

Reifen - Reifen/Boden-Verhalten

Alexander Bürger, Heinz Dieter Kutzbach und Stefan Böttinger
Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim, Stuttgart

Kurzfassung

Die unterschiedlichen Anforderungen an landwirtschaftlich genutzte Reifen, wie effiziente Kraftübertragung bei Feld- und Transportarbeit, Bodenschonung und Fahrkomfort, werden sowohl durch innovative Konstruktionslösungen als auch durch den zunehmenden Einsatz zusätzlicher Einrichtungen wie Reifendruckregelanlagen erfüllt. Zur computergestützten Modellierung von Reifen sind je nach Anforderung Reifenmodelle mit unterschiedlicher Detaillierungstiefe verfügbar. Zur effizienten Nutzung dieser Modelle müssen Reifendaten und -kennlinien zunehmend standardisiert und verfügbar gemacht werden.

Schlüsselwörter

Ackerschlepperreifen, Reifenkennlinien, Reifenmodelle, Bodenverdichtung

Tyres - Tyre-Soil-Interaction

Alexander Bürger, Heinz Dieter Kutzbach and Stefan Böttinger
Institute for Agricultural Engineering, University of Hohenheim, Stuttgart

Abstract

Different requirements for agricultural tyres like efficient traction force transmission during field work and transportation, soil protection and driving comfort are met by both innovative designs and an increasing usage of additional equipment like tyre pressure controls. For the computer-aided modelling of tyres, differently detailed tyre models are available according to the requirements. For the efficient usage of these models tyre data and characteristic curves must be increasingly standardised and made available.

Keywords

Farm tractor tyres, tyre performance, tyre modelling, soil compaction

Neue Reifenentwicklungen

Es existieren verschiedene Treiber bei der Entwicklung landwirtschaftlich genutzter Reifen. Steigende Motorleistungen von Ackerschleppern und selbstfahrenden Erntemaschinen müssen mit hohem Wirkungsgrad auf den Boden übertragen werden, um die Effizienz der Gesamtmaschine zu optimieren. Neben einer optimierten Kraftübertragung zwischen Reifen und Boden spielt auch der Einfluss des Reifens auf den Fahrkomfort eine immer bedeutendere Rolle. Dabei stellen die Feldarbeit bei geringen Geschwindigkeiten (bis ca. 20 km/h) am einen Ende des Einsatzspektrums sowie die Transportfahrt bei hohen Geschwindigkeiten (bis 60 km/h) unterschiedliche Anforderungen an den Reifen.

Michelin stellt auf der SIMA 2017 in Paris mit dem EvoBib einen "2-in-1"-Reifen der Größe VF 710/70 R42 vor und wird dafür mit einer Goldmedaille ausgezeichnet [1], **Bild 1**. Bei Transportfahrt und hohem Reifeninnendruck rollt der in Radialbauweise aufgebaute Reifen mit einer kleinen Aufstandsfläche über das innere Stollenprofil ab. Zur Reduzierung der reifen-induzierten Schwingungen in das Fahrzeug besitzt er außerdem blockförmige Stollenprofilelemente zwischen den Traktionsstollen in der Radmittelebene, bekannt von Kommunalreifen. Zur Feldarbeit wird der Reifeninnendruck reduziert. Dabei erhöht sich auf der einen Seite die Aufstandsfläche im Vergleich zu einem IF-Standardreifen um 20 % [1], wodurch sich der mittlere Bodendruck verringert. Zusätzlich greifen zur Verbesserung der Traktion weitere Stollen am Außenrand der Lauffläche in den Boden ein.



Bild 1: "2 in 1"-Reifen Michelin EvoBib [1].

Figure 1: "2 in 1"-tyre Michelin EvoBib [1].

