

Christian Brinkmann und Heinz Dieter Kutzbach, Hohenheim

# Höherfrequente Anregung von Traktorreifen

*Am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim ist der bestehende Flachband-Reifenprüfstand mit einem Schwingungserreger erweitert worden, mit dem Reifen monofrequent angeregt werden können. Damit wird eine genauere Untersuchung des dynamischen Verhaltens landwirtschaftlicher Reifen in einem breiten Frequenzbereich von 2 bis 80 Hz möglich. In diesem Beitrag werden Wirkweise und Konstruktion dieses Unwuchterregers beschrieben sowie erste Ergebnisse erläutert.*

Dipl.-Ing. Christian Brinkmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Fachgebiet Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion mit Grundlagen der Landtechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.D. Kutzbach), Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart; e-mail: [chbm@uni-hohenheim.de](mailto:chbm@uni-hohenheim.de)

## Schlüsselwörter

Reifendynamik, Federungs- und Dämpfungseigenschaften, Resonanzfrequenz, Fahrkomfort

## Keywords

Tyre dynamics, spring and damping characteristics, resonance frequency, ride comfort

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 04413 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Reifen stellen die Schnittstelle zwischen Fahrbahn und Fahrzeug dar und haben deshalb besonderen Einfluss auf das Fahrverhalten des Fahrzeugs. Für Traktoren und Landmaschinen, die sowohl für Transport- als auch für Feldarbeiten eingesetzt werden, ergeben sich unterschiedliche, teilweise widersprüchliche Anforderungen. Bei steigenden Transportgeschwindigkeiten sind die Federungs- und Dämpfungseigenschaften der Reifen von hoher Bedeutung. Zur Bewertung der Federungs- und Dämpfungscharakteristik muss neben der Fahrsicherheit auch der Fahrkomfort betrachtet werden, um Gesundheitsgefahren für den Fahrer zu vermeiden.

## Anregungsarten

Vibrationen werden durch verschiedene Quellen angeregt: Unebenheit der Fahrbahn, Eigenanregung des Reifens durch Unrundheit und Stolleneinfluss, fahrzeugseitige Anregungen durch Motor- und Antriebsstrang. Bei der Untersuchung des Übertragungsverhaltens eines Reifens müssen verschiedene Einflussgrößen betrachtet werden. In [1] beschreibt Zhang eine Unterteilung nach Frequenzbereich:

- Fahrverhalten und Fahrstabilität ~ 0 - 5 Hz
- Fahrkomfort und Vibrationen ~ 5 - 50 Hz
- Akustische Eigenschaften (Geräusch) ab ~ 40 Hz

In der Überschneidungszone von etwa 20 bis 100 Hz sind Phänomene hör- und fühlbar.

Neben der Anregung durch die Fahrbahn muss das Eigenfrequenzverhalten des Reifens und die Reaktion des Aufbaus auf den Reifen berücksichtigt werden. Mit dem neuen Schwingungserreger kann der für den Fahrkomfort relevante Frequenzbereich untersucht werden.

Eine Schwingungsanregung kann auf verschiedene Weisen erfolgen [2, 3]:

- Ausschwingversuch oder Hindernisüberfahrt
- Harmonische Anregung
- Stochastische Anregung

Ausschwingversuche werden in Einzeltests durchgeführt, wohingegen harmonische und stochastische Anregungen während einer de-

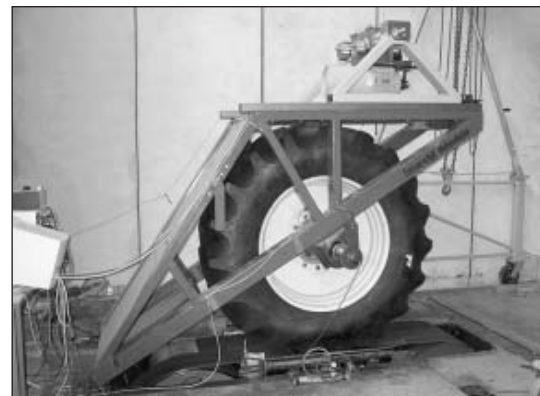


Bild 1: Flachband-Reifenprüfstand mit montiertem Schwingungsanreger

Fig. 1: Flatbelt tyre test stand with mounted shaker device

finierten Zeitperiode erfolgen. Harmonische Schwingungen bestehen aus definierten Sinusschwingungen. Die Phasenverschiebung zwischen Anregung und Systemantwort charakterisiert die Dämpfungseigenschaften des Reifens. Stochastische Anregungen verursachen regellose Schwingungen und können zum Beispiel das Überfahren eines schlechten Feldweges abbilden, was der Realität sehr nahe kommt.

## Der Prüfstand

Der Prüfstand, der an der Universität Hohenheim entwickelt wurde, ist ein Flachband-Reifenprüfstand und wurde bereits in vielen Veröffentlichungen beschrieben [4, 5].

