

Ralf Späth, Garching

Erfassung von Biegemomenten im Traktorrumpf

Für die Gestaltung von Traktorrahmen sind die auftretenden Belastungen entscheidende Einflussgrößen. Ziel eines Projekts „Traktorrumpfkollektive“ ist daher die Ermittlung von Lastkollektiven für den Traktorrumpf [1]. Nach der Vorstellung des Grundkonzepts zur Erfassung der Belastungen wird der Einfluss des frequenzabhängigen Übertragungsverhaltens Heckkraftheber-Rumpf untersucht. Bei der Berechnung der Biegemomente im Rumpf müssen die Massenkräfte gesondert berücksichtigt werden. Dies geschieht über die gemessenen Beschleunigungen in Verbindung mit einer angenommenen Massenverteilung des Traktors.

Die in einem Traktorrumpf auftretenden Belastungen werden durch äußere Kräfte und Momente an den Geräteschnittstellen und Rädern sowie durch Massenkräfte des Traktors verursacht. Die Belastungen können mit zwei unterschiedlichen Methoden erfasst werden:

- Messung der Belastungen direkt im Rumpf
- Messung der äußeren Belastungen und daraus Berechnung der Belastungen im Rumpf

Die Vor- und Nachteile dieser Grundkonzepte sind in *Tabelle 1* festgehalten.

Hier wurde das Konzept „Messung der äußeren Belastungen“ gewählt. Am verwendeten Versuchstraktor (Fendt 509C, [1]) können unter anderem Richtung und Betrag der Kräfte an den Geräteschnittstellen, die Radkräfte an Vorder- und Hinterachse (selbst entwickelte Messräder [2]) sowie die Rumpfbeschleunigungen (Beschleunigungssensoren) erfasst werden.

Zusätzlich wird das Biegemoment an zwei Stellen im Rumpf erfasst. Damit ist eine Ermittlung der Lastübertragung möglich.

Übertragungsverhalten Heckkraftheber-Rumpf

Berechnet man die inneren Lasten einer Struktur aus den äußeren Kräften, so ist dies nur für den statischen Fall exakt. Wirken dy-

namische Belastungen, so üben Trägheiten und Steifigkeiten der einzelnen Körper Massenkräfte aus, die berücksichtigt werden müssen. Um diesen Einfluss zu bestimmen, wird das Übertragungsverhalten vom Heckkraftheber in den Rumpf untersucht. Hierzu wird ein Schwingungserreger am Heckkraftheber befestigt, in Verbindung mit einem Frequenzgenerator können – bei stillstehendem Traktor – beliebige Anregungen am Heckkraftheber aufgebracht werden. Durch Vergleich der Schnittstellenkräfte mit dem im Rumpf gemessenen Biegemoment kann eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion ermittelt werden.

Es zeigt sich das Übertragungsverhalten eines gedämpften Schwingers: ausgeprägter Resonanzbereich mit zu höheren Frequenzen hin abfallendem Übertragungsverhalten. Die Eckfrequenz wurde in zahlreichen Versuchen bei etwa 55 Hz bestätigt. Damit verursachen Belastungen von außen nur bis zu dieser Frequenz relevante Biegemomente im Rumpf. Die darüber liegenden Anregungen werden nur gedämpft weitergeleitet. Für die Berechnung der Biegemomente im Rumpf wurden die Belastungen mit einem digitalen Tiefpassfilter bedämpft. Es zeigte sich hierbei, dass diese Filterung fast keinen Einfluss auf die Belastungen im Chassis ausübt. Dies ist damit zu erklären, dass die Eigenfrequenz zum Beispiel beim Nickverhalten des Trak-

Tab. 1: Gegenüberstellung der Konzepte zur Ermittlung der Rumpfbelastung: „Messung der Belastungen im Rumpf“ und „Messung der äußeren Kräfte“

Table 1: Comparing two concepts for assessing the body loads: „Measuring the loads in the chassis“ and „Measuring the external forces“

Dipl.-Ing. Ralf Späth ist wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Landmaschinen (Ltg: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. K. Th. Renius) der Technischen Universität München, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching; e-mail: spaeth@ltm.mw.tum.de
Die Arbeiten werden unterstützt von der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Schlüsselwörter