Bei selbstfahrenden Erntemaschinen wie Mähdreschern und Rübenrodern sowie bei Überladewagen oder Pflanzenschutzspritzen schwanken die statischen Radlasten im Betrieb bis zum doppelten der statischen Radlast im leeren Zustand der Maschine. Bei Standardreifen ist für diese hohen Radlasten ein hoher Reifeninnendruck notwendig, der sich nachteilig auf die Bodenverdichtung auswirkt. Hersteller bieten zunehmend mit CHO (Cyclic Harvesting Operation) gekennzeichnete Reifen an [2]. Diese ermöglichen höhere Traglasten bei geringeren Reifeninnendruck im Vergleich zu Standardreifen. Erreicht wird diese Eigenschaft durch flexible Reifenflanken - vergleichbar mit denen von IF- und VF-Reifen - sowie einem Stahlgürtel. Ebenfalls für den Einsatz unter zyklischen Belastungen wurde von

Trelleborg und AGCO Fendt mit dem VIP-System (Variable Inflation Pressure) ein intelligentes und autonomes Komplettrad entwickelt [3]. Dieses besteht aus Sensoren zur Erfassung des Fahr- und Belastungszustandes sowie einer eigenständigen Regeleinrichtung für den Reifeninnendruck. Durch eine selbstständige Anpassung des Reifeninnendruckes im Betrieb werden Bodenverdichtungen durch den Reifen minimiert. Das Konzept wird ebenfalls mit dem SIMA-Innovationsaward in Gold ausgezeichnet [3].

Übergreifend werden im landwirtschaftlichen Bereich vermehrt Reifen mit Radialbauweise und Stahlgürtel eingesetzt [2; 4]. Diese weisen im Vergleich zu Reifen mit Textilgürtel höhere zulässige Traglasten auf. Die gesteigerte Steifigkeit wirkt sich bei Transportfahrt zusätzlich positiv auf die Fahrsicherheit des Fahrzeuges aus. Durch eine Verschiebung des Eigenschwingverhaltens zu höheren Eigenfrequenzen lässt sich außerdem der Fahrkomfort vor allem bei höheren Geschwindigkeiten verbessern.

Reifenkennlinien

Reifenkennlinien wie die Triebkraft-Schlupf- und Wirkungsgrad-Schlupf-Kurve werden seit vielen Jahrzehnten gemessen und im einfachsten Fall durch natürliche Exponentialfunktionen nachgebildet. Während Schreiber [5] die etwa 850 Einzelmessungen von Steinkampf für sein Triebkraft-Schlupf Vorhersagemodell nutzt, fassen Vahedifard, Mason et al. [6; 7] etwa 5000 Messungen auf Sand aus den Jahren von 1962 bis 1995 in den VTI Gleichungen (Vehicle/Terrain Interface) zusammen und stellen Verbindungen zu DROVE (Database Record for Off-Road Vehicle Environments) her.

Triebkraft und Rollwiderstand von großen Ackerschlepperreifen gegenüber fester Fahrbahn lassen sich im Labor u.a. mit dem Dresdener Reifenprüfstand [8] bestimmen. Bei der Triebkraftmessung wird die Bodenplatte unter dem feststehenden, belasteten Reifen mit einem im Latsch gleichmäßigen Schlupf weggezogen, bei der Rollwiderstandsmessung kann der Reifen auf der bewegten Bodenplatte abrollen.

Triebkraft und Rollwiderstand werden außer durch die Reifenparameter (Durchmesser, Breite, Innendruck, Konstruktion) ganz wesentlich von den Bodenparametern geprägt. An der Zusammenstellung von Messverfahren und typischen Bodenwerten wird in einem ISTVS-Forschungsvorhaben gearbeitet [9]. Wieder, Shoop und Barna [10] vergleichen verschiedene Messverfahren (Lightweight Deflectometer, Dynamic Cone Penetrometer, Cone Penetrometer und Clegg Impact Hammer) zur Berechnung und Vorhersage der Bodeneigenschaften. Aktuelle Messungen zur Zugkraftentwicklung großer Ackerschlepper auf einem sehr tragfähigen, festen Lehmboden (15 % Sand, 45 % Schluff, 40 % Ton) zeigen hervorragende Werte für Zugleistung und Wirkungsgrad [11]. Die Ackerschlepper mit Einsatzgewichten von 18 bis 27 t und Maximalmotorleistungen von 300 bis 500 kW waren mit Vollraupen, 4 bzw. 2 Halbraupen bzw. Radlaufwerken ausgerüstet. Bei einem Schlupf von 6 bis 7 % bei den Raupen und bis 12 % bei den Radschleppern entwickelten die Ackerschlepper bei einer Fahrgeschwindigkeit von 4 km/h Triebkraftbeiwerte von 0,6 bis 0,72 und bei 8 km/h überraschend hohe Wirkungsgrade von 62 bis 72 %, einschließlich der Getriebeverluste. Die Messungen wurden in einem stationären Zustand von Ackerschlepper und Belastungseinrichtung, einem tiefenverstellbaren, sehr breiten Grubber durchgeführt. Oft

