

Vertikallasten an der Traktorvorderachse beim Frontladen

Die größten vertikalen Belastungen von Frontachsen und -reifen an Traktoren treten beim Frontladen auf. Da Standardtraktoren mit Frontlader zunehmend gegen Teleskoplader konkurrieren müssen, steigen die Anforderungen weiter an. Der vorliegende Beitrag zeigt den Einfluss verschiedener Parameter auf die vertikale Belastung. Abschließend wird ein erstes grobes Rainflow-Gesamtkollektiv für die Frontachslast beim Frontladen vorgestellt.

Die zunehmende Bedeutung der Rahmenbauweise bei Traktoren war Anlass, am Lehrstuhl für Landmaschinen der TU München ein Forschungsgebiet „Messung und Simulation von Lastkollektiven eines Traktorrumpfes“ [1] zu starten (Förderung durch die DFG und die Industrie). Der Verfasser konzentriert sich dabei auf den experimentellen Teil, während ein zweiter Wissenschaftler sich mehr mit neuen Simulationsmethoden befasst [2]. Ziel des Projekts ist eine handhabbare Prüfspezifikation für Rahmenfahrgerüste von Traktoren.

Im Folgenden sollen erste Ergebnisse für die Vertikallast (auch „Brückenlast“) an der Frontachse für Frontladen vorgestellt werden.

Für die Messung der Radlasten wurden an der Frontachse des Traktors (Fendt 509 C, 70 kW, 5400 kg, Radstand 2328 mm, Bild 1) Dehnungsmessstreifen in der Nähe der Achsschenkel angebracht. Die Lage wurde so gewählt, dass Längskräfte keinen Einfluss haben. Eine Kalibrierung erfolgte durch die lehrstuhleigene Zug-Druck-Prüfmaschine.

Der dynamische Verlauf der Radlasten links und rechts ist beim Frontladen gut deckungsgleich, solange der Pendelanschlag nicht erreicht wird. Da man die Massenabstützung durch die Achse vernachlässigen kann, lässt sich durch Summieren der Radlasten in guter Näherung die Brückenlast bestimmen.

Ergebnisse der Messungen

Um den Einfluss einzelner Parameter zu untersuchen, wurden Arbeitsabschnitte herausgegriffen und isoliert, die sonst in einem vollständigen Arbeitsprozess auftreten. Beim Reversieren (dynamischer Wechsel der Fahrtrichtung) können die Randbedingungen von Versuch zu Versuch sehr gut konstant gehalten werden, daher wird dieser Teilprozess im Folgenden zur vergleichenden Betrachtung verstärkt herangezogen. Er tritt beim Frontladen bei jeder Fahrtrichtungsänderung auf und spiegelt auch gut die Dynamik des Gesamtfahrzeugs wider.

Es wurden verschiedene Stellungen der Frontladerschwinge untersucht: Frontlader ganz oben, etwa in der Mitte und Schaufel

etwa 0,5 m über dem Boden. Statisch erzeugt ein weit nach vorne ausladender Lader eine höhere Radlast als ein weit angehobener, dies ist aus der statischen Lastverteilung einfach ersichtlich. Anders bei dynamischer Belastung: Wird etwa der Traktor verzögert, so steigt die Vorderachslast bei konstanter Verzögerung mit zunehmender Hubhöhe an (Hebelwirkung).

Der Versuchstraktor verfügt über eine hydropneumatische Federung mit Niveauregulierung. Die Federung erfolgt über einen Hydraulikzylinder und zwei Stickstoffspeicher. Der Druck in den Speichern wird der Beladung angepasst (Niveauregulierung), die Steifigkeit der Federung nimmt mit der Belastung zu. Bei sehr hoher Belastung erreicht der Öldruck einen Maximalwert (Druckbegrenzungsventil), die Federung weicht vom Niveau ab, der verbleibende Federweg sinkt. Bei gesperrter Federung wird die Schwinge hydraulisch in den Anschlag gepresst (vollständig „eingefedert“). Damit ist das dynamische Verhalten vergleichbar mit dem eines ungefederten Traktors, abgesehen von zusätzlichen Massen (Schwinge und Hydraulikzylinder) am Vorderachsbock. Bei geringer bis mittlerer Beladung des Frontladers konnte ein positiver Einfluss der Federung festgestellt werden: Die Lastspitzen sind kleiner. Bei höherer Beladung wird dieser Einfluss wegen der zunehmenden Steifigkeit und dem abnehmenden Federweg sehr klein.

