

Ralf Kattenstroth, Hans-Heinrich Harms, Thorsten Lang, Wiebold Wurpts, Jens Twiefel und Jörg Wallaschek

# Reibkraftreduktion mittels Ultraschallanregung in der Bodenbearbeitung

Am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der Technischen Universität Braunschweig werden in Kooperation mit dem Institut für Dynamik und Schwingungen der Leibniz Universität Hannover die Möglichkeiten der Reibkraftreduktion durch den Einsatz von Ultraschallschwingungen in der Bodenbearbeitung untersucht. Der vorliegende Beitrag beschreibt die Gestaltung eines Grubberzinkens mit Ultraschallanregung unter schwingungstechnischen Gesichtspunkten. Die Ergebnisse aus verschiedenen Versuchen zeigen, dass der Zugkraftbedarf eines Grubberzinkens durch den Einsatz von Ultraschallschwingungen deutlich reduziert werden kann. Es zeigt sich aber auch, dass noch Forschungsbedarf besteht, um den Leistungsbedarf des Piezoaktors zur Schwingungserzeugung zu vermindern und die mögliche Arbeitsgeschwindigkeit zu erhöhen.

## Schlüsselwörter

Ultraschall, Bodenbearbeitung, Reibkraftreduktion

## Keywords

Ultrasonic, tillage, friction reduction

## Abstract

Kattenstroth, Ralf; Harms, Hans-Heinrich; Lang, Thorsten; Wurpts, Wiebold; Twiefel, Jens and Wallaschek, Jörg

## Reducing friction in tillage using ultrasonic vibration

Landtechnik 66 (2011), no. 1, pp. 10-13, 4 figures, 4 references

Within a research project at the Institute of Agricultural Machinery and Fluid Power at the Technische Universität Braunschweig in cooperation with the Institute of Dynamics and Vibration Research at the Leibniz Universität in Hannover the possibilities are researched to reduce friction in tillage operations by applying ultrasonic vibration. In this paper the design of a cultivator tine with ultrasonic vibration is described in consideration of its vibrational behaviour. The results of different experiments demonstrate the possibility

to reduce required tractive forces significantly at a cultivator tine by applying ultrasonic oscillation. But furthermore it must be pointed out that there is still further research needed to reduce the energy consumption of the piezoactuator and to increase the possible working speed.

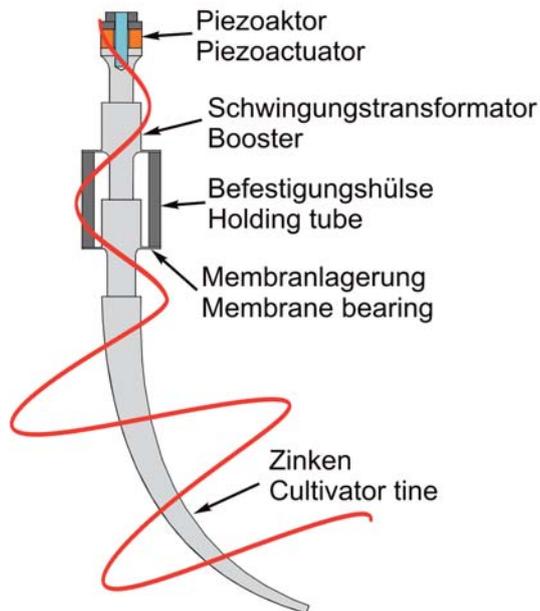
■ Da bei Bodenbearbeitungsgeräten die Zugleistung zu einem großen Teil aus Reibungsvorgängen zwischen Boden und Bearbeitungswerkzeug resultiert, bietet die Reduzierung von Reibkräften einen sinnvollen Ansatz zur Verminderung des Gesamtleistungsbedarfs bei der Bodenbearbeitung. Aus diesem Grund wird in einem ersten Schritt die Möglichkeit zur Reibungsreduktion mittels Ultraschallschwingungen an einem Grubberzinken untersucht.

Entsprechend den theoretischen Grundlagen [1] wird durch die hochfrequente Schwingung des Grubberzinkens der mittlere Reibwert zwischen Grubberzinken und Erdboden reduziert. Dabei wird die Geschwindigkeit der Bodenteilchen, die sich entlang des Zinkens bewegen, durch die Zinkenschwingung überlagert, wodurch sich periodisch die Richtung der Reibkraft umgekehrt. Zeitlich gemittelt führt dies zu einer Reduzierung der Reibkraft zwischen Zinken und Boden.