werden Zugkraftmessungen und auch Schräglaufmessungen mit sich stetig änderndem Schlupf bzw. Schräglauf durchgeführt (instationäre Messung), um Versuchszeit bzw. Versuchsfläche zu sparen. Dabei wird oft nicht berücksichtigt, dass die Änderungsgeschwindigkeit von Schlupf bzw. Schräglauf erheblichen Einfluss auf die Kennlinien haben kann. Zugkraft bzw. Seitenkraft steigen deutlich verzögert mit Schlupf bzw. Schräglauf an [12 bis 14].

Ein neues Verfahren zur Bestimmung von Schlupf und Schräglauf wird von Els und Mitarbeitern entwickelt und in Zusammenarbeit mit Shoop und Mitarbeitern im praktischen Einsatz untersucht [15 bis 17]. Bei diesem digitalen Stereobildverarbeitungs- und Korrelationssystem (DIC, Digital Image Correlation) werden Boden und Reifen in der Aufstandsfläche seitlich mit einfachen Stereokameras gefilmt und über Bildverarbeitung markante Punkte verfolgt. Daraus lassen sich dann Schlupf und Schräglauf berechnen.

Mit einem entsprechenden Stereokamerasystem lässt sich auch die Reifendeformation in der Aufstandsfläche bestimmen. Ein gegenüber dem Vorjahr verbessertes System haben Guthrie et al. [18] vorgestellt. Das Kamerasystem ist im Reifeninneren eingebaut und durch eine äußere Führung stabilisiert, **Bild 2**. Zusammen mit einem 6-Komponenten-Raddynamometer, Radwinkel- und Raddrehzahlsensor können wichtige Kenngrößen im dynamischen Einsatz bestimmt werden. Es wird nur die Aufstandsfläche abgetastet; die gesamte Verschiebung des elastischen Reifens gegenüber der Felge nach oben, wie mit einem Lasersensor von Schlotter [19] gemessen, wird nicht erfasst.

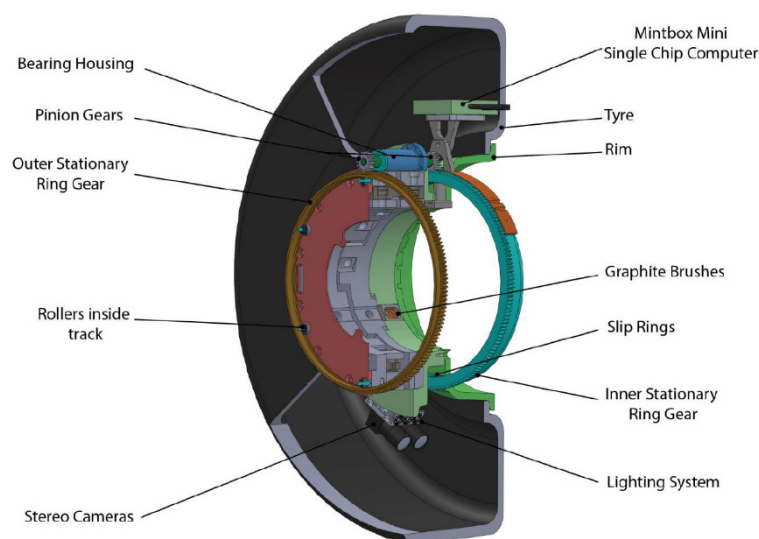


Bild 2: Konstruktiver Aufbau zur Messung der Reifendeformation in der Aufstandsfläche [18].

