

Sebastian Kemper, Thorsten Lang und Ludger Frerichs

# Untersuchungen zur Schnittüberlagerung am Kreiselmähwerk

In der Grünfütterernte nehmen Scheibenmäherwerke aufgrund der spezifischen Einsatzvorteile eine zunehmende Rolle ein. Sie arbeiten nach dem Prinzip des freien Schnitts, bei dem die Trägheits- und Biegekräfte der Grashalme als Gegenkräfte genutzt werden. Diese Technologie zeichnet sich allerdings auch durch hohe Verlustleistungen aus.

Am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge der Technischen Universität Braunschweig wird ein überlagertes Schnittprinzip mit zwei Messerebenen als alternatives Schneidverfahren im Scheibenmäherwerk untersucht. Ziel ist, die erforderliche Antriebsleistung zu reduzieren, die Schnittqualität zu verbessern und den Prozess in der Simulation nachzubilden. Dafür wurden spezielle Mäheinheiten bestehend aus jeweils zwei Mähscheiben entwickelt.

## Schlüsselwörter

Scheibenmäherwerk, Leistungsreduzierung, Schnittqualität

## Keywords

Disc mower, power reduction, cutting quality

## Abstract

Kemper, Sebastian; Lang, Thorsten and Frerichs, Ludger

## Analysis of the overlaying cut in rotary mowers

Landtechnik 67 (2012), no. 5, pp. 346–349, 9 figures, 3 references

Disc mowers play an important role in green forage harvesting due to their specific application benefits. Their cutting principle is based upon using the inertia and bending forces of the grass blades. The established technology is reliable but others provide potential for reducing the power requirements.

At the Institute of Mobile Machines and Commercial Vehicles an overlaying cut as an alternative cutting principle in a disc mower has to be proven. Therefore, a modified cutting unit is designed with two cutting discs. The aims of the project are to improve the cutting quality, to reduce the power requirements and to build up a simulation model of the process.

Die Grünfütterernte stellt aufgrund mehrerer Erntephasen pro Jahr bei hohen Termin- und Qualitätsanforderungen einen der bedeutendsten Prozesse in der Landtechnik dar. Für Großbetriebe und Lohnunternehmen werden Maschinen mit einer Flächenleistung von bis zu 20 ha/h angeboten, die eine hohe Schlagkraft und Wirtschaftlichkeit ermöglichen. Diese modernen, teilweise selbstfahrenden Mähkombinationen haben eine Arbeitsbreite von 10–15 m bei einer erforderlichen Antriebsleistung von 350 kW. Maschinen mit so hoher Flächenleistung sind als Trommel- oder Scheibenmäherwerke ausgeführt. Sie arbeiten nach dem Prinzip des freien Schnitts unter Ausnutzung der Massen- beziehungsweise Biegekräfte der Grashalme. Die Klingen an den Mähscheiben bzw. Trommeln müssen auf über 80 m/s beschleunigt werden, um auch unter schlechten Bedingungen beispielsweise mit fast stumpfen Klingen zuverlässig zu schneiden.

## Voruntersuchungen

In einem vorangegangenen Projekt am Institut wurde dieses Schnittprinzip von Niemöller [1] näher untersucht. Dazu wurde ein konventionelles Scheibenmäherwerk mit Sensoren ausgestattet, welche die Schnittkraft, die Scheibendrehzahl und das Scheibendrehmoment aufzeichneten (**Abbildung 1**). Zusätzlich wurden das Drehmoment an der Zapfwelle sowie die Zapfwelldrehzahl gemessen. Mit diesen Daten wurden die Gesamtantriebsleistung, die Leistung einer Mähscheibe und die Leistung einer Klinge berechnet.

