzius, Thomas; Flanhardt, Michael and Acimas, Andreas

Development of a straw chopper for combines for increased working width

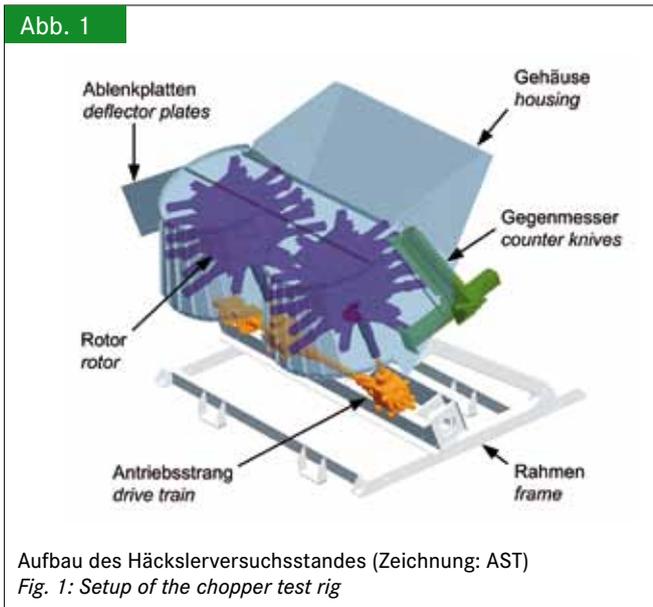
Landtechnik 67 (2012), no. 1, pp. 11–16, 7 figures, 1 table, 11 references

Increasing header widths lead conventional chopping systems with horizontal rotor and passive distribution elements to the performance limit. Only through extensive and power-intensive ancillary units, a sufficiently uniform cross distribution of the straw can be achieved. Using the principle of inertial cutting without counter blade, the development of a chopper test rig, characterized by two vertical rotors is realized in cooperation with the manufacturer Rassepe Systemtechnik. The results of extensive laboratory studies of

■ Verbleiben die Erntereste nach dem Drusch auf dem Feld, so spielt die Häcksel- und Verteilqualität für alle nachfolgenden Bearbeitungsgänge, darunter Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz eine entscheidende Rolle [1–3]. Ausgehend von einer umfangreichen Analyse des Standes der Technik und der Wissenschaft [4–8] wurde festgestellt, dass die gegenwärtigen, konventionellen Systeme mit quer zur Fahrtrichtung horizontal ausgerichtetem Rotor und passiven Verteilorganen bei ca. 9 m Arbeitsbreite an ihrer technisch-physikalischen Leistungsgrenze angelangt sind. Durch nachgeordnete aktive Verteilorgane (Radialverteiler) kann die Wurfweite gesteigert werden, was mit höherem Leistungsbedarf und zusätzlichen Anschaffungskosten verbunden ist.

Theoretische Vorbetrachtungen, eine Anforderungsliste mit technischen und ökonomischen Parametern sowie ein Variantenvergleich haben zur Entwicklung des Prototyps eines Mähdrescheranbauhäckslers mit zwei vertikal ausgerichteten Rotoren beigetragen. Der wesentliche Vorteil gegenüber konventionellen Systemen mit Streublechverteiler besteht darin, dass der Teil des Häckselgutes, welcher in die am weitesten außen liegenden Bereiche transportiert werden soll, keine energetisch ungünstige Ablenkung durch Leitbleche erfährt, sondern direkt abgegeben werden kann. Es wird somit davon ausgegangen, dass das Häckselgut den Häcksler mit höherer Austrittsgeschwindigkeit verlässt und auf aktive Verteilorgane verzichtet werden kann.