Figure 2: Constructive design for the measurement of the tyre deformation in the contact patch [18].

Reifenmodelle

Das im Jahrbuch 2014 vorgestellte, von Witzel [20] zum Speichenmodell weiterentwickelte Hohenheimer Reifenmodell für großvolumige Ackerschlepperreifen spiegelt auch unter schwierigen Einsatzbedingungen das tatsächliche Reifenverhalten gut wider. Bürger et al. [21; 22] haben das Verhalten des Modells beim Überfahren von Hindernissen und das

daraus folgende Seitenkraftverhalten mit früheren Versuchsergebnissen an einem Reifen 520/70 R34 verglichen und eine sehr gute Übereinstimmung im Vertikalkraft- und Seitenkraftverhalten festgestellt. Aufgrund des verzögerten Kraftaufbaus bei dynamischer Belastung verringert sich die übertragbare Seitenkraft gegenüber der statischen Belastung. Am Beispiel eines Feldhäckslers wird von Bollwerk [23] gezeigt, dass die Güte des Reifenmodells wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse der Fahrzeugsimulation hat. Ein doppelter Spurwechsel ließ sich mit dem Reifenmodell TMeasy bis auf einen kleinen Zeitversatz sowohl für die Radlast als auch die Querbeschleunigung gut nachbilden.

Mit einem 2D-FE-DEM Modell für einen kleinen Pkw-Reifen 165/60 R13 auf einem trockenen Sand konnten Nishiyama et al. [24] Normal- und Tangentialspannung am Reifen und damit Umfangskraft, Triebkraft und Rollwiderstand berechnen. Das Modell zeigt auch eine Verschiebung der Normalspannung mit zunehmendem Schlupf hin zu kleineren Einlaufwinkeln, also nach vorne, **Bild 3**. Daraus folgt eine Verschiebung des Angriffspunktes der Radlast nach vorne, d.h. der Hebelarm der Radlast wird mit zunehmender Triebkraft größer.

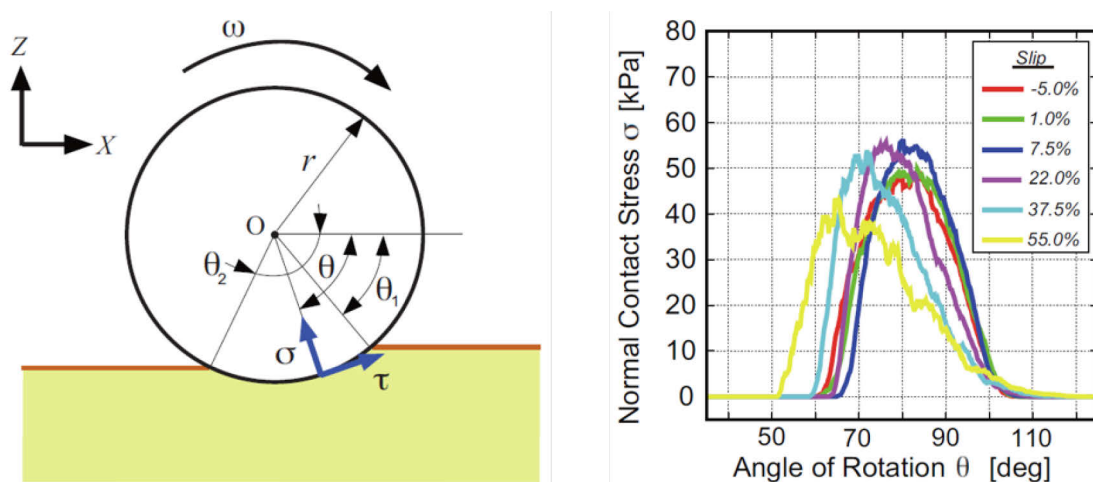


Bild 3: Verschiebung des Angriffspunktes der Radlast mit zunehmendem Schlupf nach vorne [24].

