

Innenkontur eines Traktorreifens auf festem und nachgiebigem Boden

Für die Vorhersage der Kräfte und Momente, die ein Reifen auf den Untergrund übertragen kann, ist eine genaue Kenntnis der Kontaktfläche erforderlich. An der Universität Hohenheim wurde in die bestehende Einzelradmesseinrichtung eine Lasermesseinrichtung integriert. Mit einem Lasersensor im Rad kann der Abstand zur Innenkontur in der Lauffläche als auch im Bereich der Seitenflanke gemessen werden. Erste Ergebnisse zeigen eine weitreichende Verformung des Reifens auch außerhalb der Kontaktfläche, welche von bestehenden Modellen zur Kontaktflächenberechnung nicht berücksichtigt wird.

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

Referierter Beitrag der LANDTECHNIK, die Langfassung finden Sie unter LANDTECHNIK-NET.com.

Schlüsselwörter

Traktorreifen, Innenkontur, Lasermesseinrichtung, Reifenverformung

Keywords

Tractor tyres, internal contour, laser measuring set, tyre deformation

Literaturhinweise sind unter LT 01120 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Zunehmende Fahrzeugmassen von Traktoren und selbstfahrenden Arbeitsmaschinen haben in den letzten Jahren zu einer intensiveren Betrachtung der Wirkungsweise von Reifen und Boden geführt. Zum einen muss die Bauart und Geometrie der Reifen den gestiegenen Anforderungen bezüglich Leistungsfähigkeit und somit der Kraftübertragung angepasst werden, zum anderen wird die Verdichtung und Schädigung der Böden maßgeblich durch die verwendeten Reifen bedingt. An der Universität Hohenheim wurde eine Lasermesseinrichtung in einen Reifen eingebaut, um genaue Aussagen hinsichtlich des Verformungsverhaltens des Reifens treffen zu können.

Theorie

Die Kenntnis der genauen Kontur der Kontaktfläche ist für eine Beurteilung der Vorgänge im Reifen und der daraus entstehenden Wirkungen für die Kraftübertragung von Bedeutung. Auf fester Fahrbahn, wie Asphalt oder Beton, ist die Kontaktfläche maßgeblich von der Reifeneinfederung abhängig, da die Elastizität der Fahrbahn meist vernachlässigt werden kann. Diese Vereinfachung ist auf nachgiebigem Boden nicht mehr zulässig, da hier eine Verformung des Bodens und somit eine Spurbildung stattfinden. Die Verformung des Bodens setzt sich aus einem plastischen und einem elastischen Anteil zusammen, so dass eine nachträgliche Messung der Bodenverformung den Momentanzustand während der Überfahrt nur bedingt widerspiegelt.

Der Rollwiderstand des Reifens setzt sich aus einem inneren Anteil, hervorgerufen durch die Walkarbeit des Reifens, und einem äußeren Anteil, hervorgerufen durch die Verformung des Bodens, zusammen. Da eine direkte Messung des äußeren Rollwiderstandes nicht möglich ist, kann ersatzweise der innere Rollwiderstand auf fester Fahrbahn und der Gesamtwiderstand auf nachgiebiger Fahrbahn bestimmt werden. Unter der Annahme, dass der innere Anteil auf beiden Untergründen gleich ist, kann der äußere Rollwiderstand berechnet werden.

Da eine genaue Bestimmung des Umrisses zeitaufwendig ist, wird in vielen Modellen der Umriss der Aufstandsfläche durch ein

Rechteck oder eine Ellipse angenähert. Somit lässt sich das Problem der Flächenbestimmung auf ein zweidimensionales Modell des Reifens in Längs- und Vertikalrichtung reduzieren. Während die Kontaktlinie des Reifens auf fester Fahrbahn durch eine Sekante dargestellt werden kann, erfolgt auf nachgiebigem Untergrund die Annäherung meist durch einen Kreisbogen mit vergrößertem Radius [1], eine Parabel [2], eine Spirale [3] oder der Kombination aus mehreren Elementen. Mit der berechneten Kontur lassen sich die resultierenden Kräfte am Rad ermitteln.

Untersuchungsmethode

Für die Untersuchung wurde die Einzelradmesseinrichtung [4] der Universität Hohenheim verwendet und erweitert. Mittels eines Laserabstandsensors wurde ein System zur Erfassung der Innenkontur entwickelt (*Bild 1*). Um Beschädigungen zu vermeiden, erfolgt der Einbau des Lasersensors nach der Reifenmontage durch Montageöffnungen. Durch einen Schrittmotor kann der Lasersensor quer zur Fahrtrichtung um einen Schwenkwinkel β von bis zu $\pm 85^\circ$ ausgelenkt werden.