**Abbildung 2** zeigt die Gesamtantriebsleistung, die Leistung der sieben Mähscheiben mit und ohne Windwiderstand und die Leistung der 14 Klingen bei einer Fahrgeschwindigkeit von 10 km/h und einer Scheibendrehzahl von 3 200 min<sup>-1</sup>. Die Klingenleistung stellt die primäre Prozessleistung dar, die

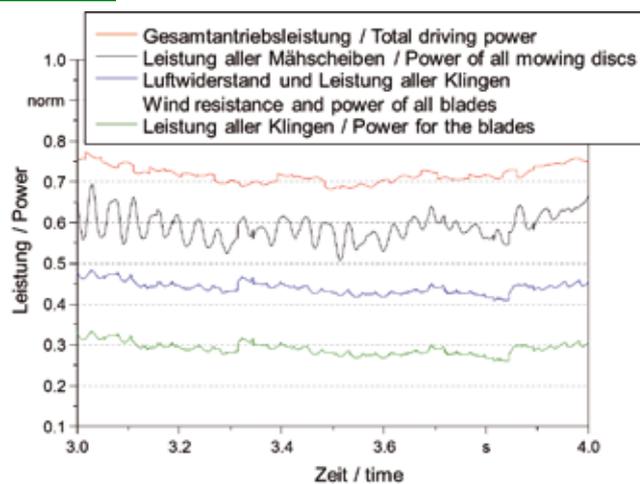
Abb. 1



Messstellen an der Mähscheibe [1]

Fig. 1: Measuring points on the cutting disc [1]

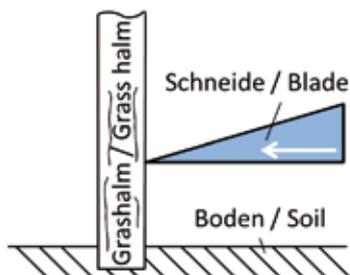
Abb. 2



Leistungsanalyse eines Scheibenmäherwerks [1]

Fig. 2: Power analysis of a disc mower [1]

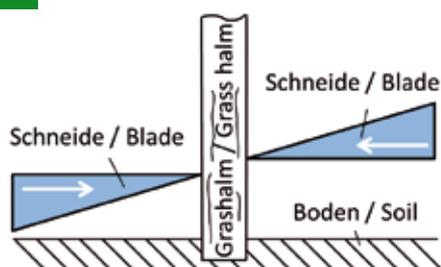
Abb. 3



Schema des konventionellen Schnitts

Fig. 3: Scheme of the conventional cut

Abb. 4



Schema des überlagerten Schnitts

Fig. 4: Scheme of the overlaying cut

zum Schneiden von Gras aufgewendet werden muss. Der Bereich zwischen der schwarzen und der grünen Linie zeigt die Leistungsverluste durch den Windwiderstand und die Reibung des Grases auf der Mähscheibe. Zusätzlich ist diesem Bereich die Leistung für den Transport des geschnittenen Grases über den Mähbalken zuzuordnen. Diese Leistungsanteile können insgesamt 20 bis 45 % der Antriebsleistung erreichen. Die Fläche zwischen der roten und der schwarzen Linie beschreibt die Verluste im Antriebsstrang. Diese können ungefähr 20 % der Antriebsleistung annehmen. Dementsprechend zeigt sich, dass lediglich etwa 35 % der zugeführten Antriebsleistung zum Schneiden erforderlich sind. Die Gesamtverluste belaufen sich schließlich auf 40 bis 65 %. Eine Optimierung des Antriebsstrangs erhöht zwar den Gesamtwirkungsgrad, aber die Verbesserung des Prozesses muss in Betracht gezogen werden, um den Leistungsbedarf zu reduzieren. [1]

Suller [2] patentierte ein Schnittprinzip mit einer rotierenden Mähscheibe und einer feststehenden Gegenschneide sowie eine Variante mit zwei rotierenden Mähscheiben für die Anwendung in einem Rasenmäher. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass durch den Einsatz zweier rotierender Scheiben der Energiebedarf deutlich gesenkt werden kann. In landwirtschaftlichen Applikationen wurde dieses Prinzip bisher noch nicht untersucht.

