

Reifen - Reifen/Boden-Verhalten

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

Kurzfassung

Neben einem erweiterten Angebot von Reifen mit sehr flexiblen Flanken wird den Anforderungen an hohe Traktion und verbesserte Bodenschonung von Ackerschlepperreifen auch durch die Optimierung von Reifeninnendruck und Ballastierung des Ackerschleppers Rechnung getragen. Bei der messtechnischen Untersuchung der am Reifen übertragbaren Kräfte existiert weiterhin keine einheitliche Darstellungsweise. Die Reifenmodellierung wird durch Einbeziehung nachgiebiger Böden und spezieller Einsatzbedingungen zunehmend leistungsfähiger und aussagekräftiger.

Schlüsselwörter

Ackerschlepperreifen, Reifenkennlinien, Reifenmodelle, Bodenverdichtung

Tires - Tire-Soil-Interaction

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

Abstract

Besides extending the offering of very high flexion tires the demand for high traction and improved soil protection of agricultural tires is met by the optimization of tire pressure and ballasting of the tractor. For the matter of measuring the transmittable forces of an off-road tire there is still no standardized way of representing the results. Due to inclusion of soft soil and special operation modes tire modelling is becoming increasingly powerful and significant.

Keywords

Farm tractor tires, tire performance, tire modelling, soil compaction

Neue Reifenentwicklungen

Die Entwicklung bei Reifen und Bandlaufwerken wird hauptsächlich von zwei Anforderungen getrieben. Steigende Motorleistungen von Ackerschleppern und selbstfahrenden Erntemaschinen müssen unter hohem Wirkungsgrad übertragen werden können. Zusätzlich muss eine Schädigung des Ackerbodens – zunehmend aber auch der Einfluss hoher Einsatzgewichte auf asphaltierte Fahrbahnen – reduziert werden. Bei Straßenfahrt haben die Federungs- und Dämpfungseigenschaften des Reifens außerdem Einfluss auf den Fahrkomfort der Maschine.

Herstellerübergreifend werden vermehrt Reifen mit flexibleren Reifenflanken angeboten (IF- und VF-Kennzeichnung). Diese Reifen können bei konstant niedrigem Reifeninnendruck sowohl auf dem Acker als auch auf der Straße gefahren werden. Die Notwendigkeit zur Regelung des Reifeninnendrucks entfällt. Bei gleicher Last und Geschwindigkeit können diese Reifen im Vergleich zu Standardreifen mit geringeren Drücken betrieben werden. Mitas gibt einen konstanten Reifeninnendruck für alle Fahrgeschwindigkeiten und Untergründe für seinen Ackerschlepperreifen VF 380/95 R38 HC 2000 von 1,2 bar an.

In Kooperation mit Fendt stellte Mitas mit AirCell eine Entwicklung zur Beschleunigung der Reifendruckregelung vor. Ein in den Reifen integrierter und auf der Felge sitzender Druckspeicher wird während der Fahrt mit einem Druck von 8 bar vorgespannt, **Bild 1**. Während eines Regelvorganges wird der höhere Druck im Speicher zur Beschleunigung des Druckanstieges im Reifen genutzt. Eine Druckänderung von ± 1 bar wird innerhalb einer Minute erreicht. Die Entwicklung wurde auf der Agritechnica 2015 mit einer Goldmedaille prämiert [1].



Bild 1: Integrierter Druckspeicher zur Reifendruckregelung, Mitas AirCell [1]

Figure 1: Integrated pressure reservoir for tire pressure regulation, Mitas AirCell [1]

Trelleborg stellte mit dem TM 1060 auf der Agritechnica einen Niederquerschnittsreifen mit maximaler Dimension von VF 710/60 R42 vor. Dieser erzielt gesteigerte Tragfähigkeiten ohne Zunahme in Größe und kann bei Ackerschleppern oberhalb von 225 kW auf vergleichsweise schmalen Felgen montiert werden [2]. Auf der Agritechnica 2015 stellten die Hersteller

Nokian und BKT jeweils einen Winterreifen für Ackerschlepper vor, die das Aufziehen von Schneeketten vermeiden sollen [3].

Sowohl auf der SIMA 2015 in Paris und der Agritechnica 2015 in Hannover konnte beobachtet werden, dass Ackerschlepperreifen zunehmend mit Geschwindigkeitsindizes von D und E angeboten werden. Wird der Geschwindigkeitsbereich von bis zu 65 bzw. 70 km/h nicht ausgeschöpft, kann bei geringeren Fahrgeschwindigkeiten die höhere Tragfähigkeit der Reifen genutzt werden [4].

