

Ralf Kattenstroth, Hans-Heinrich Harms, Wiebold Wurpts und Jens Twiefel

Reduzierung von Reibkräften durch Ultraschallanregung am Beispiel der Bodenbearbeitung

Reibkräfte sind bei der Bodenbearbeitung für einen wesentlichen Teil des Zugkraftbedarfs verantwortlich. Daher ist die Reduzierung von Reibkräften zwischen Bodenteilchen und Bodenbearbeitungswerkzeugen ein sinnvoller Ansatz zur Verminderung des jeweiligen Zugkraftbedarfs. Die Möglichkeiten zur Reibkraftreduktion durch den Einsatz von Ultraschall werden am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der Technischen Universität Braunschweig in einem Kooperationsprojekt mit dem Institut für Dynamik und Schwingungen der Leibniz Universität Hannover erforscht.

Schlüsselwörter

Ultraschall, Bodenbearbeitung, Reibkraftreduktion

Keywords

Ultrasonic, tillage, friction reduction

Abstract

Kattenstroth, Ralf; Harms, Hans-Heinrich; Wurpts, Wiebold and Twiefel, Jens

Reducing friction by ultrasonic vibration exemplified by tillage

Landtechnik 65 (2010), no. 1, pp. 42-44, 5 figures, 3 references

Friction forces account for a significant share of the total power required in several agricultural processes, such as tillage. Therefore a reasonable possibility to lower the power requirement is to reduce these friction forces. The application of ultrasonic technology offers a very promising opportunity to achieve this friction reduction. In cooperation with the Institute of Dynamics and Vibration Research of Leibniz Universität Hannover the Institute of Agricultural Machinery and Fluid Power of the Technische Universität Braunschweig carries out a project to research the possibilities of reducing friction in agricultural machinery by applying ultrasonic vibration to a cultivator tine.

■ Bei der Bodenbearbeitung ist mit steigenden Arbeitsbreiten die aufzubringende Zugleistung des Arbeitsgerätes für den größten Teil der erforderlichen Gesamtleistung verantwortlich [1]. Der Trend zu größeren Arbeitsbreiten stellt die Fahrwerke der Zugtraktoren vor immer größere Herausforderungen, um die erforderlichen Motorleistungen bei geringem Leistungsverlust durch Schlupf auf den Boden zu übertragen. Außerdem ist die Bodenbearbeitung je nach Intensität mit einem hohen Kraftstoffverbrauch der Zugmaschinen verbunden, was die Produktionskosten in die Höhe treibt.

Der Zugkraftbedarf eines Bodenbearbeitungsgerätes resultiert zu einem großen Teil aus Reibungsvorgängen zwischen Boden und Bearbeitungswerkzeug. Aus diesem Grund bietet die Reduzierung dieser Reibkräfte einen sinnvollen Ansatz zur Verminderung des Zugkraftbedarfs.

In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze zur Reduzierung von Reibkräften an Bodenbearbeitungswerkzeugen. Unter anderem hat Eggenmüller in den 50er Jahren Untersuchungen an Bodenbearbeitungsgeräten mit niederfrequenter mechanischer Schwingungsanregung von maximal 50 Hz durchgeführt. Er konnte eine Verringerung des Zugkraftbedarfs um bis zu 80 % nachweisen. Als Nachteil dieses Verfahrens wird die geringe maximale Fahrgeschwindigkeit von weniger als 2 m/s gesehen, die erforderlich ist, um noch positive Effekte hinsichtlich der Reibkraftreduktion zu beobachten. Als Ansatz für höhere Fahrgeschwindigkeiten sieht Eggenmüller eine Steigerung der Schwingungsfrequenz als Lösungsmöglichkeit [2]. Daher besteht die Idee des hier vorgestellten Projektes darin, ein Bodenbearbeitungswerkzeug mit Ultraschall zu einer hochfrequenten Schwingung anzuregen, um auf diese Weise den makroskopischen Reibwert zu reduzieren.

Theoretische Grundlagen

Zur Vereinfachung der theoretischen Grundlagen wird angenommen, dass sich an einem Grubberzinken, der durch den Boden gezogen wird, die Erdteilchen mit einer konstanten Geschwindigkeit v_b bewegen. Dabei werden diese Bodenteilchen mit einer normal zur Bewegungsrichtung wirkenden Kraft F_N auf die Oberfläche des Grubberzinkens gepresst. Bei einem Reibkoeffizienten μ zwischen Bodenteilchen und Grubberzinken ergibt sich somit eine Reibkraft $|F_R| = \mu \cdot F_N$, die entgegen der Geschwindigkeit v_b wirkt.