Abb. 1



Aufbau des Häckslerversuchsstandes (Zeichnung: AST)
 Fig. 1: Setup of the chopper test rig

Aufbau des Versuchsstandes

Der am Lehrstuhl Agrarsystemtechnik entwickelte Versuchsstand nach **Abbildung 1** ist für die Durchführung von Laborversuchen konzipiert. Der Antrieb erfolgt über einen drehzahl-geregelten Drehstrom-Asynchronmotor mit einer Nennleistung von 75 kW, welcher über eine Gelenkwelle und eine Drehmomentmessnabe mit dem Versuchsstand verbunden ist. Die Rotordrehzahl ist im Bereich $n_R = 1\,150$ bis $2\,300$ U/min einstellbar, was einer mittleren Umfangsgeschwindigkeit (Schnittgeschwindigkeit) von $v_u = 55$ bis 110 m/s entspricht. Die nicht ineinander kämmenden Rotoren sind modular aufgebaut, sie bestehen aus insgesamt acht übereinander angeordneten Rotorsternen, an welchen jeweils vier Schlegelmesserpaare befestigt sind. Einzelne Rotorsterne können bei Bedarf demontiert und durch andere Rotationselemente ersetzt werden.

Zur Erzielung der geforderten Häckselqualität ist es möglich, Reibleisten mit variabler Schenkellänge in den Wirkbereich der Rotoren einzubringen. Weiterhin können Gegenmesser verwendet werden, welche hinsichtlich Eingriffstiefe und Eingriffswinkel einstellbar sind.

Versuchsdurchführung

Die Zuführung des Langstrohs im Labor erfolgt mithilfe eines Dreschwerkversuchsstandes (konventionelles Dreschwerk) mit $b = 800$ mm Kanalbreite. Hinsichtlich der Vorschädigung des Ausgangsmaterials und der Auflockerung der Gutmatte kann so von einer praxisnahen Zuführung gesprochen werden. Der Versuchsplan beinhaltet die Untersuchung der Einflussparameter Umfangsgeschwindigkeit v_u , Strohdurchsatz Q und Art der verwendeten Messer, wobei Standardmesser oder Paddelmesser (Paddelmesser® der Firma Rasspe) eingesetzt werden, sowie weiterer konstruktiver Modifikationen hinsichtlich Wirkung auf Antriebsleistungsbedarf P_{An} , Gutaustrittsgeschwindigkeit v_G , Häckselqualität und Querverteilung. Die Gestaltung des Zuführbereichs ist der Strohaube realer Mähdrescher

Abb. 2



Versuchsstand mit Zuführeinrichtung (Foto: AST)
 Fig. 2: Test rig with feeding equipment

nachempfunden, jedoch zur Beobachtung des Gutannahmeverhaltens und Materialflusses aus Plexiglas gefertigt. Nach oben kann der Zuführkanal wahlweise geschlossen oder, wie in **Abbildung 2** dargestellt, geöffnet werden. Materialflussuntersuchungen zum maximal erreichbaren Durchsatz werden zusätzlich zur oben genannten Zuführung am realen Mähdrescher bei einer Kanalbreite von $b = 1\,600$ mm überprüft. Es können so Strohdurchsätze bis $Q = 35$ t/h realisiert werden.

Unabhängig vom Versuchsaufbau beträgt die Versuchszeit $t_{ges} = 8$ s, wobei $t_{stat} = 5 \pm 0,5$ s stationäre Versuchszeit zur Auswertung zur Verfügung stehen. Bei jedem Versuch werden das Antriebsdrehmoment und die Antriebsdrehzahl gemessen. Bei Bedarf können Gutaustrittsgeschwindigkeit mittels Hochgeschwindigkeitskamera und die Querverteilung über Auffangbehälter aufgenommen werden. Zur Beurteilung der Häckselqualität werden nach jedem Versuch Strohproben genommen. Die Ausstattung der in diesem Artikel vorgestellten Varianten des Vertikalhäckslers wird in **Tabelle 1** angegeben.

