

Benjamin Heiler, Jörg Morhard, Markus Ströbel und Karlheinz Köller

# Fahrmechanische Eigenschaften einer Stachelwalze im Vergleich zu einem AS-bereiften Rad

Selbstfahrende Mähgeräte oder Geräteträger für Landwirtschaft, Weinbau und Landschaftspflege in Hang- und Steillagen benötigen als Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Boden geeignete Räder, bereift oder unbereift, um eine gute Übertragung von Zug- und Seitenkräften sowie einen geringen Schlupf zu erzielen. Mit einer Einzelradmesseinrichtung wurden Seitenkräfte und Treibschlupf eines Reifens und einer Stachelwalze bei unterschiedlichen Schräglaufwinkeln und begrünten Fahrbahnvarianten ermittelt. Der Median der stationär ermittelten Seitenkräfte der Stachelwalze lag bei allen Varianten über dem des Reifens. Der Treibschlupf beim Reifen hingegen war nur in Zusammenhang mit größeren Schräglaufwinkeln höher als bei der Stachelwalze. Resultierend aus den Ergebnissen können darüber hinaus für Fahrbahnen mit ungemähtem Gras und Grasstoppel günstige Fahrbahneigenschaften bei Fahrten am Hang abgeleitet werden.

## Schlüsselwörter

Stachelwalze, Schräglaufwinkel, Seitenkraft, Hanggeräteträger

## Keywords

Studded roller-wheel, slip angle, lateral force, Implement carrier for steep slopes

## Abstract

Heiler, Benjamin; Morhard, Jörg; Ströbel, Markus and Köller, Karlheinz

Driving-dynamic characteristics of a studded roller-wheel compared to an agricultural tire

Landtechnik 67 (2012), no. 3, pp. 179–183, 6 figures, 1 table, 7 references

Self-propelled mowers or implement carriers for agriculture, viticulture and landscaping on hilly and steep slopes need a good transfer of traction and side forces, as well as low slip, suitable wheels, with tires or without, as an interface between the vehicle and the ground. With a test rig for single wheels, lateral forces and traction slip of a tire and a studded roller-wheel at different slip angles and different leafy tracks were identified. The median of the stationary lateral forces

for the studded roller-wheel was for all variants higher than that of the tire. The slip of the tire, however, was only higher in context of the larger slip angles compared to the studded roller-wheel. As a result of the findings, favorable properties for hillside rides can also be derived for tracks of uncut grass and grass stubble.

■ Mit Optimierungen im Bereich der Rad-Boden-Schnittstelle und weiterer technischer Innovationen kann den Ansprüchen von Landwirtschaft, Weinbau und Landschaftspflege in Hang- und Steillagen begegnet werden. Bereits heute können Hänge bis zu einer Steigung von 100 % befahren werden [1]. Der Einsatz funktferngesteuerter Mähgeräte oder Geräteträger sind aus der modernen Landschaftspflege nicht mehr wegzudenken. Anwendungen in Landwirtschaft und Weinbau folgen.

Die Schnittstelle Fahrzeug-Boden hat über unterschiedliche Rad-Arten einen wesentlichen Einfluss auf die Erhaltung der Vegetationsdecke sowie auf die Arbeitssicherheit und die Wirtschaftlichkeit beim Befahren von Hanglagen [2]. Wichtig für die Kursstabilität bei Hangfahrten, sowohl in Fall- als auch in Schichtlinie, sind Kenntnisse über die Seitenkräfte und über den Treibschlupf von Rädern bei unterschiedlichen Schräglaufwinkeln. Mit der Abnahme der Seitenführung bzw. Querstabilität und mit zunehmendem Schlupf ist darüber hinaus mit einer Schädigung der schützenden Vegetationsdecke zu rechnen [3]. Neben bereiften Rädern mit unterschiedlichen Profilen kommen deshalb, insbesondere bei Einachstraktoren und funktferngesteuerten Geräteträgern, Gitterräder oder Stachelwalzen zum Einsatz. Eine Variante stellt das Stachelrad der