Der Reifen wird in einer Schwinde geführt und rollt auf einem 600 mm breiten Stahlband ab, das mit Schleifpapier der Körnung 40 beklebt ist, um die Fahrbahnrauigkeit zu simulieren. Die Fahrgeschwindigkeit ist von 0 bis 62 km/h stufenlos einstellbar. Auf der Schwinde können der Schwingungserreger und Gewichte zur Ballastierung montiert werden.

Die Hauptfunktion des Schwingungserregers ist die Einleitung definierter Schwingungen in die Schwinde des Prüfstandes. Verschiedene Konzepte wurden entworfen und nach Aufstellung und Gewichtung folgender Kriterien verglichen:

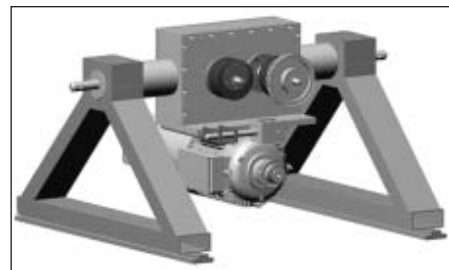


Bild 2: CAD-Modell des Schwingungserregers

Fig. 2: CAD-model of the shaker device

1. Verschiedene Anregungsmöglichkeiten (harmonisch, stochastisch, stoßförmig)
2. Handhabung
3. Verwendung auf unterschiedlichen Prüfständen
4. Verschiedene Anregungsrichtungen
5. Montage
6. Steuerungs- und Regelungsaufwand
7. Herstellungsaufwand / Zukaufteile
8. Kosten

Die Anregung durch Massenträgheit wurde für die Entwicklung und Konstruktion des Schwingungserregers zugrunde gelegt. Der Hauptvorteil liegt in der Möglichkeit der Nutzung zu Feldversuchen, etwa auf mobilen Prüfständen. Der Schwingungserreger besteht aus zwei Wellen mit jeweils zwei Exzentermassen. Durch ein Stirnradgetriebe rotieren die Wellen gegenläufig mit der gleichen Drehgeschwindigkeit. Die Zentrifugalkräfte erzeugen eine resultierende unidirektionale sinusförmige Kraft.

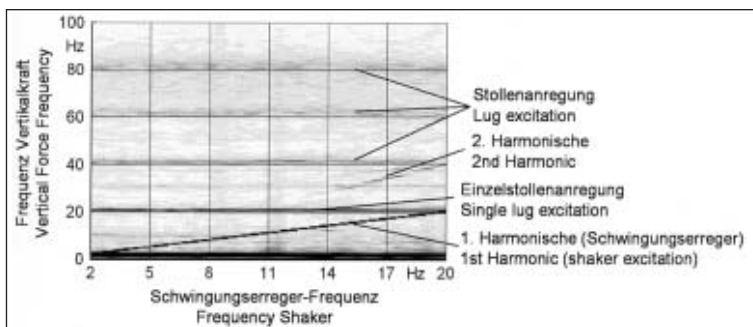
Da der Schwingungserreger mit verschiedenen Frequenzen und Amplituden anregen soll, sind auch die Exzentrizitäten der Exzentermassen stufenlos verstellbar. Ein Elektromotor (5,5 kW) ist an das Getriebegehäuse angeflanscht und treibt die Getriebeeingangswelle über einen Zahnriemen an. Die Konstruktion der Aufhängung des Schwingungserregers ermöglicht die Einstellbarkeit der Neigung. Der gesamte Schwingungserreger wird über zwei Schienen auf der Schwinge des Prüfstandes geführt und kann mit Hilfe eines Klemmmechanismus fixiert werden.

Die Maximaldrehzahl des Elektromotors liegt bei  $3000 \text{ min}^{-1}$ . Mit einer Zahnriemenübersetzung von 1:2, die auch umgekehrt werden kann, liegt die theoretische maximale Anregungsfrequenz entweder bei 25 Hz oder bei 100 Hz. Die minimale Frequenz von 2 Hz ist begrenzt durch Gleichlaufschwankungen des Antriebsmotors bei niedrigen Drehzahlen.

Zur Ermittlung der dynamischen Reifenparameter wird eine geeignete Messeinrich-

Bild 4: Vertikal-kraft bei 10 km/h

Fig. 4: Vertical force at 10 kph



tung benötigt. Am Prüfstand werden die folgenden physikalischen Werte gemessen: Vertikal- und Längskraft, Vertikal-, Lateral- und Longitudinalbeschleunigung der Schwinge, Drehwinkel, Reifeneinfederung, Geschwindigkeit von Rad und Band.

Über ein DaqBook (Messdatenerfassung) werden alle Signale auf den Messrechner übertragen. Die Messsignale werden mit Hilfe der Software LabVIEW erfasst und gespeichert. Zur Datenauswertung wurden verschiedene Auswertoroutinen mit der Software MATLAB programmiert.

