

Assistenzsystem für den Überladevorgang bei einem selbstfahrenden Feldhäcksler

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. Cornelia Weltzien
aus New York

Eingereicht am :	21. Feb. 2008
Mündl. Prüfung am :	10. Sept. 2008
Referenten :	Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. H.-H. Harms Prof. Dr.-Ing. W. Schumacher Prof. Dr.-Ing. N. Diekhans
Vorsitzender:	Prof. Dr. techn. R. Leithner

2008

Forschungsberichte des Instituts für Landmaschinen und
Fluidtechnik

Cornelia Weltzien

**Assistenzsystem für den Überladevorgang
bei einem selbstfahrenden Feldhäcksler**

Shaker Verlag
Aachen 2009

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., 2008

Copyright Shaker Verlag 2009

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8015-4

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

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner wissenschaftlichen Tätigkeit am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der Technischen Universität Braunschweig. In dieser Zeit erfuhr ich vielfältige Unterstützung, die maßgeblich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen hat.

Mein erster und besonderer Dank gilt Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms, Leiter des Instituts für Landmaschinen- und Fluidtechnik der Technischen Universität Braunschweig. Er ermöglichte es mir, mit der Forschungsarbeit im Projekt 'Überladung' bereits parallel zum Zusatzstudium zu beginnen. Für die volle Unterstützung, den fachlichen Beistand, die konstruktiven Anregungen sowie die persönliche Förderung möchte ich mich sehr herzlich bedanken.

Großer Dank gilt auch meinen Mitberichtern Prof. Dr.-Ing. W. Schumacher von der Universität Braunschweig sowie Prof. Dr.-Ing. N. Diekhans von der Firma Claas. Beiden verdanke ich wertvolle Anregungen und Hinweise während des Projekts. Herrn Prof. Diekhans und der Firma Claas, insbesondere der dortigen Elektronikabteilung, gilt mein besonderer Dank für die praktische und technische Unterstützung.

Herrn Prof. Dr. techn. R. Leithner danke ich für den Vorsitz der Prüfungskommission.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ILF sowie der Firma Claas und der FAL, die mich in der praktischen und theoretischen Umsetzung meiner Arbeit unterstützt haben, sage ich ein großes Dankeschön. Die Hilfsbereitschaft und Kollegialität, die sehr gute Zusammenarbeit und die konstruktive und freundschaftliche Arbeitsatmosphäre haben unsere gemeinsame Zeit positiv und zukunftsweisend geprägt.

Dank geht aber auch an die Studierenden, die mich durch ihre Studien- und Diplomarbeiten oder als wissenschaftliche Hilfskräfte bei den Versuchen unterstützt haben.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der Firma Claas danke ich für die Förderung des Projektes, finanziell und durch Sachspenden.

Vielen Dank an meine Eltern für die moralische sowie die aktive Unterstützung.

Mein herzlichster Dank geht an meine Lebenspartnerin Christine Waiß. Ihre aktive und tatkräftige Unterstützung in allen Belangen hat entscheidend zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen.

Berlin, im Februar 2009

Cornelia Weltzien

- Für Christine -

Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen,
sind sie nicht sicher, und insofern sie sicher sind,
beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit.

[Einstein 1934]

Kurzfassung

Bei der Überladung landwirtschaftlicher Güter kann grundsätzlich zwischen dem absätzigen und dem Parallelverfahren unterschieden werden. Bei Erntemaschinen ohne Bunker, wie dem selbstfahrenden Feldhäcksler, kann nur im Parallelverfahren überladen werden. Diese Variante ist verfahrenstechnisch aufwändiger, da zwei Fahrzeuge während der Fahrt und damit parallel zum Arbeitsprozess aufeinander abgestimmt werden müssen. Um die Maschinenführer bei der manuellen Prozesssteuerung zu entlasten, wurde daher an der TU-Braunschweig ein Assistenzsystem zur Überladung (ASÜL) entwickelt und als Prototyp technisch realisiert.

Ziel des Assistenzsystems ist es, den Erntegutstrahl sicher und verlustfrei vom Häcksler auf die Transporteinheit zu leiten und das Erntegut dort gleichmäßig zu verteilen. Hierzu wird die Relativposition der Fahrzeuge zueinander über GPS ermittelt. Der Beladungspunkt innerhalb der Transporteinheit wird von einer Beladungssteuerung vorgegeben. Zum Anvisieren des Zielpunktes werden die Position von Auswurfkrümmer und Klappe entsprechend geregelt.

In Feldversuchen mit dem Prototyp für ein Assistenzsystem zur Überladung konnte die Funktionalität des ASÜL unter Beweis gestellt werden. Versuche zur Folgeregelung belegen eine Zielgenauigkeit von $\pm 0,5 \text{ m}$ beim Nachführen des Schüttgutstrahles aufgrund einer variierenden Relativposition der Transporteinheit. Die Steigerung der Qualität des Arbeitsprozesses wurde anhand der Kriterien 'Ausnutzung der Transportkapazität' sowie 'Verlustminimierung' positiv bewertet. Die Analyse von Arbeitsplatzergonomie und Arbeitsbelastung der Bediener von Feldhäcksler und Transporteinheit ergaben qualitativ gesehen deutliche Verbesserungen. Eine monetäre Bewertung erfolgte auf Basis von theoretischen Annahmen.

