

Henning Jürgen Meyer und Shahriar Sarami, Berlin

# Fahrwerksregelungen bei Traktoren

*Die Fahrwerksfederung in Traktoren ist eine effektive Maßnahme zur Gewährleistung der Fahrsicherheit und eines hohen Fahrkomforts. Vollgefederte Traktoren haben hierbei gegenüber Standardtraktoren Vorteile, dem aber höhere Herstellkosten gegenüber stehen. Das gilt besonders für hydropneumatisch gefederte Fahrwerke. In diesem Beitrag werden verschiedene Regelungskonzepte für Traktorenfahrwerke vorgestellt, die an der Technischen Universität Berlin entwickelt und untersucht werden.*

Bei Standardtraktoren betragen die Höchstgeschwindigkeiten bis zu 60 km/h. Bei diesen Fahrzeugen werden neben einer Federung der Kabine und des Fahrersitzes vorwiegend hydropneumatisch gefederte Vorderachsen eingesetzt. Vollgefederte Fahrzeuge, etwa der Unimog, der JCB Fast-trac oder Spezialmaschinen wie selbstfahrende Pflanzenschutzgeräte, bilden heute als vollgefederte Traktoren eher die Ausnahme, obwohl das Potenzial dieser Systeme zur Reduzierung der negativen Schwingungsauswirkungen groß ist. Mit dieser Problematik befasste sich eine Studie des Silsoe Research Institute. In dieser wurden Ganzkörpervibrationen an modernen Traktoren untersucht [1]. Es wurden die wirkenden Vibrationsbelastungen auf Menschen während der Traktornutzung für verschiedene Traktorfederungskonzepte (ungefedert; gefederte Kabine; gefederte Kabine und Vorderachse; vollgefedert) eingehender betrachtet. Es zeigt sich, dass die quadratischen Beschleunigungsmittelwerte sowie deren Streuung bei landwirtschaftlichen Arbeiten in der Regel geringer sind als für einen Traktor mit gefederter Vorderachse und Kabinenfederung. In der Arbeit von Hoppe werden mit Hilfe von Simulationsrechnungen Betrachtungen über die Fahreigenschaften vollgefederter Traktoren angestellt [2]. Auch er kann das Potenzial vollgefederter Fahrzeuge aufzeigen. Von besonderem Interesse sind aber bei ihm Erkenntnisse über die Änderung der Schwingungseigenschaften und des Fahr-

verhaltens von Traktoren durch den Einbau von verschiedenen gefederten Hinterachsen. Er vergleicht mit Hilfe der Mehrkörpersimulation drei Hinterachsaufhängungen des Trac-Fahrzeuges der Technischen Universität Berlin. In der weiterführenden, hier vorgestellten Arbeit wurde dieses Trac-Fahrzeug, das auf einem MB-Trac 1600 basiert, in ein vollgefedertes Fahrzeug umgebaut, wobei die Hinterachsfederung hydropneumatisch erfolgt und die konventionelle Vorderachsfederung des Fahrzeugs zunächst beibehalten wurde. Mit Hilfe von Fahrversuchen und Experimenten wurden die Simulationsmodelle überprüft und bestätigt, so dass sie für verschiedene Untersuchungszwecke zu nutzen sind.

### Fahrwerksregelungskonzepte

Geregelte Fahrwerke ermöglichen insbesondere bei mobilen Arbeitsmaschinen auf vielfache Weise das Fahrzeug an die jeweiligen Anwendungsbedingungen anzupassen. Das erreichbare Potenzial ist sowohl für den Bereich der Fahrsicherheit als auch für den Fahrkomfort sehr groß, wobei die Regelungsart einen besonderen Einfluss hat.

Die unterschiedlichen Systeme werden anhand ihres Energieaufwandes, der Eingriffshäufigkeit und der Sensorik eingeteilt.