Versuchsergebnisse

Leistungsbedarf

Der Antriebsleistungsbedarf P_{An} wird in **Abbildung 3** für die Versuchsparameter Umfangsgeschwindigkeit v_u , Strohdurchsatz Q und Häckslerausstattung angegeben. Es handelt sich hierbei um den Gesamtleistungsbedarf, welcher den Leerlaufleistungsbedarf beinhaltet. Bei konstantem Strohdurchsatz

Tab. 1

Ausstattungsvarianten des Vertikalhäckslers
 Table 1: Configurations of the vertical chopper

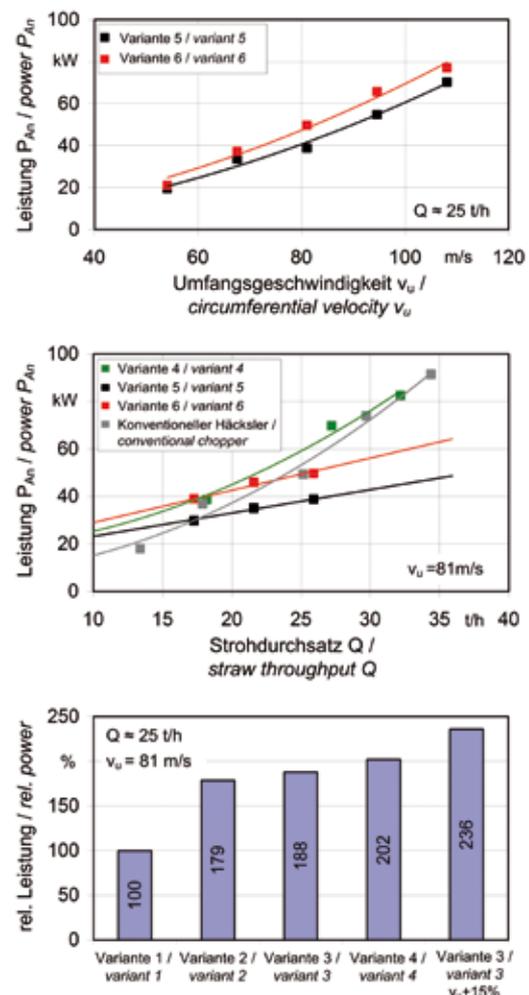
Variante Variant	Ausstattung/Configuration				Standardmesser Standard knife	Paddelmesser Paddle knife
	Standardmesser Standard knives	Paddelmesser Paddle knives	Gegenmesser Counter knives	Reibleisten Controller bars		
Variante 1 Variant 1	X	-	-	0		
Variante 2 Variant 2	X	-	X	0		
Variante 3 Variant 3	X	-	X	1		
Variante 4 Variant 4	X	-	X	2		
Variante 5 Variant 5	X	-	-	2		
Variante 6 Variant 6	-	X	-	2		

zeigt sich ein leicht überproportionaler Anstieg des Leistungsbedarfes mit wachsender Umfangsgeschwindigkeit, was mit den Angaben der Literatur [3] übereinstimmt. Die Ursache besteht darin, dass nicht nur der Faktor Drehzahl, sondern auch das Antriebsmoment steigt, was einerseits auf den Beitrag der Leerlaufmomente und andererseits auf die höhere Anzahl an Schnitten zurückzuführen ist. Letzteres äußert sich nach **Abbildung 5** durch steigende Häckselqualität.

Aufgetragen über dem Strohdurchsatz fällt der unterschiedliche Kurvenverlauf zwischen den Varianten mit Gegenmesser (Variante 4 und konventionell) bzw. ohne Gegenmesser (Variante 5 und 6) auf. Das Einbringen von Gegenmessern in den Wirkungsbereich der Rotoren verursacht demnach einen überproportionalen Anstieg des Leistungsbedarfes.

