

Michael Schwarz, Tobias Zähl, Dominik Gottlieb und Stefan Böttinger

# Leistungsbedarf am Mähdrescherhäcksler

Um die Energieeffizienz im Mähdrescher zu verbessern wurde eine Drehzahlentkopplung von Verbrennungsmotor und Antriebsstrang zu den einzelnen Arbeitselementen untersucht. Identifiziert wurden alle Leistungsverbraucher sowie die zur Antriebssystemgestaltung notwendigen Lastkollektive. Dafür wurde an der Universität Hohenheim ein Mähdrescher mit einem CAN-Bus basierenden Messsystem ausgerüstet, um im ersten Schritt die mechanische Leistung am Mähdrescherhäcksler im Einsatz zu ermitteln. Des Weiteren wurden der Einfluss von Häckslerdrehzahl und Messerform (Vergleich Standard- zu Paddelmesser) auf den Leistungsbedarf untersucht und mittels eines Verteilmesssystems für Nichtkornbestandteile (NKB) der DLG e.V. zusätzlich verifiziert.

## Schlüsselwörter

Mähdrescher, Häcksler, Leistungsbedarf, CAN-Bus, Drehmomentmessnabe, Strohverteilung

## Keywords

Combine harvester, chopper, power requirement, CAN-Bus, measurement hub, straw distribution

## Abstract

Schwarz, Michael; Zähl, Tobias; Gottlieb, Dominik and Böttinger, Stefan

## Power requirement at the combine chopper

Landtechnik 66 (2011), no. 4, pp. 272–275, 9 figures, 5 references

For a more efficient use of energy in combine harvesters a decoupling of the power train between combustion engine and different drives was analyzed. Therefore all power sinks and the essential load spektras for the layout of the drive system were identified. At the University of Hohenheim a combine harvester was equipped with a CAN-Bus based measurement device to determine the mechanical power at the combine chopper in action. Furthermore the effect of the chopper driving speed and the design of the blades (standard compared to paddle blade) on the power requirement were investigated and verified by a DLG e.V. straw distribution measurement device.

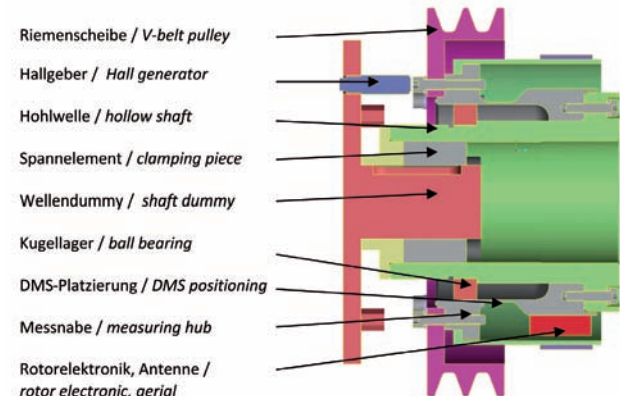
■ Aufgrund der hohen mechanischen Wirkungsgrade sind Antriebe mit Keil- oder Keilrippenriemen auch heute noch Stand der Technik bei der Leistungsverteilung in selbstfahrenden Erntemaschinen. Allerdings ist aufgrund des benötigten Platzes und der zu übertragenden Leistung nicht für jede Antriebseinheit eine stufenlose Verstellung möglich. Wird ein Verbrennungsmotor immer im Bereich des optimalen Wirkungsgrades betrieben, ist die Variationsbreite von Drehmoment und Drehzahl sehr klein. Ein Ziel bei der Entwicklung neuer Antriebsstränge ist es, diese so flexibel zu gestalten, dass der optimale Betriebsbereich, durch Drehzahlanpassung der einzelnen Antriebseinheiten an die jeweiligen Anforderungen, beibehalten werden kann. Um ein alternatives Konzept erstellen zu können, wurde zunächst der Leistungsbedarf der einzelnen Baugruppen bestimmt. Da der Mähdrescherhäcksler ein Arbeitsorgan mit einer hohen Leistungsaufnahme ist, wurde diese Antriebseinheit für die ersten Untersuchungen ausgewählt.