Beim Abbremsen des Fahrzeugs mit Frontlader hat der Fahrer einen enormen Einfluss auf die Belastungen. Wird während des Abbremsens die Bremskraft verringert und wieder erhöht (Intervallbremsung), so kommt es zu einem Aufschaukeln des Fahrzeugs. Die Belastungsspitzen steigen stark an, die mittleren Verzögerungen sind tendenziell geringer als bei kontinuierlicher Bremsung (durchgängig volle Bremskraft).

Es liegt auf der Hand, dass bei zunehmender Beladungsmenge auch die statische Vorderachslast steigt. Bei dynamischen Belastungen konnte eine geringere Erhöhung der Belastung, als sie durch die Zunahme der Beladung erwartet worden wäre, beobachtet werden. Dieser Effekt des sinkenden Stoßfaktors bei zunehmender Masse wurde auch in anderen Arbeiten [3] festgestellt.

Dipl.-Ing. Ralf Späth ist wissenschaftlicher Mitarbeiter 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

Schlüsselwörter

Traktor, Frontladen, Vorderachslast, Betriebsfestigkeit

Keywords

Tractor, front end loading, front axle load, fatigue load analysis



Bild 1: Versuchstraktor mit Frontlader (Fendt 509C, 70 kW, 5400 kg, Radstand 2328 mm)

Fig. 1: Research tractor with front end loader (Fendt 509 C, 70 kW, 5400 kg, wheelbase 2328 mm)

Die Fahrstabilität des Traktors war ohne Heckballast und mit gefüllter Schaufel (etwa 800 kg Gut) ungenügend, ein Heckballast von etwa 800 kg brachte ein ordentliches Fahrverhalten, ein sehr schwerer Ballast von etwa 1600 kg hingegen keine weitere Steigerung der Fahrstabilität, aber auch keine lohnende Entlastung. Statisch wird die Vorderachse mit steigendem Heckballast zwar entlastet (Hebelwirkung). Dynamisch steigt die Belastung an, da bei starker Verzögerung (Abheben der Hinterachse) eine höhere Gesamtmasse an der Vorderachse abgestützt werden muss.

Gesamtkollektiv

Für die belastungsrelevante Aufarbeitung und Darstellung der Messergebnisse ist die Methode der Betriebsfestigkeit sehr gut geeignet. Hierbei werden die Belastungsverläufe durch geeignete Zählverfahren klassiert und mit einer Kennkurve des Bauteils verglichen. Nach derzeitigem Stand gilt die Rainflow-Methode als bestes Verfahren [4].

Um Lastkollektive auch auf andere Maschinen als die betrachtete anwenden zu können, sollen diese möglichst immer normiert werden. Diesem Arbeitsprinzip wurde entsprochen, indem die Lasten (Mittellast und Schwingweite) auf die statische Ruheachslast „leer“ (23,50 kN) bezogen wurden.

Bild 2 zeigt ein erstes grobes Gesamtkollektiv für 1000 Stunden Frontladen (ohne extreme Stoßlasten); es wurden folgende Anteile zugrunde gelegt (mit jeweiligen Zeitanteilen): Die Betriebslasten Frontladen leicht (44,3%) und schwer (40,0%), Verfahren (10,6%) sowie die Sonderlasten „scharfes Reversieren“ (2,3%), „Notbremsung“ (1,2%) und „Harte Frontladerbetätigung“ (1,7%). Die Abdeckungswahrscheinlichkeit wird auf 50% geschätzt, extreme Sonderlasten (etwa Fahrt mit hoher Beladung des Frontladers über eine hohe Stufe, Belastungen am Pendelanschlag) wurden hier noch nicht berücksichtigt.

Um das Kollektiv für eine Schädigungsbeurteilung zu nutzen, muss für jede Klasse (Balken) eine Teilschädigung berechnet werden. Da für die vorliegende Traktorachse keine Wöhlerlinie vorliegt, soll nur qualitativ geprüft werden, welche Klassen hauptsächlich zur Schädigung beitragen. Daher wird eine Wöhlerlinie geschätzt. Für andere, parallel laufende Wöhlerlinien ergeben sich andere Teilschädigungen, die Verteilung der Schädigungen bleibt jedoch gleich. Die Steigung der Beispiel-Wöhlerlinie beträgt je nach Mittellast 6,5 bis 9. Mit dieser kann ein Schädigungskollektiv berechnet werden, wobei die Schadensakkumulationshypothese mit Erweiterung nach Miner-Haibach angewendet wird.