### Passive Systeme

stellen die einfachste Form dar. Sie verfügen über keinerlei Sensorik und bestehen nur aus

M. Sc. Shahriar Sarami arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen der Technischen Universität Berlin.  
Prof. Dr.-Ing. Henning J. Meyer leitet das Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen an der TU Berlin; e-mail: [Henning.Meyer@tu-berlin.de](mailto:Henning.Meyer@tu-berlin.de)

### Schlüsselwörter

Traktorfederung, Schwingungen, semi-aktive Fahrwerksregelung, vollgefederter Traktor

### Keywords

Tractor suspension, vibrations, semi-active chassis controller, fully suspended tractor

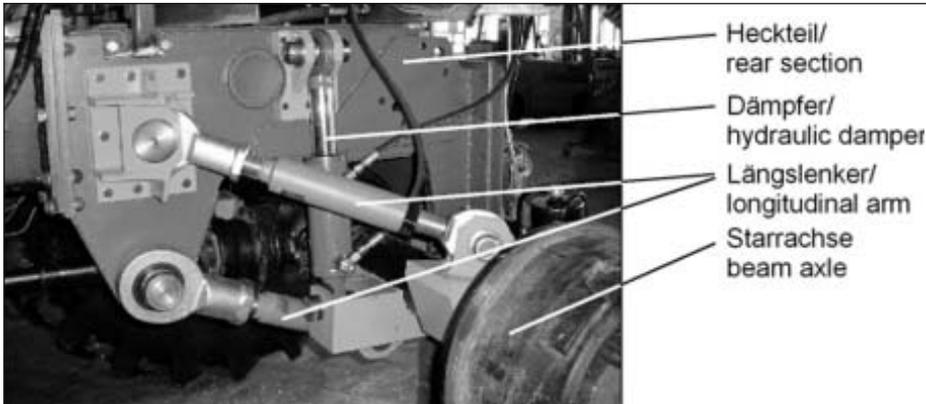


Bild 1: Heckteil des Versuchsfahrzeuges

Fig. 1: Rear section of the test tractor

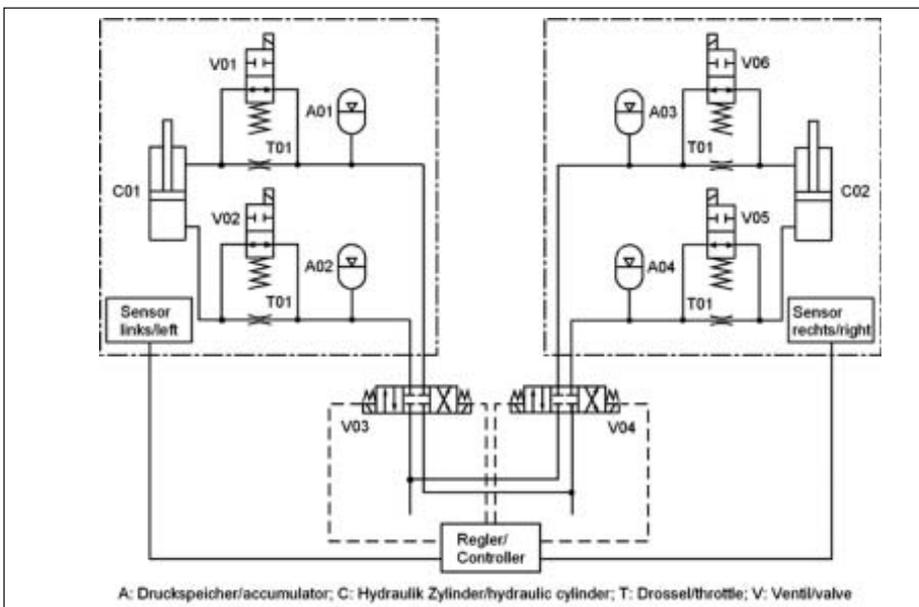


Bild 2: Hydraulikschaltplan

Fig. 2: Hydraulic connection diagram

passiven Elementen. Ein Eingriff in das Schwingungssystem von außen ist weder vorgesehen noch möglich. Neben ihren niedrigen Kosten und dem geringen Entwicklungsaufwand sind sie den größten Einschränkungen unterworfen

#### Adaptive Systeme

sind Schwingungssysteme, deren Parameter durch eine einfache, oft manuelle Steuerung variiert werden können. Charakteristisch ist die relativ langsame Einflussnahme der Verstellung. Energetisch ist diese Variante anspruchslos und es wird keine aktive Energiezufuhr ermöglicht, sondern nur die charakteristischen Merkmale der passiven Feder-Dämpferelemente verstellt. Auch diese Systeme verfügen über keine Sensorik zur Erfassung der vorliegenden Zustände.

#### Semiaktive Systeme

besitzen eine Sensorik zur Erfassung der aktuellen Zustände und ergänzen das System durch aktive Stellglieder. Sie unterscheiden sich von den adaptiven Systemen durch ihre direkte Reaktion auf Störgrößen und die aktuelle Situation.