### Inbetriebnahme und Vorversuche

Für die ersten Versuche wurde auf dem Flachband-Reifenprüfstand der Universität Hohenheim ein Radialreifen der Größe 580/70 R38 benutzt. Alle Testläufe wurden mit einer statischen Radlast von 15 kN und bei einem Reifeninnendruck von 0,8 bar durchgeführt. Die zur Beschreibung des Federungs- und Dämpfungsverhaltens des Reifens benötigten Parameter können mit Hilfe des Schwingungserregers durch die harmonische Anregung ermittelt werden. Nach Einstellen von Luftdruck und Radlast wird die Fahrgeschwindigkeit vorgewählt. Die Drehzahl des Schwingungserregers, die die Anregungsfrequenz darstellt, beginnt bei 2 Hz und wird in Schritten von 0,5 Hz bis auf 20 Hz erhöht. Für niedrige Frequenzen muss die Messdauer ausreichend lang sein. Daher wurde eine Aufzeichnungszeit von 20 Sekunden bei einer Abtastrate von 250 Hz gewählt.

Im Allgemeinen können Federungs- und Dämpfungseigenschaften sowie die Massenverteilung innerhalb eines Reifens nicht als ideal gleich angenommen werden. Deshalb ist es notwendig, das Modell des gedämpf-

ten Ein-Massen-Schwingers zu verfeinern, um das Schwingungsverhalten eines Reifens genauer betrachten zu können. Mit dem Schwingungserreger können nahezu beliebig monofrequente Anregungen erzeugt werden, um das Schwingungsübertragungsverhalten eines Reifens zu ermitteln.

Einige Ergebnisse der ersten Versuche werden in den Bildern 3 und 4 dargestellt. Zunächst wird der nicht rollende Reifen betrachtet. Bild 3 zeigt die Amplituden der Vertikalbeschleunigung der Schwinge. Deutlich zu erkennen sind die ersten 5 bis 6 Harmonischen. Mit höheren Anregungsfrequenzen steigen die Amplituden und treten deutlicher hervor.

Der Konturplot (Bild 4) umfasst ebenfalls das Frequenzspektrum für alle Anregungsfrequenzen. Neben der ersten und zweiten Harmonischen der Anregung durch den Schwingungserreger wird die Stollenanregung mit ihren Harmonischen deutlich sichtbar. Die Systemeigenfrequenz um 1,7 Hz streut etwas mehr, bedingt durch äußere Einflüsse bei Geschwindigkeiten von 10 km/h.

### Ausblick

Die Ergebnisse der ersten Untersuchungen zum dynamischen Verhalten von Traktorreifen bei höheren Frequenzen an einem Flachbandprüfstand mit dem beschriebenen Schwingungserreger sind soweit sehr viel versprechend. Der Einfluss einer Anregungsfrequenz bis 20 Hz auf die Vertikal-kraftübertragung ist deutlich erkennbar.

In Zukunft soll deshalb die Anregungsfrequenz auf bis zu 80 Hz erhöht werden, um beispielsweise im Bereich der Motorzündfrequenz oder der Stollenfrequenz bei höheren Geschwindigkeiten anregen zu können. Das bedeutet auch, dass die Untersuchungen auf höhere Fahrgeschwindigkeiten ausgeweitet werden müssen. Mit dem Flachbandprüfstand können Fahrgeschwindigkeiten von über 60 km/h realisiert werden, was über der Maximalmalgeschwindigkeit der meisten Traktorreifen liegt. Des Weiteren soll der Einfluss von Reifenparametern wie Luftdruck und Radlast näher untersucht werden. Damit kann eine Datenbasis für das dynamische Reifenverhalten bei hochfrequenter Anregung und für den Einfluss der wichtigsten Reifenparameter geschaffen werden, die für die Entwicklung eines entsprechenden Reifensimulationsmodells unerlässlich ist.

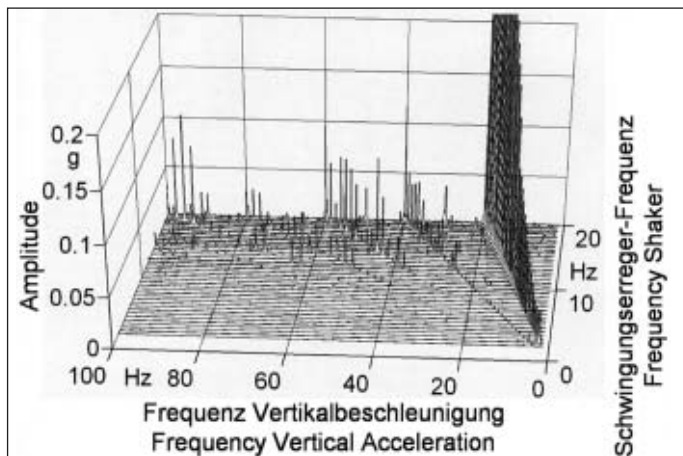


Bild 3: Vertikalbeschleunigung bei 0 km/h

Fig. 3: Vertical acceleration at 0 kph