Mobile Einzelradmesseinrichtung bei Messfahrt mit AS-Profilrad (Foto: Morhard)  
 Fig. 1: Test rig for single wheels on test run with small tractor tire



Stachelwalze in mobiler Einzelradmesseinrichtung auf Grasstoppel (Foto: Morhard)  
 Fig. 2: Studded roller-wheel in test rig for single wheels on grass stubble

Firma Maschinen Steiner GmbH dar, bei dem der Zylinder einer Stachelwalze über ein luftbereiftes Rad gezogen und durch Erhöhung des Reifeninnendruckes kraftschlüssig mit diesem verbunden wird [4].

**Material und Methoden**

Im Zuge einer Masterarbeit am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim wurde eine mobile Einzelradmesseinrichtung entwickelt [5], die starr über die Unterlenker mit einem Traktor verbunden ist. Es können Räder mit bis zu 900 mm Durchmesser und 500 mm Breite untersucht werden. Antriebsmoment, Radlast und Schräglaufwinkel des Prüfrades lassen sich in einem konstruktionsbedingt begrenzten Bereich ölhydraulisch verändern (**Abbildung 1**). Durch den verstellbaren Schräglaufwinkel können unter anderem Hangfahrten in Schichtlinie abgebildet werden.

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein luftbereiftes Rad mit AS-Profil (Diagonalreifen; Trelleborg Extra Traction 463) von 12 Zoll Durchmesser, 300 mm Reifenbreite bei 60 % Flankenhöhe und einem Reifeninnendruck von 0,7 bar mit einer Stachelwalze (Brielmaier) mit 506 mm Innendurchmesser, 4 mm Aluminiumgürtel und 41 Stollen, die in drei Reihen symmetrisch angeordnet sind (**Abbildung 2**), verglichen. Um die

Stachelwalze für die Messfahrten in die Prüfeinrichtung einbauen zu können, wurde sie ähnlich dem „Maschinen Steiner“-Stachelrad auf ein luftbereiftes Rad vom Typ Deestone 20 x 10-10, welches zur Gewährleistung der Kraftschlüssigkeit mit 1,1 bar Innendruck beaufschlagt wurde, aufgezogen. Für alle Versuchsfahrten wurde ein konstantes Antriebsmoment von 200 Nm eingestellt. Das Eigengewicht des entkoppelten Parallelogramms an der Einzelradmesseinrichtung beträgt 230 kg woraus sich die Radlast für alle Versuchsfahrten ableiten lässt. Die Fahrgeschwindigkeit betrug für die vorliegenden Varianten 2,5 km/h.

Die Messfahrten wurden mit jeweils 4 Wiederholungen auf einer ebenen Wiesenfläche auf dem Gelände der Versuchsstation für Gartenbau der Universität Hohenheim durchgeführt. Zum Versuchszeitpunkt betrug die durchschnittliche Aufwuchshöhe des Bestandes 40 cm und der Grünmasse-Ertrag 45 dt TM/ha. Der mittlere Wassergehalt des Bodens (Filderlehm) lag bei 17,5 Massenprozent.

