

## **Exaktschnitt im Mähdrescherhäcksler**

Von der Fakultät für Maschinenbau  
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig  
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte Dissertation

von: Dipl.-Ing. Arno Wiedermann  
aus: Nürnberg

eingereicht am: 28.05.2010  
mündliche Prüfung am: 17.11.2010  
Referenten: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. H.-H. Harms  
Prof. Dr.-Ing. A. Munack  
Dr.-Ing. T. Barreilmeyer



Forschungsberichte des Instituts für Landmaschinen und  
Fluidtechnik

**Arno Wiedermann**

**Exaktschnitt im Mähdrescherhäcksler**

Shaker Verlag  
Aachen 2011

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2011

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9844-9

ISSN 1616-1912

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der Technischen Universität Braunschweig.

Ganz besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. H.-H. Harms, der mir die Chance gegeben hat, mich fachlich und persönlich weiter zu entwickeln und meine Assistentenzeit mit der Promotion abzuschließen. Die Gestaltung dieser Arbeit wurde mir erst durch seine Führung und Unterstützung, das mir entgegengebrachte Vertrauen, die mir gewährten Freiräume und nicht zuletzt durch die Bereitstellung eines produktiven Arbeitsumfeldes möglich.

Bei den Herren Prof. Dr.-Ing. A. Munack und Dr.-Ing. T. Barreilmeyer bedanke ich mich für die Übernahme des Mitberichts und die konstruktiven Anregungen und Diskussionen.

Bei Herrn Prof. Dr. techn. R. Leithner bedanke ich mich für die Übernahme des Vorsitzes der Promotionskommission.

Weiterhin möchte ich danken:

Allen Mitarbeitern in Technik und Verwaltung des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Den wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts für die vielen konstruktiven Gespräche, die aktive Mitwirkung im Versuchsbetrieb sowie das freundschaftliche Verhältnis, das sich auch nach meiner Tätigkeit am Institut fortsetzt.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die mir durch die Förderung eines zweijährigen Forschungsprojektes die Gelegenheit gegeben hat, das vorliegende Forschungsthema in der erforderlichen Tiefe wissenschaftlich zu bearbeiten.

Meinen Eltern, die mir in meinem Vorhaben jederzeit Rückhalt gegeben haben.

Meiner Lebensgefährtin Birgit für ihre Geduld und Unterstützung während der Erstellung der Arbeit.

Kempton, im Januar 2011

Arno Wiedermann



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Ziele der Arbeit</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand des Wissens</b>	<b>3</b>
2.1	Strohmanagement . . . . .	3
2.1.1	Strohmanagement innerhalb des Mähdeschers . . . . .	3
2.1.2	Anforderungen an Strohhäcksler . . . . .	4
2.1.3	Verbleib des Strohs nach der Ernte . . . . .	6
2.1.4	Maßnahmen zur Reduzierung der Häckslerbelastung . . . . .	8
2.2	Grundlagen des Schneidens . . . . .	10
2.2.1	Schnittarten . . . . .	10
2.2.2	Schneidengeometrie . . . . .	12
2.2.3	Einspannungsarten . . . . .	18
2.3	Schlegelhäcksler . . . . .	19
2.3.1	Funktionsweise . . . . .	19
2.3.2	Stand der Forschung . . . . .	20
2.4	Trommelhäcksler . . . . .	24
2.4.1	Bauarten . . . . .	24
2.4.2	Stand der Forschung . . . . .	25
<b>3</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	<b>28</b>
3.1	Selbstfahrender Feldhäcksler . . . . .	28
3.1.1	Versuchsaufbau . . . . .	28
3.1.2	Versuchsdurchführung . . . . .	29
3.2	Stationärer Versuchsstand . . . . .	30
3.2.1	Anforderungen an den stationären Versuchsstand . . . . .	30
3.2.2	Konstruktive Ausführung . . . . .	32
3.2.3	Messtechnik . . . . .	39
3.2.4	Versuchsdurchführung . . . . .	44
3.2.5	Versuchsauswertung . . . . .	45
3.3	Referenzmessungen mit einem Schlegelhäcksler . . . . .	47