Figure 3: Displacement of the point of application of the wheel load for increasing slip to the front [24].

Bodenverdichtung

Zur Messung des Bodendrucks zwischen Reifen und starrer Fahrbahn ist die Aufstandsfläche des Dresdener Reifenprüfstands mit einer Reihe von 12 Drucksensoren versehen [8]. Durch Anheben des Reifens und geringfügiges Verdrehen kann die Druckverteilung in der gesamten Aufstandsfläche ermittelt werden. Über eine dem Bodentyp, der Feuchte und dem Lockerungszustand entsprechenden Druckcharakteristik lassen sich Bodenverdichtung und Ertragsminderung abschätzen.

Mit den in Kiel von Horn entwickelten Sensoren zur Messung des Bodenspannungszustandes (SST, Stress State Transducer) wurden von Tekeste, Way et al. [25] Spannungsmessungen im Boden zur Bestimmung der Bodenverdichtung durchgeführt. Dabei wurden Zwillingsreifen IF 420/85 R34 vorne und IF 480/80 R50 hinten eingesetzt und

auch Penetrometer-Werte bestimmt. Durch den geringeren Reifeninnendruck im Feldeinsatz gegenüber dem Reifeninnendruck bei Straßenfahrt konnten Bodenspannungen und Bodenverdichtung vermindert werden.

Fachtagungen

Auf der 8. Amerikanischen Konferenz der ISTVS (International Society of Terrain Vehicle Systems) vom 12.-14. September 2016 in Detroit wurden bisher erreichte Fortschritte vor allem im Bereich der Rad-Boden-Modelle konsolidiert [26]. Auch für das auf fast allen ISTVS-Konferenzen präsentierte NRMM (Nato Reference Mobility Model) wurde eine Überarbeitung in Hinblick auf Vereinheitlichung und ein Upgrade auf die Version 3.0 angekündigt. Sehr interessant und sehr gut organisiert war die Führung durch das U.S. Army Tank Automotive Research Development and Engineering Center (TARDEC) im nahen Warren. Hier hatte früher auch Janosi gearbeitet, der, obwohl seit langem im Ruhestand, ebenfalls zur Tagung erschienen war. Verschiedene Beiträge dokumentierten die gute Zusammenarbeit zwischen der University of Pretoria, South Africa, Virginia Tech, USA und dem Cold Regions Research and Engineering Laboratory, USA.

Auf der 74. Internationalen Tagung Landtechnik am 22. und 23. November 2016 in Köln [27] wurden aktuell genutzte Messeinrichtungen für Reifen vorgestellt sowie Reifenmodelle validiert und Rahmenbedingungen für ihren Einsatz im Entwicklungsprozess von Landmaschinen diskutiert.

Zusammenfassung

Das Verlangen nach steigender Effizienz prägt maßgeblich die Entwicklung landwirtschaftlich genutzter Reifen. Innovative konstruktive Lösungen sowie der zunehmende Einsatz von Reifendruckregelanlagen in Verbindung mit tragfähigeren und flexibleren Reifen führen zu einer Optimierung der Kraftübertragung und der Bodenschonung bei Feldarbeit sowie des Fahrkomforts bei Transportarbeiten. Bei der Entwicklung von Ackerschleppern und Erntemaschinen vermehrt eingesetzte Reifenmodelle sind bezüglich ihrer jeweiligen Einsatzbereiche hoch entwickelt. Die Datenbasis zur Parametrierung dieser Modelle ist jedoch nicht einheitlich. Eine Standardisierung der Reifen- und Bodendaten und -parameter auf der einen Seite sowie der erforderlichen Messungen auf der anderen Seite wird zu einem effizienteren Einsatz von Reifenmodellen im Entwicklungsprozess führen.