## Auslegung und Betrieb des Ultraschallzinkens

Um den Grubberzinken in Schwingungen versetzen zu können, wurde im Rahmen des Projektes ein spezieller Versuchszinken entworfen (**Abbildung 1**). Das zentrale Bauteil zur Schwin-

Abb. 1



Schemazeichnung des Ultraschallzinkens mit skizzierter Betriebschwingungsform

Fig. 1: Sketch of the ultrasonic cultivator tine with its oscillation mode

gungserzeugung war der Piezoaktor, welcher über einen elektronischen Spannungsgenerator in Verbindung mit einem Verstärker betrieben wurde [2].

Ausgehend von klassischen Entwurfsprinzipien der Ultraschalltechnik und der üblichen Geometrie eines Grubberzinkens wurde der Ultraschallzinken als Längsschwinger ausgeführt. Um eine möglichst große Schwingungsamplitude und damit hohe Geschwindigkeiten an der Zinkenspitze zu erreichen, waren dem Piezoaktor zur Amplitudenverstärkung zwei Schwingungstransformatoren nachgeschaltet, die gleichzeitig auch die Zinkenlagerung übernahmen.

In umfangreichen dynamischen Analysen wurde der Ultraschallzinken am Institut für Dynamik und Schwingungen in Hannover auf den angestrebten Resonanzbereich von 20 kHz abgestimmt. Entsprechend dem Prinzip der Halbwellensynthese wurden dazu im ersten Schritt die einzelnen Baugruppen separat ausgelegt und erst anschließend als Gesamtsystem betrachtet. Dabei wurde der starke Einfluss der inneren Dämpfung auf das Schwingungsverhalten des Ultraschallzinkens deutlich, sodass bei der konstruktiven Umsetzung Materialien mit hoher Schwinggüte wie Titan und hochfeste Aluminiumlegierungen zum Einsatz kamen. Nach Auswertung erster praktischer Versuche wurde das Schwingungsverhalten des Ultraschallzinkens durch Änderungen an der Zinkengeometrie und den Schwingungstransformatoren weiter optimiert. Die Betriebschwingungsform des Zinkens ist in **Abbildung 1** in roter Farbe eingezeichnet.

Neben der konstruktiven Auslegung des Zinkens ist die elektrische Ansteuerung des Piezoaktors ein weiterer wesent-

licher Punkt für den optimalen Betrieb des Ultraschallzinkens. Da sich während des Betriebes durch den Bodenkontakt am Zinken eine signifikante Verschiebung der Resonanzfrequenzen ergibt, ist eine Nachregelung der Erregerfrequenz unverzichtbar. Für diese Nachregelung wurden im Projektverlauf verschiedene Konzepte erprobt. Dabei stellte sich die Phasen-Null-Regelung als betriebsicherstes Konzept heraus, welche daher für alle im Folgenden dargestellten Versuchsergebnisse eingesetzt wurde.

Bei der Phasen-Null-Regelung besteht das Regelziel in der Phasengleichheit zwischen Strom und Spannung am Piezoaktor. Dazu wird die Frequenz des Anregersignals entsprechend angepasst. Um eine möglichst große Robustheit gegen Lastschwankungen am Zinken zu erreichen, sollte die Regelfrequenz und damit der Zeitraum zur Erfassung der Phase ausreichend lang gewählt werden.

### Versuchsaufbau

Zur Messung der am Ultraschallzinken angreifenden Kräfte wurde am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik ein mobiler Versuchsträger aufgebaut (**Abbildung 2**), mit welchem sowohl Versuche auf dem Acker als auch in einer Bodenrinne durchgeführt werden können. Über einen integrierten Kraftmessrahmen können die am Ultraschallzinken angreifenden