<b>4</b>	<b>Grundlegende Betrachtungen zur Arbeitsweise des Häckslers</b>	<b>49</b>
4.1	Kinetik und Kinematik der Messer . . . . .	49
4.1.1	Momentengleichgewicht am pendelnden Messer . . . . .	49
4.1.2	Zusammenhang zwischen Auslenkwinkel und Spaltweite . . . . .	54
4.1.3	Eigenkreisfrequenz der Messer . . . . .	56
4.2	Energetische Betrachtung . . . . .	57
<b>5</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>64</b>
5.1	Referenzversuche mit einem Schlegelhäcksler . . . . .	64
5.2	Einfluss konstruktiver Parameter . . . . .	66
5.2.1	Voruntersuchungen mit selbstfahrendem Feldhäcksler . . . . .	66
5.2.2	Ziehender Schnitt . . . . .	68
5.2.3	Schneidspalt . . . . .	75
5.2.4	Freiheitsgrad der Messer . . . . .	82
5.2.5	Langstrohablage . . . . .	84
5.2.6	Ausrichtung der Halme . . . . .	88
5.3	Einfluss betriebstechnischer Parameter . . . . .	96
5.3.1	Durchsatz . . . . .	96
5.3.2	Schnittgeschwindigkeit . . . . .	102
5.3.3	Zuführungsgeschwindigkeit/theoretische Häcksellänge . . . . .	103
5.3.4	Vorverdichtung . . . . .	105
5.4	Vergleich der Verfahren . . . . .	108
<b>6</b>	<b>Hinweise für die Praxis</b>	<b>111</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>115</b>
7.1	Zusammenfassung . . . . .	115
7.2	Ausblick . . . . .	116
	<b>Literatur</b>	<b>118</b>



## Formelzeichen

Symbol	Einheit	Benennung
$a_S$	m	Breite der Kontaktfläche
$a_{FB}$	m	Förderbandabstand
$b_G$	m	Gutmattenbreite
$b_H$	m	Halmdurchmesser
$b_S$	m	Länge der Kontaktfläche
$b_{TS}$	m	Breite eines Teilstrangs
$b_W$	m	effektive Eingriffslänge
$d_H$	m	Halmdurchmesser
$c_w$		Strömungswiderstandskoeffizient
$e$		Stoßzahl
$E_{kin}$	$\frac{kg \cdot m^2}{s^2}$	kinetische Energie
$f$	Hz	Schnittfrequenz eines Messers
$f_S$	Hz	Schnittfrequenz an der Gegenschneide
$F_{Auf}$	N	Aufrichtkraft
$F_H$	N	horizontale Messerkraft
$F_{Luft}$	N	Luftwiderstandskraft
$f_{max}$	Hz	maximale Frequenz
$F_N$	N	Normalkraft
$F_R$	N	Reibkraft
$F_S$	N	Schnittkraft
$f_S$	1/s	Schnittfrequenz
$F_{S1}$	N	Kraft am Druckstab 1
$F_{S2}$	N	Kraft am Druckstab 2
$F_{Messer}$	N	Messerkraft
$F_{Sp}$	N	Schneidspitzenkraft
$F_T$	N	Tangentialkraft
$F_V$	N	vertikale Messerkraft

<b>Symbol</b>	<b>Einheit</b>	<b>Benennung</b>
$F_Z$	N	Zentrifugalkraft
$h_G$	m	Gutmattenhöhe
$h_Z$	m	Hebelarm für die Zentrifugalkraft
$h_0$	m	Ausgangshöhe der Schnittgutmatte
$d_B$	m	Bolzendurchmesser
$G$		Gelenkpunkt der Messeraufhängung
$i_{VP}$		Übersetzung des Vorpresswalzantriebes
$J$	$kg \cdot m^2$	Massenträgheitsmoment
$J_{SP}$	$kg \cdot m^2$	Massenträgheit des Messers
$l_F$	m	Hebelarm zum Abknicken des Strohhalms
$l_{max,th}$	m	maximale theoretische Häcksellänge
$l_{Messer}$	m	Messerlänge
$l_S$	m	Länge des Strohteilchens
$l_{S,th}$	m	theoretische Länge des Strohteilchens
$l_{th}$	m	theoretische Häcksellänge
$l_1$	m	Entfernung des Drehgelenks vom Wellenmittelpunkt
$l_2$	m	Entfernung des Messerschwerpunktes vom Drehgelenk
$m$	kg	Masse
$M_{Halm}$	Nm	Drehmoment um den Lagerpunkt des Strohhalms
$M_{Luft}$	Nm	durch Luftwiderstand verursachtes Drehmoment
$m_{Messer}$	kg	Masse des Messers
$M_{Reib}$	Nm	Reibmoment im Gelenk
$m_S$	kg	Masse des Strohteilchens
$M_{Traeg}$	Nm	Drehmoment durch Trägheitskräfte verursacht
$M_{Tr,ein}$	Nm	Eingangsdrehmoment der Trommel
$M_{VP}$	Nm	Drehmoment der Vorpresswalzen
$n_{Tr}$	1/s	Trommeldrehzahl
$p$	Pa	Kontaktflächendruck