Literatur

- [1] -, -: Michelin Landwirtschaft wird für die bahnbrechende "2 in 1"-Technologie mit der Goldmedaille ausgezeichnet. Michelin Reifenwerke AG & Co. KGaA, <http://landwirtschaft.michelin.de/de/Was-gibt-es-Neues/Aktuelles/Michelin-Landwirtschaft-schafft-mit-der-neuen-2-in-1-Reifenstruktur-die-ihre-Form-an-den-Einsatzbereich-Strasse-oder-Feld-anpasst-Raum-fuer-Innovationen>, 28.11.2016.
- [2] Brockmann, A.: Mitas: Neue Größen des Mitas CHO. Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, <http://www.agrarheute.com/traction/news/mitas-neue-groessen-mitas-cho>, 01.12.2016.
- [3] -, -: Trelleborg gewinnt den prestigeträchtigen SIMA-Innovationsaward in Gold. Trelleborg Group. <http://www.trelleborg.com/de/wheels/medien--und--events/landwirtschafts--und--forstreifen/pressebereich/trelleborg--receives--prestigious--sima--innovation--award--gold--medal>, 24.11.2016.
- [4] Arnold, L.: Mitas bei EIMA mit viel Neuem. Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, <http://www.agrarheute.com/agrartechnik/news/mitas-eima-viel-neuem>, 02.11.2016.
- [5] Schreiber, M.: Kraftstoffverbrauch beim Einsatz von Ackerschleppern im besonderen Hinblick auf CO₂-Emissionen. Dissertation Universität Hohenheim, 2006. Aachen: Shaker Verlag 2006.
- [6] Vahedifard, F., J.D. Robinson, G.L. Mason, I.L. Howard und J.D. Priddy: Mobility algorithm evaluation using a consolidated database developed for wheeled vehicles operating on dry sands. Journal of Terramechanics 63 (2016), S. 13 – 22.
- [7] Vahedifard, F., J.M. Williams, G.L. Mason, I.L. Howard und J.D. Priddy: An Introduction to DROVE: Database Records for Off-Road Vehicle Environments. Proceedings of the 8th Americas Regional Conference of International Society for Terrain-Vehicle Systems, 12.-14. September 2016, Troy, USA.
- [8] Döll, H. und T. Herlitzius: Dresdener Reifenprüfstand - Basis für Beratung und Entwicklung von Energie- und Fahrwerksmodulen. VDI-MEG Tagung Landtechnik, 22./23.11.2016, Köln, VDI-Berichte Nr. 2273, 2016, S. 453 -462.
- [9] He, R., A.G. Guthrie, C. Sandu und P.S. Els: A Technical Survey on Equipment and Techniques for Testing and Parameterization of Soft Soil for Vehicular Applications. Proceedings of the 8th Americas Regional Conference of International Society for Terrain-Vehicle Systems, 12.-14. September 2016, Troy, USA.
- [10] Wieder, W., S. Shoop und L. Barna: Comparison of Soil Strength Measurements of Agricultural Soils in Nebraska. Proceedings of the 8th Americas Regional Conference of International Society for Terrain-Vehicle Systems, 12.-14. September 2016, Troy, USA.
- [11] Wilmer, H.: 6 Acker-Giganten im Vergleich. profi 28 (2016) H. 12, S. 12-21.
- [12] Heine, A.: Experimenteller Beitrag zum Schräglauf- und Lenkmomentverhalten