Schlüsselworte:

Assistenzsystem
Feldhäcksler

Überladung
Prozesssteuerung

Parallelverfahren
Bewertung

Abstract

Describing the process of overloading of agricultural goods it can be differentiated between the intermittent and the parallel overloading process. For self propelled machines without a bunker like the forage harvester only parallel overloading can be applied. The parallel overloading process is more cost effective but also shows a higher complexity because two cooperative vehicles need to be coordinated while driving and overloading. In order to support the operators during the manual process control a prototype of an assistance system for overloading agricultural goods (ASÜL) has been developed and built at the Technical University of Braunschweig.

The goal of this assistance system is to always target the stream of forage material from the harvester to the transport unit without losses, and additionally to distribute the material evenly in the transport unit. The system is based on the relative positioning between the vehicles by means of GPS as well as the automatic control of the chute. In order to take aim on the platform of the trailer, the position of chute and deflector plate are controlled. By this means the forage stream can be focussed at a specific target point (impact point of the forage stream) on the trailer, which is defined by a loading control.

Fieldtests with a prototype of the assistance system for overloading could prove the functionality of the ASÜL. The tests show an accuracy in reaching the desired impact point with the stream of forage material of $\pm 0,5\text{ m}$ while varying the relative position of tractor and harvester. The process quality was rated according to the criteria 'Usage of Transport Capacity' and 'Reduction of Losses'. The results show an improvement of the process quality. The analysis of the operator ergonomics of forage harvester and transport unit show a qualitative improvement when applying the assistance system. The monetary assessment was based on theoretical data.

Keywords:

Assistance System
Forage Harvester

Parallel Overloading
Process Control

Assessment

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Kurzfassung	V
Abstract	VII
Symbolverzeichnis	XV
1 Einleitung	1
2 Stand des Wissens und Zielsetzung	2
2.1 Begriffsdefinitionen Überladen	2
2.2 Überladen landwirtschaftlicher Güter	4
2.3 Erntekette mit dem selbstfahrenden Feldhäcksler	5
2.3.1 Transportprozesse	6
2.3.2 Masseleistung der Erntemaschine	8
2.3.3 Verfahrensleistung der Erntekette im Parallelverfahren	11
2.4 Stand der Technik bei selbstfahrenden Feldhäckslern	13
2.4.1 Aufbau selbstfahrender Feldhäcksler	14
2.4.2 Bedienkonzept und Automatisierung von Häckslerfunktionen	15
2.5 Assistenzsysteme in der Landtechnik	16
2.5.1 Begriffsdefinitionen Assistenzsystem	17
2.5.2 Fahrerassistenzsysteme im Automobilbereich	20
2.5.3 Einsatzbeispiele Assistenzsysteme in der Landtechnik	21
2.6 Zielsetzung	27
3 Theoretische Betrachtungen	30
3.1 Arbeitsaufgaben beim parallelen Überladen	30
3.1.1 Steuerung und Überwachung des Überladevorganges	31
3.1.2 Fahraufgabe	34
3.2 Leistungssteigernde Maßnahmen	34
3.2.1 Verbesserte Ausnutzung der Transportkapazität	35
3.2.2 Vermeiden von Verlusten	35
3.2.3 Arbeitsentlastung	36
3.3 Strahlsteuerung als Überladeassistenzsystem	36
3.3.1 Aufgaben einer Strahlsteuerung	37
3.3.2 Steuerungskonzept	38
3.3.3 Lageregelung Auswurfkrümmer	40
3.3.4 Modellbildung Kinematik	44
3.3.5 Beladungssteuerung	50

3.3.6	Strategie Fahrerleitsystem	53
4	Experimentelle Untersuchungen	56
4.1	Aufbau des Versuchsträgers	56
4.1.1	GPS System	57
4.1.2	Komponenten zur Strahlsteuerung	57
4.1.3	Aufbau Fahrerleitsystem	60
4.1.4	Bedienung	60
4.2	Versuchsfragestellungen	61
4.3	Versuchsdurchführung	61
4.3.1	Versuchsaufbau stationäre Funktionsprüfungen	62
4.3.2	Feldversuche im Ernteeinsatz	63
5	Versuchsergebnisse	69
5.1	Funktionsprüfung	69
5.1.1	Ergebnisse Genauigkeit	69
5.1.2	Ergebnisse Zuverlässigkeit	84
5.2	Qualität des Arbeitsprozesses	84
5.2.1	Ergebnisse Ausnutzung der Transportkapazität	85
5.2.2	Ergebnisse Reduzierung der Verluste	90
5.3	Arbeitsentlastung	91
5.3.1	Erfolg von Strahlsteuerung und Fahrerleitsystem	92
5.3.2	Subjektive Beurteilung der Fahrerbelastung nach NASA TLX	93
6	Bewertung des Assistenzsystems und Hinweise an die Praxis	95
6.1	Bewertung des Assistenzsystems	95
6.1.1	Bewertungskriterien	95
6.1.2	Arbeitsergonomische Bewertung	97
6.1.3	Komfort Bewertung	100
6.1.4	Monetäre Bewertung	101
6.1.5	Zusammenfassung der Bewertung	106
6.2	Hinweise aus der Praxis	108
6.2.1	Allgemeine Angaben der befragten Lohnunternehmen	108
6.2.2	Umfrageergebnisse	110
6.2.3	Internetforum zum Überladeassistenzsystem	112
6.3	Hinweise an die Praxis	113
6.3.1	Aufbau zukünftiger Systeme	114
7	Zusammenfassung und Ausblick	116
7.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	116
7.2	Ausblick	119
A	Anhang	122
	Literatur	124