



Technische  
Universität  
Braunschweig

INSTITUT FÜR  
mobile Maschinen  
und Nutzfahrzeuge



# Forschungsberichte

**Johannes Bührke**

**Untersuchungen zur Lastverteilung  
auf einem Grubberschar**

Herausgeber:  
Freundes- und Förderkreis des Instituts  
für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge e.V.

Shaker Verlag

# Untersuchungen zur Lastverteilung auf einem Grubberschar

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

zur Erlangung der Würde

eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von: Johannes Bürke  
aus: Gifhorn

eingereicht am: 20.05.2021  
mündliche Prüfung am: 08.12.2021

Gutachter: Prof. Dr. Ludger Frerichs  
Prof. Dr.-Ing. Henning Meyer

2022



Forschungsberichte aus dem  
Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge

**Johannes Bürke**

**Untersuchungen zur Lastverteilung  
auf einem Grubberschar**

Shaker Verlag  
Düren 2022

**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., 2021

Copyright Shaker Verlag 2022

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8413-9

ISSN 2196-7369

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 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 mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig.

Mein Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Professor Frerichs für die Aufnahme an seinem Institut, für sein Vertrauen in die eigenständige Projektbearbeitung und Lehre, für die Chance eigene Erfahrungen zu sammeln und von seiner Erfahrung zu lernen. Herrn Professor Meyer danke ich ganz herzlich für die kritische Prüfung meiner Arbeit und die Übernahme des Mitberichts. Weiterhin danke ich Herrn Professor Henze für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Dem gesamten Kollegium aus Verwaltung und Werkstatt danke ich für die stete Unterstützung bei jeglichen Anliegen und für viele geleistete Arbeitsstunden bei der Entwicklung und dem Aufbau der verwendeten Prüfstände. Bei allen wissenschaftlichen Kolleginnen und Kollegen bedanke ich mich für den regen Wissensaustausch, aber auch für ihre tatkräftige Unterstützung. Insbesondere bedanke ich mich bei meinem Kollegen Florian Schramm, mit dem ich mit viel Koffein und fernfahrerischem Durchhaltevermögen lange Tage mit Experimenten, Simulationen und Dienstreisen füllen und einiges dazulernen durfte. Es hat mir immer viel Freude bereitet, mit euch zu arbeiten und Spaß zu haben.

Ich bedanke mich bei meiner Familie, die mir nicht nur als Unterstützer und Berater immer zur Seite steht, die vor allem aber auch die Wurzeln und Grundlage meines Lebensweges ist. Diese Arbeit widme ich daher meinen Eltern und meinen Großeltern. Meiner jungen Familie, meiner Frau Carina und meiner Tochter Hanna danke ich aus vollem Herzen, da sie mir Grund und Motivation, aber auch eine starke Stütze und eine wertvolle Hilfe bei der Fertigstellung dieser Arbeit waren.

Braunschweig, im Mai 2021

Johannes Bürke



## **Kurzfassung**

Die Entwicklung von Bodenbearbeitungswerkzeugen wird durch ökologische und ökonomische Faktoren wie den Energiebedarf oder den Werkzeugverschleiß vorangetrieben. Hersteller landwirtschaftlicher Bodenbearbeitungsgeräte versuchen, steigende Anforderungen unter anderem durch standortspezifische Verfahren und Geräte zu erfüllen. Bei der Entwicklung und Optimierung von Einzelwerkzeugen werden klassische Methoden zunehmend durch numerische Simulationsverfahren ergänzt.

Die Oberflächen-Interaktion des Bodens mit dem Werkzeug sowie die dabei wirkenden Kräfte und Flusszustände stehen im Fokus dieser Arbeit, da sie die Grundlage für verschiedene weiterführende Fragestellungen darstellen. Das Wissen über die Verteilung der Gesamtwerkzeugkräfte auf der Oberfläche des Werkzeugs ist dabei ein besonderer Gegenstand der Untersuchung.

Die Ermittlung von Gesamtwerkzeugkräften, Oberflächenkräften und des Bodenflusses erfolgt mit experimentellen und simulativen Methoden. Neben dem Einfluss des Prozesses durch die Untersuchung von verschiedenen Bearbeitungstiefen und -geschwindigkeiten, wird insbesondere der Boden in die Untersuchungen miteinbezogen. Kategorisch unterschiedene Bodenzustände erzeugen im Experiment und in der Simulation durch ihre mechanischen Eigenschaften signifikante Unterschiede in ihrer Werkzeuginteraktion.

Der bewertende Vergleich der Simulationsergebnisse mit experimentellen Messdaten zeigt, wie gut sich die verschiedenen Bodenzustände und Prozessparameter abbilden lassen und welche Abweichungen auftreten können.