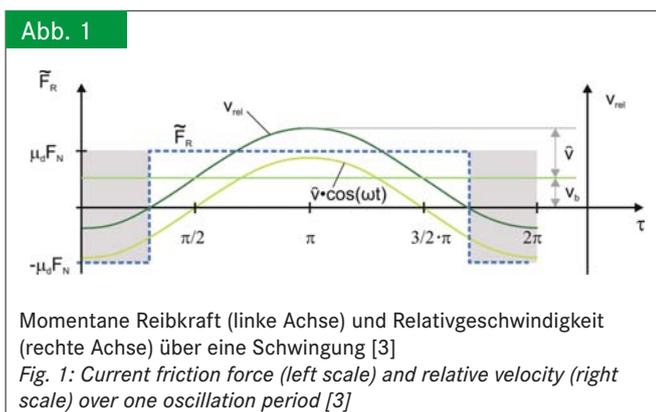
Zur Reibungsreduktion wird der Grubberzinken zur Schwingung mit einer Geschwindigkeit $\tilde{v}(t) = \hat{v} \cos(\omega t)$ angeregt. Dabei liegt die Schwingungsrichtung des Grubberzinkens parallel zur Bewegungsrichtung der Bodenteilchen.

Durch die Überlagerung der beiden Bewegungen ergibt sich eine Relativgeschwindigkeit $v_{rel}(t) = v_b + \hat{v} \cos(\omega t)$, die sich periodisch ändert. Ist die Geschwindigkeitsamplitude $\hat{v} > v_b$, so wechselt v_{rel} periodisch ihr Vorzeichen. Da sich zusammen mit dem periodischen Vorzeichenwechsel der Relativgeschwindigkeit auch die Richtung der Reibkraft periodisch ändert, wirkt diese Reibkraft zwischen Bodenteilchen und Grubberzinken phasenweise antreibend. Der zeitliche Mittelwert der Reibkraft ist mit Ultraschallschwingung geringer als ohne Schwingungsanregung.

In **Abbildung 1** sind die Zusammenhänge zwischen der periodisch wechselnden Geschwindigkeit v_{rel} , die sich aus der Bodenteilchengeschwindigkeit v_b und der überlagerten Schwingung $\hat{v} \cos(\omega t)$ ergibt, und der entsprechenden Reibkraft F_R (blaue Kurve) dargestellt. Die Zeit ist auf $\tau = \omega t$ normiert. Die Bereiche mit antreibender Reibkraft sind zur besseren Übersicht grau hinterlegt.

Versuchsanordnung

Die erforderliche Kraft, um den Grubberzinken in Schwingungen zu versetzen, liefert ein Piezoaktor, der elektrische in mechanische Schwingungsenergie umwandelt. Durch das Aufeinanderstapeln mehrerer ringförmiger Piezoelemente lassen sich die erforderlichen Kräfte und Amplituden am Zinken realisieren. Wie in **Abbildung 2** zu erkennen ist, wird der Piezoaktor am oberen Ende des Zinkens verschraubt. Dies gewährleistet eine möglichst verlustarme Einleitung der Schwingung in den Zinken.



Durch eine geeignete Auslegung der Querschnitte der Schwingungstransformatoren unterhalb des Aktors ist es möglich, die Geschwindigkeitsamplitude der Ultraschallschwingung zu vergrößern. Gleichzeitig wird jedoch die verfügbare Kraft reduziert. Der Ultraschallaktor und die Schwingungstransformatoren sind so ausgelegt, dass der Grubberzinken im unbelasteten Zustand eine Eigenschwingung mit der gewünschten Frequenz von 20 kHz ausführt. Bei der Auslegung wird der freischwingende Zinken betrachtet, da die Berechnung des Grubberzinkens unter Belastung eine im betrachteten Modell nicht abzubildende Komplexität aufweisen würde.

Um eine Übertragung der Ultraschallschwingung auf Rahmenteile zu vermeiden, ist der Grubberzinken über zwei dünne Membranen mit der Befestigungshülse verbunden. Die Anordnung der Membranen liegt jeweils in einem Schwingungsknoten, in denen die Schwingungsamplitude gleich Null ist. An die Transformatoreinheit schließt der Zinkenteil an, der sich im Bodeneingriff befindet. Die elektrische Energie für den Piezoaktor liefert ein Sinusspannungsgenerator.

