





# **Hochfrequente Werkzeugschwingung zur Zugkraftreduktion bei der Bodenbearbeitung**

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

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

genehmigte

Dissertation

von: Ralf Kattenstroth  
aus: Gütersloh

eingereicht am: 18.06.2015  
mündliche Prüfung am: 18.12.2015

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Hans-Heinrich Harms  
Prof. Dr.-Ing. Jörg Wallaschek  
Vorsitzender: Prof. Dr. Ludger Frerichs

2016



Forschungsberichte aus dem  
Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge

**Ralf Kattenstroth**

**Hochfrequente Werkzeugschwingung  
zur Zugkraftreduktion bei der Bodenbearbeitung**

Shaker Verlag  
Aachen 2016

**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., 2015

Copyright Shaker Verlag 2016

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4815-5

ISSN 2196-7369

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**

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik bzw. nach dessen Umbenennung am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge der Technischen Universität Braunschweig.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Hans-Heinrich Harms, der mir als Leiter des Institutes für Landmaschinen und Fluidtechnik die Bearbeitung eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projektes ermöglicht hat. Die dabei gewonnenen Ergebnisse stellen die Basis der vorliegenden Arbeit dar. Bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Harms außerdem für das mir entgegen gebrachte Vertrauen und die eingeräumten Freiräume bei der Arbeit am Institut und auch für die fachliche und persönliche Unterstützung nach seiner Zeit als Institutsleiter.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Jörg Wallaschek, Leiter des Institutes für Dynamik und Schwingungen an der Leibniz Universität Hannover, möchte ich mich zum einen für die Übernahme des Korreferates meiner Arbeit und zum anderen für die Unterstützung des Forschungsprojektes als Forschungspartner für die Ultraschalltechnik bedanken. Mein Dank gilt an dieser Stelle ebenfalls Herrn Dr. Ing. Jens Twiefel und Herrn Dr.-Ing. Wiebold Wurpts, für die angenehme und produktive Zusammenarbeit in dem Forschungsprojekt.

Für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission und die interessante Zeit am Institut unter seiner Leitung möchte ich mich bei Herrn Prof. Ludger Frerichs bedanken. Die in dieser Zeit gewährten Möglichkeiten und Aufgaben haben zu meiner fachlichen und persönlichen Weiterentwicklung beigetragen.

Allen Mitarbeitern und ehemaligen Kollegen des Institutes möchte ich für die tolle Zusammenarbeit und die positive und freundschaftliche Arbeitsatmosphäre während meiner Institutszeit danken. Die persönlichen Kontakte und die ständige Bereitschaft zur gegenseitigen Unterstützung und zum Gedankenaustausch in fachlichen und persönlichen Dingen werden mir immer in positiver Erinnerung bleiben. Auch den Studierenden, die mich im Rahmen studentischer Arbeiten oder als studentische Hilfskräfte unterstützt haben, möchte ich an dieser Stelle danken.

Mein persönlicher Dank gilt meiner Frau Katrin Kuntzky und unseren beiden Kindern, die mich jederzeit unterstütz und ermutigt haben, aber bis zur Fertigstellung dieser Dissertation auch einige Geduld aufbringen mussten. Bei meinen Eltern Erika und Gerhard Kattenstroth möchte ich mich für die Unterstützung in allen Lebenslagen und die Begleitung auf dem Weg zu dieser Promotion ganz herzlich bedanken.



---

## Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                          |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung .....</b>                                                  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Ausgangslage und Problemstellung .....                                   | 1         |
| 1.2      | Zielsetzung und Vorgehensweise .....                                     | 4         |
| <b>2</b> | <b>Stand der Technik und Forschung.....</b>                              | <b>6</b>  |
| 2.1      | Geräte und Werkzeuge für die Bodenbearbeitung .....                      | 6         |
| 2.1.1    | Stand der Technik und aktuelle Entwicklungen bei Streichblechpflügen.... | 11        |
| 2.1.2    | Stand der Technik und aktuelle Entwicklungen bei Grubbern .....          | 14        |
| 2.2      | Ansätze zur Zugkraftreduktion in der Bodenbearbeitung.....               | 19        |
| 2.2.1    | Optimierung der Reibpaarung Werkzeugoberfläche-Boden .....               | 19        |
| 2.2.2    | Einsatz schwingender Bodenbearbeitungswerkzeuge .....                    | 21        |
| 2.2.3    | Weitere Ansätze .....                                                    | 30        |
| 2.2.4    | Bewertung der Ansätze zur Zugkraftreduktion in der Bodenbearbeitung....  | 32        |
| <b>3</b> | <b>Theoretische Grundlagen .....</b>                                     | <b>34</b> |
| 3.1      | Theoretische Grundlagen der Bodenbearbeitung .....                       | 34        |
| 3.1.1    | Bodeneigenschaften .....                                                 | 34        |
| 3.1.2    | Vorgang der Bodenbearbeitung.....                                        | 40        |
| 3.2      | Theoretische Grundlagen zur Reib- und Zugkraftreduktion.....             | 45        |
| 3.3      | Grundlagen zur hochfrequenten Schwingungsanregung .....                  | 55        |
| <b>4</b> | <b>Experimentelle Untersuchungen .....</b>                               | <b>61</b> |
| 4.1      | Vorversuche .....                                                        | 61        |
| 4.2      | Versuchsaufbau .....                                                     | 64        |
| 4.2.1    | Bodenbearbeitungswerkzeug mit Schwingungssystem .....                    | 64        |
| 4.2.2    | Messwagen.....                                                           | 67        |
| 4.3      | Versuchsdurchführung .....                                               | 69        |
| 4.3.1    | Grundsätzlicher Versuchsablauf .....                                     | 69        |
| 4.3.2    | Spezielles Vorgehen bei Versuchen auf der Freifläche .....               | 70        |
| 4.3.3    | Spezielles Vorgehen bei Versuchen in der Bodenrinne.....                 | 71        |
| 4.4      | Versuchsauswertung.....                                                  | 73        |
| 4.4.1    | Auswertung der Zinkenkräfte .....                                        | 73        |
| 4.4.2    | Auswertung der Arbeitsqualität .....                                     | 75        |

|          |                                                                   |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5</b> | <b>Darstellung der Versuchsergebnisse .....</b>                   | <b>77</b>  |
| 5.1      | Ergebnisse zur Zugkraftreduktion .....                            | 77         |
| 5.1.1    | Einfluss der Arbeitsgeschwindigkeit .....                         | 79         |
| 5.1.2    | Einfluss des Bodenwassergehaltes.....                             | 84         |
| 5.1.3    | Einfluss der Arbeitstiefe .....                                   | 85         |
| 5.2      | Ergebnisse zur Arbeitsqualität.....                               | 87         |
| 5.2.1    | Mauersand.....                                                    | 87         |
| 5.2.2    | Mutterboden.....                                                  | 89         |
| 5.2.3    | Kompost.....                                                      | 90         |
| 5.3      | Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse .....                | 91         |
| <b>6</b> | <b>Hinweise für die Praxis.....</b>                               | <b>94</b>  |
| 6.1      | Mögliche Einsatzgebiete und Grenzen der eingesetzten Technik..... | 94         |
| 6.2      | Weiterer Forschungsbedarf.....                                    | 95         |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassung.....</b>                                       | <b>98</b>  |
| <b>8</b> | <b>Literaturverzeichnis.....</b>                                  | <b>100</b> |