

Der Schnittvorgang in einem selbstfahrenden Feldhäcksler

Von der Gemeinsamen Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Andreas Haffert
aus Wadersloh

Eingereicht am:	17.04.2003
Mündliche Prüfung am:	10.09.2003
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms
Mitberichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. J. Schwedes
Mitberichterstatter:	Dr. L. Frerichs

Forschungsberichte des Instituts
für Landmaschinen und Fluidtechnik

Andreas Haffert

**Der Schnittvorgang in einem
selbstfahrenden Feldhäcksler**

Shaker Verlag
Aachen 2004

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2003

Copyright Shaker Verlag 2004

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-2421-1

ISSN 1616-1912

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort

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

Die Menschen, die mich bei meiner Arbeit unterstützten, und die Leidenschaft für Landtechnik haben zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen.

Besonders möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms, dem Leiter des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik der Technischen Universität Braunschweig für sein Engagement bedanken. Aufgrund seiner Initiative wurden die Rahmenbedingungen für die Entstehung und Bearbeitung dieser Aufgabe geschaffen. Das gute Arbeitsklima sowie die konstruktiven Gespräche möchte ich an dieser Stelle hervorheben.

Für die Übernahme des Mitberichters möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. J. Schwedes bedanken. Konstruktive Gespräche, klare Anregungen und ein fairer Umgang kennzeichnen die Zusammenarbeit.

Mein Dank gilt der Firma Claas, die es mir ermöglicht hat, dieses Forschungsthema zu bearbeiten.

Herrn Dr.-Ing. H. Weigelt danke ich für die Betreuung und Unterstützung zu Beginn der Forschungstätigkeit, in der das Forschungsthema erarbeitet und das Fundament für den Versuchsaufbau gelegt wurde.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr. Frerichs für die Übernahme des Mitberichters. Seine Anregungen und klaren Anforderungen unterstützten den Fortgang meiner Arbeit.

Herrn Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. H. J. Matthies danke ich für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Für die fruchtbare Zusammenarbeit mit den wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern am Institut möchte ich mich bedanken. Hilfsbereitschaft, konstruktive Auseinandersetzungen und Kollegialität in einer freundschaftlichen Atmosphäre prägten das Arbeitsklima.

Allen Mitarbeitern des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik und den Mitarbeitern der Firma Claas, die mich in der praktischen Umsetzung meiner Arbeit unterstützt haben, ein herzliches Dankeschön.

Ein besonderer Dank gilt meiner Frau für die aktive und solidarische Unterstützung, die maßgeblich zum Erfolg beigetragen hat. Meinen Kindern möchte ich danken, da sie auf viele gemeinsame Stunden verzichten mussten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Historische Entwicklung bei selbstfahrenden Feldhäckslern.....	1
1.2	Allgemeiner Aufbau und Einsatzgebiete	8
1.3	Häckseltrommelbauarten	10
1.4	Quetschwalzen	12
1.5	Nachbeschleuniger.....	12
2	Stand der Forschung und Ziele der Arbeit.....	14
2.1	Untersuchungen zum Schneiden	14
2.2	Untersuchungen zum Häckselprozess	17
2.3	Zusammenfassung und Ziele der Arbeit.....	36
3	Versuchsstand	38
3.1	Aufbau	38
3.2	Versuchsdurchführung	41
3.3	Versuchsparameter	41
3.4	Messgrößen	43
3.5	Hochgeschwindigkeitsaufnahmen.....	43
3.6	Versuchsauswertung.....	44
4	Versuchsergebnisse	46
4.1	Gutstranghöhe	46
4.2	Schneidspalt	51
4.3	Schneidwinkel	55
4.4	Vorpressdruck	60
4.5	Schnittlänge.....	67
4.6	Schnittgeschwindigkeit.....	74
4.7	Gutfeuchte	77

5	Simulation des Schnittvorgangs	81
5.1	Schnittkraft.....	81
5.1.1	Modellbildung	81
5.1.2	Schnittkraftberechnung.....	87
5.2	Kraftübertragung Messer - Gegenschneide.....	89
5.3	Berechnung in der Simulation.....	93
5.3.1	Schnittkraft und Schnittenergie.....	93
5.3.2	Schnittkraftübertragung zwischen Messer und Gegenschneide.....	95
5.4	Simulationsergebnisse.....	96
5.4.1	Schnittenergie.....	96
5.4.2	Schnittkraftübertragung Messer – Gegenschneide.....	110
5.5	Charakterisierung der Ergebnisse aus Simulation und Versuch	116
6	Qualitative Bewertung der Ergebnisse	117
7	Zusammenfassung und Ausblick	124
8	Literaturverzeichnis.....	125

