

Einfluss dynamischer Radlastschwankungen auf die Kraftübertragung am Traktorreifen

Der Einfluss der Radlast auf die übertragbaren Längs- und Seitenkräfte ist offensichtlich, daher ist eine genaue Kenntnis der Radlastverlaufs unverzichtbar. Mit dem Bandlaufprüfstand in Hohenheim wurde der Einfluss des Reifens auf dynamische Radlastschwankungen erfasst. Mit der Einzelradmesseinrichtung konnten zusätzlich stochastische Anregungen auf realen Fahrbahnoberflächen untersucht werden. Mit Hilfe von Hindernissen wurde der Einfluss von Radlastschwankungen auf die Seitenkraftgenerierung untersucht. Der Aufbau von Seitenkräften wurde hierbei durch die schlagartige Änderung der Kontaktfläche bestimmt.

Dipl.-Ing. Volkmar Schlotter ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion mit Grundlagen der Landtechnik des Instituts für Agrartechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H. D. Kutzbach), Universität Hohenheim, Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart; e-mail: vschlott@uni-hohenheim.de

Schlüsselwörter

Traktorreifen, Radlastschwankungen, Seitenkraftübertragung

Keywords

Tractor tyres, dynamic tyre load, lateral force transmission

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 02317 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Radlast hat entscheidenden Einfluss auf die übertragbaren Kräfte zwischen Reifen und Fahrbahn oder Boden [1, 2]. In vielen Ansätzen zur Modellierung und Simulation der Kräfte am Rad wird daher ein dimensionsloser Triebkraft- oder Seitenkraftbeiwert definiert [3]. Da die Radlast hierbei als Bezugsgröße dient, wird für die Ermittlung der Beiwerte eine konstante Radlast vorausgesetzt.

Messeinrichtungen zur Messung von Kräften am Rad arbeiten entweder mit Ballastierung [4] oder mit Regeleinrichtungen [5], um die Radlast während der Messungen konstant zu halten. Beim Messverfahren mit Gewichten können aufgrund von Fahrbahnebenheiten Schwankungen in der Radlast nicht ausgeschlossen werden. Bei geregelter Radlast können die Radlastschwankungen bei ausreichend schneller Regelung gering gehalten werden, dennoch sind auch hier aufgrund der Ungleichförmigkeit des Reifens Änderungen in der Kontaktfläche und daher Auswirkungen auf die Kraftübertragung zu erwarten. Beim Einsatz von Fahrzeugen treten jedoch immer Radlastschwankungen auf.

Untersuchungsmethode

Für die Untersuchung wurden der Bandlaufprüfstand [6] und die Einzelradmesseinrichtung [2] in Hohenheim verwendet. Mit dem Bandlaufprüfstand kann der Einfluss des Reifens auf die Radlastschwankungen erfasst werden. Die resultierende Dynamik der Radlast wird allein durch verschiedene Einflussfaktoren des Reifens, wie etwa der geometrischen Ungleichförmigkeit, der Massenunwucht oder der Ungleichförmigkeit

Bild 1: Dynamisches Radlasten bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten

Fig. 1: Dynamic tyre loads at different driving speeds

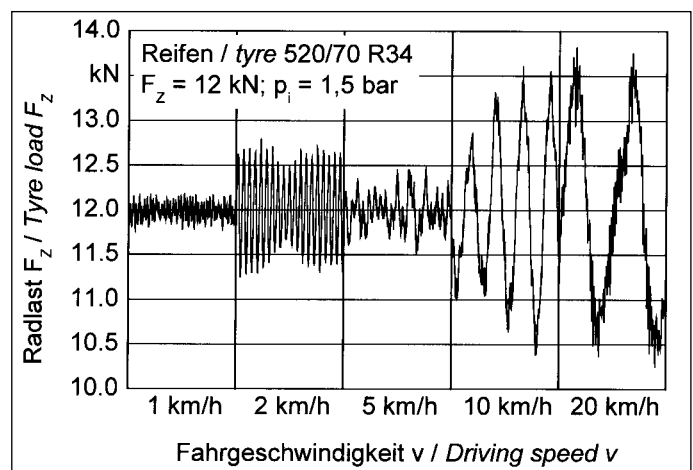
Tab. 1: Stoßfaktoren der Radlast bei unterschiedlichen Fahrbahnen; F_z : Statistische Radlast, p_i : Reifeninnendruck, v : Fahrgeschwindigkeit, S_{e^*} : Stoßfaktor entlastend, S_{b^*} : Stoßfaktor belastend

Table 1: Shock factors of tyre load for different tracks; F_z : Static tyre load, p_i : inflation pressure, v : driving speed, S_{e^*} : shock factor unloading, S_{b^*} : shock factor loading

Fahrbahn	F_z [kN]	p_i [bar]	v [km/h]	S_{e^*} [-]	S_{b^*} [-]
Stahlband	12	1,5	5	0,96	1,05
Asphalt	14	1,6	5	0,93	1,07
Asphalt	14	0,8	2	0,93	1,08
			5	0,93	1,07
			10	0,92	1,07
Feldweg	14	0,8	20	0,88	1,13
			5	0,91	1,11
Wiese	14	0,8	5	0,88	1,13

keiten der Steifigkeit des Reifens über dem Umfang (Non-Uniformity) bestimmt.