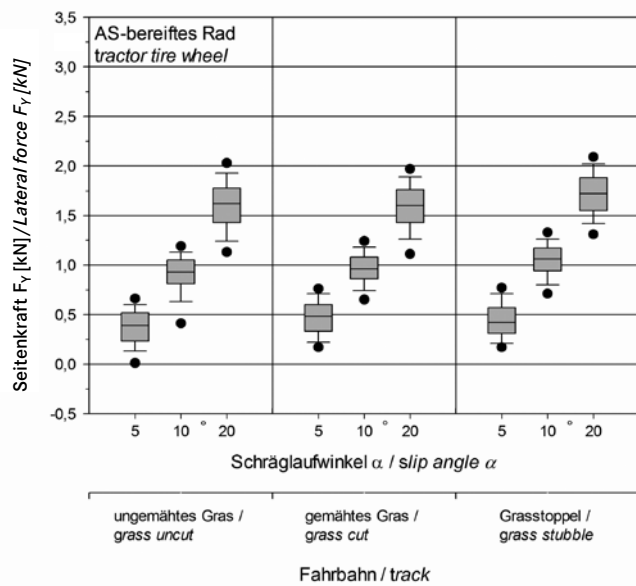
Die untersuchten Fahrbahnvarianten waren: „ungemähtes Gras“, „gemähtes Gras“, wobei das Mähgut als Mulchdecke auf der Fläche verblieben ist, sowie „Grasstoppel“. Die Schnitthöhe betrug 80 mm. Die untersuchten Varianten sind in **Table 1** dargestellt. Die Messfahrten wurden im Anschluss an die

Tab. 1

Übersicht über die dargestellten Varianten  
 Table 1: Overview over the variants shown

Rad Wheel	Radlast FZ [kN] Wheel load FZ [kN]	Antriebs-moment $M_T$ [Nm] Driving torque $M_T$ [Nm]	Fahrbahn Track	Schräglaufwinkel $\alpha$ [°] Slip angle $\alpha$ [°]
Trelleborg Extra Traction (AS) Tractor tire Trelleborg Extra Traction	2,3	200	ungemähtes Gras grass uncut	Seitenkraft $F_Y$ Lateral force $F_Y$ 5/10/20
Brielmaier Stachelwalze auf Deestone 20x10-10 Brielmaier studded-roller wheel on Deestone 20x10-10			gemähtes Gras grass cut	Treibschlupf $i_T$ Slip $i_T$ 0/5/10/20
			Grasstoppel grass stubble	

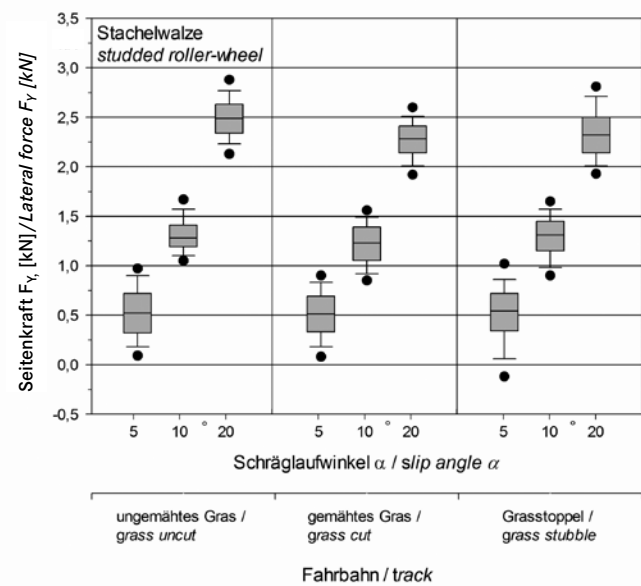
Abb. 3



Seitenkräfte  $F_y$ , AS-Rad bei 3 Schräglaufwinkeln  $\alpha$  und 3 Fahrbahnvarianten

Fig. 3: Lateral force  $F_y$ , tractor tire at 3 slip angles  $\alpha$  and 3 different tracks

Abb. 4



Seitenkräfte  $F_y$ , Stachelwalze bei 3 Schräglaufwinkeln  $\alpha$  und 3 Fahrbahnvarianten

Fig. 4: Lateral force  $F_y$ , studded roller-wheel at 3 slip angles  $\alpha$  and 3 different tracks

Einstellung der Schräglaufwinkel des Messrades durchgeführt (stationäre Messung). Während der Fahrten wurden die am Rad auftretenden Seitenkräfte mittels des in der Messeinrichtung verbauten 6-Komponenten-Kraftmessrahmens erfasst. Der Treibschlupf wurde aus der zurückgelegten Strecke des Messrades und der zurückgelegten Strecke des Schlepprades der Einzelradmesseinrichtung unter Berücksichtigung des Schräglaufwinkels rechnerisch ermittelt [6]. Zur Beurteilung der Grasnarbenschädigung erfolgte im Anschluss an die Messfahrten eine visuelle Bonitur der Grasnarbe.

