

Hendrik Schulze Zumkley und Stefan Böttinger

Identifikation der Seitenkraft-Schräglaufwinkel-Kennlinie aus Fahrversuchen mit einem Ackerschlepper

Die Simulation der Fahrdynamik moderner Ackerschlepper gewinnt aufgrund steigender Geschwindigkeiten, wachsender Lasten und kürzerer Entwicklungszeiten immer mehr an Bedeutung. Landwirtschaftliche Reifen erreichen einen Durchmesser von bis zu 2,15 m und bilden bei Standardackerschleppern mit ungefederter Hinterachse die wichtigste Fahrwerkskomponente. Für eine hochwertige Simulation ist die genaue Kenntnis der Feder- und Dämpfungseigenschaften, sowie der maximal übertragbaren Kräfte notwendig. Die Vermessung sehr großer Reifen ist jedoch nur noch auf wenigen Prüfständen möglich. Daher wird in diesem Beitrag eine alternative Methode vorgestellt.

Schlüsselwörter

Reifen, Simulation, Reifenmodell, Fahrdynamik

Keywords

Tyres, simulation, tyre model, driving dynamics

Abstract

Schulze Zumkley, Hendrik and Böttinger, Stefan

Identification of side force-slip angle characteristic from road tests with an agricultural tractor

Landtechnik 65 (2010), no. 6, pp. 426-428, 6 figures, 10 references

Driving dynamics simulation of modern agricultural tractors becomes more and more important due to increasing top speeds, rising loads and shorter developmental periods. Agricultural tyres hit diameters of up to 2.15 m and they are the most important suspension component on standard tractors with unsprung rear axles. For a sophisticated simulation the exact knowledge of spring and damping characteristics as well as maximum transmissible forces is necessary. However, the measurement of very large tyres is possible on only few test stands. For this reason an alternative method to acquire tyre parameters is presented in this contribution.

Die Reifenprüfstände des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim haben in den vergangenen Jahren wertvolle Erkenntnisse bezüglich des Verhaltens landwirtschaftlicher Reifen geliefert und dienen der Entwicklung und Validierung des Hohenheimer Reifenmodells [1-7]. Für die Vermessung sehr großer Räder sind jedoch sowohl die Prüfstände als auch die Prüfumgebungen limitiert (2 m Durchmesser, 600 mm Breite). Größere Prüfeinrichtungen wären mit einem enormen Kosten- und Platzbedarf verbunden [8].

In einem gemeinsamen Projekt der Universität Hohenheim mit den Industriepartnern Goodyear Tires S.A., AGCO GmbH und Kistler-Igel GmbH wird daher die Identifikation von Reifenparametern aus Fahrversuchen untersucht. Dieser Artikel fokussiert auf die Ermittlung der stationären Seitenkraft-Schräglaufwinkel-Kennlinie, einen Grundparameter für die meisten Reifenmodelle, dargestellt für das linke Vorderrad (Goodyear Optitrac R+, 650/65 R34, 1,6 bar). Kernstück der Untersuchungen war ein moderner Großtraktor, der umfangreich mit Messtechnik ausgestattet war (**Abbildung 1**). Auf der linken Seite verfügte das Fahrzeug über zwei modulare Messfelgen der Firma Kistler, die in dieser Dimension erstmalig getestet wurden [9; 10].

Analyse der Messwerte

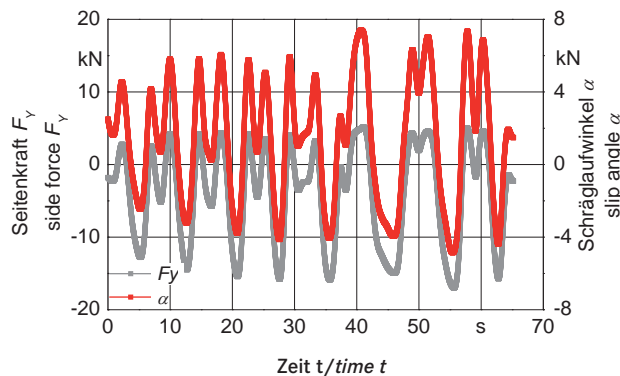
Mit dem Messfahrzeug wurden unterschiedliche Fahrmanöver mit verschiedenen Ballastierungen und Reifendrücken auf Asphalt durchgeführt. Hier dargestellt ist ein regelloses Lenkmanöver in der Ebene mit Geschwindigkeiten zwischen 46 und 53 km/h. Bei der Datenaufbereitung werden die Messwerte zunächst gefiltert und die gemessene Radlast korrigiert, da sich das Messelement im Felgenblatt befindet und die Massen von Reifen und Felgenring nicht miterfasst. **Abbildung 2** zeigt