Abb. 2

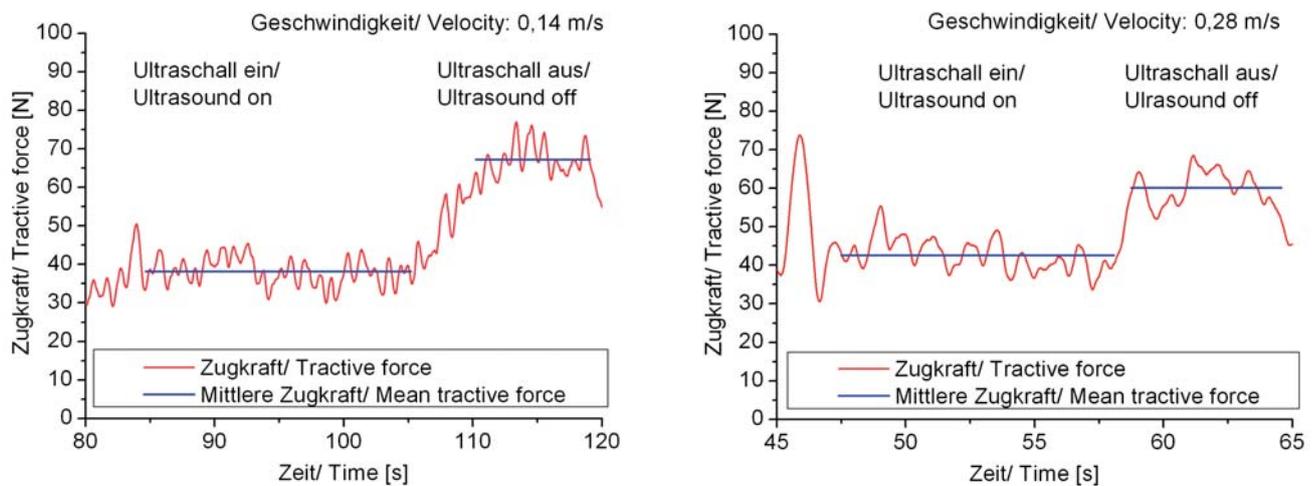


Mobiler Versuchsträger mit Ultraschallzinken und Bodenrinne.

Fotos: TU Braunschweig

Fig. 2: Mobil test rig with ultrasonic cultivator tine and soil bin

Abb. 3



Aufzeichnung der Messergebnisse einer Zugkraftmessung in Mauer sand bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten  
 Fig. 3: Chart of measurement results of tractive force in sandy soil at different velocities

Kräfte in drei Raumrichtungen getrennt voneinander erfasst werden. Die aufgebaute Kabine bietet ausreichenden Platz für die erforderliche Mess- und Steuerungstechnik und zur Überwachung der Versuche [3].

Die Versuche wurden zum einen auf einer lehmigen Ackerfläche und zum anderen in einer Bodenrinne durchgeführt. Für die Versuche konnte die Bodenrinne entweder mit Mauer sand, gesiebttem Mutterboden oder Kompost befüllt werden. Aufgrund der homogenen Bodenbedingungen und der einfachen Veränderungsmöglichkeit des Bodenzustandes wurde die überwiegende Zahl der Versuche in der Bodenrinne mit Mauer sand bei Geschwindigkeiten von 0,01, 0,14 und 0,28 m/s durchgeführt. Die Arbeitstiefe betrug bei den Versuchen entweder 55 oder 110 mm.

**Versuchsergebnisse**

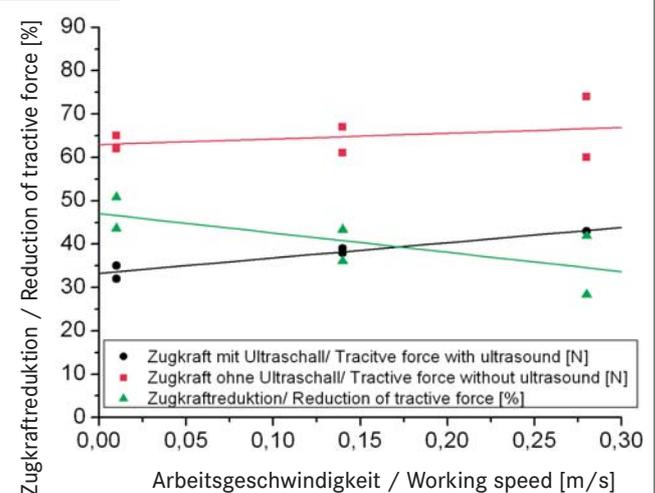
Als Auswahl aus dem Versuchsprogramm sind in **Abbildung 3** echte Messschriebe dargestellt, bei denen die Geschwindigkeit variiert wurde. Die Arbeitstiefe betrug in beiden Versuchen 110 mm und der Bodenwassergehalt 6 %. Jeweils zu Beginn des abgebildeten Messzeitraumes ist anhand der Kraftspitzen das Einschwingerverhalten der Regelung für die Erregerfrequenz zu erkennen. Im eingeschwungenen Zustand ist in beiden Messaufzeichnungen die Reduzierung der Zugkraft durch Ultraschallschwingungen deutlich zu erkennen.

Die dem Piezoaktor zugeführte elektrische Wirkleistung lag bei den Versuchen zwischen 150 und 250 W. Demnach ist diese um ein Vielfaches höher als die eingesparte Zugleistung, was im Wesentlichen auf die ungünstige Abstimmung des Zinkens hinsichtlich der anliegenden Belastung zurückzuführen ist.