### Ergebnisse und Diskussion

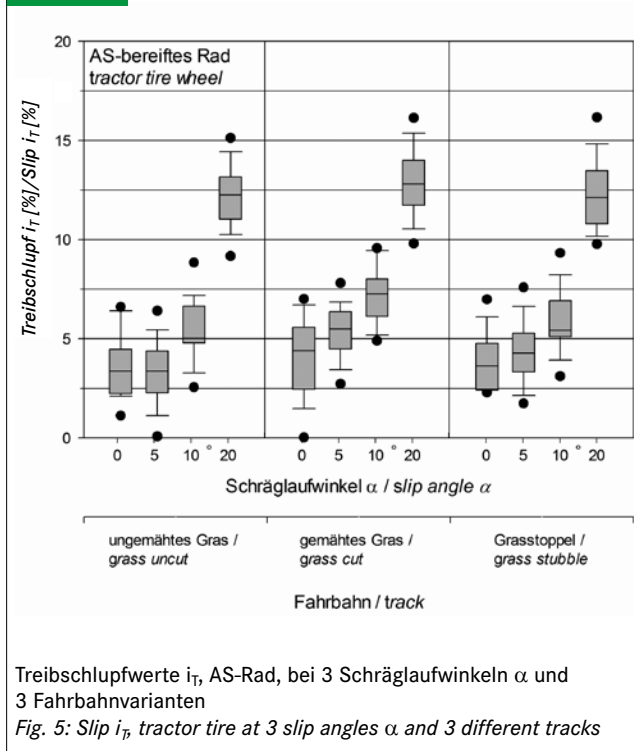
Die Seitenkräfte, bezogen auf das AS-Profilrad und die Stachelwalze, sind in **Abbildung 3** und **Abbildung 4** in Abhängigkeit von den untersuchten Fahrbahnvarianten und Schräglaufwinkeln dargestellt. Die primäre Abszisse (nicht linear) beschreibt die Schräglaufwinkel des Prüfrades, die sekundäre die Fahrbahnvarianten. Auf der Ordinate sind die Seitenkräfte  $F_y$  in kN aufgetragen. Die Box-Whisker-Plots zeigen Median, sowie 10, 25, 75 und 90 % Perzentile einschließlich Ausreißer.

Bei einem Schräglaufwinkel von  $5^\circ$  traten beim AS-Rad auf ungemähtem Gras und Grasstoppel mit durchschnittlich 0,4 kN die geringsten Seitenkräfte auf (**Abbildung 3**). Für Schräglaufwinkel von  $10^\circ$  und  $20^\circ$  wurden in dieser Radvariante höhere Seitenkräfte von 1,0 bzw. 1,6 kN auf geschnittenem Gras und von 1,0 bzw. 1,7 kN auf Grasstoppel gemessen. Durch die Stachelwalze können gegenüber dem AS-Profilrad deutlich höhere Seitenkräfte mit Werten bis über 2,5 kN bei ungemähtem Gras und  $20^\circ$  Schräglaufwinkel übertragen werden (**Abbildung 4**). Mit zunehmendem Schräglaufwinkel von 5 über 10

