

# Messrad für die Erfassung der Radkräfte an der Traktorhinterachse

*In einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt zur Ermittlung der Belastungen am Traktorrumpf haben die Kräfte an den Antriebsrädern eine große Bedeutung. Die Erfassung dieser Kräfte kann oft nicht oder nicht gut über die Achsgehäuseverformung gemessen werden. Ein Messrad liefert genauere Ergebnisse und ermöglicht auch die Erfassung von Seiten- und Triebkraft. Das Funktionsprinzip eines selbst konstruierten und gefertigten Messrades wird vorgestellt, ebenso Besonderheiten bei der konstruktiven Gestaltung. Die berührungslose Energie- und Signalübertragung und schließlich die Vorgehensweise bei der Kalibrierung werden erläutert.*

Dipl.-Ing. Ralf Späth ist wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Landmaschinen (Leitung: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. K. Th. Renius) der Technischen Universität München, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching, e-mail: [spaeth@ltm.mw.tum.de](mailto:spaeth@ltm.mw.tum.de)

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

## Schlüsselwörter

Radlast, Radzugkraft, Radseitenkraft, Messsystem, Traktor

## Keywords

Wheel load, wheel draft force, wheel lateral force, measuring system, tractor

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 01510 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

In dem Projekt „Traktorrumpfkollektive“, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt wird, werden Lastkollektive für das Chassis von Traktoren ermittelt. Neben den Belastungen an den Geräteschnittstellen ist dabei die Kenntnis der Radkräfte von entscheidender Bedeutung. Die Erfassung dieser Kräfte kann zum Teil durch Messung von Achsgehäuseverformungen erfolgen [1]. Dies ist aber nicht immer oder für alle Kraftkomponenten möglich. Daher wurde ein Messrad konstruiert und gefertigt, welches Radlast, Zug- und Seitenkraft an einem Traktorhinterrad zuverlässig und genau genug messen kann (Bild 1).

Das Grundprinzip der hier beschriebenen Messeinrichtung wurde in der Vergangenheit bei der Untersuchung der Kräfte zwischen Traktor und Gerät [2] angewandt. Für den Einsatz als Messrad muss jedoch auch die exakte Winkelstellung des Rades mit erfasst werden.

## Messprinzip

### Radlast und Zugkraft

Die Hauptkomponente des Messrades ist ein Vier-Speichen-Kreuz. Die Speichenenden sind reibungsfrei gelenkig und axial verschieblich in der Felge befestigt. Dieses ist für das Messprinzip von entscheidender Bedeutung (Bild 2).

Bei einer Kraft in z-Richtung weicht das Speichenpaar 2 durch die flexible Membran axial aus; damit liegt fast die gesamte Last auf Speichenpaar 1. Dieses wird auf Biegung belastet, welche sich sehr gut mittels Dehnungsmessstreifen (DMS) erfassen lässt. Das maximale Biegemoment liegt am Speichenfuß an, in diesem Bereich werden auch die DMS appliziert.

Bei einer Belastung in x-Richtung liegt die Last auf Speichenpaar 2, Speichenpaar 1 weicht axial aus. Bei gleichzeitigem Auftreten von Kräften in x- und in z-Richtung geschieht dies parallel und unabhängig voneinander.

Da sich das Messrad während der Fahrt dreht, muss die exakte Stellung des Messrades mit erfasst werden. In Abhängigkeit vom Drehwinkel  $\alpha$  und den an den Speichenpaaren anliegenden Kräften  $F_{SP1}$  und  $F_{SP2}$  ergeben sich damit Radlast und Zugkraft:



Bild 1: Messrad mit Reifen 520/70 R 38

Fig. 1: Instrumented wheel with tire 520/70 R 38

$$\text{Radlast} = \cos \alpha \cdot F_{SP1} + \sin \alpha \cdot F_{SP2}$$

$$\text{Zugkraft} = \sin \alpha \cdot F_{SP1} + \cos \alpha \cdot F_{SP2}$$

Das Antriebsmoment wird durch die Verschaltung der DMS zur Wheatstone'schen Brücke völlig kompensiert, es hat damit keinen Einfluss auf das Messergebnis.

### Seitenkraft

Die Messung der Seitenkraft erfolgt über alle vier Speichen, es werden acht DMS (zwei je Speiche) zu einer Vollbrücke verschaltet. Das Signal der Seitenkraft ist vom Drehwinkel unabhängig, da die DMS so verschaltet werden, dass ein störender Einfluss von Lenk- und Sturzmomenten vollständig ausgeglichen wird.