Formelzeichen

Zeichen	Einheit	Größe
a	mm	Abstand zwischen Messer und Gegenschneide nach [Röh88]
a_{cor}	m/s^2	Coriolisbeschleunigung
a_{rel}	m/s^2	Relativbeschleunigung des Gutes
b	m	Gutstrangbreite
c	N/m	Federsteifigkeit nach [Ort75]
c	N/m	Federsteifigkeit zwischen den Körpern
c_B	N/m	Biegesteifigkeit nach [Ort75]
d	N/m	Dämpfung zwischen den Körpern
F_{ages}	N	Gesamtbeschleunigungskraft
F_{arel}	N	Relativbeschleunigungskraft
F_C	N	Corioliskraft
F_{Gx}	N	Gesamte Gegenschneidenkraft in x-Richtung
F_{Gy}	N	Gesamte Gegenschneidenkraft in y-Richtung
F_{Hx}	N	Halkraft in x-Richtung zwischen rechtem und linkem Schnittufer des gerade geschnittenen Halms
F_{Hy}	N	Halkraft in y-Richtung zwischen rechtem und linkem Schnittufer des gerade geschnittenen Halms
F_{Mx}	N	Gesamte Kraft am Messer in x-Richtung
$F_{Mx \text{ max}}$	N	Maximale Messerkraft in x-Richtung
F_{My}	N	Gesamte Kraft am Messer in y-Richtung
$F_{My \text{ max}}$	N	Maximale Messerkraft in y-Richtung
$F_{My \text{ min}}$	N	Minimale Messerkraft in y-Richtung
F_{NM}	N	Summe aller Normalkräfte vom Gut auf das Messer
F_{NR}	N	Normalkraft zwischen Gutteilchen, das gerade geschnitten wird, und der darunter liegenden Gutschicht

F_{RGM}	N	Reibkraft vom Gut auf die Messerinnenseite beim reinen Trennvorgang
F_{RGM}	N	Reibkraft von der Messerinnenseite auf das Schnittgut beim reinen Trennvorgang
F_{RM}	N	Summe aller Reibkräfte vom Gut auf das Messer
F_{RR}	N	Reibkraft zwischen Gutteilchen, das gerade geschnitten wird, und der darunter liegenden Gutschicht
F_{RV}	N	Reibkraft zwischen Vorpressplatte und Schnittgut infolge des Vorpressdrucks beim reinen Trennvorgang
F_{RVges}	N	Summe aus Reibkraft zwischen Vorpressplatte und Schnittgut infolge des Vorpressdrucks und Reibkraft infolge des Widerstandes gegen das Eindringen der Messerspitze in den Gutstrang
F_{Sx}	N	Gesamte Schnittkraft am Messer in x-Richtung
F_{Sy}	N	Gesamte Schnittkraft am Messer in y-Richtung
F_{Tx}	N	Trennkraft am Messer in x-Richtung
F_{Ty}	N	Trennkraft am Messer in y-Richtung
F_{V}	N	Vorpresskraft
h_0	m	Vorverdichtete Gutstranghöhe nach [Ort75]
h_a	m	Unverdichtete Gutstranghöhe nach [Ort75]
h_{G}	m	Gutstranghöhe
h_{K}	m	Höhe eines Körpers
l_{E}	m	Länge der Einflusszone
l_{M}	m	Schnittlänge nach [Ort75]
l_{s}	m	Schnittlänge
m	Kg	Masse
m_{B}	Kg	Masse des zu beschleunigenden Gutes an der Messerinnenseite
m_{K}	Kg	Masse eines Körpers
n	-	Anzahl der Körper im Simulationsmodell
N_{ges}	PS	Gesamtleistungsbedarf des Häckslers nach [Kro67]