auf  $20^\circ$  war ein Anstieg der durchschnittlichen Seitenkräfte auf Grasstoppel von 0,5 über 1,3 auf 2,3 kN zu beobachten. Ein Einfluss der untersuchten Fahrbahn war bei der Stachelwalze nicht nachweisbar. Die Werte der Seitenkräfte auf gemähtem Gras und Grasstoppel unterscheiden sich nur gering von den Werten auf aufgewachsenem Bestand. Bei einem Schräglaufwinkel von  $5^\circ$  lagen bei beiden Räderarten die Mittelwerte der Seitenkraft im Bereich von 0,4–0,5 kN. Schräglaufwinkel von  $10^\circ$  und  $20^\circ$  hingegen führten auf den untersuchten Untergrundvarianten zu deutlich größeren Seitenkräften bei der Stachelwalze im Vergleich zum AS-Profilrad. Am größten war die Differenz mit 0,9 kN in der ungemähten Variante bei  $20^\circ$  Schräglaufwinkel.

Die Ergebnisse der Treibschlupfberechnungen sind in **Abbildung 5** und **Abbildung 6** dargestellt. Die grafische Darstellung erfolgte analog zur Seitenkraft. Es zeigte sich, dass bei  $0^\circ$  Schräglaufwinkel, beim AS-Profilrad auf ungemähtem Gras und auf Grasstoppel mit 3,6 % der geringste Treibschlupf  $i_T$  auftrat (**Abbildung 5**). Mit größeren Schräglaufwinkeln kommt es zu einer Zunahme des Schlupfes. Lediglich auf ungemähtem Gras war bis  $5^\circ$  Schräglaufwinkel noch keine Zunahme zu beobachten. Höhere Werte wurden für alle der untersuchten Schräglaufwinkel mit einem Maximum von 18,0 % bei  $20^\circ$  Schräglauf auf gemähtem Gras beobachtet. Auf ungemähtem Gras konnte bei der Stachelwalze bis zu einem Schräglaufwinkel von  $10^\circ$  keine Zunahme des Treibschlupfes nachgewiesen werden (**Abbildung 6**). Die niedrigsten Werte zeigte bei diesen Winkeln die Fahrbahnvariante „Grasstoppel“. Der größte Schlupf trat auf gemähtem Gras auf. Während der Messfahrten wurden in dieser Variante und mit  $20^\circ$  Schräglaufwinkel Werte bis 15,1 %

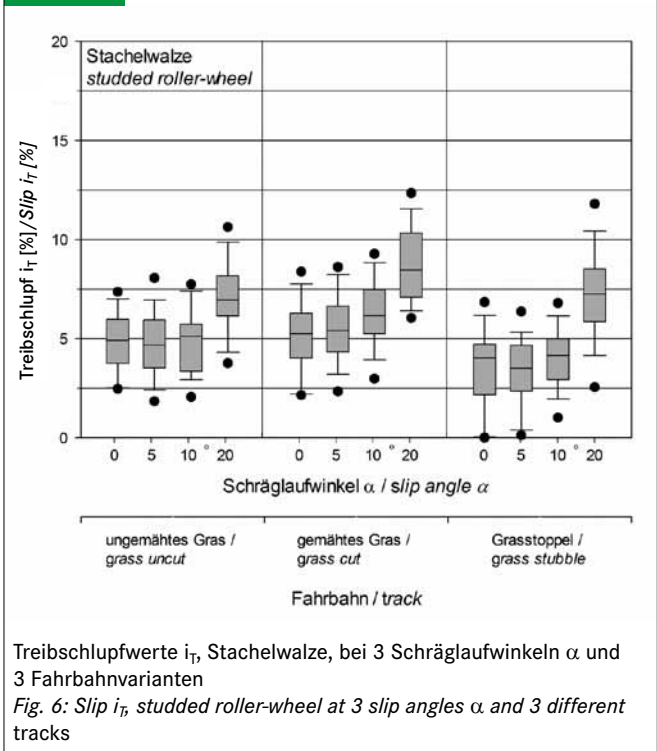
Abb. 5



ermittelt. Bei diesem Schräglaufwinkel bestanden kaum Unterschiede zwischen den Fahrten auf ungemähtem Gras und Grasstoppel. Mit zunehmendem Schräglaufwinkel ist bei der Stachelwalze im Vergleich zum AS-Profilrad eine geringere Zunahme des Treibschlupfes verbunden. Die Treibschlupfwerte der Stachelwalze liegen auf ungemähtem und gemähtem Gras nur bei Schräglaufwinkeln von 0 und 5° über denen des AS-Profilrades. Auf Grasstoppel sowie bei Winkeln von 10 und 20° wurden beim AS-Profilrad höhere Werte beobachtet.