Für Messungen auf realen Fahrbahnoberflächen wurde die Einzelradmesseinrichtung eingesetzt. Die in [7] dargestellte Regeleinrichtung der Radlast wurde entfernt. Somit resultiert die Radlast nur aus dem Eigengewicht des Messrades, der Messnabe und der Aufhängung in der Messeinrichtung. Außer den Messungen auf verschiedenen Fahrbahnoberflächen wie Asphaltweg, Feldweg oder Wiese wurden Einzelhindernisse in Form von Stufen oder Schwellen überfahren, um die Auswirkungen von sprungförmigen Anregungen zu erfassen.



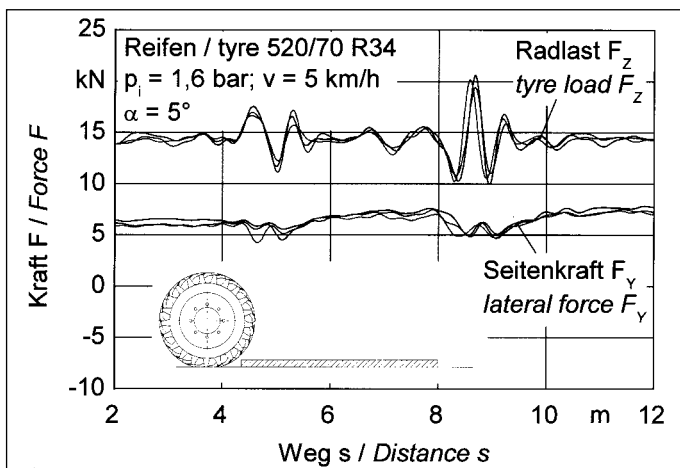


Bild 2: Verlauf der Radlast und Seitenkraft beim Überfahren einer Stufe für drei Wiederholungen

Fig. 2: Course of tyre load and lateral forces during passing a step for three repetitions

Weitere Versuche wurden mit aktivierter Regeleinrichtung durchgeführt, um verschiedene Formen von Radlastschwankungen gezielt anzuregen und mit den Ergebnissen ohne Regeleinrichtung zu vergleichen.

Radlastschwankungen auf ebener Fahrbahn

Die Ergebnisse der Vertikalkraftmessungen auf dem Bandlaufprüfstand sind in Bild 1 für jeweils eine Radumdrehung dargestellt. Die sehr unterschiedlichen Verläufe der Radlast für unterschiedliche Geschwindigkeiten sind vor allem auf die Eigenfrequenzen im Bereich der Reifenanregung als auch in der Stollenanregung zurückzuführen. Daher zeigten diese Versuche eine sehr gute Reproduzierbarkeit. Bei höheren Fahrgeschwindigkeiten treten niederfrequente Radlastschwankungen in den Vordergrund, bei $v = 20$ km/h wird ein Maximum aufgrund des Eigenschwungsverhaltens des Reifens erreicht [8]. Zusätzliche Messungen ergaben weitere Maxima sowie ein Abklingen der Radlastschwankungen für höhere Fahrgeschwindigkeiten.

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Radlastschwankungen kann eine dimensionslose Bezugsgröße, der Radlaststoßfaktor S als Quotient der tatsächlichen zur statischen Radlast gebildet werden:

$$S = F_{\text{tat}} / F_{\text{stat}}$$

Bei den dargestellten Versuchen ergibt sich für diesen Reifen eine Bandbreite des Stoßfaktors von $\sim \pm 25\%$. Wird die exakte kritische Geschwindigkeit erreicht, sind für die Stoßfaktoren Werte zu erwarten, die nahezu zum Abheben des Reifens führen, also nahezu den Wert $S_E = 0$ erreichen [9].

Eine Erhöhung der Radlast führt hingegen zu geringeren Stoßfaktoren. Aufgrund dieser Radlastabhängigkeit geht bei der dimensionslosen Beschreibung durch den Stoßfaktor Information verloren. Eine Berücksichtigung des tatsächlichen Radlastverlaufes ist

daher bei der Beschreibung der Radlastdynamik unumgänglich.

Radlastschwankungen auf unterschiedlichen Fahrbahnen

Im Vergleich zu den Ergebnissen auf dem Bandlaufprüfstand traten auf einem asphaltierten Feldweg etwas größere Schwankungen der Radlast auf (Tab. 1.) Während die Messungen auf dem Bandlaufprüfstand eine sehr hohe Reproduzierbarkeit aufwiesen, wurden auf dem Feldweg stochastische Radlastschwankungen und daher eine schlechtere Reproduzierbarkeit festgestellt. Eine Zunahme der Stoßfaktoren konnte bei Messungen auf geschotterten Feldwegen und Wiesen festgestellt werden. Dabei zeigten sich vermehrt stochastische Anregungen.