Der Vergleich der Kurven von Variante 5 (Standardmesser, eben) und Variante 6 (Paddelmesser, tordiert) ist durch höheren Leistungsbedarf von Variante 6 gekennzeichnet. Die Verdrehung der Klingenebene gegenüber der Lagerungsebene bei den Paddelmessern (**Tabelle 1**) bewirkt jedoch einen größeren Luftvolumenstrom und höhere Gutaustrittsgeschwindigkeiten, wie später in diesem Artikel gezeigt wird. Zur Gegenüberstellung des Gesamtleistungsbedarfs zwischen dem Vertikalhäckslers und dem konventionellen Häckslers kann aufgrund der vergleichbaren Ausstattung Variante 4 verwendet werden. Ab ca. $Q = 30$ t/h Strohdurchsatz ist der Leistungsbedarf vergleichbar mit der Tendenz zu Vorteilen des Vertikalhäckslers bei weiter steigenden Durchsätzen. Im unteren Durchsatzbereich weist der konventionelle Häckslertyp ein niedrigeres Leistungs-niveau, bedingt durch den geringeren Leerlaufleistungsbedarf, gegenüber dem Vertikalhäckslers auf. Hier besteht Optimierungsbedarf beim Vertikalhäckslers. Der Einfluss der Ausstattung des Häckslers mit Gegenmessern und Reibleisten auf den Leistungsbedarf, dargestellt in **Abbildung 3** unten, äußert sich erwartungsgemäß.

Abb. 3



Leistungsbedarf
 Fig. 3: Power demand

Gutaustrittsgeschwindigkeit

Zur Bestimmung der Gutaustrittsgeschwindigkeit v_G wird eine Hochgeschwindigkeitskamera verwendet, deren Aufnahmebereich einen repräsentativen Teil des austretenden Gutstromes erfasst. Bei 2000 fps können $t = 4,1$ s Versuchszeit aufgenommen werden. Durch das Tracking von 200 zufällig gewählten Partikeln je Versuch kann eine mittlere Austrittsgeschwindigkeit errechnet werden.

Der Einsatz von Paddelmessern hebt nach **Abbildung 4** die Gutaustrittsgeschwindigkeit an, wobei der Effekt bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten stärker ausgeprägt ist. Beide Varianten zeigen einen erwarteten Anstieg der Gutaustrittsgeschwindigkeit mit steigender Umfangsgeschwindigkeit. Der Einfluss des Strohdurchsatzes auf die Gutaustrittsgeschwindigkeit ist bei Variante 5 (Standardmesser) und beim konventionellen Häcksler, vergleichbar mit den Angaben anderer Autoren [3], durch einen proportionalen Anstieg gekennzeichnet, wobei der Vertikalhäcksler über den gesamten Durchsatzbereich um ca. $v_G = 10$ m/s höhere Austrittsgeschwindigkeiten aufweist. Die Messung am konventionellen Häcksler erfolgt in der Mitte

des Gutabgabebereichs, sodass das Häckselgut keine Ablenkung durch Strohleitbleche erfährt. Eine positive Eigenschaft der Paddelmesser (Variante 6) zeigt sich in den konstant hohen Austrittsgeschwindigkeiten bei kleinen Durchsätzen, was auf den hohen Luftvolumenstrom zurückzuführen ist, welcher, wie später in diesem Artikel gezeigt, durch die Paddelmesser gefördert wird. Der Einfluss der Häckslerausstattung wird in **Abbildung 4** durch die Angabe einer auf Variante 1 bezogenen, relativen Gutaustrittsgeschwindigkeit verdeutlicht. Elemente zur Steigerung der Häckselqualität wirken sich demnach nachteilig auf die Gutaustrittsgeschwindigkeit aus, sind aber wie nachfolgend gezeigt wird, notwendig für das Erreichen der in den Zielvorgaben definierten Häckselqualität.