Die Ergebnisse belegen die Beobachtung, dass die Stacheln der Stachelwalze im Gegensatz zu den Stollen des AS-Profilrades sowohl bei stehendem, ungemähtem Gras als auch bei liegendem Mähgut formschlüssig in den Boden eindringen und so im Allgemeinen höhere Seitenkräfte abgestützt werden können. Allerdings resultieren die punktförmigen Kontakte der Stollen bei einem Schräglaufwinkel von 5° zunächst in geringeren Seitenkräften. Die bessere Verzahnung der Stachelwalze auf dem Gras und auf Grasstoppel mit dem Boden ist als Ursache dafür zu sehen, dass der Treibschlupf mit zunehmendem Schräglaufwinkel deutlich langsamer als beim Reifen ansteigt. Die bauartbedingt geringe Stollenhöhe des Reifens hat an diesen Ergebnissen sicherlich einen wesentlichen Anteil. Bei stehendem ungemähtem Gras bildet die Grünmasse eine labile Zwischenschicht, die durch Abscheren und Lösen der Gräser den Rad-Boden-Kontakt des AS-Profilrades negativ beeinflusst und eine Verzahnung des Profils mit dem Boden verhindert. Dieser Effekt wird durch einen harten und trockenen Boden noch verstärkt. Eine Mulchschicht, die aus abgelegtem Mähgut besteht, besitzt darüber hinaus die Wirkung einer Gleitschicht, die durch die Triebkraft bewegt und entgegen der Fahrtrich-

Abb. 6



tung versetzt wird, weshalb tendenziell in der Variante mit gemähtem Gras der höchste Treibschlupf und die niedrigsten Seitenkräfte beobachtet wurden.

In hängigem Gelände bietet eine geschlossene, intakte Grasnarbe den besten Erosionsschutz. Durch eine visuelle Bonitur wurde abschließend die Schädigung der Grasnarbe der überfahrenen Bereiche bewertet. Bei kleinen Schräglaufwinkeln waren bei beiden Rädern kaum Schäden zu beobachten. Bei hohen Treibschlupfwerten und großen Schräglaufwinkeln wurden vor allem beim AS-Profilrad Schäden – meist in Form von Quetschungen und Abscherungen, selten in ausgerissenen Teilen der Grasnarbe – beobachtet. Die Stacheln der Stachelwalze drangen selbst bei den trockenen Bodenverhältnissen während der Messfahrten in den Boden ein und hinterließen besonders auf Grasstoppel kegelstumpfförmige Vertiefungen. Hohe Schräglaufwinkel führten unter den Versuchsbedingungen zum Ausreißen von Teilen der Grasnarbe. Bei feuchter Witterung bzw. höherer Bodenfeuchte können sowohl beim AS-Profilrad als auch bei der Stachelwalze stärkere Schädigungen der Grasnarbe und der Bodenoberfläche nicht ausgeschlossen werden.

### Schlussfolgerungen

Die mit einem luftbereiften Rad kraftschlüssig verbundene Stachelwalze zeigte sich hinsichtlich der gewählten fahrmechanischen Parameter wie Seitenkraft und Treibschlupf dem AS-luftbereiften Rad überlegen. Durch die stationäre Änderung des Schräglaufwinkels kann der Einfluss der weichen Flanken des inneren Rades auf das Ergebnis vernachlässigt werden [8], was die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf starr mit der Antriebsachse verbundene Stachelwalzen gleicher Bauart erlaubt.