## Aufbau Messtechnik

Zur Drehmomentmessung wurde eine Messnabe konstruiert, die wie im Original mit zwei unterschiedlichen Riemenscheiben das Betreiben des Strohhäckslers bei 1700 bzw. 3400 1/min ermöglichte. Die Dehnmessstreifen wurden auf einem querkraftfreien dünnwandigen Bereich der Hohlwelle appliziert (**Abbildung 1**). Die Übertragung funktionierte berührungsfrei über ein Telemetriesystem. Die zur Bestimmung der mechanischen Leistung notwendige Antriebsdrehzahl der Häckslerwelle wurde mit einem Hallsensor ermittelt [1].

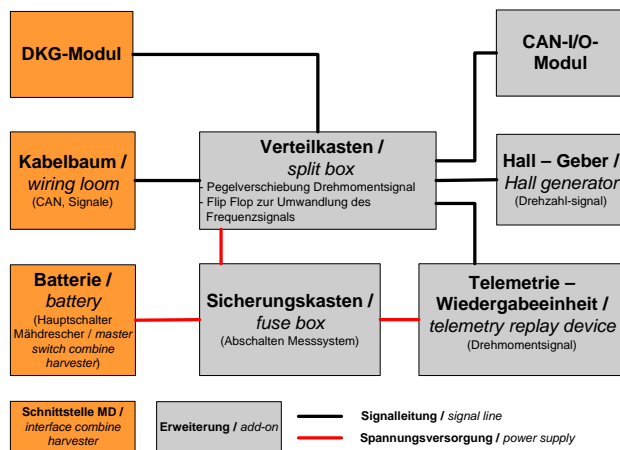
Um die Leistungsdaten am Mähdrescherhäcksler auf weitere Messgrößen beziehen zu können, wurde zur Übertragung der Messdaten der serienmäßige CAN-Bus des Mähdreschers gewählt (**Abbildung 2**). Auf den CAN-Bus wurde als Schnitt-

Abb. 1



Aufbau der Drehmomentmessnabe  
 Fig. 1: Design of the measurement hub

Abb. 2



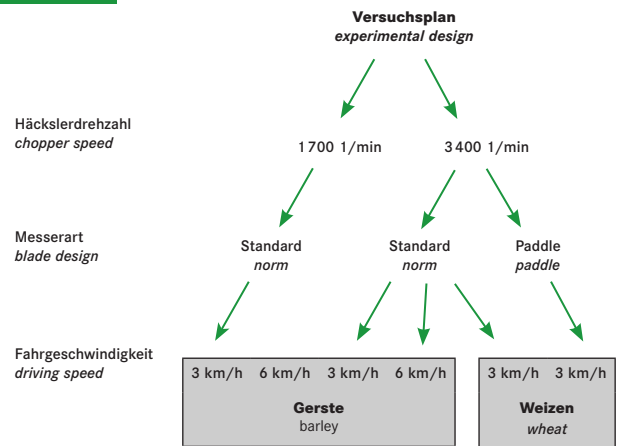
Verdrahtungsstruktur der Drehmomentmesstechnik  
 Fig. 2: Wiring of the torque measurement unit

stelle ein CAN-Modul zur Datenübertragung programmiert. Die Auflösung des Drehmomentsignals erfolgte von 0-10 V mit 10 Bit, der kleinste auflösbare Wert betrug ca. 0,9 Nm/10 mV. Das Signal stand mit einer Abtastrate von maximal 10 Hz auf dem CAN-Bus zur Verfügung. Die Buslast stieg dadurch um 15 %-Punkte. Die Datendokumentation und -auswertung erfolgte über die Diagnosebuchse in der Kabine mit dem von der Firma VECTOR angebotenen Interface CANcaseXL. In ihm waren die Identifier aller CAN-Knoten sowie die Berechnung der Häckslerleistung (CANoe) hinterlegt.

**Versuchsplanung und -auswertung**

Untersucht wurden der Einfluss von Gutdurchsatz, Gutart, Drehzahl der Häckslerwelle sowie die Gestaltung der Häckslermesser auf den Leistungsbedarf am Mähdrescherhäcksler. Sechs Versuche mit je drei Wiederholungen wurden dafür durchgeführt (Abbildung 3).