Häckselqualität

Zur Beurteilung der Häckselqualität wird die jeweilige Strohprobe nach dem Versuch mittels einer Kaskadensiebvorrichtung fraktioniert. Die Sieblochdurchmesser entsprechen den von der DLG verwendeten, sodass durchgeführte Tests (z.B. [10]) als Benchmark für den Vertikalhäcksler herangezogen werden können. Die Angabe von Massenverteilung (Siebdurchgang) über Sieblochdurchmesser (Strohlängenfractionen) nach **Abbildung 5** weist die Vergleichbarkeit mit konventionellen Häckslern nach. Durch Anhebung der Umfangsgeschwindigkeit oder das Einbringen zusätzlicher Widerstände lässt sich die Häckselqualität erwartungsgemäß steigern, jedoch geht dies mit erhöhtem Antriebsleistungsbedarf (**Abbildung 3**) einher. An die-

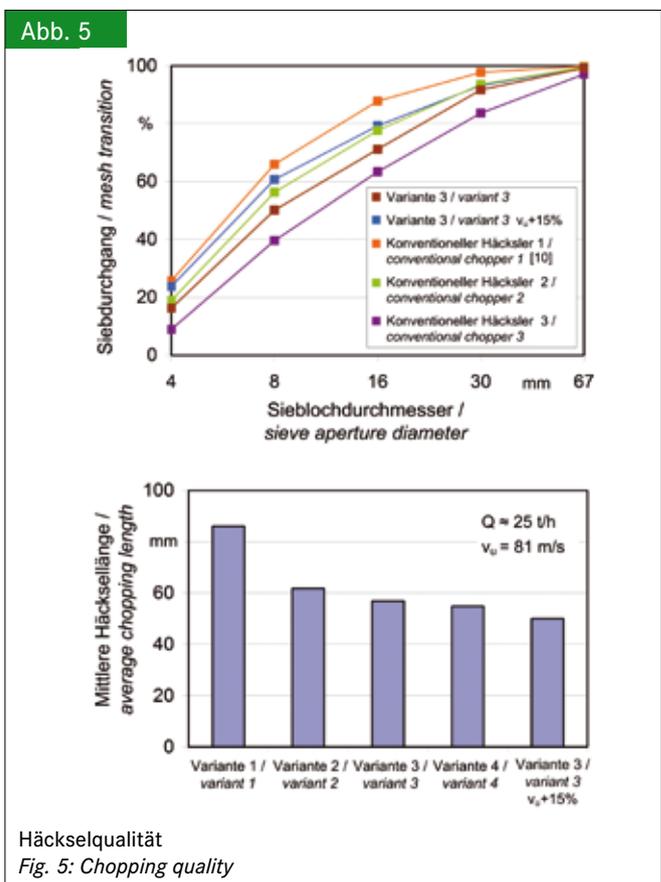
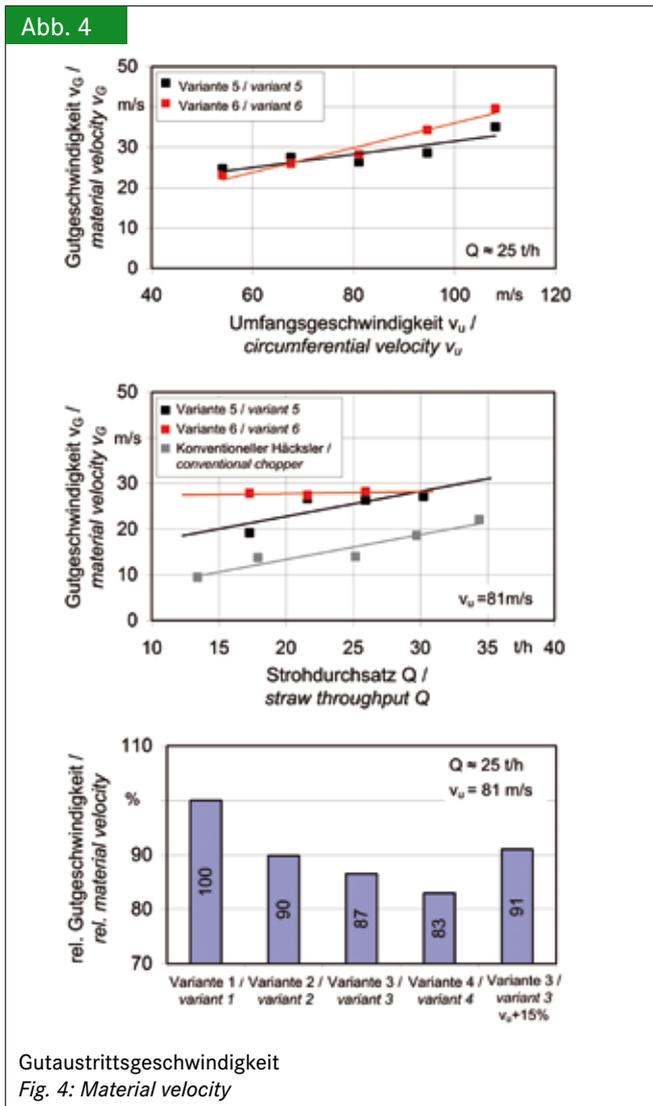
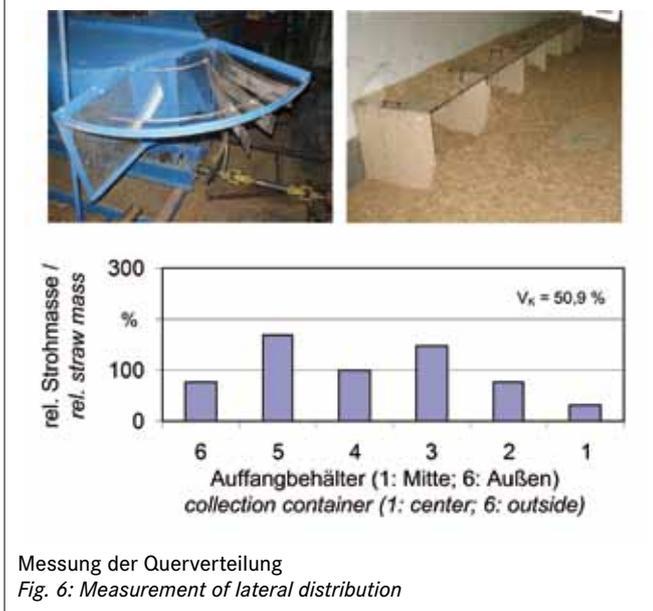