- rollender Reifen landwirtschaftlicher Fahrzeuge auf starrer und nachgiebiger Fahrbahn. Dissertation Universität Stuttgart, 1991, Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Nr. 199.
- [13] Barreilmeyer, T.: Untersuchung der Kräfte an gelenkten und angetriebenen Ackerschlepperrädern bei Gelände- und Straßenfahrt. Dissertation Universität Stuttgart, 1996, Fortschritt-Berichte VDI Reihe 14, Nr. 79. Düsseldorf: VDI-Verlag 1996.
- [14] Schlotter, V.: Einfluss dynamischer Radlastschwankungen und Schräglaufwinkeländerungen auf die horizontale Kraftübertragung von Ackerschlepperreifen. Dissertation Universität Stuttgart, 2006, Forschungsbericht Agrartechnik Nr. 437. Aachen: Shaker Verlag 2006.
- [15] Botha, T., S. Els, S. Shoop, G. Guthrie, A. Sopher: Tire Slip and Slip Angle Measurement in Snow and Mud Using Stereo Imaging System. Proceedings of the 8th Americas Regional Conference of International Society for Terrain-Vehicle Systems, 12.-14. September 2016, Troy, USA.
- [16] Botha, T., S. Els, S. Shoop, C. Becker und A. Sopher: Three-Dimensional Rut Profile Measurement in Snow. Proceedings of the 8th Americas Regional Conference of International Society for Terrain-Vehicle Systems, 12.-14. September 2016, Troy, USA.
- [17] Shoop, S., S. Els, C. Becker, T. Botha und A. Sopher: Evaluation of Digital Image Correlation Technique for Off-Road Mobility in All-Season Conditions. Proceedings of the 8th Americas Regional Conference of International Society for Terrain-Vehicle Systems, 12.-14. September 2016, Troy, USA.
- [18] Guthrie, G., T. Botha, C. Becker, S. Els, A. Sopher und S. Shoop: Measurement of Tire Carcass inside Deformation. Proceedings of the 8th Americas Regional Conference of International Society for Terrain-Vehicle Systems, 12.-14. September 2016, Troy, USA.
- [19] Schlotter, V. und H. D. Kutzbach: Innenkontur eines Traktorreifens auf festem und nachgiebigem Boden. Agrartechnische Forschung 7 (2001) H. 1, S. 23-27.
- [20] Witzel, P.: Ein validiertes Reifenmodell zur Simulation des fahrdynamischen und fahrkomfortrelevanten Verhaltens von Ackerschleppern bei Hindernisüberfahrt. Dissertation Universität Stuttgart, 2015. Aachen: Shaker Verlag 2015.
- [21] Bürger, A., S. Böttinger und H. D. Kutzbach: The Effect of Obstacle Induced Wheel Load Fluctuations on the Lateral Force Transmission with the Hohenheim Tyre Model. Proceedings of the 8th Americas Regional Conference of International Society for Terrain-Vehicle Systems, 12.-14. September 2016, Troy, USA.
- [22] Bürger, A., S. Böttinger und P. Witzel: Simulation von Radlastschwankungen und deren Einfluss auf die Querkraftübertragung im Reifenlatsch. VDI-MEG Tagung Landtechnik, 22./23.11.2016, Köln, VDI-Berichte Nr. 2273, 2016, S. 283 - 292.

- [23] Bollwerk, L.: Herausforderungen bei der virtuellen Untersuchung der Fahrdynamikeigenschaften selbstfahrender Erntemaschinen. VDI-MEG Tagung Landtechnik, 22./23.11.2016, Köln, VDI-Berichte Nr. 2273, 2016, S. 275 -282.
- [24] Nishiyama, K., H. Nakashima, H. Shimizu J. Miyasaka und K. Ohdoi: Normal and Tangential Stresses on a Contact Surface of Tire by 2D FE-DEM. Proceedings of the 8th Americas Regional Conference of International Society for Terrain-Vehicle Systems, 12.-14. September 2016, Troy, USA.
- [25] Tekeste, M., T.R. Way, W. Birkenholz und S. Brodbeck: Evaluation of Low Inflation Tire Technologies on Soil Compaction. Proceedings of the 8th Americas Regional Conference of International Society for Terrain-Vehicle Systems, 12.-14. September 2016, Troy, USA.
- [26] Proceedings of the 8th Americas Regional Conference of the ISTVS, 12.-14.09.2016, Troy, USA.
- [27] Tagungsband VDI-MEG Tagung Landtechnik, 22./23.11.2016, Köln. VDI-Berichte Nr. 2273, 2016.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 09.03.2017

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Bürger, Alexander; Kutzbach, Heinz Dieter; Böttinger, Stefan: Reifen - Reifen/Boden-Verhalten. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2016. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2017. S. 1-9

Zitierfähige URL / Citable URL

<http://publikationsserver.tu-braunschweig.de/get/64171>

Link zum Beitrag / Link to Article

<http://www.jahrbuch-agrartechnik.de/index.php/artikelansicht/items/279.html>