Mitas und ihr Kooperationspartner Galileo Wheel Ltd. (Israel) führten im Oktober 2015 einen vollständig mit dem PneuTrac bereiften Ackerschlepper vor [5]. Auf der SIMA 2015 wurde mit der Dimension 600/65 R38 eine dritte Reifendimension vorgestellt [6]. Erste statische Messungen für einen Vergleich mit einem Standardreifen sind seitens des Herstellers verfügbar [1]. Eine Markteinführung ist laut Mitas Ende 2017 geplant [7].

Reifenhersteller bieten dem Kunden kostenlose Apps oder online-Tools an, um für den jeweiligen Reifen und die Arbeitsaufgabe den optimalen Reifeninnendruck zu finden und geben zum Teil Vorschläge für die Ballastierung des Ackerschleppers. Fendt entwickelt und integriert solche Empfehlungen mit dem GripAssistant vollständig in das neue Großtraktorenkonzept und wurde dafür auf der Agritechnica 2015 mit einer Silbermedaille prämiert. Die Angabe von Reifeninnendruck und Ballastierung erfolgt kennlinienbasiert durch Auswahl der Reifendimensionen, der Arbeitsaufgabe, des Bodenzustandes und der Fahrgeschwindigkeit [8].

Reifenkennlinien

Grundlage solcher Entwicklungen sind die Reifenkennlinien wie Radzugkraft-Schlupf und Wirkungsgrad-Schlupf, wie sie unter anderem durch die Messungen von Steinkampf und Dwyer und viele weitere Messungen bekannt sind, **Bild 2 links**. In Anlehnung an Scherverversuche wird die Zugkraft über dem Schlupf aufgetragen, obwohl sich der Schlupf aus der geforderten Zugkraft ergibt, also die abhängige Größe ist. Ebenso wird der Wirkungsgrad über dem Schlupf aufgetragen. Die aussagekräftigere Darstellung des Wirkungsgrades über der geforderten Zugkraft, schon unter anderem von Steinkampf [9] vorgeschlagen, **Bild 2 rechts**, hat sich bisher kaum durchgesetzt.

Zur Messung der am Rad übertragenen Zugkräfte (Triebkräfte), die wegen des linearen Zusammenhangs oft als auf die Radlast bezogene Triebkraftbeiwerte κ dargestellt werden, können Einzelradmesseinrichtungen oder Bremsfahrzeuge eingesetzt werden [10]. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse von zwei Prüfstationen (MGI, Ungarn und Irstea, Frankreich) hinsichtlich der Vergleichbarkeit überprüft. Verschiedene Einzelradmesseinrichtungen sind beispielsweise in [11] beschrieben. Eine in Zusammenarbeit des ungarischen Instituts für Agricultural Engineering mit der Michelin Tire Company entwickelte Einzelradmesseinrichtung [12] geht mit Reifendurchmessern bis 2,5 m, Reifenbreiten bis 1,3 m, hydrostatischen Radlasten bis 120 kN und Fahrgeschwindigkeiten bis 50 km/h auf Straßen über die in [11] gestellten Forderungen hinaus. Schräglaufmessungen sind nicht möglich, jedoch können Seitenkräfte bis 20 kN erfasst werden. An der Wehrtechnischen Dienststelle für Kraft-

fahrzeuge und Panzer ist eine Einzelradmesseinrichtung entwickelt worden, die Schräglaufrwinkel bis $\pm 40^\circ$ und Radlasten bis 100 kN bei Reifendurchmessern bis 1,6 m und Reifenbreiten bis 0,55 m zulässt [13]. Einblick in die Versuchsstände eines Herstellers für Ackerschlepperreifen gibt [14], wobei unter anderem ein Einzelradversuchsanhänger für 2000 h-Belastungstests eingesetzt wird. Während [15] eine kleine Einzelradmesseinrichtung (Reifen: 5,00 - 12 AS) vorstellt, geht [16] intensiv auf die Versuchsplanung ein, um die verschiedenen Einflussgrößen auf die Radzugkraft korrekt zu erfassen.