Zur Beurteilung des Effekts der Reibkraftreduzierung durch Ultraschallschwingung wurde am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik ein Messwagen (**Abbildung 3**) aufgebaut. Dieser ermöglicht es, über einen integrierten Sechs-Komponenten-Kraftmessrahmen die auftretende Kräfte am Grubberzinken mit und ohne Ultraschallanregung in x-, y-, und z-Richtung zu erfassen.

Für die Versuche wird der Messwagen an einen Zugtraktor gekoppelt, der eine stufenlos einstellbare Arbeitsgeschwindigkeit ermöglicht und die Stromversorgung der Messanordnung übernimmt. Der Messwagen selber ist mit einem hydraulisch höhenverstellbaren Fahrwerk ausgestattet. Es ermöglicht zum einen das vollständige Ausheben des Arbeitswerkzeugs am Feldende und zur Strassenfahrt. Zum anderen erlaubt es mit auf die Kolbenstange aufsteckbaren Distanzhülsen eine präzise Einstellung der Arbeitstiefe. Die Messung der Kräfte erfolgt über 6 Kraftmessaufnehmer mit einem Messbereich von jeweils +/- 20 kN bei einer Messgenauigkeit von +/- 40 N. Die Daten

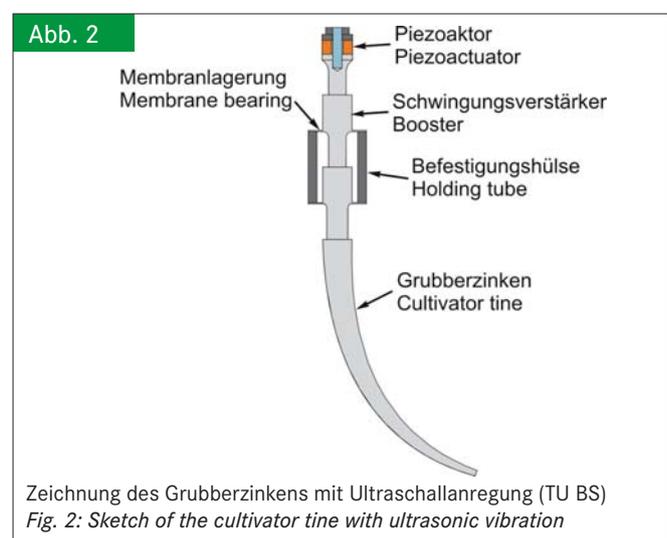
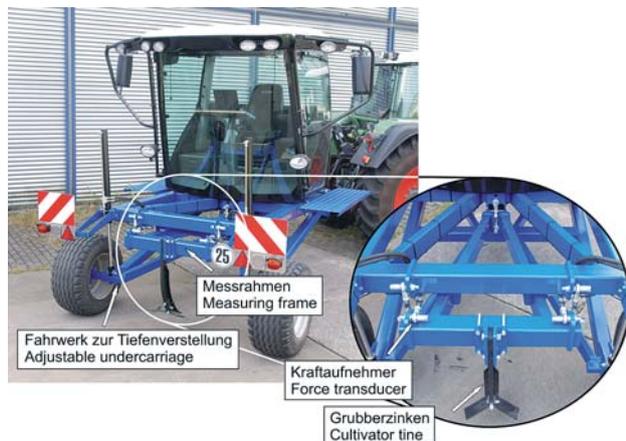
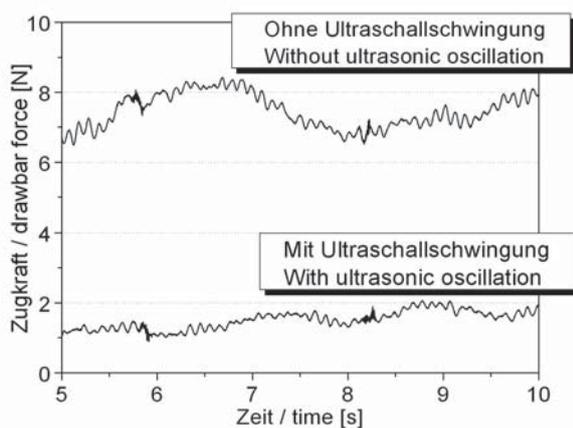


Abb. 3



Mobiler Versuchsträger, am Traktor angehängt. Foto: Kattenstroth
 Fig. 3: Mobile test rig coupled to a tractor