Abb. 1



Fendt Vario 936 Versuchsmaschine mit Kistler-Messfelgen.
Foto: Universität Hohenheim
Fig. 1: Fendt Vario 936 test machine with Kistler measuring rims

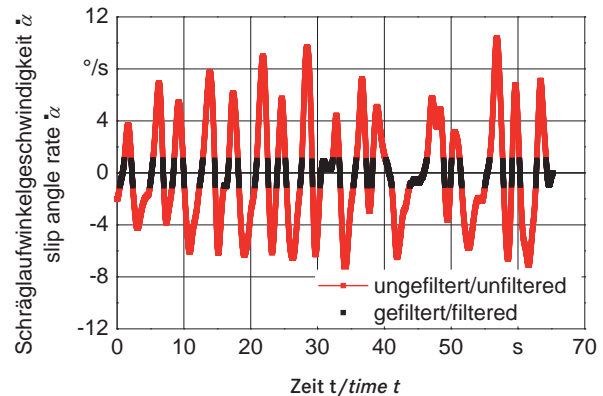
Abb. 2



Seitenkraft und Schräglaufwinkel am Vorderrad über der Zeit während einer Messfahrt
Fig. 2: Side force and slip angle at front wheel over time during test run

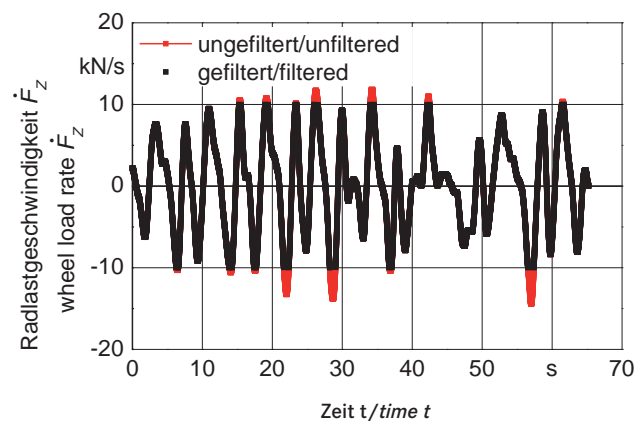
den Verlauf der Seitenkraft F_y und des Schräglaufwinkels α über der Zeit aufgetragen. Diese Werte können jedoch nicht direkt als Ergebnisse übernommen werden, sondern benötigen eine zusätzliche Analyse der Randbedingungen. Barreilmeyer und Schlotter haben gezeigt, dass eine hohe Dynamik in der Schräglauf- und Radlastgeschwindigkeit zu Verzögerungen im Kraftaufbau und -abbau führt und damit Abweichungen von der stationären Kennlinie hervorruft [5; 6]. Die vollständige Eliminierung der Dynamik ist nicht möglich, jedoch können Grenzwerte festgelegt werden. Eine sinnvolle Wahl dieser Grenzwerte ist aus Versuchsergebnissen mit kleineren landwirtschaftlichen Reifen (480/70 R24 und 520/70 R38) aus der Vergangenheit möglich. Grundsätzlich sinkt der Einfluss der Schräglaufwinkelgeschwindigkeit bei steigender Fahrgeschwindigkeit. Da sich die Schräglaufwinkelgeschwindigkeit allgemein jedoch empfindlich auf die gemessene Seitenkraft auswirkt, sind in dieser Analyse nur Daten innerhalb $\pm 1^\circ/\text{s}$ berücksichtigt worden (**Abbildung 3**). Hohe Radlastgeschwindigkeiten verfälschen die Seitenkräfte ebenso, der hier gewählte Höchstwert von innerhalb $\pm 10 \text{ kN/s}$ befindet sich an der

Abb. 3



Schräglaufwinkelgeschwindigkeit, ungefiltert und gefiltert
Fig. 3: Slip angle rate, unfiltered and filtered

Abb. 4



Radlastgeschwindigkeit, ungefiltert und gefiltert
Fig. 4: Wheel load rate, unfiltered and filtered