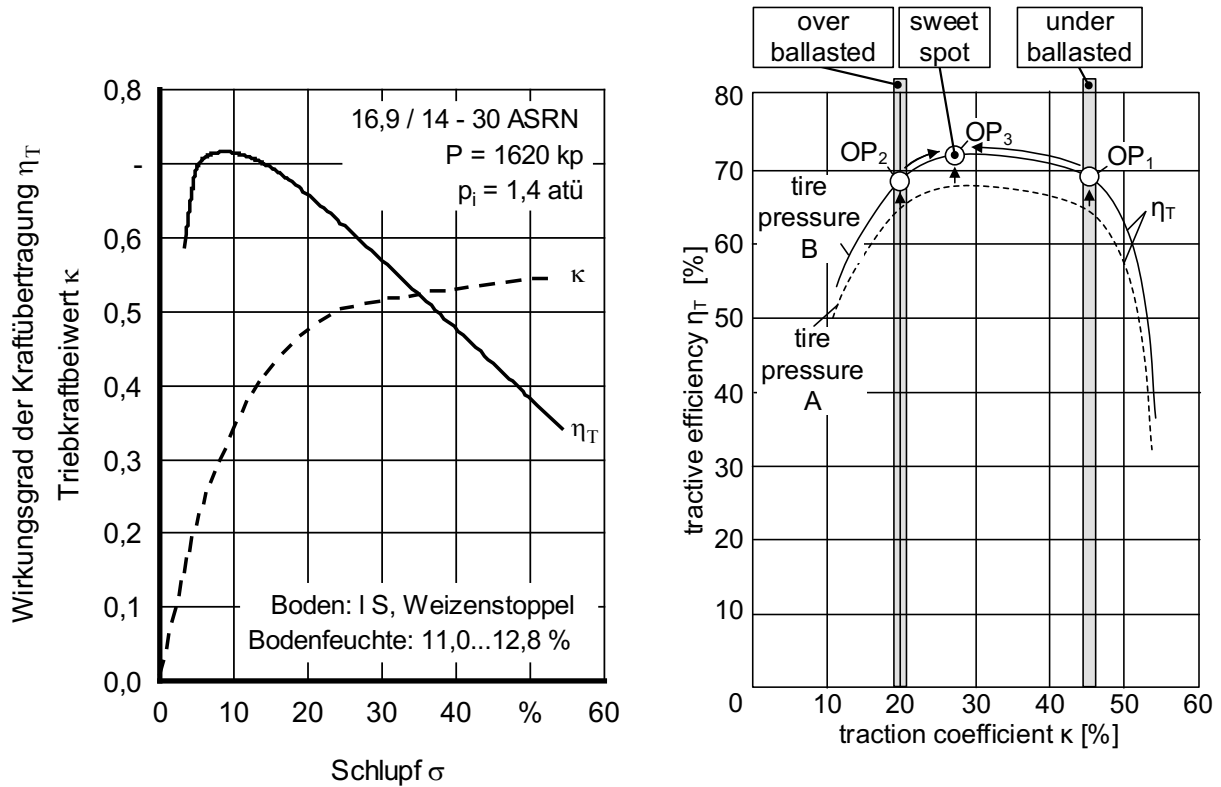


Bild 2: links: Auftragung von Laufwerkwirkungsgrad η_T und Triebkraftbeiwert κ über dem Schlupf σ [9], rechts: Laufwerkwirkungsgrad η_T über Triebkraftbeiwert κ nach [9], Darstellung aus [19]

Figure 2: left: Visualization of tractive efficiency η_T and net traction κ ratio against slip σ [9], right: Tractive efficiency η_T over net traction ratio κ according to [9], visualization by [19]

In Deutschland entstehen bei der DLG und bei AGCO/Fendt zwei Rollenprüfstände für leistungsstarke Traktoren, um Kraftstoffverbrauch (DLG Powermix), Leistungen, Wirkungsgrade auch von Teilbaugruppen und weitere Werte wetterunabhängig zu bestimmen [17 bis 18]. Die Rollen lassen sich in Spurweite und Radstand dem Fahrzeug anpassen, das über die unteren Lenker fixiert seine Leistung an die gebremsten Rollen abgibt. Beide Prüfstände bieten einstellbare Luftströmungen, sodass auch thermische Messungen möglich sind. Außerdem sind sie für hohe Leistungen, Radlasten, Fahrgeschwindigkeiten und Bremskräfte ausgelegt (DLG: 700 kW PTO, 15 t, 105 km/h, 4x90 kN; Fendt: 4x250 kW, 15 t, 85 km/h, 4x80 kN). Durch Vergleich mit Straßenfahrten soll das unterschiedliche Abrollverhalten auf den Rollen erfasst werden.