Im Weiteren sollen speziell sprunghafte Anregungen betrachtet werden, da diese Form der Radlastschwankungen außer der Belastung des Fahrers und des Fahrbahnbelages auch zu einer Verringerung der übertragbaren Trieb-, Brems- oder Seitenkräfte führen und daher die Fahrsicherheit beeinträchtigen kann [10].

Einfluss auf die Seitenkraftübertragung

In Bild 2 wurde eine Stufe mit einer Höhe von 125 mm und einer Länge von 3100 mm mit konstantem Schräglaufwinkel überfahren. Die sprunghafte Anregung durch die Stufe hat jedoch keine sprunghafte Änderung der Radlast zur Folge. Durch die Verformung des Reifens erfolgt eine Anpassung an das Hindernis und daher eine kontinuierliche Veränderung der Radlast. Die Trägheit sowie Federwirkung des Reifens führen zu einem Überschwingen der Radlast. Bei der Auffahrt auf die Stufe steigt die Radlast stark an, ohne dass die Seitenkraft diesem Anstieg in gleichem Maße folgt. Die Gründe hierfür sind in der schlagartigen Verringerung der Kontaktfläche beim Befahren der

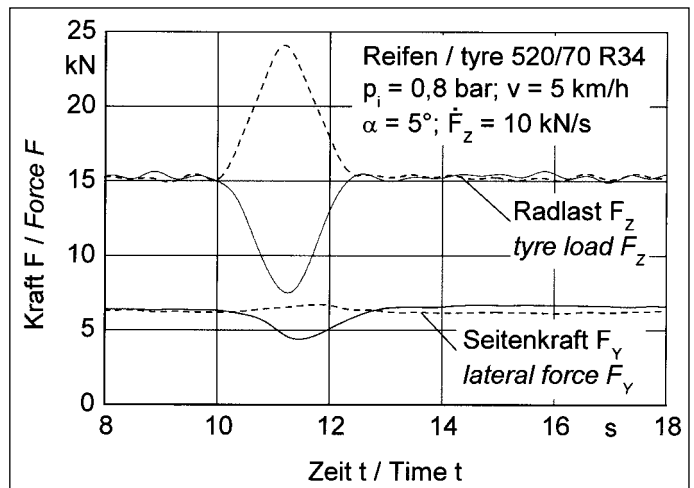


Bild 3: Verlauf von Radlast und Seitenkraft bei einer rampenförmigen Radlastanregung

Fig. 3: Course of tyre load and lateral forces during a ramp change of tyre load

Stufe zu sehen, so dass der Kontaktflächen- druck stark ansteigt und die Haftgrenze überschritten wird. Die Gummielemente in der Kontaktzone beginnen zu gleiten und die Kraftübertragung wird verschlechtert. Der Verlauf beim Verlassen der Stufe verdeutlicht, dass die Seitenkraft stärker auf die Reduzierung als auf die Zunahme der Radlast reagiert. Aufgrund der Reifeneinfederung steigt die Radlast und hat eine geringe Seitenkraftzunahme zur Folge. Im Mittel zeigt sich auch beim Verlassen der Stufe eine deutlich reduzierte Seitenkraft. Insgesamt wird daher die Seitenkraft bei beiden Bewegungsabläufen durch den Verlust an Kontaktfläche verringert.

Um den Einfluss der Kontaktflächenänderung weitgehend auszuschließen, wurden Versuche mit der Radlastregelung der Einzelradmesseinrichtung durchgeführt. Somit ist es möglich, die Dynamik der Radlast mit gezielter Anregung (Rampenanregung) zu untersuchen (Bild 3). Während der Radlastzunahme nur eine geringe Steigerung der Seitenkraft folgt, ist die Abnahme der Seitenkraft bei Verringerung der Radlast deutlicher. Bei der zusätzlichen Belastung des Reifens werden Reifenkarkasse und -flanke weitergehend verformt, bevor eine Auswirkung auf die Seitenkraftübertragung wirksam wird. Bei der Entlastung des Reifens folgt die Änderung sehr viel schneller, ein unsymmetrisches Verhalten ist festzustellen.

Fazit

Die übertragbaren Kräfte bei dynamischen Radlastschwankungen hängen stark von den Vorgängen im Reifen und in der Kontaktfläche ab. In weiteren Untersuchungen soll versucht werden, die Reaktion der Seitenkraft zu quantifizieren und somit das Übertragungsverhalten zu beschreiben. Die bisherigen Versuche haben gezeigt, dass hierbei eine Berücksichtigung des Vorzeichens des Radlastgradienten unverzichtbar ist.