Wiedermann [3] führte Versuche zum Exaktschnitt im Mäh-drescherhäcksler durch. Dieses Prinzip zeichnet sich durch einen definierten Schnitt zwischen dem Häckselmesser und der Gegenschneide aus. Die Ergebnisse zeigen, dass die erforderliche Antriebsleistung mit Verringerung der Häckslerdrehzahl sinkt und gleichzeitig die Häckselqualität konstant bleibt beziehungsweise sogar gesteigert werden kann. Die Untersuchung von Suller [2] und Wiedermann [3] sind die Grundlage für das vorliegende Projekt.

### Projektbeschreibung

In dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten zweijährigen Projekt wird ein überlagerter Schneidvorgang als alternatives Schnittprinzip untersucht. Die primären Ziele des Forschungsprojektes bestehen darin, die erforderliche Antriebsleistung durch das alternative Schnittverfahren zu reduzieren, die Schnittqualität zu verbessern und den Schnittvorgang in einem Simulationsmodell nachzubilden. Der Gutfluss soll dabei nicht beeinträchtigt werden.

**Abbildung 3** und **4** stellen die Schnittprinzipien vor. Beim freien Schnitt wird lediglich eine Klinge genutzt, um den Grashalm zu schneiden, während beim überlagerten Schnitt eine zusätzliche Klinge beziehungsweise Messerebene in den Schnittprozess eingefügt wird. Dieses Prinzip ähnelt dem eines Doppelmessermähbalkens.

Für einen optimalen überlagerten Schnitt müssen die Grashalme zwischen der oberen Schneide und dem Boden eingespannt sein. Bei gleichsinnig rotierenden Mähscheiben dreht die untere Scheibe schneller als die obere, damit die untere Klinge die Halme schneiden kann. Bei gegensinnig drehenden

Scheiben kann die absolute Scheibendrehzahl reduziert werden, ohne dass sich die Relativgeschwindigkeiten ändern. Es wird erwartet, dass mit verringerter Scheibendrehzahl auch die erforderliche Antriebsleistung reduziert wird (siehe [2]).

### Vorversuche

Hierfür wurde eine spezielle Mäheinheit entwickelt, die aus zwei Mähscheiben besteht (**Abbildung 5**). Die obere Scheibe wurde zunächst mit sechs Klingen und die untere mit zwei Klingen ausgestattet. Die untere der beiden gleichsinnig rotierenden Mähscheiben dreht mit einer Geschwindigkeit von  $1800 \text{ min}^{-1}$ . Beide Scheiben sind über ein festes Übersetzungsverhältnis von  $i = 3$  miteinander gekoppelt, sodass die obere Scheibe mit  $600 \text{ min}^{-1}$  dreht. Durch die unterschiedlichen Drehzahlen entsteht eine Relativgeschwindigkeit von  $30 \text{ m/s}$ , die einen überlagerten Schnitt erlaubt. Je mehr Klingen von der Mäheinheit aufgenommen werden und je höher die Drehzahlunterschiede, also die relativen Schnittgeschwindigkeiten der beiden Scheiben sind, desto häufiger kommt es zum Scherenschnitt. Grashalme, die nicht unmittelbar von beiden Klingen zeitgleich getroffen werden, werden nach dem Prinzip des freien Schnitts geschnitten.

Für die ersten Versuche wurde ein konventionelles Scheibenmähwerk mit drei Metern Arbeitsbreite genutzt. Die Mäheinheit wurde in der Mitte des Mähbalkens (**Abbildung 6**) platziert. Alle serienmäßig angebrachten Mähscheiben wurden demontiert, um eine Beeinflussung durch die konventionellen Mähscheiben auszuschließen.