Die Messung des Schlupfes als weitere Größe der Triebkraft-Schlupf-Kennlinie ist keine einfache Aufgabe, zumal verschiedene Definitionen für den Schlupf ($\sigma = 1 - v/v_0$) verwendet werden [20]. Während die tatsächliche Fahrgeschwindigkeit v über ein 5. Rad oder über GPS relativ gut bestimmt werden kann, liegt das Problem bei der Radumfangsgeschwindigkeit v_0 , die sich über Winkelgeschwindigkeit und den effektiven Radius berechnet ($v_0 = \omega \cdot r_{\text{dyn}}$). Der schlupflose Abrollumfang r_{dyn} (auch bezeichnet als r_{eff} bzw. kinematic roll radius r_d) lässt sich nicht direkt messen, sondern wird aus der Abroll-Länge auf dem Versuchsuntergrund bestimmt und durch Reifeninnendruck, Einfederung und Stolleneinsenkung beeinflusst. Der Abrollumfang ist im Gegensatz zum Diagonalreifen beim Radialreifen wegen des Gürtels relativ konstant. In internationaler Literatur wird oft zwischen kinematic und kinetic roll radius (Momentenradius) unterschieden [21 bis 22]. Letztere Veröffentlichung verfolgt den interessanten Ansatz, den Schlupf mit zwei einfachen Kameras und digitaler Bildauswertung der 3D-Aufnahmen von Reifen und Boden zu bestimmen. Außerdem variiert der Schlupf während einer Radumdrehung aufgrund der Radlastschwankungen und Bodeninhomogenitäten laufend um einen Mittelwert [23]. Um diesen besser zu erfassen, wird ein analoger Drehzahlmesser entwickelt, der die Raddrehung wesentlich besser auflöst als eine digitale Messung (bei offensichtlich geringer aber nicht genannter Abtastrate).

Wegen der Schwierigkeiten bei der Schlupfbestimmung und weil die genaue Kenntnis des Schlupfes beim Schleppereinsatz nachrangig ist, hat die Auftragung des Wirkungsgrades über dem Triebkraftbeiwert, Bild 2 rechts, große Vorteile. Auf Wunsch kann das Bild durch eine Schlupfkurve über dem Triebkraftbeiwert ergänzt werden. Bild 2 rechts veranschaulicht mit den Einflüssen von Ballastierung und Reifeninnendruck den Hintergrund für das GripAssistant-System [8], dient aber in [19] als Hinweis auf die Notwendigkeit, den Fahrer über Wirkungsgrad und Traktion zu informieren. In [19] wird deswegen ein kostengünstiger Sensor für den Einsatz an den Schlepper-Antriebsachsen vorgestellt, der auf dem Villari-Effekt basierend Drehmoment, Radlast, Triebkraft und Drehzahl erfasst und entsprechend registriert und analysiert. Auch das in [24 bis 25] vorgestellte Verfahren zur optimalen Traktionskontrolle ist auf einem Triebkraft- bzw. Drehmomentsensor angewiesen, um aus Triebkraft und Schlupf auf die entsprechend den Bodeneigenschaften momentan vorliegende Triebkraft-Schlupf-Kurve zu schließen. Für diese Kurve wird über die bekannten Schlepper-Gerätdaten ein Schlupfzielwert für den optimalen Wirkungsgrad berechnet. Durch Änderung der Arbeitstiefe des Gerätes oder der Fahrgeschwindigkeit kann der aktuelle Schlupf dem Zielwert angepasst werden.

Beim Fahren am Hang oder beim Lenken treten am Reifen Seitenkräfte auf, die zum Schräglauf der Reifen mit dem Winkel α zur Radebene führen [27]. Dieses Verhalten wird im Seitenkraft-Schräglaufwinkel-Diagramm dargestellt und beschreibt Spurtreue und Fahrverhalten. Mit zunehmender geforderter Längskraft (Trieb- oder Bremskraft) nehmen die übertragbaren Seitenkräfte ab [28], Kammscher Kreis. Wegen der starken Profilierung ist die Auftragung der Seitenkraft über der Längskraft für Ackerschlepperreifen nicht kreisförmig [29]. Hohenheimer Messergebnisse zu diesem Sachverhalt zeigt beispielsweise **Bild 3** aus der Dissertation von Schlotter [26].