Messungen wurden im Stand und während der Fahrt durchgeführt. Bei den Standmessungen wurde der Lasersensor durch den Schrittmotor geschwenkt, um das Querprofil des Reifens aufzuzeichnen. Für die Fahrtmessungen wurde der Laser in einer festen Position $\beta = \text{const}$ fixiert und das Abstandssignal für mehrere Umdrehungen gemessen.

Ergebnisse

Standmessungen

Bild 2 zeigt den Vergleich mehrerer Standmessungen auf festem und auf nachgiebigem Untergrund für unterschiedliche Radlasten. Dargestellt ist der reale Abstand des Lasers von der Innenkontur in X- und Y-Richtung. Mit zunehmender Radlast nimmt die Einfederung des Reifens zu, wobei eine zunehmende Abplattung der Aufstandsfläche stattfindet. Die Abplattung und die Einfederung sind auf der Betonfahrbahn größer, da die Latschlänge geringer ist. Messungen auf fester Fahrbahn haben gezeigt,

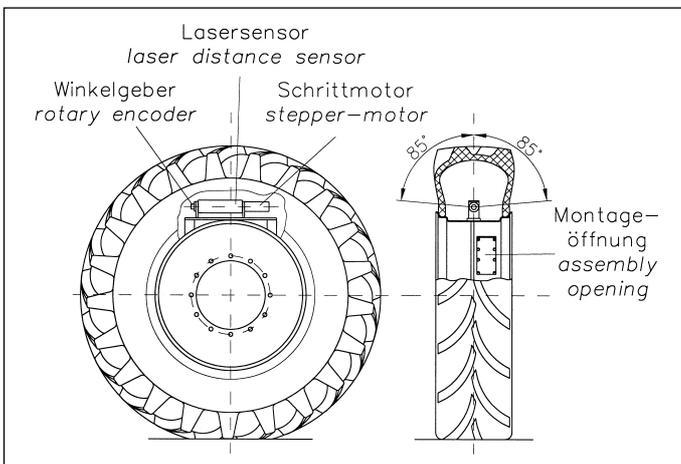


Bild 1: Lasermesseinrichtung

Fig. 1: Laser measuring set

dass an der Innenfläche des Reifens die Lage der Stollen erkennbar wird. Der Druck des Stollens führt zu einer Verformung der Karkasse, daher ist die Kontur im mittleren Bereich nicht parallel zur waagrechten Fahrbahnoberfläche, sondern zeigt bei -200 mm bis -100 mm eine Wölbung. Bei höheren Reifeninnendrucken wird dieser Effekt noch deutlicher, da sich die Reifenaufstandsfläche verkleinert und somit die Anzahl der in der Kontaktfläche befindlichen Stollen verringert. Bedingt durch die zunehmende Auswölbung der Reifenflanke bei höheren Radlasten kommt es zu Fehlsignalen aufgrund der schlechten Reflexion des Laserstrahls an der Innenwand des Reifens.

Fahrtmessungen

In Bild 3 ist die reale Kontur, welche in einer Fahrtmessung ermittelt wurde, dargestellt. Die Innenkontur gibt den gemessenen Abstand des Lasers für eine Radumdrehung auf nachgiebigem Boden wieder. Die kreisförmige unbelastete Kontur des Reifens ist gestrichelt dargestellt. Ausgehend von der Innenkontur wurde die Form der zu erwartenden Außenkontur festgelegt. Dabei bleiben die Elastizitäten der Lauffläche in radialer Richtung und der Stollen unberücksichtigt. Für die Betrachtung der Aufstandsfläche werden gewöhnlich Bug- und Heckwinkel Θ_1 und Θ_2 herangezogen, welche den Ein- und Austrittspunkt der Kontaktfläche charakterisieren.