Die Ergebnisse der Vorversuche haben gezeigt, dass stängelige Grashalme aufgrund der höheren Steifigkeit gut geschnitten werden, während dünne Grashalme teilweise nicht geschnitten werden. Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen machten deutlich, dass dieser Effekt auf die starken Luftverwirbelungen der beiden Mähscheiben zurückzuführen ist, welche die Grashalme aus der Schnittzone herausdrängen. Der Gutstrom wurde während der Versuche nur wenig beeinflusst, was auf die gleichsinnig drehenden Scheiben zurückzuführen ist.

### Beschreibung des Versuchsträgers

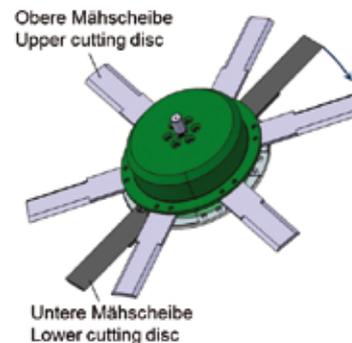
Aus den Ergebnissen der Vorversuche konnten Anforderungen an einen weiteren Versuchsträger abgeleitet werden. Dazu wurde eine Mäheinheit mit gegensinnig rotierenden Mähscheiben aufgebaut. Die Drehzahlen und Drehrichtungen der beiden Scheiben sowie die Klingenabstände sind variabel.

**Abbildung 7** zeigt die modifizierte Mäheinheit mit gleicher Messeranzahl wie die Mäheinheit der ersten Versuche. Zwischen den beiden Mähscheiben gibt es kein festes Übersetzungsverhältnis, sodass die Drehzahlen unabhängig voneinander vorgegeben werden können, wodurch unterschiedliche Absolut- und Relativgeschwindigkeiten einstellbar sind.

Auf dem modifizierten Mähbalken (**Abbildung 8**) können drei Mäheinheiten nebeneinander platziert werden. Die unteren und oberen Scheiben werden von jeweils einem Hydraulikmotor über eine Kette angetrieben. Mittels Drehzahlsensoren

in den Hydromotoren und Drucksensoren im Vor- und Rücklauf können die Hydraulikleistungen errechnet werden. Diese werden für einen relativen Vergleich der unterschiedlichen Versuchskonfigurationen herangezogen. Mithilfe von Videokameras und Hochgeschwindigkeitsaufnahmen wird der Gutfluss

Abb. 5



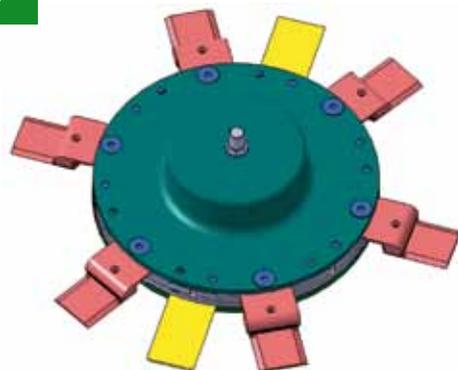
Mäheinheit bestehend aus zwei Mähscheiben  
Fig. 5: Cutting unit consisting of two cutting discs

Abb. 6



Auf dem Mähbalken montierte Mäheinheit (Foto: S. Kemper)  
Fig. 6: Cutting unit mounted on the mower bar

Abb. 7



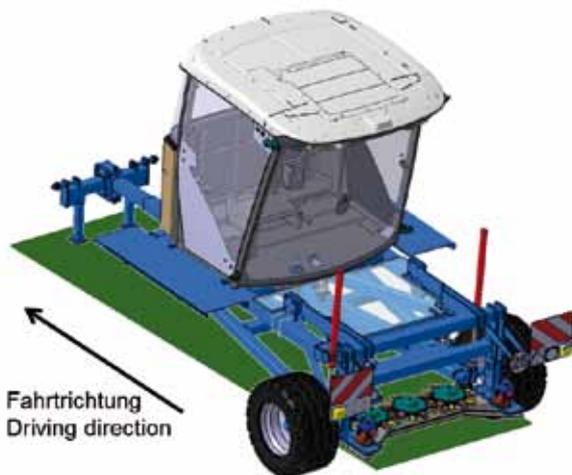
Modifizierte Mäheinheit mit zwei entkoppelten Mähscheiben  
Fig. 7: Modified cutting unit with two decoupled cutting discs