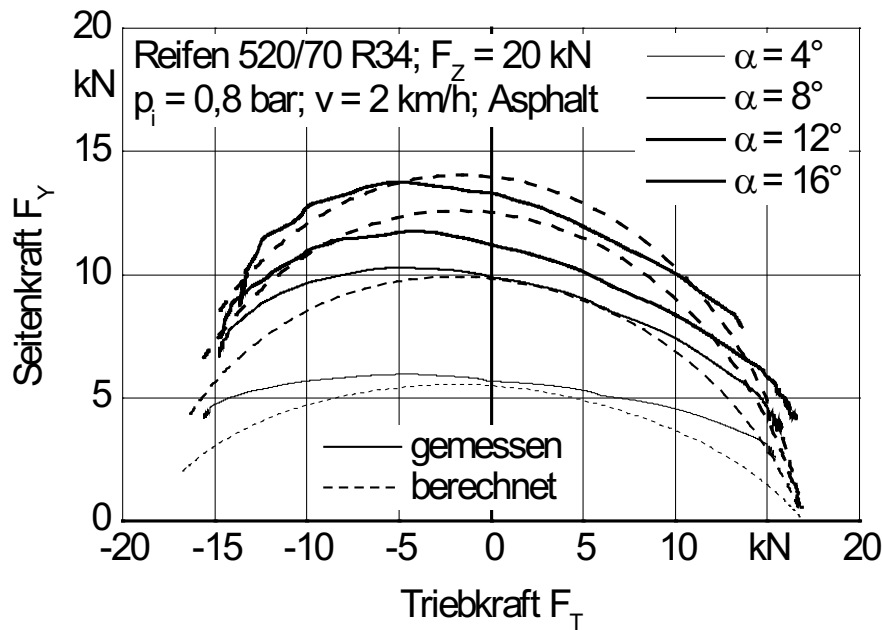


Bild 3: Gemessenes Seitenkraft-Triebkraft-Diagramm mit Vergleich zu berechneten Werten nach der Slip-Drift-Methode nach Grecenko [26]

Figure 3: Measured lateral force against traction force diagram with comparison to calculated data based in the slip-drift model by Grecenko [26]

Reifenmodelle

Eine sehr gute Übersicht über bisher beschriebene terramechanische Reifenmodelle geben Sandu und Mitarbeiter in [30]. Sie unterscheiden empirische, physikalisch begründete und semiempirische Modelle. Alle Modelle werden ausführlich diskutiert, Einsatzmöglichkeiten und Grenzen angegeben und in abschließenden Übersichten erzielbare Ergebnisse zusammenfassend dargestellt. Es werden sechs empirische, zehn physikalisch begründete und acht semiempirische Modelle erfasst. Das am weitesten fortgeschrittene ist das von Sandu und Mitarbeitern entwickelte und an einem Reifen P225/60 R16 validierte Hybrid Soft Soil Tyre Model (HSSTM). Das für Ackerschlepperreifen von Witzel entwickelte Hohenheimer Reifenmodell ist in [31] ausführlich beschrieben. Es eignet sich als Speichermodell auch zur Simulation von Hindernisüberfahrten und Komfort-Analysen. Insgesamt sind in [30] 116 Literaturstellen genannt. Ein über ein reines Reifenmodell hinausgehendes Fahrzeugmodell auf weichem Boden wird in [32] vorgestellt. Es enthält u.a. ein Grundbodenbearbeitungsmodell und ein Anhängermodell. Für die Ermittlung der notwendigen Parameter für die Reifenmodelle werden in [33 bis 34] Hinweise gegeben. DEM und FEM Reifenmodelle in [35 bis 37] berücksichtigen besondere Einsatzbedingungen wie trockener Sand oder Hindernis-überfahrt. In [38] wird ein FEM-Modell für Reifen auf weichem Boden zur Bestimmung von Rollradius und Schlupf eingesetzt.

Bodenverdichtung

Das Befahren nachgiebigen Bodens führt zu Bodenverdichtungen. Diese können im einfachsten Fall durch Messung der Spurtiefe dokumentiert werden [39]. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass die Spurtiefen mit Radlast und Schlupf zunehmen und mit höherer Fahrgeschwindigkeit wegen der kürzeren Einwirkzeit abnehmen. Die wichtigen Einflussgrößen Aufstandsfläche und Reifeninnendruck wurden in [39] nicht verändert. Ein interessantes Verfahren zur Messung von Bodendichteänderungen mit Verformungsgebern beschreibt [40]. Die Geber bestehen aus zwei runden Blechen, deren Abstand kontinuierlich potentiometrisch gemessen wird. Sie werden in 20 – 40 cm Tiefe in den Boden eingegraben. Die ursprüngliche Bodenstruktur bleibt damit nicht erhalten, aber die Ergebnisse stimmen gut mit denen von zylindrischen Bodenproben überein. Die Ergebnisse bestätigen Bekanntes: Die Bodendichte nimmt mit der Zahl der Überfahrten zu, höhere Bodenfeuchte führt zu höherer Verdichtung, die Verdichtung nimmt mit Tiefe und Fahrgeschwindigkeit ab. Reifeninnendruck, Radlast und Reifengröße (18.4 R30) wurden nicht verändert. Auch die sehr intensive Studie in [41] verändert diese Größen nicht, ermittelt aber den Einfluss von Schlupf (1 %, 27 %) vor allem auf hydrologische Bodengrößen wie Porenvolumen, Porengrößenverteilung, Wasserleitfähigkeit, Oberflächenabfluss und bestätigt die negativen Auswirkungen dieses hohen Schlupfwertes.