Traktor, Rumpf, Rahmen, Biegemoment

Keywords

Tractor, body, mainframe, bending moment

Messung der Belastungen im Rumpf	Messung der äußeren Kräfte
Massenkräfte des Rumpfs werden richtig erfasst	Massenkräfte des Rumpfs müssen vernachlässigt oder durch gemessene Beschleunigungen berechnet werden
Biegemomente im Rumpf sind Ergebnis der Messung	Biegemomente im Rumpf müssen aus den Schnittstellenkräften berechnet werden
Erfassung der Momente im Rumpf nur an den jeweiligen Messstellen	Kompletter Kraft- und Momentenverlauf über den gesamten Rumpf ist bekannt
Keine Kenntnis über Ursache und Wirkungsweise der Belastungen	Durch Kenntnis der äußeren Kräfte können Rückschlüsse auf Wirkungsweise und Beeinflussungen gezogen werden
Keine Ergebnisse (etwa Lastkollektive) für wichtige Komponenten des Traktors (etwa Achsen)	Ergebnisse für Komponenten werden ohne zusätzlichen Aufwand gewonnen

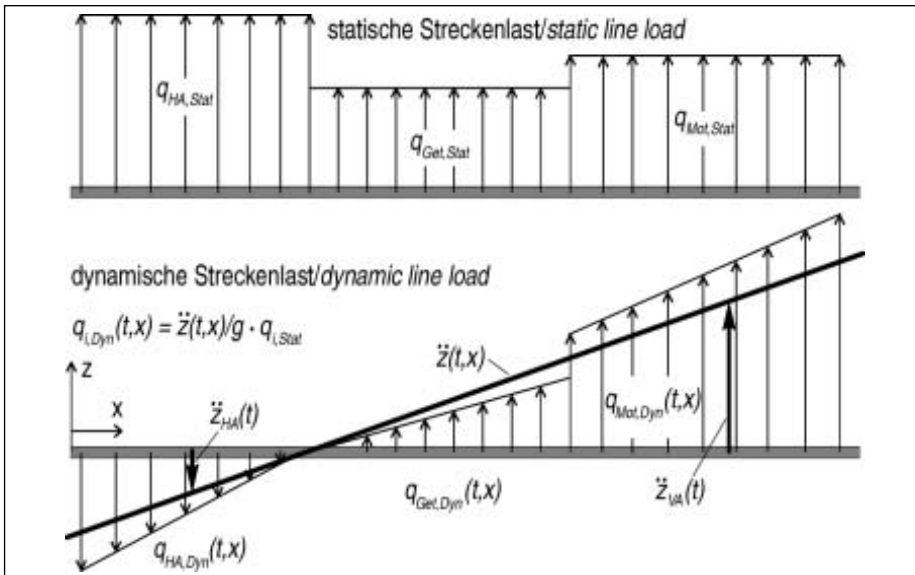


Bild 1: Modellierung der Massenkräfte am Rumpf. Oben: statische Streckenlast $q_{i,Stat}$ (Motor, Getriebe und Hinterachse mit je konstanter Massenverteilung modelliert); Unten: an Vorder- und Hinterachse gemessene Beschleunigungen $\ddot{z}_i(t)$, linearer dynamischer Beschleunigungsverlauf $\ddot{z}_i(t, x)$ (Annahme: starrer Balken) und berechnete dynamische Streckenlast $q_{i,Dyn}(t, x)$

Fig. 1: Modelling the mass forces of the tractor body. Above: static line loads $q_{i,Stat}$ (engine, gear box and rear axle are each modelled as a constant line load); Below: measured front- and rear-axle accelerations $\ddot{z}_i(t)$, linear dynamic acceleration course $\ddot{z}_i(t, x)$ (assumption: rigid beam) and calculated dynamic line load $q_{i,Dyn}(t, x)$

tors bei etwa 1 bis 4 Hz (je nach Ballastierung, Reifendruck) liegt, weit entfernt vom Isolationsbereich des Schwingungssystems Kraftheber-Rumpf.

Berechnung der Biegemomente

Zur Berechnung der Momente wird der Rumpf als biegesteifer Balken modelliert, mit angreifenden Kräften an den Geräteschnittstellen und Rädern. Damit können die Schnittgrößen am Biegebalken für jeden Messpunkt berechnet werden. Zusätzlich müssen die Massenkräfte des Rumpfes berücksichtigt werden. Der Rumpf des Traktors wird in den Bereichen Motor, Getriebe und Hinterachse mit je konstanter Massenverteilung modelliert (Bild 1). Das Chassis kann als ausreichend starr betrachtet werden (siehe vorheriger Abschnitt). Damit kann aus den gemessenen Vertikalbeschleunigungen an Vorder- und Hinterachse ein linearer Beschleunigungsverlauf über der Traktorlängsachse aufgestellt werden. Mit diesem und einer geschätzten Massenverteilung im Rumpf können die Massenkräfte aus Beschleunigung berechnet werden. Überlagert man diese den statischen Massenkräften aus Gewichtskraft und den Kräften an den Geräteschnittstellen, kann das Biegemoment im Traktorchassis auch dynamisch exakt berechnet werden.