p	MPa	Schneiddruck nach [Str53]
P_A	kW	Gesamtantriebsleistung nach [Röh88]
p_{NGM}	N/m^2	Normaldruck vom Gut auf die Messerinnenseite beim reinen Trennvorgang
p_{NMG}	N/m^2	Normaldruck von der Messerinnenseite auf das Gut beim reinen Trennvorgang
p_v	N/m^2	Vorpressdruck beim reinen Trennvorgang
p_{VM}	N/m^2	Vorpressdruck infolge des Eindringens der Messerspitze in den Gutstrang
Q	t/h	Durchsatz des Häckslers nach [Kro67]
r	mm	Radius an der Messerspitze nach [Röh88]
r	m	Radius der Bewegungsbahn der Messerspitze
R	m	Rotor- bzw. Trommelradius
s	m	Weg eines Teilchens
$\dot{s}$	m/s	Geschwindigkeit eines Teilchens
$\ddot{s}$	m/s^2	Beschleunigung eines Teilchens
s_B	m	Beschleunigungsstrecke des Gutes
t_B	S	Beschleunigungszeit des Gutes
U	%	Gutfeuchte
v	m/s	Resultierende Messergeschwindigkeit nach [Str39]
v_n	m/s	Messergeschwindigkeit senkrecht zur Schneide nach [Str39]
v_{rel}	m/s	Relativgeschwindigkeit
v_{relx}	m/s	Relativgeschwindigkeit des Gutes in x-Richtung
v_{rely}	m/s	Relativgeschwindigkeit des Gutes in y-Richtung
v_s	m/s	Schnittgeschwindigkeit
v_t	m/s	Messergeschwindigkeit in Richtung der Schneide nach [Str39]
w_L	m/s	Luftgeschwindigkeit nach [Ort75]
w_{L0}	m/s	Ausblasgeschwindigkeit nach [Ort75]
$W_{s\ theo}$	kWh	Theoretische Schnittenergie

x	m	Weg eines Körpers in x-Richtung
$\dot{x}$	m/s	Geschwindigkeit eines Körpers in x-Richtung
$\ddot{x}$	m/s ²	Beschleunigung eines Körpers in x-Richtung
x_M	m	Weg des Messers in x-Richtung
$\dot{x}_M$	m/s	Geschwindigkeit des Messers in x-Richtung
$\ddot{x}_M$	m/s ²	Beschleunigung des Messers in x-Richtung
x_s	m	Strahllänge nach [Ort75]
y	m	Weg eines Körpers in y-Richtung
$\dot{y}$	m/s	Geschwindigkeit eines Körpers in y-Richtung
$\ddot{y}$	m/s ²	Beschleunigung eines Körpers in y-Richtung
y'	m	Gegenschneidenversatz nach [Boc81]
y_M	m	Weg des Messers in y-Richtung
$\dot{y}_M$	m/s	Geschwindigkeit des Messers in y-Richtung
$\ddot{y}_M$	m/s ²	Beschleunigung des Messers in y-Richtung
y_s	m	Strahlbreite nach [Ort75]
Δh	m	Federweg nach [Ort75]
α	Grad	Freiwinkel
β	Grad	Keilwinkel
β	Grad	Gutablösewinkel nach [Ort75]
δ	Grad	Schneidwinkel
δ	Grad	Schneidenanstellwinkel nach [Boc81]
γ	Grad	Spanwinkel
λ	Grad	Neigungswinkel des Messers nach [Str39]
μ_{GG}	-	Reibkoeffizient zwischen Gut und Gut
μ_{MG}	-	Reibkoeffizient zwischen Messer und Gut
ρ	Kg/m ³	Dichte
ρ_G	Kg/m ³	Gutstrangdichte

σ_H	N/m^2	Zugspannungen im zu trennenden Halm beim reinen Trennvorgang
τ_H	N/m^2	Schubspannungen im zu trennenden Halm beim reinen Trennvorgang
ω	Rad/s	Winkelgeschwindigkeit
ω_F	Rad/s	Winkelgeschwindigkeit des Führungssystems

Indizes

1M	Halm 1 gegenüber Messer
M1	Messer gegenüber Halm 1
2M	Halm 2 gegenüber Messer
M2	Messer gegenüber Halm 2
12	Halm 1 gegenüber Halm 2
21	Halm 2 gegenüber Halm 1
23	Halm 2 gegenüber Halm 3
32	Halm 3 gegenüber Halm 2