Abb. 3

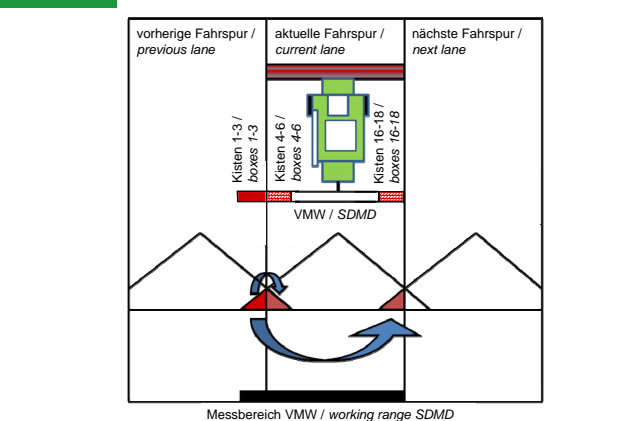


Versuchsplan  
 Fig. 3: Experimental design

Die Versuche fanden auf je einem Gerste- und einem Weizenschlag der universitätseigenen Versuchsbetriebe statt. Die Länge der Messstrecke für die Leistungsmessung betrug 100 m. Der Versuch umfasste drei Anschlussfahrten, bei welchen jeweils die Leistungsmessung an der Häckslerwelle und am Ende der Messstrecke zusätzlich die Untersuchung der Häckselgutverteilung mittels DLG-Verteilungsmesswagens [2] durchgeführt wurde. Der Seitenwindeinfluss war zu vernachlässigen. Der NKB-Durchsatz konnte bei den Versuchen nicht bestimmt werden. Zum Vergleich der Ergebnisse wurde der Leistungsbedarf unter Annahme eines konstanten Korn/NKB-Verhältnisses auf den Korndurchsatz bezogen.

Die Auswertung der Querverteilung und der Häckselgutqualität erfolgte angelehnt an den DLG Prüfrahen Mähdrescher Gruppe 7f [3]. Durch den asymmetrischen Aufbau des Verteilungsmesswagens konnte die Strohmenge innerhalb einer Schneidwerksbreite, sowie der Überlappungsbereich bei Anschlussfahrt berücksichtigt werden (Abbildung 4).

Abb. 4



Versuchsdurchführung zur Häckselquerverteilung und Häckselqualität  
 Fig. 4: Experimental procedure for distribution and quality of chopped straw

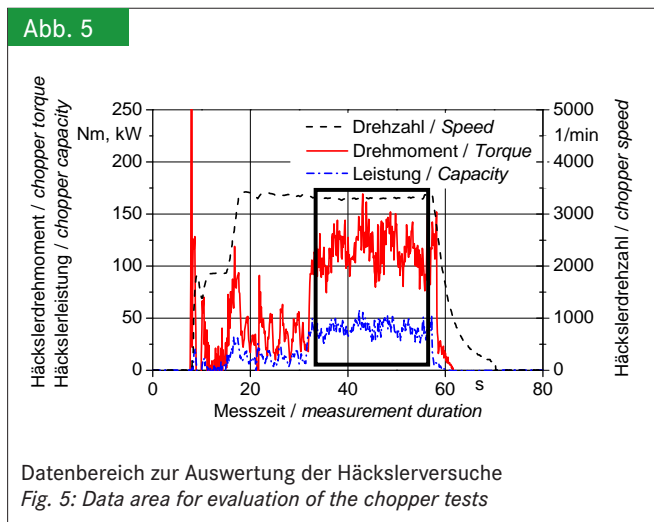
Der Verteilungsmesswagen (VMW) war 9 m breit, die Schneidwerksbreite betrug 7,5 m und die Kistenbreite 0,5 m.