Der praktische Nutzen einer validen Simulationsmethode wird anhand eines grundlegenden Reibmodells zur Beschreibung der Oberflächenreibung dargestellt. Es wird gezeigt, wie sich diese Oberflächenreibung, als Indikator für den Verschleiß, auf dem Werkzeug zusammensetzt, verteilt und vom Bodenmodell sowie dem Prozess beeinflusst wird.



## **Abstract**

The development of tillage tools is driven by ecological and economic factors, such as energy demand or tool wear. Manufactures of agricultural tillage tools are trying to meet the increasing demands by site-specific equipment and processes. In the development and optimization of tillage tools, classical methods are increasingly extended by numerical simulation.

The surface interaction of the soil with the tool, as well as the forces acting on the tool and the flow states are in the focus of this work, since they are the basis for various advanced investigations. The knowledge about the distribution of the total tool forces on the surface of the tool is a specific object of this study.

The determination of total tool forces, the force distribution on the surface of the tool and the soil flow is done by experimental and simulative methods. In addition to the investigation of different machining depths and speeds, the influence of soils with different mechanical properties is investigated. Categorically distinguished soil conditions produce significant differences in their tool interaction in experiment and simulation due to their mechanical properties.

The evaluation of the simulation results with experimental measurement data shows how suitable the different soil conditions can be represented and which deviations are to be expected.

The practical use of a valid simulation method is demonstrated by means of a basic friction model for the investigation of friction and wear. It is shown how the friction, as an indicator of wear, is composed and distributed on the surface of the tool. It is although shown how the friction is affected by the different soil models and the machining process with different working speeds and depths.



**Inhaltsverzeichnis**

**Formelzeichen..... XIII**

**Abkürzungen und Indizes..... XVI**

**1 Technische Entwicklung von Bodenbearbeitungsgeräten.....1**

**2 Grundlagen und Stand der Forschung .....7**

    2.1 Landtechnische Bodenmechanik .....7

        2.1.1 Kontakt- und Bruchprozesse im Boden.....7

        2.1.2 Experimentelle Untersuchungen von Werkzeugen.....11

    2.2 DEM Simulation der Bodenbearbeitung.....14

        2.2.1 Simulationsmethode und Modelle .....15

        2.2.2 Verfahren zur Modell-Parametrierung .....24

        2.2.3 DEM Anwendung und Validierung.....28

**3 Motivation und Zielsetzung der Arbeit .....37**

    3.1 Wissenschaftliches und technisches Interesse .....37

    3.2 Zielsetzung und Konzept .....38

**4 Eigenschaften und Modelle betrachteter Böden .....41**

    4.1 Kategorisierung und Beschreibung der Bodeneigenschaften.....41

    4.2 Abbildung der Bodenzustände.....47

        4.2.1 Allgemeine Parameter .....48

        4.2.2 Trockener, lockerer Boden .....51

        4.2.3 Feuchter, lockerer Boden.....52

        4.2.4 Verfestigter, spröder Boden.....55

**5 Experimentelle Analyse der Boden-Werkzeug-Interaktion.....59**

    5.1 Werkzeugversuche im Labor und auf der Freifläche .....59

    5.2 Gesamtwerkzeugkräfte des Sensor-Schars .....61

---

5.2.1	Messung von Gesamtwerkzeugkräften .....	62
5.2.2	Materialeinfluss des Bodens .....	63
5.2.3	Prozesseinfluss der Bearbeitung .....	65
5.3	Lastverteilung auf der Werkzeugoberfläche .....	66
5.3.1	Messung von Kräften auf der Werkzeugoberfläche .....	67
5.3.2	Normal- und Schubkräfte .....	69
5.3.3	Analyse der Lastverteilung auf der Werkzeugoberfläche .....	72
5.3.4	Bilanzierung der Oberflächenkräfte .....	76
5.4	Flussverhalten des Bodens um das Werkzeug .....	82
5.4.1	Optische Erfassung des Bodenflusses .....	82
5.4.2	Qualitative Umströmung des Werkzeugs .....	83
5.4.3	Quantitative Auswertung der Anströmhöhe .....	85
<b>6</b>	<b>Ergebnisse und Validierung der DEM Simulation .....</b>	<b>87</b>
6.1	Simulation von Einzelwerkzeugen .....	87
6.2	Gesamtwerkzeugkräfte des Sensor-Schars .....	89
6.3	Lastverteilung auf der Werkzeugoberfläche .....	94
6.4	Flussverhalten des Bodens .....	101
<b>7</b>	<b>Weiterführende Anwendung und Erkenntnisgewinn .....</b>	<b>105</b>
7.1	Berechnung von Reibarbeit und Verschleiß .....	105
7.2	Praktischer Nutzen .....	113
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>117</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>119</b>
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>i</b>