Abb. 8



Mähwerk mit drei Mäheinheiten  
 Fig. 8: Mower with three cutting units

Abb. 9



Mobiler Versuchsträger mit modifiziertem Mähwerk  
 Fig. 9: Experimental machine with modified mower

dokumentiert und analysiert. Das Mähwerk ist auf einem speziellen mobilen Versuchsträger (**Abbildung 9**) aufgebaut, der von einem Traktor gezogen und von diesem mit hydraulischer Leistung zum Antrieb des Mähbalkens versorgt wird.

### Versuchsphase

Erste Tests mit drei Klingen an der oberen und drei an der unteren Scheibe haben gezeigt, dass eine Reduzierung der Leistung möglich ist, aber Maßnahmen getroffen werden müssen um die Schnittqualität beizubehalten. In weiteren Versuchen werden die Drehzahlen der Scheiben, die Klingenabstände, die Anzahl der Klingen an oberer und unterer Scheibe sowie die Fahrgeschwindigkeit des Traktors variiert. Ziel dieser Variationen ist, eine optimale Konfiguration (Messeranzahl, Drehzahl) zu ermitteln, die einen möglichst geringen Leistungsbedarf und ein gutes Schnittbild ermöglicht.

### Schlussfolgerungen

Erste Versuche mit einer modifizierten Mäheinheit haben großes Potenzial zur Leistungsreduzierung gezeigt. Für zukünftige Versuche wird eine der Mäheinheiten mit Sensoren ausgestattet, welche die Klingenkräfte an einer oberen und an einer unteren Klinge sowie die Pendelbewegung eines oberen Messers bestimmen. Mit diesen Daten kann dann die erforderliche Klingenleistung ermittelt werden. Um die Ergebnisse mit denen von Niemöller [1] zu vergleichen, werden Referenzversuche mit nur zwei Klingen pro Mähscheibe durchgeführt, da sich die geometrischen Abmessungen (Scheibendurchmesser, Klingenlänge) gegenüber den vorherigen Untersuchungen verändert haben.

Neben den praktischen Versuchen wird ein Simulationsmodell des Schnittvorgangs mit der Discrete-Element-Method aufgebaut, das eine detaillierte Untersuchung des Schnittvorgangs ermöglichen soll. Die mit Messtechnik ausgestattete Mäheinheit dient der Verifikation des Simulationsmodells.

### Literatur

- [1] Niemöller, B.; Harms, H; Erasmy, N. (2007): A method for measuring and analysing the cutting process in a disc mower. Tagungsband VDI LAND. TECHNIK, S. 51-59
- [2] Suller, A.; Toth, A. (1983): DD 286 501 A5, Verfahren und Vorrichtung zum Schneiden der Stängel oder Halme von Pflanzen
- [3] Wiedermann, A. (2011): Exaktschnitt im Mährescherhäcksler. Braunschweig, Shaker Verlag GmbH

### Autoren

**Dipl.-Ing. Sebastian Kemper** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge der Technischen Universität Braunschweig.

**Prof. Dr.-Ing. Thorsten Lang** ist außerplanmäßiger Professor am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge der Technischen Universität Braunschweig.

**Prof. Dr. Ludger Frerichs** ist Leiter des Instituts für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge der Technischen Universität Braunschweig, Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig, E-Mail: s.kemper@tu-braunschweig.de

### Danksagung

Das vorgestellte Projekt wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziell gefördert und von der Firma Sauer-Danfoss mit Sachmitteln unterstützt.