

Péter Kajtár, Andreas Haffert und Péter Szendrő

# Messung des Reibbeiwertes von gehäckselten Materialien

Feldhäcksler erreichen immer größere Leistungen und Durchsätze. Aufgrund der Art des Materialtransportes haben diese Maschinen sehr hohe Reibungsverluste. Um diese Verluste zu reduzieren, muss der Gutfluss im Feldhäcksler analysiert werden. Dazu müssen zunächst die Reibbeiwerte von gehäckseltem Gras und Mais bestimmt werden. Zur genauen Messung der Reibbeiwerte wurde ein Versuchsstand gebaut, mit dem bei unterschiedlichen Einstellungen verschiedene Versuche durchgeführt werden können.

## Schlüsselwörter

Reibung, Reibbeiwert, Feldhäcksler

## Keywords

friction, coefficient of friction, forage harvester

## Abstract

Kajtár, Péter; Haffert, Andreas; Szendrő, Péter

Measurement of coefficient friction of chopped material

*Landtechnik 64 (2009), no. 1, pp. 33 - 35, 4 figures, 2 references*

*Modern forage harvesters are very powerful with high throughputs. In consequence the friction loss is very high. In order to reduce the loss the transport of material has to be analyzed. At first the friction coefficient of chopped material has to be determined. A test rig was constructed which is able to carry out some measurement by different regulation.*

Der Feldhäcksler ist eine der wichtigsten Maschinen in der Futterernte. Gras und Mais werden mit dieser Maschine zerkleinert, um eine bessere Konservierung zu erreichen. Das Material wird mit einem entsprechenden Vorsatzgerät aufgenommen und durch die Vorpresswalzen zur Häckslertrommel geführt. Die Trommel schneidet das Gut auf die eingestellte Häcksellänge, beschleunigt es und transportiert es mit Hilfe der kinetischen Energie weiter. Ein moderner Feldhäcksler hat einen Durchsatz von über 400 t/h und eine Motorleistung von über 800 PS. Um diesen hohen Durchsatz zu verarbeiten, muss das Gut mit Geschwindigkeiten von über 40 m/s durch den Feldhäcksler transportiert werden. Bei dieser hohen Leistung können die Verluste, wie Reibungs-, Strömungs-, Beschleunigungs- und Stoßverluste im Gutfluss besonders hoch sein und den Kraftstoffverbrauch deutlich erhöhen.



Ziel dieser Arbeit ist es, die Reibungsverluste in einem Feldhäcksler zu bestimmen. Danach sollen einige Verbesserungen vorgeschlagen werden, um diese Verluste zu reduzieren.

Um den Reibbeiwert von gehäckselten Materialien bestimmen zu können, wird ein Versuchsstand gebaut. Aus früheren Untersuchungen existieren einige Daten von Reibbeiwerten, die jedoch bei niedrigen Geschwindigkeiten und Belastungen ermittelt wurden. Wieneke [1] hat bei Gras Reibbeiwerte zwischen 0,2 - 1,4 gemessen. Der große Unterschied resultiert aus den verschiedenen Rauigkeiten der Oberflächen. Lobotka [2] hat einige Versuche mit gehäckseltem Mais durchgeführt. Er hat Reibbeiwerte von 0,5 - 0,6 gemessen.

## Versuchsstand

Die Messung des Reibbeiwertes bei gehäckselten Materialien ist eine große Herausforderung. Auf Grund der Material-

struktur gibt es keine exakten Werte von Gras oder Mais, denn diese hängen von mehreren Parametern ab. Variablen sind u.a. Gutfeuchte, Relativgeschwindigkeit, Belastung, Häcksellänge und Rauigkeit der Oberflächen. Der wichtigste Parameter ist jedoch die Materialpaarung. Es gibt große Unterschiede, wenn das Gut über verschiedene Stoffe gleitet. Mit Hilfe des Versuchsstandes können Reibbeiwerte von gehäckseltem Material sowohl bei verschiedenen Materialpaarungen als auch bei unterschiedlichen Einstellungen ermittelt werden. Erster Schritt der Versuchsstandsentwicklung ist die Erstellung einer Anforderungsliste. Es sollten Messungen bis Relativgeschwindigkeiten von 40 m/s und Normaldrücke bis zu 1 bar stufenlos untersucht werden können.

Der Versuchsstand arbeitet ähnlich dem Funktionsprinzip einer Scheibenbremse. Die rotierende Grundscheibe, kann mit verschiedenen Oberflächen ausgerüstet werden. In dem Guthalter werden die gehäckselten Materialien durch einen pneumatischen Zylinder von unten gegen die Grundscheibe gedrückt (vgl. Bild 1.). Vorteile dieses Prinzips sind die gleichmäßige Belastung sowie die geringe Differenzgeschwindigkeit zwischen innerem und äußerem Radius.