Damit ist der zeitliche Verlauf des Biegemoments an beliebigen Stellen im Rumpf bekannt. Hierbei fallen jedoch große Datenmengen an. Um die Rechenzeit gering zu halten, werden die Schnittmomente nur an

diskreten Stellen des Rumpfs berechnet. Dies sind Stellen der Kraft- oder Momenteneinleitung und einige Zwischenpunkte. Der Verlauf zwischen den berechneten Punkten wird als linear angenommen; dies ist bei Punktlasten exakt, bei Streckenlasten (parabolischer Momentenverlauf) nur eine Näherung.

Darstellung der Ergebnisse

Die Biegemomentverläufe können als dreidimensionale Grafiken dargestellt werden

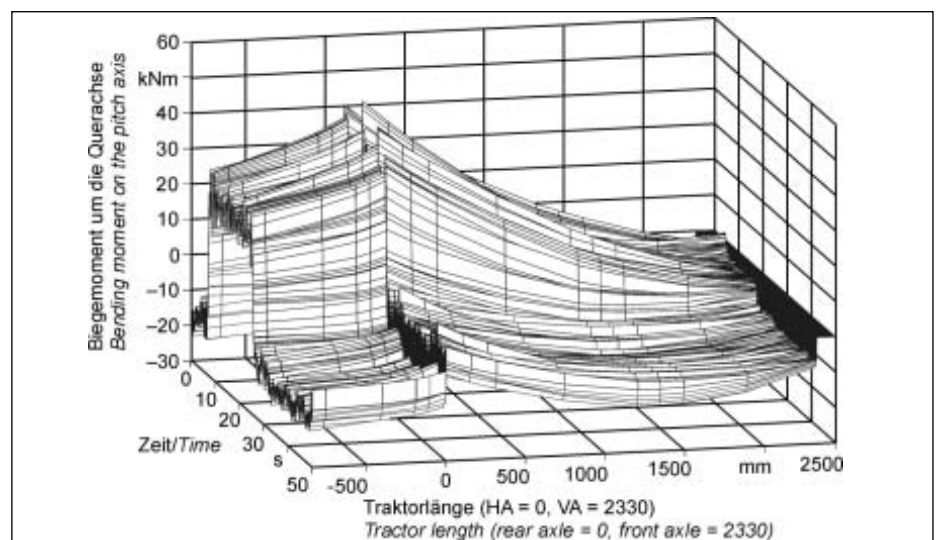


Bild 2: Zeitlicher Verlauf des Biegemoments um die Querachse im Rumpf; Bodenbearbeitung mit Grubber (mit Vorgewende); aufgetragen über der Traktorlänge

Fig. 2: Recorded time course of the chassis bending moments on the pitch axis; tillage with cultivator (including headland turns); shown over the tractor length

(Zeit, x-Koordinate des Traktorrumpfes und Biegemoment). Bild 2 zeigt den Biegemomentverlauf bei der Bodenbearbeitung mit dem Grubber. Deutlich zu sehen ist die Änderung des Biegemoments beim Ausheben und Absenken des Geräts (bei 10 und 30 s). An der Hinterachse erreicht das Biegemoment das Maximum.

Für eine Dimensionierung mit den Methoden der Betriebsfestigkeit müssen aus den berechneten Biegemomentverläufen durch Klassierung Lastkollektive gebildet werden. Dies kann für jede x-Koordinate des Traktors durchgeführt werden. Damit kann ein Biegemoment-Lastkollektiv für jeden Punkt des Rumpfes berechnet werden, auch mit der Rainflow-Methode.

Die Methode der Betriebsfestigkeit ist bei Traktoren im Bereich der Antriebstechnik seit Jahren Standardwerkzeug [3]. Bei tragenden Traktorstrukturen wird sie in Zukunft an Bedeutung gewinnen (Kosten- und Leichtbaupotenzial bei der Gestaltung von Traktorrahmen).

Literatur

- [1] Späth, R.: Lastkollektive eines Traktorrumpfes I – Bisherige Untersuchungen und Meßprogramm für landwirtschaftliche Arbeiten auf Hof und Acker. Landtechnik 53 (1998), Sonderheft 60. Geb. Prof. Renius, S. 196-198
- [2] Späth, R.: Messrad für die Erfassung der Radkräfte an der Traktorhinterachse. Agrartechnische Forschung 7 (2001), H. 5, S. 86-91
- [3] Renius, K. Th.: Betriebsfestigkeit von Traktorgetrieben. Landtechnik 56 (2001), H. 6, S. 390-391