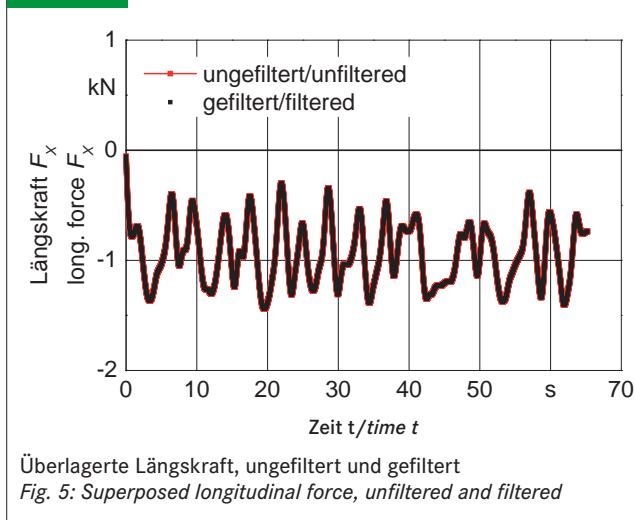
Grenze zur Zulässigkeit (**Abbildung 4**). Im Vergleich zur Hinterachse fallen die Radlastschwankungen an der Vorderachse deutlich geringer aus. Zurückzuführen ist dies vermutlich auf die gefederte Vorderachse.

Eine überlagerte Längskraft, hervorgerufen durch Trieb- und Rollwiderstandskräfte, führt zu einer Verringerung der maximal übertragbaren Seitenkraft, auch bekannt als Kamm'scher Kreis. Eine frühere Messung an einem Reifen der Dimension 520/70 R38 zeigte, dass die Überlagerung von Längskräften bis $\pm 3 \text{ kN}$ nahezu keinen Einfluss auf die Seitenkraftübertragung hat. Das Versuchsfahrzeug Fendt Vario 936 fuhr in diesem Versuch mit Hinterradantrieb. So musste am Vorderrad nur der Rollwiderstand überwunden werden. Die Messwerte mit durchschnittlich -900 N wurden auch nach der Filterung vollständig übernommen (**Abbildung 5**).

Betrachtung der Ergebnisse

Die Wahl der Grenzwerte führt immer zu einem Dilemma. Ein sehr restriktiver Umgang mit den Grenzwerten erhöht die Qualität quasistationärer Messwerte, verringert aber auch die

Abb. 5



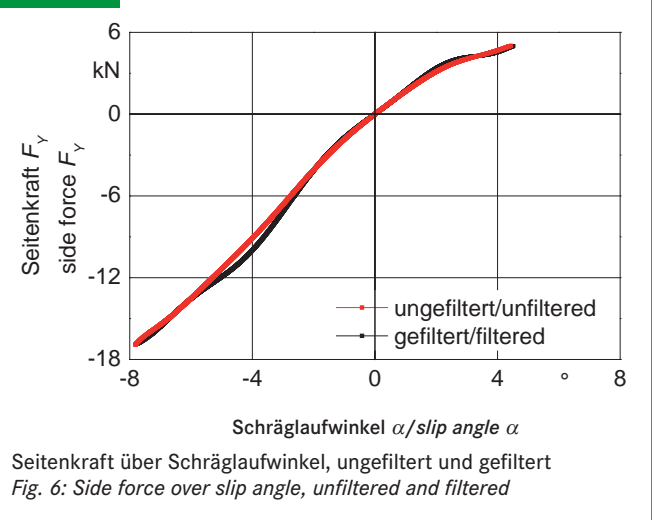
Datenbasis für die anschließende Kurvenregression, besonders bei hohen Schräglaufwinkeln. In diesem Fall sind 91% aller Werte innerhalb der zulässigen Grenzen. **Abbildung 6** zeigt das Ergebnis der Datenanalyse bei oben erwähnter Grenzwertwahl für Längskraft, Schräglaufwinkel- und Radlastgeschwindigkeit. Zum Vergleich sind zusätzlich die Werte ohne jegliche Filterung dargestellt. Die starke Asymmetrie der Darstellung entsteht durch die dynamische Radlastverlagerung bei Kurvenfahrt. Das linke Vorderrad erfährt in Rechtskurven (negativer Schräglaufwinkel) eine Belastung und in Linkskurven eine Entlastung, hervorgerufen durch die Sperrung der Pendelfunktion (Fendt Stability Control). Jedem Messpunkt ist jedoch in der Datengrundlage eine Radlast zugeordnet. In einem zukünftigen Schritt werden mehrere Versuchsreihen mit unterschiedlicher Ballastierung ausgewertet und ähnliche Radlasten zusammengefasst, um auf die bekannten Kennlinien konstanter Radlast zu schließen.