Bei großen Schräglaufwinkeln waren die Schädigungen der Grasnarbe durch die Stachelwalze schwerwiegender. Allerdings zeigen die gemessenen Seitenkräfte, dass kleinere Schräglaufwinkel erforderlich sind, um mit dem AS-luftbereiften Rad vergleichbare Werte bei Fahrt in Schichtlinie zu erreichen. Inwieweit das Eindringen der Stacheln zu einer kritischen Schädigung der Vegetationsdecke führt, lässt sich aus den Versuchen nicht ableiten. So ist auch eine positive bestockungsfördernde Wirkung nicht auszuschließen.

Die Messfahrten fanden bei sehr trockenem Boden statt. Deshalb können die Ergebnisse nicht ohne Weiteres auf Böden mit höheren Wassergehalten übertragen werden. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass insbesondere taunasse Bestände die beobachteten Unterschiede zwischen den untersuchten Rädern noch verstärken.

In zukünftigen Arbeiten sollen die Ergebnisse durch Versuche mit einer instationären Änderung des Schräglaufwinkels ergänzt und belegt sowie durch die Untersuchung weiterer Arten von Reifen und Stachelwalzen erweitert werden.

#### Literatur

- [1] Schaffner, R. (2006): Entwicklungstrends in der Bergtechnik und speziell im Bereich der Einachsmäher. Tagung Landtechnik im Alpenraum, FAT-Schriftenreihe Nr. 68, Agroscope FAT Tänikon (Schweiz), 10.–11. Mai 2006, Feldkirch, S. 39–46
- [2] Heine, A. (1985): Reifen für den Einsatz auf Grünland. Landtechnik 40 (4), S. 164–168
- [3] Wolfensberger, U. (2002): Hangbereifung im Vergleich. Tagung Landtechnik im Alpenraum, FAT-Schriftenreihe Nr. 54, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon (Schweiz), 15.–16. Mai 2002, Feldkirch, S. 65–72
- [4] Maschinen Steiner (2005): AT 007 864 U1, Gebrauchsmusterschrift
- [5] Magenau, T.; Morhard, J.; Ströbel, M.; Köller, K.; Hemmerich, F. (2008): Ermittlung wichtiger Parameter im Bereich der Rad-Boden-Schnittstelle mittels eines mobilen Prüfstandes. Tagung LAND.TECHNIK 2008, VDI-MEG, 25.–26.09.2008, Stuttgart-Hohenheim, S. 433–438
- [6] Armbruster, K. (1991): Untersuchung der Kräfte an schrägläufigen angetriebenen Ackerschlepperrädern. Dissertation, Universität Stuttgart, VDI-Verlag Düsseldorf, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 14, Nr. 53
- [7] Barreilmeyer, Th. (1996): Untersuchung der Kräfte an gelenkten und angetriebenen Ackerschlepperrädern bei Gelände- und Straßenfahrt. Dissertation, Universität Stuttgart, VDI-Verlag Düsseldorf, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 14, Nr. 79

#### Autoren

**B. sc. Benjamin Heiler** ist Masterstudent, **Dr. sc. agr. Jörg Morhard** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, **Markus Ströbel** ist technischer Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Fachgebiet Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion (Leitung: **Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Karlheinz Köller**), Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart, E-Mail: joerg.morhard@uni-hohenheim.de

#### Danksagung

Das Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim dankt dem Fördererkreis Landschafts- und Sportplatzbauliche Forschung e.V. für die finanzielle Unterstützung bei der Erstellung der Einzelrad-Messeinrichtung, der Brielmaier Motormäher GmbH, Friedrichshafen, für die kostenlose Bereitstellung des Stachelwalzenzylinders und der KommTek Intelligente Lösungen GmbH, Möckmühl für die kostenlose Bereitstellung der Reifen.