Für das Gesamtkollektiv aus Bild 2 zeigt sich, dass schädigungsrelevante Lastanteile bei Mittellasten um 250% und Schwingweiten von etwa 400 bis 500% auftreten (das sind grob gesehen große Schwelllasten). Trotz der geringen Häufigkeit dieser Lastanteile tragen diese hauptsächlich zur Schädigung bei. Schwingweiten unter 250% haben fast keinen Einfluss mehr auf die Schädigung.

Literatur

- [1] Späth, R. H.: Lastkollektive eines Traktorrumpfes I – Bisherige Untersuchungen und Messprogramm für landwirtschaftliche Arbeiten auf Hof und Acker. Landtechnik 53 (1998), Sonderausgabe Juni, S. 196 - 198
- [2] Böhler, H.: Lastkollektive eines Traktorrumpfes II – Simulation der Belastungen bei Transportfahrten. Landtechnik 53 (1998) Sonderausgabe Juni, S. 199 - 200
- [3] Eichwald, U. und D. Cottin: Belastungen am Dreipunktanbau von Traktoren und Anbaugeräten. Agrartechnische Forschung 3 (1997), H. 2, S. 115 - 122
- [4] Vahlensieck, B.: Betriebsfestigkeit in der Antriebstechnik von Landmaschinen. Vortrag VDI-MEG-Tagung „Landtechnik“ TU München, Garching 15./16.10.1998. Tagungsband (VDI-Berichte 1449), S. 31-36. Düsseldorf, VDI-Verlag 1998 (siehe auch Landtechnik 54 (1999), H. 4, S. 220 - 221)

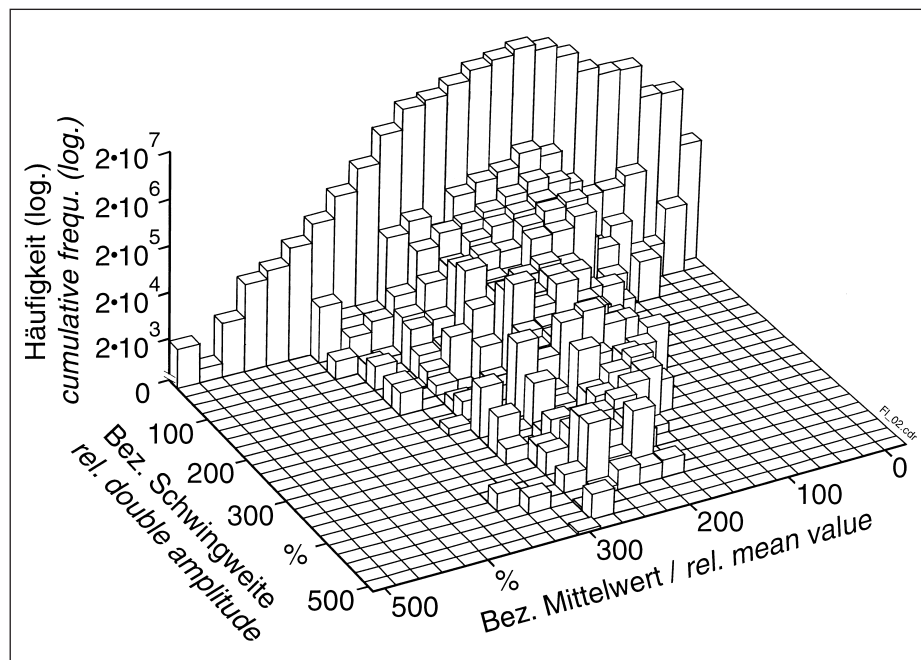


Bild 2: Rainflow-Kollektiv für die Brückenlast an der Vorderachse beim Frontladen, Bezugszeit: 1000 Stunden, geschätzte Abdeckungswahrscheinlichkeit 50% (ohne Stoßlasten)

Fig. 2: Rain flow load spectra for front axle load using a front end loader, represented time: 1000 hours, based on an estimated probability of about 50% (no shock loads)