Symbol	Einheit	Benennung
$\vec{p}$	N · s	Impuls
$P_{Beschl}$	W	Beschleunigungsleistung
$P_R$	W	Reibleistung
$P_{Tr}$	W	Trommelleistung
$q$	N/m	Linienlast
$Q$	kg/s	Massedurchsatz
$r_{FK}$	m	Radius des Messerflugkreises
$r_Z$	m	Radius der Bewegungsbahn des Schwerpunktes
$t_{KN}$	s	Zeit zum Abknicken eines Strohhalmes
$v_A$	m/s	Aufprallgeschwindigkeit
$v_{Aus}$	m/s	Austrittgeschwindigkeit
$v_{A,x}$	m/s	x-Komponente der Aufprallgeschwindigkeit
$v_{A,y}$	m/s	y-Komponente der Aufprallgeschwindigkeit
$v_{BS}$	m/s	Geschwindigkeit der Beschleunigerschaufel
$v_{ein}$	m/s	Eintrittsgeschwindigkeit
$v_n$	m/s	Geschwindigkeit in Normalrichtung
$v_N$		Schnittrichtung
$v_R$	m/s	Rückprallgeschwindigkeit
$v_{R,x}$	m/s	x-Komponente der Rückprallgeschwindigkeit
$v_{R,y}$	m/s	y-Komponente der Rückprallgeschwindigkeit
$v_{SFH}$	m/s	Fahrgeschwindigkeit selbstfahrender Feldhäcksler
$v_t$	m/s	Geschwindigkeit in Tangentialrichtung
$v_Z$	m/s	Zuführgeschwindigkeit
$\ddot{x}$	$m/s^2$	Beschleunigung
$\alpha$	°	Freiwinkel
$\alpha_A$	°	Auslenkwinkel des Messers
$\alpha_{GA}$	°	Ausrichtung des Guts gegenüber der Gegenschneide
$\alpha_{HW}$	°	Drehwinkel der Häckselwelle zum Schnitt eines Halmes

<b>Symbol</b>	<b>Einheit</b>	<b>Benennung</b>
$\beta$	°	Keilwinkel
$\beta'$	°	Keilwinkel in Schnitttrichtung
$\beta_A$	°	Auslenkwinkel bezogen auf den Wellenmittelpunkt
$\gamma$	°	Spanwinkel
$\delta$	°	Schneidwinkel
$\Delta a_{MP}$	m	Entfernung Schnittpunkt – Funktion $g(x)$
$\lambda$	°	Schneidenanstellwinkel
$\mu_G$		Gleitreibungskoeffizient
$\varphi$	°	Winkel der Wurfschaufel
$\varphi_A$	°	Aufprallwinkel
$\varphi_R$	°	Rückprallwinkel
$\varphi_S$	°	Abknickwinkel des Strohteilchens
$\varphi_U$	°	Umschlingungswinkel
$\varphi_{0Stroh}$	°	Ausgangsknickwinkel des Strohteilchens
$\omega_{Eigen}$	rad/s	Eigenkreisfrequenz
$\omega_n$	rad/s	Winkelgeschwindigkeit der Häckselwelle
$\omega_S$	rad/s	Winkelgeschwindigkeit des Strohs
$\dot{\omega}$	rad/s <sup>2</sup>	Winkelbeschleunigung des Strohhalms
$\omega_{0Stroh}$	rad/s	Ausgangswinkelgeschwindigkeit des Strohteilchens