Um die Reibbeiwerte zu bestimmen wird die Reibkraft in tangentialer und die Normalkraft senkrecht zur Oberfläche gemessen. Der Guthalter ist an mit Dehnungsmessstreifen (DMS) beklebten Stäben befestigt, die für die entsprechenden Belastungen ausgelegt sind. Drei Stäbe befestigen den Guthalter in senkrechter Richtung und einer in tangentialer Richtung. Zwei zusätzliche Stäbe stabilisieren den Halter mit dem Gestell. Während des Versuchs werden die Reaktionskräfte durch die DMS erfasst. Vorteilhaft an dieser Lösung ist die Möglichkeit, die Reibbeiwerte auch bei hohen Geschwindigkeiten exakt messen zu können. Die Scheibe wird über einen hydrostatischen Antrieb angetrieben, so dass die Relativgeschwindigkeit zwischen Gut und Versuchsfläche exakt und stufenlos eingestellt werden kann. Die Drehzahl der Grundscheibe wird mit einem Sensor erfasst und über den Radius in eine mittlere Geschwindigkeit umgerechnet. Auch die Druckbelastung kann durch ein spezielles pneumatisches Druckbegrenzungsventil stufenlos eingestellt werden. Die Messzeit wird mit einem Verzögerungsventil eingestellt, welches nach Ablauf der Messung alle Ventile in die Grundposition zurückschaltet. Hierdurch fährt auch der Guthalter zurück in die Grundposition.

Technische Eckdaten:

■ Scheibendurchmesser	500 mm
■ Breite der Versuchsfläche	50 mm
■ Dicke der Versuchsfläche	5 mm
■ Relativgeschwindigkeit	5-40 m/s

■ Anpressdruck	0,05-1 bar
■ Messzeit	0,2-3 s

Die Messungen werden jeweils mit gleichem Häckselgut bei unterschiedlichen Häcksellängen und Gutfeuchten durchgeführt. Das gehäckselte Gut wird in natürlicher Art getrocknet, so dass die Struktur des Grases unverändert bleibt. Bei der Messung wird immer nur ein Parameter variiert, um den Einfluss des Parameters ermitteln zu können. Zunächst wird die Belastung gleich gehalten und die Geschwindigkeit wird geändert, anschließend bleibt die Geschwindigkeit konstant und die Belastung variiert. Die Versuche werden mit allen Einstellungen jeweils dreimal wiederholt. Der Reibbeiwert wird als Durchschnitt der jeweiligen Daten bestimmt.

### Ergebnisse

Das Versuchsmaterial ist frisch gehäckseltes Gras mit einer Häcksellänge von 17 mm. Um den Einfluss der Gutfeuchte zu ermitteln, wurde das Gut über ein Zeitraum von 4 Tagen getrocknet und täglich ein Reibversuch durchgeführt. Die Messzeit hat bei allen Messungen nur maximal 1 s gedauert, um möglichst reale Ergebnisse zu erhalten. Problematisch ist, dass sich das Gut durch die Reibung bei hohen Geschwindigkeiten und Belastungen stark erwärmt. Dadurch verändert sich auch der Reibbeiwert.

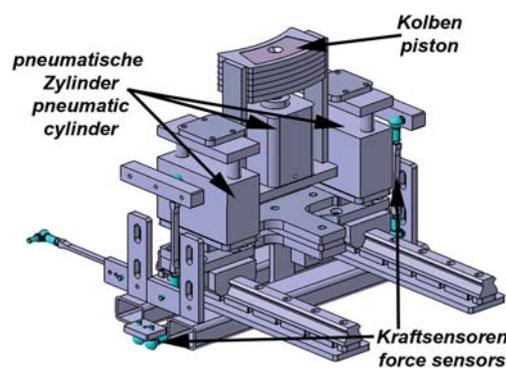
Bei den Versuchen werden die Reaktionskräfte, wie oben bereits erwähnt, in tangentialer Richtung (Reibkraft) und senkrecht zur Ebene (Normalkraft) mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen gemessen. Der Reibbeiwert wird nach dem Coulombschen Reibgesetz berechnet.

$$\mu = \frac{F_{\text{Reibkraft}}}{F_{\text{Normalkraft}}}$$

Das Bild 3 zeigt beispielhaft den Verlauf des Reibbeiwertes. Zu Beginn der Messung steigt der Reibbeiwert zunächst stark an und erreicht den eigentlichen Wert bei konstanter Belastung mit geringen Schwankungen. Um die Reibbeiwerte verschiedener Versuche vergleichen zu können, muss ein Standard definiert werden, wie die Ablesung des Messwertes erfolgen muss. Sobald der voreingestellte Wert für die Normalkraft erreicht wird, findet die Ablesung des Reibbeiwertes statt. Dies ist besonders bei hohen Geschwindigkeiten und starken Belastungen wichtig, da sich die Struktur des Gutes durch die Erwärmung schnell verändert und so ein verspätetes Ablesen zu falschen Ergebnissen führt. Mit dieser Lösung können die Messergebnisse exakt miteinander verglichen werden.