### Antriebs-, Sturz- und Lenkmoment

Die Erfassung dieser Momente ist am vorgestellten Rad nicht ausgeführt, aber grundsätzlich möglich. Hierzu müssen zusätzliche DMS appliziert werden. Für das Antriebsmoment muss die Verschaltung so ausgeführt werden, dass die gleichsinnige Biegung aller Speichen um die y-Achse addiert wird (kein Einfluss des Drehwinkels). Ebenso können Sturz- und das Lenkmoment erfasst werden, dazu wird die seitliche Biegung beider Speichenpaare getrennt gemessen. Mit der Information des Drehwinkels ließen sich damit Sturz- und Lenkmoment berechnen.

## Konstruktive Gestaltung

Das Messrad ist für die Hinterachse eines

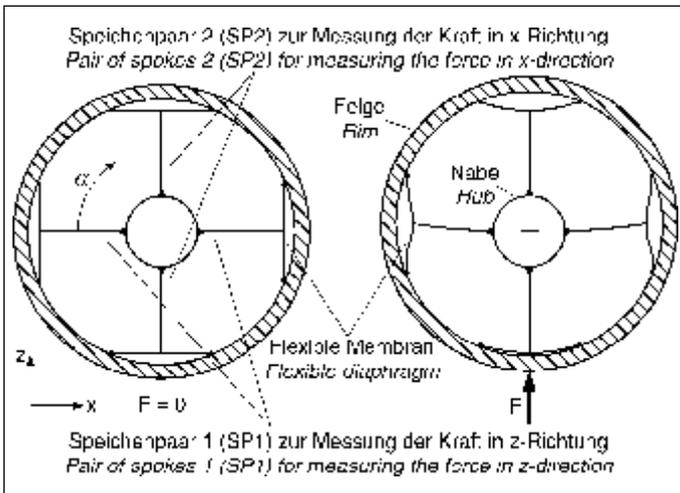


Bild 2: Funktionsprinzip am Beispiel der Erfassung der Radlast

Fig. 2: Demonstratin the principle of measuring the wheel load

Standardtraktors mit Bereifung 520/70 R 38 und eine maximale Radlast von ~100 kN ausgelegt. Der extreme Sonderfall einer gleichzeitig auftretenden maximalen Zugkraft von ~100 kN mit entsprechendem Antriebsmoment (unter Vernachlässigung des Rollwiderstands) führt noch nicht zu plastischem Fließen in den höchst beanspruchten Bauteilen. Mit diesen Lastannahmen wird ein sicherer und zuverlässiger Betrieb mit dem Versuchstraktor Fendt Favorit 509C (Leergewicht 5400 kg) erwartet, was durch erste Messungen bestätigt wird.

Der Aufbau des gefertigten Rades ist in Bild 3 dargestellt: Die Nabe wird wie ein normales Rad an der Traktorhinterachse montiert (275 mm Lochkreis). Die Messspeichen sind durch je zwölf Schrauben an der Nabe befestigt, für ein besseres Dehnungsverhalten der Schrauben wurde zusätzlich eine Hülse untergelegt. Diese dient gleichzeitig als mechanischer Schutz für die DMS. Die Speichen sind außen in einer Kreismembran fixiert (spielfreie Passung, axiale Sicherung mittels Wellenmutter). Die Kreismembran ist am verstärkten Außenrand mit der Membranfassung verschraubt. Diese ist direkt mit dem Felgenring verschweißt. Zur Vermeidung von Eigenspannungen wurde bei der Montage die Höhe der Membranfassung durch Abdrehen vom Übermaß exakt eingepasst. Zur Erhöhung der Steifigkeit der Felge (kein Felgenblatt) wurden zwei Versteifungsringe eingeschweißt.

Wichtige Daten des Messrades sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Daten des Messrades

Table 1: Wheel data

Masse (komplett mit Reifen)	443 kg
Felgengröße	DW 18 L x 38
Max. Radlast	100 kN
Max. Zugkraft	100 kN
Max. Seitenkraft	60 kN

### Gelenkige und axial verschiebliche Befestigung der Speichenenden im Rad

Die Messspeichen können in Längsrichtung ausweichen, damit liegt nahezu die gesamte Belastung als Biegung auf dem jeweils anderen Speichenpaar an. Mit der gelenkigen Aufhängung der Speichenenden können die Speichen als einseitig fest eingespannt betrachtet werden.