Für die Betrachtung einer einzelnen Messung wurden die Strohgewichte der einzelnen Kisten auf den arithmetischen Mittelwert bezogen. Zur Bewertung diente die Größe des Variationskoeffizienten. Die Häckselgutqualität wurde anhand der mittleren Häcksellänge bestimmt.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Paddelmesser der Firma Rassepe wurde zunächst die Messeranordnung an dem verwendenden Mährescher Claas Lexion 540 optimiert: Die Standardmesser wurden größtenteils gegen Paddelmesser ausgetauscht, um eine Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit am Ausblas gemäß der Erfahrungswerte der Firma Rassepe zu erreichen. Dabei wurden die Strömungsgeschwindigkeiten direkt am Ausblas des Strohverteilers ohne Gutdurchsatz mit einem Anemometer gemessen.

Das Hauptziel bei der Versuchsplanung war die Bewertung des neu konzipierten Messsystems. Um gesicherte Aussagen zum Einfluss der Messergestaltung des Mährescherhäckslers auf die Strohverteilung, Häckselgutqualität sowie den Leistungsbedarf treffen zu können, muss eine erheblich größere Datengrundlage geschaffen werden.

Der der Auswertung zugrunde gelegte Datenbereich ist in **Abbildung 5** eingerahmt dargestellt. Der Messschrieb zeigt das Einschalten des Häckslers mit anschließender Versuchsfahrt des Mähreschers. Der Leistungsbedarf wurde durch Mittelwertbildung errechnet. Die Momentenspitze beim Einschalten des Häckslers ist im Diagramm gut zu erkennen. Weiterhin fällt die hohe Schwankungsbreite der Drehmomentmesswerte im Leerlaufbetrieb auf.

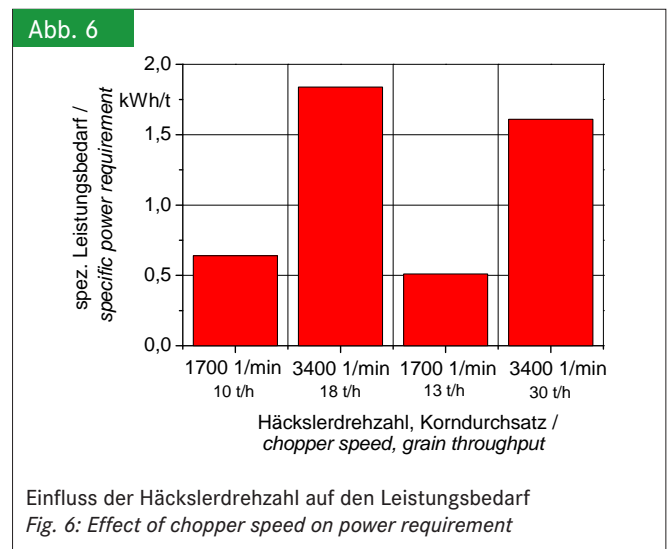


**Ergebnisse und Diskussion**

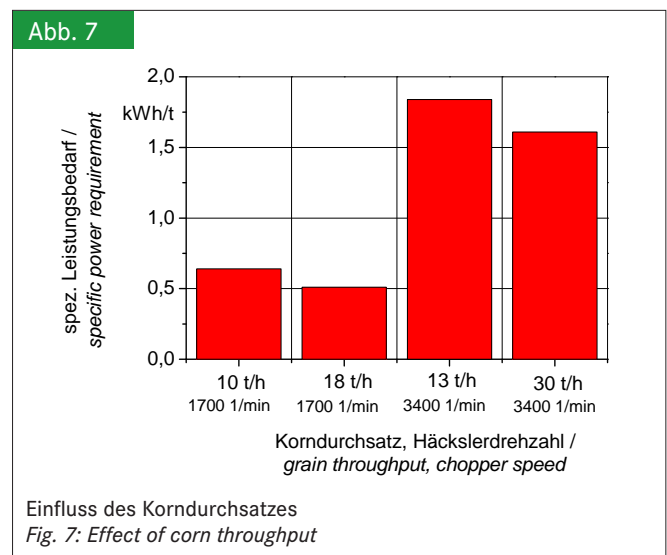
Geringe Änderungen des NKB-Durchsatzes bewirkten eine große Änderung des Leistungsbedarfs am Häckslers mit serienmäßiger Messerbestückung. Drei Einsparpotenziale zeigt der Versuch.