Abbildung 6 zeigt sehr deutlich die Beschränkungen dieses Verfahrens. Das Fahrzeug befand sich bei den Versuchen fahrdynamisch im Grenzbereich. Dennoch sind große Schräglaufwinkel nicht erreichbar. Für die meisten Fahrdynamiksimulationen ist dieser Bereich ausreichend. Zur Erprobung von Extremsituationen, beispielsweise für Fahrerassistenzsysteme, muss auf Extrapolation der Kurven zurückgegriffen werden. Weiterhin werden Sturzeffekte nicht berücksichtigt. Diese sind bei landwirtschaftlichen Reifen und kleinen Sturzwinkeln nach [7] vernachlässigbar.

Schlussfolgerungen

Die Identifikation der Seitenkraft-Schräglaufwinkel-Kennlinie aus Fahrversuchen ist prinzipiell möglich. Wegen der engen Fahrgrenzen eines Ackerschleppers (Umstürzen) sind Messergebnisse allerdings nur in einem kleinen Fenster ermittelbar. Die Ergebnisse am Prüfstand werden zu einem späteren Zeitpunkt überprüft. Weitergehende Versuche zu anderen Reifenparametern sollen zukünftig durchgeführt werden. Dabei werden die für das Hohenheimer Reifenmodell benötigten Parameter

Abb. 6



besonders berücksichtigt. Der Vorderreifen wird zudem auf den institutseigenen Prüfständen vermessen, sodass die Qualität der Ergebnisse überprüft und die Methode validiert werden kann.

Literatur

- [1] Schrogl, H. (1989): Dynamische Eigenschaften von Ackerschlepper-Trieb-radreifen bei höheren Rollgeschwindigkeiten. Dissertation, Universität Hohenheim, Forschungsbericht Agrartechnik VDI-MEG, Nr. 159
- [2] Langenbeck, B. (1992): Untersuchungen zum Fahrverhalten von Ackerschleppern unter besonderer Berücksichtigung der Reifeneigenschaften. Dissertation, Universität Stuttgart, VDI-Verlag Düsseldorf, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 14, Nr. 55
- [3] Plesser, J. (1997): Dynamisches Verhalten von Ackerschlepperreifen in Vertikal- und Längsrichtung auf fester Fahrbahn. Dissertation, Universität Stuttgart, VDI-Verlag Düsseldorf, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 14, Nr. 83
- [4] Armbruster, K. (1991): Untersuchung der Kräfte an schräglaufenden angetriebenen Ackerschlepperrädern. Dissertation, Universität Stuttgart, VDI-Verlag Düsseldorf, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 14, Nr. 53
- [5] 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
- [6] Schlotter, V. (2006): Einfluss dynamischer Radlastschwankungen und Schräglaufwinkeländerungen auf die horizontale Kraftübertragung von Ackerschlepperreifen. Dissertation, Universität Stuttgart, Shaker Verlag Aachen, Forschungsbericht Agrartechnik VDI-MEG, Nr. 437
- [7] Ferhadbegović, B. (2009): Entwicklung und Applikation eines instationären Reifenmodells zur Fahrdynamiksimulation von Ackerschleppern. Dissertation, Universität Stuttgart, Forschungsbericht Agrartechnik VDI-MEG, Nr. 475
- [8] Kutzbach, H. D.; Witzel, P.; Schreiber, M. (2009): Single wheel field tester for farm tractor tyres, a review. 11th European Regional Conference of the International Society for Terrain-Vehicle Systems, Bremen, 2009
- [9] Schulze Zumkley, H.; Böttinger, S. (2009): Tyre parameter identification from road tests with agricultural tractors. 11th European Regional Conference of the International Society for Terrain-Vehicle Systems, Bremen, 2009
- [10] Schulze Zumkley, H.; Böttinger, S. (2009): Modular measuring wheels for high horsepower tractors. Tagungsband VDI/MEG-Tagung Landtechnik, Hannover, 2009, VDI-Berichte Nr. 1503, S.33-39

Autoren

Dipl.-Ing. Hendrik Schulze Zumkley ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Fachgebiet Grundlagen der Agrartechnik (**Leitung Prof. Dr.-Ing. S. Böttinger**), Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart, E-Mail: H.SchulzeZumkley@uni-hohenheim.de