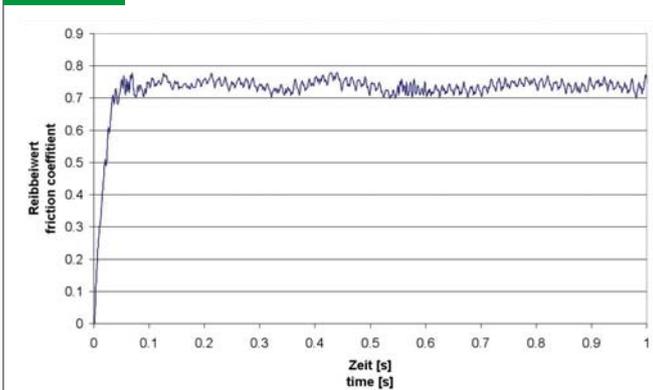
Bild 4 zeigt den Verlauf des Reibbeiwertes bei unterschied-

Bild 2



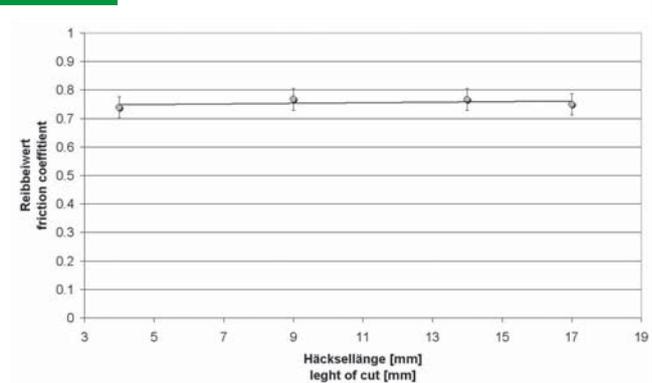
Guthalter  
Fig. 2: materialkeeper

Bild 3



Verlauf des Reibbeiwertes  
Fig. 3: trend of coefficient of friction

Bild 4



Reibbeiwert bei unterschiedlichen Häcksellängen  
Fig. 4: friction coefficient by different length of cut

lichen Häcksellängen. Es wird deutlich, dass der Einfluss der Häcksellänge von Gras sehr gering ist. Dies ist ein interessantes Ergebnis, da bei kleineren Häcksellängen mehr Teilchen mit der Oberfläche in Berührung kommen. Diese zusätzlichen Kontakte und die daraus resultierende Adhäsionskraft, hat auf den Reibbeiwert nur sehr geringe Auswirkungen.

### Zusammenfassung

Um die Reibverluste in einem Feldhäcksler bestimmen zu können, müssen zunächst die Reibbeiwerte von Gras und Mais bestimmt werden. Dazu wurde ein Versuchsstand gebaut, mit dem der Reibbeiwert zwischen gehäckseltem Grünfutter und unterschiedlichen Gleitoberflächen gemessen werden kann. Aus den bisherigen Untersuchungen ist ersichtlich, dass der Reibbeiwert von Gras sehr hoch ist. Dieser liegt über 0,7 und erhöht dadurch den Leistungsbedarf des Feldhäckslers. Der Reibbeiwert von gehäckseltem Mais muss in weiteren Versuchen ermittelt werden. Später werden weitere Versuche mit unterschiedlichen Oberflächen (Rauigkeit, Profil, Material) durchgeführt. Mit Hilfe dieser Unter-

suchungen können Lösungen gefunden werden, die die Reibverluste des Feldhäckslers reduzieren.

### Literatur

- [1.] F. Wieneke: Reibungswerte von Pflanzen und Faserstoffen. München: Landtechnische Forschung (1956), Heft 5, S. 146
- [2.] Lobotka J.: Reibungswerte der gehäckselten Futterpflanzenmasse (Orig. Tschech.) Zemědělska technika 81 (1967), Nr. 2, S. 93

### Autoren

**Dipl.-Ing. Péter Kajtár** ist Doktorand am Institut für Mechanik und Maschinenkunde der Szent Istvan Universität, Pater Karoly Str. 1, H-2301 Gödöllő, E-Mail: kajtar.peter@gek.szie.hu

**Prof. Dr.-Ing. Andreas Haffert**, Hochschule Bochum, Fachbereich Mechatronik und Maschinenbau, Fachgebiet Maschinenelemente und Konstruktionstechnik, Lennerhofstraße 140, 44801 Bochum, war bis zum 31.08.2008 bei der Firma CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH in der Vorentwicklung Mährescher/Feldhäcksler beschäftigt. E-Mail: andreas.haffert@hs-bochum.de

**Prof. Dr.-Ing. Péter Szendrő** war Professor am Institut für Mechanik und Maschinenkunde der Szent Istvan Universität, Pater Karoly Str. 1, H-2301 Gödöllő. Dort war er bis zum 31.10.2008 Leiter der Technischen Wissenschaftlichen Doktorschule. Heute befindet er sich im Ruhestand. E-Mail: szendrő.peter@gek.szie.hu