Das größte Einsparpotenzial liegt erwartungsgemäß beim Drehzahleinfluss. Die Reduzierung der Häckslerdrehzahl von 3400 auf 1700 1/min führte zu einer Verminderung der Leis-

tungsaufnahme um 60 %. Parallel dazu stieg der Variationskoeffizient der Strohverteilung um 5-20 %-Punkte. Zusätzlich vergrößerte sich die mittlere Häcksellänge (**Abbildung 6**). Die Eignung für eine reduzierte Bodenbearbeitung wird dadurch vermindert [1; 4]. Der praktische Nutzen einer Drehzahlreduzierung ist nur dann sinnvoll, wenn das Stroh zur Erosionsminderung genutzt werden soll.



Eine Steigerung des Korndurchsatzes von 13 auf 30 t/h führte zu einer Reduzierung des spezifischen Leistungsbedarfs an der Häckslerswelle von 1,9 auf 1,6 kWh/t Korn sowie zu einer Verringerung des Variationskoeffizienten von 40,4 auf 31,3 % bei einer eingestellten Häckslerdrehzahl von 3400 1/min. Der Einfluss auf die Häcksellängen ist vernachlässigbar, da sich diese bei der hohen Häckslerdrehzahl nicht ändern. Bei einer Häckslerdrehzahl von 1700 1/min und einer Korndurchsatzsteigerung von 10 auf 18 t/h reduzierte sich der spezifische Leistungsbedarf ebenfalls von 0,79 auf 0,71 kWh/t Korn. Allerdings verschlechterte sich der Variationskoeffizient von 45,1 auf 49,8 % (**Abbildung 7**).



Die Häckselqualität verbesserte sich leicht, da der größere Füllungsgrad des Häckslers zu mehr Messer-Stroh-Kontakten führt [2; 4].

Die Verwendung der Paddelmesser anstatt der Standardmesser führte aufgrund der zusätzlichen pneumatischen Leistung zu einer Steigerung des Leistungsbedarfs an der Häckselwelle. Der Leistungsmehrbedarf lag bei ca. 20 %, allerdings verbesserte sich der Variationskoeffizient der Querverteilung in diesem Beispiel von 49,9 auf 40,2 % (**Abbildung 8, 9**). Mit den Standardmessern lag der Anteil der Häcksellängen über 100 mm unter 5 %. Daher sind die erreichten Häcksellängen für die Direktsaat im Herbst geeignet. Die Auswertung der Versuche zu den Paddelmessern zeigte ebenfalls diese Tendenz. Ein Einsatz bei Direktsaat ist auch hier möglich [2; 4]. Beim Stichprobenversuch zur Kontrolle der Häckselqualität konnten keine Vorteile der Serienmesser festgestellt werden.

Vergleicht man die Messerbestückungen des Häckslers hinsichtlich des spezifischen Leistungsbedarfs, schnitten die Paddelmesser schlechter ab. Die ermittelte Differenz lag bei 0,5 kWh/t Korn zugunsten der Standardmesser. Allerdings verhielt sich der spezifische Kraftstoffbedarf reziprok dazu, d. h.

der Einsatz der Paddelmesser verspricht eine Verbesserung von 0,2 l/t Korn. Dieser Effekt beruht auf der momentanen Lage des Betriebspunktes im Motorkennfeld: Der Motor wurde nicht im optimalen Betriebspunkt betrieben, sodass bei Steigerung des Antriebsmoments bei konstanter Motordrehzahl der spezifische Kraftstoffbedarf sinkt.