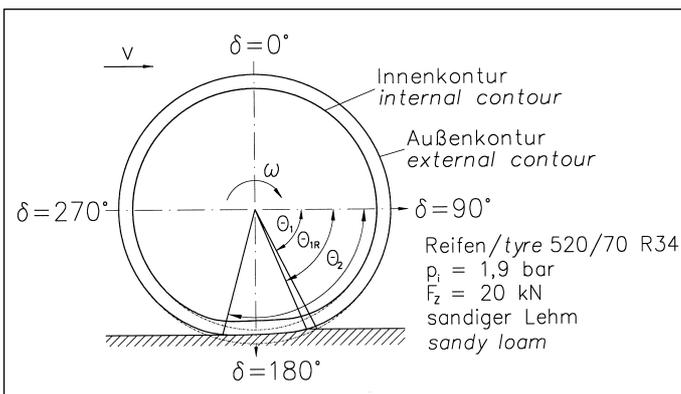


Bild 3: Verformung des Reifens in Längsrichtung

Fig. 3: Deformation of the tyre in longitudinal direction

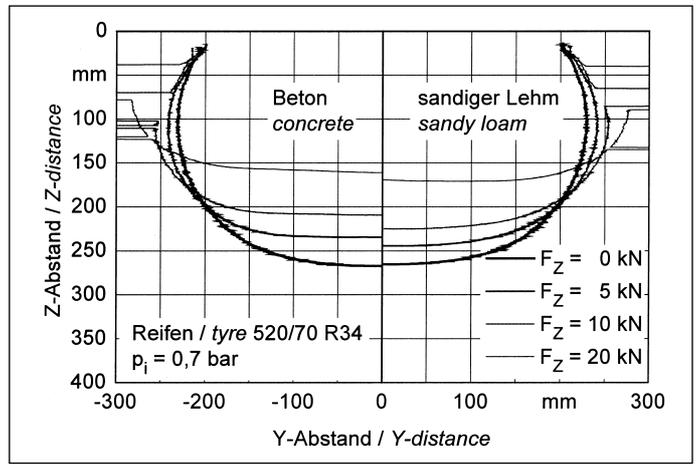


Bild 2: Innenkontur des Reifens in Querrichtung

Fig. 2: Internal contour of the tyre in lateral direction

Wird die Kontur innerhalb der Kontaktfläche mit den theoretischen Ansätzen verglichen, so zeigen sich nur geringe Unterschiede für die einzelnen Modelle. Aufgrund des relativ großen Durchmessers der Traktorreifen im Vergleich zur Aufstandsfläche stellt die Kontur innerhalb der Kontaktfläche nur einen kleinen Abschnitt des gesamten Umfangs dar. Dieser Teil der Kontur lässt sich sowohl durch Kreisbögen als auch durch Parabeln oder Spiralen gut annähern.

Jedoch verursacht der relativ steife Gürtel des Reifens eine Verformung der Lauffläche auch außerhalb der eigentlichen Kontaktfläche. Durch die Vorverformung des Reifens ergibt sich eine Verschiebung des Eintrittspunktes des Reifens in die Kontaktfläche, so dass der reale Bugwinkel Θ_{1R} größer ist. In den bekannten theoretischen Ansätzen zur Bestimmung der Kontaktfläche wird der Reifen außerhalb des Kontaktbereichs durch den unbelasteten Radius r_0 angenähert. Bild 4 zeigt jedoch, dass dies nur eine grobe Näherung darstellt, da sich der Reifen auch außerhalb der Kontaktfläche verformt. Im oberen Bereich des Reifens findet eine nahezu konstante Verschiebung der Kontur nach außen statt. Die Winkel δ_1

und δ_2 charakterisieren die Verringerung des Abstandes durch den Kontaktdruck in der Aufstandsfläche. Die Verformung des Reifens beschränkt sich nicht auf die Kontaktfläche und wird daher nur unzureichend durch Bug- und Heckwinkel beschrieben.

Fazit

Die Messungen zeigen, dass bisherige Modelle zur Simulation der Reifenkontur die reale Verformung des Reifens unzureichend berücksichtigen, da sich der Reifen nicht nur in der Aufstandsfläche, sondern nahezu über den gesamten Umfang verformt. Der Reifen auf nachgiebigem Untergrund wird geringer verformt. Der innere Rollwiderstand ist also auf fester und nachgiebiger Fahrbahn auch bei sonst gleichen Parametern nicht identisch. Die Bestimmung des anteiligen inneren Rollwiderstandes auf nachgiebiger Fahrbahn bleibt problematisch. Durch den Rückgriff auf den Rollwiderstand auf fester Fahrbahn wird der Anteil des inneren Rollwiderstandes zu groß. Zukünftige Modelle sollten den Verformungszustand des Reifens berücksichtigen und eine Berechnung des inneren Rollwiderstandes ermöglichen.

Bild 4: Abweichung der Innenkontur vom Abstand l_0 des unbelasteten Reifens

Fig. 4: Difference of the internal contour to the distance l_0 of the unburdened tyre

