

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 • E-Mail: 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. Barrelmeyer 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

1	Einleitung und Ziele der Arbeit	1
2	Stand des Wissens	3
2.1	Strohmanagement	3
2.1.1	Strohmanagement innerhalb des Mähdeschers	3
2.1.2	Anforderungen an Strohhäcksler	4
2.1.3	Verbleib des Stroh 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
3	Versuchsaufbau	28
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

4	Grundlegende Betrachtungen zur Arbeitsweise des Häckslers	49
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
5	Experimentelle Untersuchungen	64
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
6	Hinweise für die Praxis	111
7	Zusammenfassung und Ausblick	115
7.1	Zusammenfassung	115
7.2	Ausblick	116
	Literatur	118

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

Symbol	Einheit	Benennung
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 Strohhalmes
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}	$N \cdot s$	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
α	°	Freiwinkel
α_A	°	Auslenkwinkel des Messers
α_{GA}	°	Ausrichtung des Guts gegenüber der Gegenschneide
α_{HW}	°	Drehwinkel der Häckselwelle zum Schnitt eines Halmes

Symbol	Einheit	Benennung
β	°	Keilwinkel
β'	°	Keilwinkel in Schnitttrichtung
β_A	°	Auslenkwinkel bezogen auf den Wellenmittelpunkt
γ	°	Spanwinkel
δ	°	Schneidwinkel
Δa_{MP}	m	Entfernung Schnittpunkt – Funktion $g(x)$
λ	°	Schneidenanstellwinkel
μ_G		Gleitreibungskoeffizient
φ	°	Winkel der Wurfschaufel
φ_A	°	Aufprallwinkel
φ_R	°	Rückprallwinkel
φ_S	°	Abknickwinkel des Strohteilchens
φ_U	°	Umschlingungswinkel
φ_{0Stroh}	°	Ausgangsknickwinkel des Strohteilchens
ω_{Eigen}	rad/s	Eigenkreisfrequenz
ω_n	rad/s	Winkelgeschwindigkeit der Häckselwelle
ω_S	rad/s	Winkelgeschwindigkeit des Strohs
$\dot{\omega}$	rad/s ²	Winkelbeschleunigung des Strohhalms
ω_{0Stroh}	rad/s	Ausgangswinkelgeschwindigkeit des Strohteilchens