Haupteinflussgrößen auf die Bodenverdichtung sind jedoch Radlast und Druck, bzw. Druckverteilung in der Aufstandsfläche. Kommerzielle piezoelektrische Drucksensoren in Array-Anordnung erwiesen sich nur nach Kalibrierung zur Druckkartierung in der Aufstandsfläche geeignet [42]. Die Karkassensteifigkeit, die den Druck in der Aufstandsfläche gegenüber dem Reifeninnendruck erhöht, lässt sich im Vergleich von fünf untersuchten Verfahren am besten aus der tragbaren Last ohne Reifeninnendruck und der Aufstandsfläche bestimmen [43].

Den Einfluss von Radlast und Reifeninnendruck an einem 850/50 R30,5 veranschaulicht [44] sehr deutlich an Messung von Spurtiefe, Aufstandsfläche und Cone Index. Niedrige Reifeninnendrucke führen zu bodenschonenden Werten, während sich zu hohe Reifeninnendrucke sehr negativ auswirken. [45] zählt die Vorteile zentraler Verstelleinrichtungen für den Reifeninnendruck auf und erläutert technische Lösungen.

Fachtagungen

Die 13. Europäische Konferenz der Internationalen Society of Terrain Vehicle Systems fand vom 21. - 23. Oktober 2015 in Rom unter dem Vorsitz von Roberto Paoluzzi statt. Der Tagungsband [46] ist über die ISTVS zu beziehen. Auch auf der Internationalen Landtechnik Tagung in Hannover vom 6. - 7. November 2015 wurden entsprechende Themen diskutiert [47].

Zusammenfassung

Die Anforderungen an moderne landwirtschaftliche Reifen, hohe Traktion zu gewährleisten und gleichzeitig Bodenverdichtungen zu vermeiden, werden mit verschiedenen Mitteln erreicht. Flexiblere Reifenflanken führen im Vergleich zu Standardreifen bei gleichem Reifennennendruck zu einer größeren Aufstandsfläche. Dadurch werden sowohl Traktion als auch Bodenschonung maximiert. Die Anpassung von Reifennennendruck und Ballastierung des Ackerschleppers bewirkt eine Optimierung der Reifeneigenschaften für den jeweiligen Einsatzbereich. Diese Eigenschaften sowie die Fahrdynamik, der Fahrkomfort und die Traktion von landwirtschaftlichen Maschinen werden durch den Einsatz zunehmend genauer und effizienter Reifenmodelle simulativ analysiert. Zur Parametrierung dieser Modelle dienen eine Vielzahl an Messungen an einzelnen Reifen, an Gesamtfahrzeugen sowie die Untersuchung der Interaktion von Reifen/Fahrzeug und Untergrund.

Literatur

- [1] Stefek, K.: Mitas PneuTrac, Mitas AirCell. Innovative Agricultural and Industrial Tire Development Forum 2015, Berlin 03.-04.12.2015.
- [2] -, -: Trelleborg bringt mit dem TM 1060 eine Baureihe der nächsten Generation auf den Markt. Trelleborg-Pressemitteilung, 11.2015.
- [3] -, -: Der Reifenmarkt sortiert sich neu. Eilbote 63 (2015) H. 48, S. 10.
- [4] -, -: Abwartende Zurückhaltung. Eilbote 63 (2015) H. 20, S. 10-12.
- [5] -, -: Eine fast runde Sache. profi 27 (2015) H. 12, S. 122-123.
- [6] -, -: New size of PneuTrac unveiled from Mitas. Farm Industry News. URL www.farministrynews.com - Aktualisierungsdatum: 23.02.2015.
- [7] -, -: Pneutrac-Reifen kommt wahrscheinlich 2017. Eilbote. URL www.eilbote-online.com - Aktualisierungsdatum: 23.10.2015.
- [8] Pichlmaier, B.; Buchner, T.: A fully integrated Traction Assistance System. VDI-MEG Tagung Landtechnik AgEng 2015, Hannover 06.-07.11.2015. Düsseldorf: VDI Verlag 2015, S. 211-217.
- [9] Steinkampf, H.: Ermittlung von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Acker-schlepper. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 27 (1975).
- [10] Fancello, G.; Szente, M.; Kovacs, L.; Kocsis, L.; Szalay, K.; Piron, E.; Miclet, D; Héretier, P.: Agricultural Tyre Energy Efficiency test method link with specific fuel consumption for measuring the efficiency of agricultural tyres under real conditions on tractors. VDI-MEG Tagung Landtechnik AgEng 2015, Hannover 06.-07.11.2015. Düsseldorf: VDI Verlag 2015, S. 203-209.
- [11] Kutzbach, H.D.; Witzel, P.; Schreiber, M.: Single Wheel Field Tester for Farm Tractor Tyres - A Review. Proceedings of the 11th European Conference of the ISTVS, Bremen, 05.-08.10.2009.
- [12] Szente, M.; Kriston, S.; Forissier, J-F.: A New Single Wheel Tester - Global Traction and Motion Resistance Measuring System. Proceedings of AgEng 2010, Clermont-Ferrand, 06.-08.09.2010, S. 1-10.
- [13] Deschner, C.; Rutsch, K.; Gericke, R.; von Sturm zu Vehlingen, T.: Einzelradtester bietet neue Möglichkeiten der Reifenuntersuchung. ATZ offhighway 8 (2015) H. 1, S. 64-71.
- [14] -, -: Vom Elektronen-Mikroskop bis zum 75-t-Prüfstand. Profi 27 (2015) H. 3, S. 92-93.
- [15] Abdolmaleki, H.; Jafari, A.; Tabatabaeifar, A.; Hajiahmad, A.; Goli, H.: Development and evaluation of an in-situ tire testing facility with variable side slip angles. Journal of Terramechanics 59 (2015), S. 49-58.
- [16] Naranjo, S.D.; Sandu, C.; Taheri, S.; Taheri, Sh.: Experimental testing of an off-road instrumented tire on soft soil. Journal of Terramechanics 56 (2014), S. 119-137.