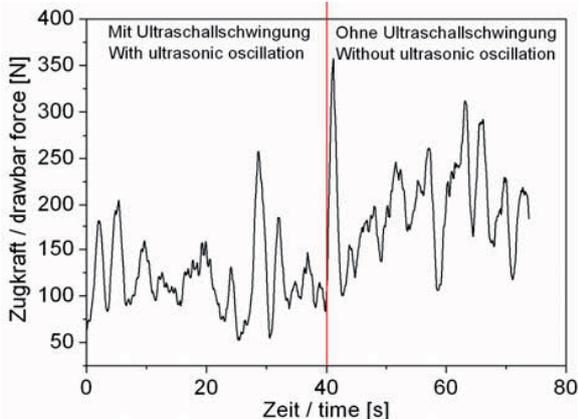
Abb. 4



Verlauf der Zugkraft mit und ohne Ultraschallschwingung, Ergebnisse aus Vorversuchen

Fig. 4: Results of drawbar force with and without ultrasonic vibration from pilot tests

Abb. 5



Verlauf der Zinkenzugkraft mit und ohne Ultraschallschwingung, Ergebnisse erster Versuche mit dem Ultraschallzinken

Fig. 5: Results of drawbar force with and without ultrasonic vibration from first test with the ultrasonic cultivator tine

werden mit Hilfe eines in der Kabine angeordneten Messsystems aufgezeichnet. Die Kabine des Messwagens ermöglicht dem Bediener eine gute Sicht auf die Versuche.

Erste Versuchsergebnisse

Zu Beginn des Forschungsprojektes wurden verschiedene Vorversuche durchgeführt, um das grundsätzliche Potenzial der Reibkraftreduktion bei der Bodenbearbeitung abschätzen zu können. Diese Vorversuche wurden in einem verkleinerten Maßstab mit Hilfe eines Ultraschallmessers durchgeführt, welcher an einer Linearachse durch eine Bodenwanne bewegt wurde. Das Messer wurde dabei 50 mm in den Erdboden abgesenkt. Die Arbeitsgeschwindigkeit betrug 50 mm/s. Die Ergebnisse in **Abbildung 4** zeigen, dass die Zugkräfte mit Ultraschallanregung deutlich geringer sind als ohne Schwingungsanregung. Nach Aufbau des Ultraschallzinkens und des mobilen Versuchsträgers konnten bereits erste Versuche unter realen Bedingungen durchgeführt werden. **Abbildung 5** zeigt die Ergebnisse. Die Versuche wurden auf lehmigem Boden mit einer Geschwindigkeit von 100 mm/s und einer Arbeitstiefe von 50 mm durchgeführt. Der Messschrieb lässt erkennen, dass die Zugkraft mit Ultraschallschwingung niedriger ist als ohne Ultraschallschwingung. Die dargestellten Ergebnisse müssen in einem nächsten Versuchsabschnitt weiter abgesichert werden. Weiterhin ist zu beachten, dass bei den bisherigen Versuchen der Energieeinsatz zur Schwingungserzeugung deutlich größer war als die eingesparte Zugleistung.

Schlussfolgerungen

Aus den ersten Versuchsergebnissen ist der Schluss zu ziehen, dass die Optimierung des Ultraschallzinkens hinsichtlich seines Energiebedarfs den nächsten wichtigen Arbeitsschritt darstellt. Weiterhin sind verschiedene Messreihen bei unterschiedlichen Arbeitsbedingungen durchzuführen, um das Potenzial der Ultraschalltechnik zur Reibkraftreduktion in landtechnischen Prozessen sicher beurteilen zu können.

Literatur

- [1] Seeger, J.: Antriebsstrangstrategien eines Traktors bei schweren Zugarbeiten. Shaker Verlag, Braunschweig, 2001
- [2] Eggenmüller, A.: Feldversuche mit einem schwingenden Pflugkörper. Grundlagen der Landtechnik 8 (1958) H. 10, S. 55-95
- [3] Littmann, W., Storck, H., Wallaschek, J.: Sliding friction in the presence of ultrasonic oscillations: superposition of longitudinal oscillations. Archive of Applied Mechanics, Vol. 71 (2001), No. 8, pp. 549-554

Autoren

Dipl.-Ing. Ralf Kattenstroth ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig (Leiter: **Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms**), 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 wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziell gefördert und von den Firmen Köckerling, Claas und Weber Hydraulik mit Sachmitteln unterstützt.