Eine derartige Aufhängung sollte bei Messaufnehmern möglichst nicht durch reibungsbehaftete Gelenke (etwa Kugelgelenke und Linearführung) erfolgen. Das Reibungsverhalten würde zu einer Hysterese des Aufnehmers führen und wäre zusätzlichen Störungen unterworfen.

Daher wurde für die gelenkige und axial verschiebliche Aufhängung eine flexible Membran konstruiert (minimale Wandstärke 3 mm). In der Ebene der Membran muss diese größten Belastungen standhalten und die größte Steifigkeit aufweisen. Da diese Belastungen nur durch Kräfte in der Membranebene aufgenommen werden, sind beide Anforderungen gut erfüllt. Senkrecht dazu sind Steifigkeit und Belastung gering.

### Kerbgrund der Speiche

Der Kerbgrund der Speiche ist maximalen Beanspruchungen ausgesetzt. Die Form der Speiche wurde durch FEM-Berechnungen optimiert [3]. Damit konnte die Kerbwirkung deutlich reduziert und gleichzeitig der Bereich maximaler Spannung vergrößert werden. Dies ist vorteilhaft für die Signalerfassung mit in diesem Bereich applizierten DMS (etwa konstante Spannung unter dem Messgitter des DMS).

### Werkstoffwahl

Für die hochbelasteten Speichen, die Membranen und die Hülsen wurde der Vergütungsstahl 42 CrMo 4 V eingesetzt. Die Halbzeuge wurden fertig vergütet bezogen (Zugfestigkeit 900 MPa) und in diesem Zustand verarbeitet. Der Werkstoff der Nabe muss keinen hohen Festigkeitsansprüchen genügen, hier stand die Lieferbarkeit im Vor-

dergrund. Die Membranfassung zur Anbindung der Membran an die Felge besteht aus St 52-3 (gute Schweißeignung und Festigkeit). Die Versteifungsringe konnten aus einfachem Baustahl gefertigt werden.

### Energie- und Signalübertragung

Die berührungslose Energie- und Signalübertragung erfolgt am besten über eine so genannte Sensortelemetrie, die von verschiedenen Herstellern als Komplettsystem angeboten wird. Sowohl die Spannungsversorgung der DMS als auch die Signalübertragung erfolgen durch eine induktive Kopplung (Hochfrequenz, hier 13,56 MHz) stellungs- und drehzahlunabhängig.

Es wird ein Drei-Kanal-Multiplexsystem eingesetzt, das die Signale der beiden Speichenpaare und der Seitenkraft überträgt.

### Kalibrierung

Die fertigen Messräder mit Reifen werden am Traktor montiert und auf Radlastwaagen gestellt. Über den Heckkraftheber und einen Fixpunkt am Boden wird die Hinterachse belastet. Bei exakt ausgerichteten Speichen konnte so ein linearer Zusammenhang zwischen Radlast und Ausgangssignal des DMS-Verstärkers – ohne Übersprechen auf die anderen Messgrößen am Rad – ermittelt werden. Die Kalibrierung der Seitenkraft erfolgte am liegenden Rad mit auf der Nabe aufgelegten Gewichten. Auch hier konnte ein linearer Verlauf ohne Übersprechen festgestellt werden.

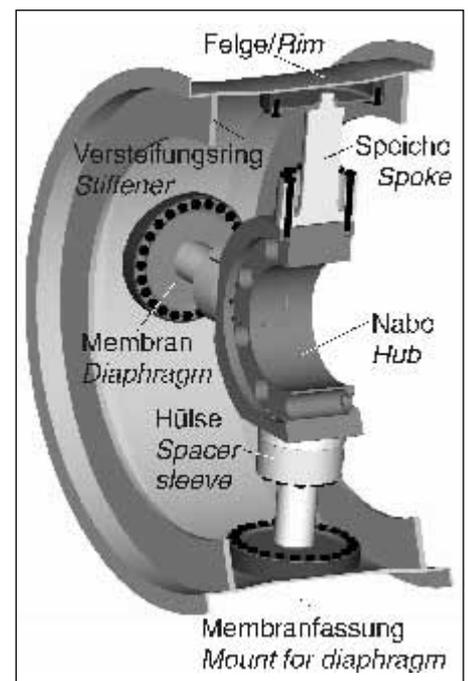


Bild 3: Konstruktive Ausführung des Rades

Fig. 3: Design of the wheel