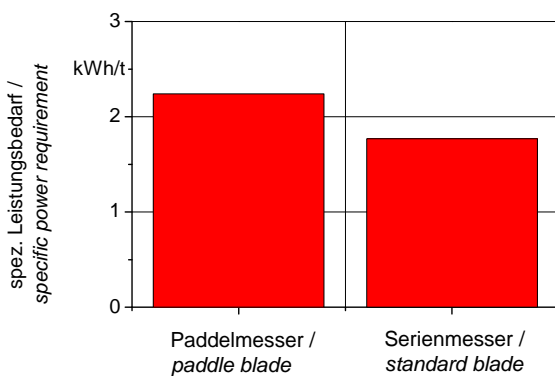
### Schlussfolgerungen

Das CAN-Bus basierte Messsystem funktioniert zuverlässig. Zur Bestimmung von Lastkollektiven ist diese Datenerfassung allerdings nur bedingt geeignet, da die Abtastfrequenz bzw. die mögliche Erhöhung der Buslast für eine detaillierte Betrachtung nicht ausreicht. Für die angestrebte Erweiterung der Messstellen wird die maximale Buslast schnell erreicht, sodass ein zusätzlicher CAN-Bus in der Maschine appliziert werden muss, der mit dem maschineneigenen CAN-Bus kommuniziert.

Für eine Optimierung der Strohverteilung ist ein Ansatz für künftige Entwicklungen den Häckslers mit verschiedenen Messerformen zu bestücken, wie dies bereits von Voßhenrich vorgeschlagen wurde [5]. Stattet man die Häckselwelle an den Randbereichen mit Paddelmessern für eine bessere Verteilung und in der Mitte mit Standardmessern für einen geringeren Leistungsbedarf sowie eine bessere Häckselqualität aus, dürfte sich die Verteilung bei einem geringeren Mehraufwand an Kraftstoff verbessern.

Mit umfangreicheren Versuchsreihen werden diese Einzelergebnisse zukünftig überprüft und abgesichert.

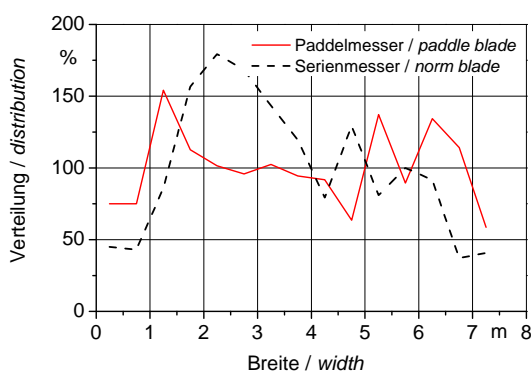
Abb. 8



Einfluss der Messerform im Versuchsschlag Weizen, Häckslerdrehzahl 3 400 1/min

Fig. 8: Effect of blade design in test field wheat, chopper speed 3 400 1/min

Abb. 9



NKB-Querverteilung

Fig. 9: MOG-lateral distribution

### Literatur

- [1] Gottlieb, D. (2009): Entwicklung und Erprobung eines flexiblen Datenerfassungssystems am CAN-Bus eines Mähdeschers. Studienarbeit, Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, unveröffentlicht
- [2] Schwarz, M.; von Chappuis, A. (2007): DLG Bewertungsraster für die Arbeitsqualität von Stroh Häckslern. Landtechnik 62 (1), S. 26-27
- [3] Prüfrahmen Erntemaschinen der DLG, Gruppe 7f, Erweiterung Häckselgutverteilung, DLG Testzentrum für Technik & Betriebsmittel Groß-Umstadt, unveröffentlicht
- [4] Zährl, T. (2010): Experimentelle Untersuchung verschiedener Parameter im Bezug auf den Leistungsbedarf am Mähdescherhäckslers. Studienarbeit, Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, unveröffentlicht
- [5] Voßhenrich, H. H. (2007): Längere Stoppel, weniger Sprit. DLG-Mitteilungen 11, S. 74-76

### 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. Dominik Gottlieb** hat Maschinenwesen an der Universität Stuttgart studiert, **Tobias Zährl** studiert Maschinenwesen an der Universität Stuttgart.

### Danksagungen

Das Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim dankt der DLG e.V. für die Bereitstellung des mobilen NKB-Verteilungswagens und des Kaskadensiebtes. Weiterhin gilt besonderer Dank der Firma Raspe Systemtechnik für die gelieferten Messersätze sowie für die kompetente Unterstützung bei der Durchführung der Versuche durch Herrn Andreas Hüppkes.