

# Grundlagen eines Traktorbremssmanagements

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. Marco Wiegandt  
aus Bad Oeynhausen

Eingereicht am:	29.03.2004
Mündliche Prüfung am:	05.07.2004
Referenten:	Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms Prof. Dr.-Ing. U. Seiffert
Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. F. Küçükay

2004



Forschungsberichte des Instituts  
für Landmaschinen und Fluidtechnik

**Marco Wiegandt**

## **Grundlagen eines Traktorbremssmanagements**

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., 2004

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 3-8322-3126-9

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) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der Technischen Universität Braunschweig. Ich möchte mich bei allen Bedanken, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen und mich bei der Erstellung unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt dem Leiter des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik, Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Hans-Heinrich Harms, der mir die Möglichkeit zur Promotion eröffnet hat. Unter seiner Leitung bearbeitete ich das Forschungsprojekt „Traktorbremmsmanagement“, auf dem diese Arbeit basiert. Er stand mir bei der Bearbeitung des Projekts stets mit fachlicher Unterstützung und konstruktiver Kritik zur Seite, gewährte mir dabei jedoch auch viel Freiraum zum selbständigen Arbeiten. Für dieses Vertrauen möchte ich mich bedanken.

Weiterhin bedanke ich mich bei Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert, der als Mitberichter die Arbeit durchgesehen und wertvolle Anregungen gegeben hat.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Ferit Küçükay möchte ich mich für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission bedanken.

Der deutschen Forschungsgemeinschaft DFG danke ich für die Förderung des Projekts.

Weiterhin danke ich der Firma Claas Industrietechnik, speziell Herrn Fredriksen und seinen Mitarbeitern. Gesprächen mit ihnen entstammte der Anstoß für das Forschungsprojekt. Bei der Durchführung des Projekts waren sie durch fachliche Unterstützung sowie durch die Bereitstellung eines Traxion-Getriebes wichtige Partner.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik möchte ich für die gute Zusammenarbeit danken. Besonders das gute Arbeitsklima am Institut und die freundschaftliche und konstruktive Zusammenarbeit mit den wissenschaftlichen Mitarbeitern werde ich in guter Erinnerung behalten. Auch den Studierenden, die durch ihre Arbeiten zum Gelingen des Projekts beitrugen, danke ich.

Ein ganz besonderer Dank gilt auch meiner Lebensgefährtin Peggy, die mich bei der Erstellung der Arbeit stets unterstützt und dabei auf viele gemeinsame Stunden verzichtet hat.



---

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Problemstellung.....	2
1.2	Zielsetzung der Arbeit.....	3
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b> .....	<b>5</b>
2.1	Fahr- und Bremsdynamik landwirtschaftlicher Traktoren und Anhänger.....	5
2.2	Dieselmotoren in Traktoren.....	9
2.3	Leistungsverzweigte Getriebe in Traktoren.....	11
2.3.1	Prinzip der hydrostatisch-mechanischen Leistungsverzweigung.....	13
2.3.2	Fendt Vario-Getriebe.....	14
2.3.3	ZF S-Matic-Getriebe.....	17
2.3.4	ZF Eccom-Getriebe.....	20
2.3.5	John Deere AutoPowr-Getriebe.....	23
2.3.6	Claas Traxion-Getriebe.....	24
2.4	Bremssysteme in landwirtschaftlichen Traktoren und Anhängern.....	26
2.4.1	Traktorbremssysteme.....	26
2.4.2	Anhängerbremssysteme.....	29
2.5	Elektronisches Bremssystem EBS in Lastkraftwagen.....	32
2.6	Aktive Fahrdynamikregelungen in PKW und Nutzfahrzeugen.....	35
2.6.1	Grundlagen der Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn.....	35
2.6.2	Antiblockiersystem ABS.....	40
2.6.3	Elektronisches Stabilitätsprogramm ESP.....	43
<b>3</b>	<b>Versuchsstand und Simulationsmodell</b> .....	<b>46</b>
3.1	Versuchsstand.....	46
3.2	Simulationsmodell.....	51
3.3	Teilmodell Traktor.....	53

---

3.3.1	Dieselmotor .....	53
3.3.2	Getriebe .....	57
3.3.3	Endantrieb .....	62
3.3.4	Fahrzeug-Reifen-Fahrbahn.....	64
3.3.5	Betriebsbremse .....	70
3.3.6	Anhängekupplung .....	72
3.4	Teilmodell Anhänger .....	72
<b>4</b>	<b>Erkennen kritischer Betriebszustände.....</b>	<b>76</b>
4.1	Erkennen des Schubbetriebs .....	76
4.2	Erkennen der Überlastung von Motor und Getriebe .....	78
4.2.1	Einfluss des Fahrbahngefälles.....	79
4.2.2	Einfluss des Fahrzeuggewichts .....	82
4.2.3	Einfluss der Getriebeübersetzung .....	83
4.2.4	Einfluss der Getriebeverstellung.....	85
4.3	Erkennen instabilen Fahrverhaltens .....	93
4.3.1	Abschätzen des Radschlupfs .....	94
4.3.2	Messen des Radschlupfs.....	96
<b>5</b>	<b>Entwicklung und Untersuchung von Bremsstrategien.....</b>	<b>102</b>
5.1	Bremsen bei Überdrehzahl des Dieselmotors .....	102
5.1.1	Einfacher Bremsregler .....	102
5.1.2	Bremsregler mit Intervallbremsfunktion .....	105
5.1.3	Berücksichtigen der Getriebeverstellung.....	111
5.1.4	Bremsregler mit Getriebeverstellung .....	115
5.2	Bremsen bei Gefahr instabilen Fahrverhaltens .....	116
<b>6</b>	<b>Bewertung der Ergebnisse und Hinweise für die Praxis.....</b>	<b>123</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>126</b>
<b>8</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>128</b>