Abb. 6



ser Stelle wird der Zielkonflikt deutlich, welcher zwischen den Forderungen nach niedrigem Antriebsleistungsbedarf, hohen Gutaustrittsgeschwindigkeiten und angemessener Häckselqualität besteht. Zum Finden der bestmöglichen Betriebsparameter muss das vorliegende Optimierungsproblem gelöst werden.

Querverteilung

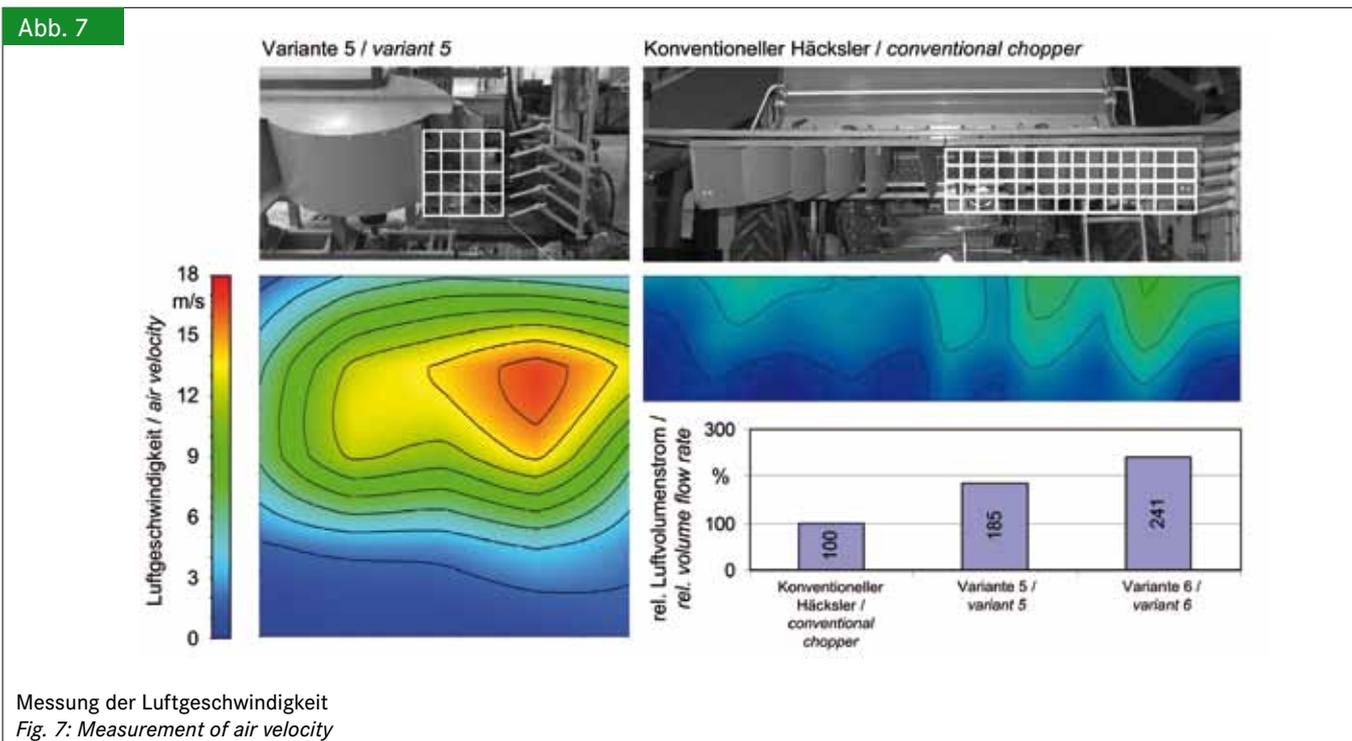
Erste Versuchsreihen zum Nachweis der gleichmäßigen Querverteilung ergaben einen Variationskoeffizienten von $V_K = 50,9 \%$, was gemessen an der Zielgröße $V_K < 25 \%$ noch

nicht akzeptabel ist. An dieser Stelle besteht umfangreicher Untersuchungsbedarf. Mithilfe der durchgeführten Versuche konnte die Forderung nach einer Wurfweite von $b = 12 \text{ m}$ positiv bestätigt werden. Die verwendeten Auffangbehälter nach **Abbildung 6** besitzen eine Breite von einem Meter.

Luftgeschwindigkeit

Die Messung der Luftgeschwindigkeit verfolgt das Ziel, eine eventuell vorhandene Korrelation zwischen Gutgeschwindigkeit und Strömungsgeschwindigkeit im Bereich des Gutaustritts zu finden. Es wird simultan mit fünf Flügelradanemometern über einen Zeitraum von $t = 20 \text{ s}$ gemessen, sodass turbulente Schwankungen der Strömungsgeschwindigkeit nur noch einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Mittelwertbildung haben. Die untersuchten Messraster und die jeweiligen Geschwindigkeitsprofile sind vergleichend in **Abbildung 7** dargestellt. Der Vertikalhäcksler mit ebenen Messern (Variante 5) zeigt einen um 85 % höheren relativen Luftvolumenstrom gegenüber dem konventionellen Häcksler (ebenfalls ebene Messer), welcher durch den Einsatz von Paddelmessern (Variante 6) nochmals um ca. 60 % gesteigert werden kann. Weitere Messungen haben gezeigt, dass das Strömungsprofil beim Vertikalhäcksler durch den gezielten Einsatz der links- oder rechtstordierten Paddelmesser vergleichmäßig werden kann. Es zeigt sich, wenn auch zunächst nur qualitativ, dass eine Korrelation zwischen der Strömungsgeschwindigkeit und der Gutgeschwindigkeit besteht. An dieser Stelle sind weitere Untersuchungen geplant, welche einerseits experimentell und andererseits mithilfe numerischer Strömungsmechanik (CFD) durchgeführt werden. In [11] sind bereits Ergebnisse zum Einsatz der CFD als Entwicklungswerkzeug im vorgestellten Projekt veröffentlicht.