Wertet man im nächsten Schritt die zuvor gezeigten Ergebnisse zusammen mit weiteren Messergebnissen aus, dann kann eine Abnahme der prozentualen Zugkraftreduzierung mit steigenden Geschwindigkeiten beobachtet werden. Dieser Zusammenhang ist in **Abbildung 4** dargestellt.

Die eingezeichneten Messpunkte geben in zweifacher Wiederholung die gemittelten Zugkräfte mit und ohne Ultraschall an, woraus die prozentuale Zugkraftreduktion errechnet wurde. Die eingezeichneten Trendlinien dienen ausschließlich der Anschaulichkeit. Aufgrund mangelnder Stützstellen ist keine eindeutige Aussage zum exakten Verlauf der Linien möglich. In Anlehnung an die Zugkraftformel von Gorjatschkin für einen Pflug [4] ist jedoch bei höheren Geschwindigkeiten mit einem exponentiellen Anstieg der jeweiligen Zugkraft zu rechnen. Basierend auf der in [1] beschriebenen Theorie zur Reibkraftreduktion mittels hochfrequenter Schwingungsanregung lässt sich die abnehmende prozentuale Zugkraftreduktion bei Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit erklären. Diese resultiert aus

Abb. 4



Prozentuale Zugkraftreduktion in Abhängigkeit der Arbeitsgeschwindigkeit  
 Fig. 4: Percentage reduction of tractive force depending on the working speed

dem sich verschlechternden Verhältnis zwischen der Geschwindigkeitsamplitude der Zinkenschwingung und der Geschwindigkeit der Bodenteilchen entlang der Zinkenoberfläche.

Mit Blick auf die Arbeitsqualität war bei der Auswertung von Videoaufnahmen deutlich zu erkennen, dass der Boden bei Ultraschallanregung des Zinkens deutlich leichter von der Zinkenoberfläche abgleitet als ohne Ultraschallanregung. Die Tatsache des besseren Abgleitens des Bodens vom Zinken mit Ultraschallanregung konnte bei allen Versuchen beobachtet werden.

### Schlussfolgerungen

Die bisher gewonnenen Versuchsergebnisse zeigen, dass eine signifikante Zugkraftreduzierung an einem Grubberzinken durch den Einsatz von Ultraschallschwingungen erreicht werden kann. Problematisch sind zurzeit jedoch noch der Leistungsbedarf des elektrischen Schwingungsgenerators und die relativ geringen Arbeitsgeschwindigkeiten.

Aus diesen beiden Problemen ergibt sich, dass die Reduzierung des Leistungsbedarfs zur Schwingungserzeugung und die Erhöhung der möglichen Arbeitsgeschwindigkeit für die weitere Arbeit von besonderer Bedeutung sind. Hierfür bietet eine genauere Analyse der vom Boden ausgehenden Belastung und Dämpfung einen vielversprechenden Ansatz. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, den Ultraschallzinken besser auszulegen und zu regeln.

### Literatur

- [1] Kattenstroth, R.; Harms, H.-H.; Wurpts, W.; Twiefel, J. (2010): Reduzierung von Reibkräften durch Ultraschallanregung am Beispiel der Bodenbearbeitung. *Landtechnik* 65(1), S. 42-44
- [2] Kattenstroth, R.; Harms, H.-H.; Wurpts, W.; Twiefel, J. (2009): Reducing friction by ultrasound treatment exemplified by tillage. VDI-MEG Tagung Landtechnik, 06.-07.11.2009, Hannover. In: VDI-Berichte 2060, VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 259-264
- [3] Kattenstroth, R.; Harms, H.-H.; Wurpts, W.; Twiefel, J. (2010): Reducing friction by ultrasonic vibration exemplified by tillage. XVIIth CIGR World Congress 13.-17.06.2010, Quebec City, Kanada
- [4] Gorjatschkin, W. P.: Theorie des Pfluges. Moskau, 1927

### Autoren

**Dipl.-Ing. Ralf Kattenstroth** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der Technischen Universität Braunschweig (Betreuer: **Prof. i.R. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms**, kommissarischer Leiter: **Prof. Dr.-Ing. T. Lang**), Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig, E-Mail: r.kattenstroth@tu-bs.de

**Dipl.-Ing. Wiebold Wurpts** und **Dipl.-Ing. Jens Twiefel** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Dynamik und Schwingungen der Leibniz Universität Hannover (Leiter: **Prof. Dr.-Ing. Jörg Wallaschek**), Appelstraße 11, 30167 Hannover, E-Mail: wurpts@ids.uni-hannover.de, twiefel@ids.uni-hannover.de

### Danksagung

Das vorgestellte Projekt wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziell gefördert und von den Firmen Köckerling, Claas und Weber Hydraulik mit Sachmitteln unterstützt.