- [17] Ai, A.; Tauber, H.-J.: DLG PowerMix Chassis Dynamometer - The field on a test bench. VDI-MEG Tagung Landtechnik AgEng 2015, Hannover 06.-07.11.2015. Düsseldorf: VDI Verlag 2015, S. 1-12.
- [18] Rückert, B.; Jekel, P.; Ott, M.; Schleich, C.; Tschinkel, E.: Advanced test stand for complete vehicle analysis to bring the road and field into the laboratory. VDI-MEG Tagung Landtechnik AgEng 2015, Hannover 06.-07.11.2015. Düsseldorf: VDI Verlag 2015, S. 13-27.
- [19] Wieckhorst, J.; Fedde, T.; Frerichs, L.; Fiedler, G.: Integrated Measurement of Tire Soil Parameters for Tractors. VDI-MEG Tagung Landtechnik AgEng 2015, Hannover 06.-07.11.2015. Düsseldorf: VDI Verlag 2015, S. 219-225.
- [20] Kutzbach, H.D.; Böttinger, S.; Schreiber, M.: Some remarks to traction mechanics. Proceedings of the 11th European Conference of the ISTVS, Bremen, 05.-08.10.2009.
- [21] Hamersma, H.A.; Botha, T.R.; Els, P.S.: Estimating the kinetic roll radius of a tyre on rough terrain. Proceedings of the 13th European Conference of the ISTVS, Rom, 21.-23.10.2015, S. 270-281.
- [22] Botha, T.R., Shyrokau, B., Els, P.S. und Holweg, E.: Kinematic analysis of a tyre rolling over rough terrain using digital image correlation. Proceedings of the 13th European Conference of the ISTVS, Rom, 21.-23.10.2015, S. 176-188.
- [23] Vantsevich, V.V., Gray, J.P. und Paldan, J.R.: An agile tire slippage estimation based on new tire and wheel rolling characteristics. Proceedings of the 13th European Conference of the ISTVS, Rom, 21.-23.10.2015, S. 237- 251.
- [24] Osinenko, P.; Geissler, M.; Herlitzius, T.: A method of optimal traction control for farm tractors with feedback of drive torque. Biosystems Engineering 129 (2015), S. 20-33.
- [25] Osinenko, P.; Geißler, M.; Herlitzius, T.: HIL-tests with Slip Control for Electric Single Wheel-Drives - Results and Traction Test Stand Concepts. VDI-MEG Tagung Landtechnik AgEng 2015, Hannover 06.-07.11.2015. Düsseldorf: VDI Verlag 2015, S. 453-458.
- [26] Schlotter, V.: Einfluss dynamischer Radlastschwankungen und Schräglaufwinkeländerungen auf die horizontale Kraftübertragung von Ackerschlepperreifen. Dissertation, Universität Stuttgart. Aachen: Shaker Verlag, 2006.
- [27] Hajiahmad, A.; Goli, H.; Jafari, A.; Keyhani, A.; Abdolmaleki, H.: Side slip angle prediction model of an off-road tire on different terrains. Journal of Terramechanics 56 (2014), S. 25-35.
- [28] Jiminez, E.; Sandu, C.: Handling performance of pneumatic tires on sandy loam. Proceedings of the 13th European Conference of the ISTVS, Rom, 21.-23.10.2015, S. 22-35.
- [29] Becker, C.; Els, S.: The applicability of the friction circle concept to off-road tyres. Proceedings of the 13th European Conference of the ISTVS, Rom, 21.-23.10.2015, S. 134-147.