Abb. 7



Schlussfolgerungen

Die am Vertikalhäcksler durchgeführten Laboruntersuchungen haben das Potenzial zur Steigerung der Wurfweite auf 12 m bestätigt. Bei hohen Durchsätzen und vergleichbarer Häckselqualität ist der Antriebsleistungsbedarf gleich dem eines konventionellen Häckslers, wobei erwartet wird, dass aufgrund der hohen Gutaustrittsgeschwindigkeit auf zusätzliche Verteilelemente verzichtet werden kann und somit eine Leistungseinsparung vorliegt. Die weitere Versuchsplanung beinhaltet die Optimierung des Leerlaufleistungsbedarfs und das Erreichen einer gleichmäßigen Querverteilung.

Literatur

- [1] Kiefer, J., (1988): Untersuchungen zur Sätechnik bei Getreide unter besonderer Berücksichtigung von Vorfruchtresten im Saatbett. Dissertation, Forschungsbericht Agrartechnik MEG, Kiel
- [2] Hölzmann, H. J. (2002): Stroh häckseln oder bergen? GetreideMagazin 3/2002, S. 166–169
- [3] Fehrmann, J.; Grosa, A.; Herlitzius, T.; Mohn, T.; Mohn, G. (2009): Introduction of a new tillage concept ROTAPULL. Tagung LAND.technik AgEng 2009, VDI-MEG, 06.-07.11.2009, Hannover, S. 251–258
- [4] Kämmerer, D. (2002): Der Schneid- und Fördervorgang im Mährescherhäcksler. Dissertation, Braunschweig, Shaker Verlag
- [5] Wieneke, F. (1991): Strohzerkleinerung. Landtechnik 46(6), S. 262–264
- [6] Bognár, J.; Szendrő, P. (2004): Zerkleinerung von Halmgütern. Landtechnik 59(2), S. 82–83
- [7] Lücke, W.; v. Hörsten, D.; Henning, H. (2004): Mährescherhäcksler. Landtechnik 59(1), S. 30 u. 35
- [8] Wallmann, G. (2006): Gutzuführung für Mährescherhäcksler. Dissertation. Braunschweig, Shaker Verlag
- [9] Wiedermann, A. (2011): Exaktschnitt im Mährescherhäcksler. Dissertation. Braunschweig, Shaker Verlag
- [10] DLG Prüfbericht 5445F (2005): Häckselqualität John Deere 9880i STS. DLG Testzentrum, DLG Verlag
- [11] Flanhardt, M.; Acimas, A.; Herlitzius, T.; Korn, Ch.; Fehrmann, J. (2011): Optimize the passive wide spreading of chopped straw on combine harvesters by using an alternative active principle. Tagung LAND.technik AgEng 2011, VDI-MEG, 11.–12.11.2011, Hannover, S. 39–45

Autoren

Dipl.-Ing. Christian Korn und **Dipl.-Ing. Jens Fehrmann** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Verarbeitungsmaschinen und mobile Arbeitsmaschinen der Technischen Universität Dresden, Professur für Agrarsystemtechnik (Leitung: **Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Herlitzius**), Bergstr. 120, 01062 Dresden, E-Mail: korn@ast.mw.tu-dresden.de

Dipl.-Ing. Michael Flanhardt ist Geschäftsführer und **Dipl.-Ing. Andreas Acimas** Leiter der Produkttechnik der Firma Rasspe Systemtechnik GmbH & Co. KG, 42929 Wermelskirchen.

Danksagung

Das vorgestellte Projekt wurde mit Unterstützung der Allianz Industrie Forschung (AIF) realisiert. Wir danken der Firma Rasspe Systemtechnik GmbH & Co. KG für die hervorragende Zusammenarbeit.