- [30] Taheri, Sh.; Sandu, C.; Taheri, S.; Pinto, E.; Gorsich, D.: A technical survey on Terramechanics models for tire-terrain interaction used in modeling and simulation of wheeled vehicles. *Journal of Terramechanics* 57 (2015), S. 1-22.
- [31] Witzel, P.: Ein validiertes Reifenmodell zur Simulation des fahrdynamischen und fahrkomfortrelevanten Verhaltens von Ackerschleppern bei Hindernisüberfahrt. Dissertation, Universität Stuttgart. Aachen, Shaker Verlag, 2015.
- [32] Putz, G.; Stempfer, G.: Simulation landwirtschaftlicher Maschinen in weichem Boden. *ATZ offhighway* 8 (2015) H. 1, S. 72-79.
- [33] Stallmann, J.; Botha, T.; Els, S.: A novel method for tyre FEM validation tests. *Proceedings of the 13th European Conference of the ISTVS, Rom, 21.-23.10.2015*, S. 263-269.
- [34] Babulal, Y.; Stallmann, J.; Els, S.: Parameterisation and modelling of large off-road tyres for on-road handling analyses. *Journal of Terramechanics* 61 (2015), S. 77-85.
- [35] Yamakawa, J.; Yoshimura, S.; Watanabe, K.: A tire model for vehicle motion analysis on dry sand. *Journal of Terramechanics* 56 (2014), S. 49-59.
- [36] Smith, W.; Melanz, D.; Senatore, C.; Iagnemma, K.; Peng, H.: Comparison of discrete element method and traditional modeling methods for steady-state wheel-terrain interaction of small vehicles. *Journal of Terramechanics* 56 (2014), S. 61-75.
- [37] Wei, C.; Olatunbosun, O.: Transient dynamic behaviour of finite element tire traversing obstacles with different heights. *Journal of Terramechanics* 56 (2014), S. 1-16.
- [38] Rubinstein, D. Shmulevich, I.; Frenckel, N.: Use of explicit finite-element formulation to predict the rolling radius and slip of agricultural tire during travel over loose soil. *Proceedings of the 13th European Conference of the ISTVS, Rom, 21.-23.10.2015*, S. 660, Persönliche Mitteilung.
- [39] Mardani, A.: On-The-Move Monitoring of Tire Rut Depth on Deformable Soil Using an Instrumented Inclinator. *Transactions of the ASABE* 57 (2014) H. 5, S. 1291-1295.
- [40] Shahgholi, G.; Abuali, M.: Measuring soil compaction and soil behavior under the tractor tire using strain transducer. *Journal of Terramechanics* 59 (2015), S. 19-25.
- [41] Battiato, A.; Alaoui, A.; Diserens, E.: Impact of Normal and Shear Stresses Due to Wheel Slip on Hydrological Properties of an Agricultural Clay Loam: Experimental and New Computerized Approach. *Journal of Agricultural Science* 7 (2015) H. 4, S. 1-19.
- [42] Misiewicz, P.; Blackburn, K.; Richards, T.; Brighton, J.; Godwin, R.: The evaluation and calibration of pressure mapping system for the measurement of the pressure distribution of agricultural tyres. *Biosystems Engineering* 130 (2015), S. 81-91.
- [43] Misiewicz, P.; Richards, T.; Godwin, R.: Estimations and Measurements of Carcass Stiffness of Agricultural Tires on a Hard Surface. *ASABE Paper Number: 152192081*, 2015, S. 1-14.
- [44] Mohsenimanesh, A.; Laguë, C.: Application of Automatic Air Inflation Deflation Control System on a Manure Tanker to Prevent Excessive Soil Compaction. *ASABE Paper Number: 152179891*, 2015, S. 1-7.
- [45] Tigges, M.: Central Tire Inflation Systems for Agricultural Vehicles. *ASABE Distinguished Lecture Series*, 2015, S. 1-13.

- [46] Proceedings of the 13th European Conference of the ISTVS, Rom, 21.-23.10.2015.
[47] VDI-MEG Tagung Landtechnik AgEng 2015, Hannover 06.-07.11.2015. Düsseldorf:
VDI Verlag 2015.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 02.03.2016

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Kutzbach, Heinz Dieter; Bürger, Alexander; Böttinger, Stefan: Reifen - Reifen/Boden-Verhalten. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2015. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2016. S. 1-12

Zitierfähige URL / Citable URL

<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00055111>

Link zum Beitrag / Link to Article

<http://www.jahrbuch-agrartechnik.de/index.php/artikelansicht/items/236.html>