#### Aktive Systeme

ersetzen oder unterstützen die passiven Elemente durch aktive Stellglieder (etwa Hydraulikzylinder). Aktive Federungen besitzen gegenüber den anderen einen höheren Energiebedarf. Bei ihnen kann die Reaktion in Abhängigkeit von fahrdynamischen Größen elektronisch geregelt werden, wobei elektrische, hydraulische oder pneumatische Aktuatoren unterstützend eingesetzt werden. Ein solches System kommt beispielsweise in einem geländegängigen Nutzfahrzeug mit einem Gesamtgewicht von über zehn Tonnen zum Einsatz [3]. Es erreicht gegenüber einem konventionellen System eine deutlich höhere Aufbaudämpfung, die Wankbewegungen konnten stark verringert werden.

Für praktische, kostengünstige Anwendungen sind besonders semiaktive Federungssysteme interessant. Der Energiebedarf und der technische Aufwand ist in der Regel geringer. Gleichzeitig ist das Verbesserungspotenzial hoch. Zur Realisierung der verstellbaren Dämpfung bieten sich neben schaltungstechnischen Maßnahmen auch der Einsatz von elektro- oder magnetorheologischen Flüssigkeiten an.

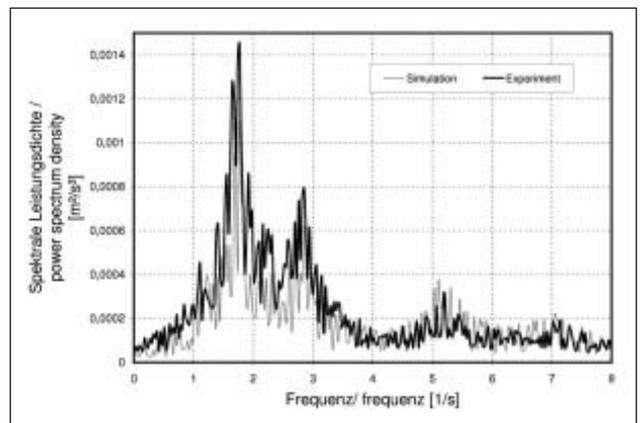
#### Umsetzung eines semiaktiven Fahrwerksreglers in einem Traktor

Bild 1 zeigt den konstruktiven Aufbau der umgebauten Hinterachse und Bild 2 den vereinfachten Hydraulikschaltplan der hydropneumatischen Hinterachsfederung. Die Verstellung der Dämpfungscharakteristik erfolgt über die Betätigung der schaltenden 2/2-Wegeventile. Bei der konstruktiven Umsetzung wurde versucht, möglichst viele Teile des Originalfahrzeuges wieder zu verwenden. Entsprechend wurde die Starrachse wiederverwendet und eine Länglenkerkonstruktion mit zwei hydraulischen Dämpfern realisiert.

Von dem umgebauten Fahrzeug wurde ein Simulationsmodell in Matlab/Simulink erstellt. Das Simulationsmodell wurde genutzt, um damit einen semiaktiven Regler zur Unterdrückung der Schwingungen auszulegen. Die Berechnungsmethode für die Beeinflussung der Dämpfung basiert dabei auf

Bild 3: Spektrale Leistungsdichte für die Nickbewegung (Anregung: Impuls, Amplitude: 40 mm)

Fig. 3: Power spectrum density of the pitch acceleration (input: impulse, amplitude: 40 mm)



der Skyhook-Theorie. Für die Fahrwerksregelung wurde, ausgehend von diesen Arbeiten, ein digitaler Regler entwickelt und in den Traktor integriert. Der Traktor wurde dann auf dem hydraulischen Fahrbahnsimulator der TU Berlin untersucht.

In den Experimenten wurden die signifikanten Beschleunigungswerte, Geschwindigkeiten und Wege erfasst. Bild 3 zeigt den Messschrieb und die Simulationswerte für die Nickbeschleunigungen.

Die Experimente wurden dann mit einer passiv und einer semiaktiv geregelten Hinterachsfederung durchgeführt. Der Vergleich zeigt, dass bei dem semiaktiven System die RMS-Beschleunigungswerte für die gewählte Konfiguration um 5 % bis 10 % niedriger sind als bei dem passiven.

#### Zusammenfassung

Geregelte Fahrwerke haben bei Traktoren ein großes Potenzial, die Fahrsicherheit und den Fahrkomfort zu verbessern. Die bisherigen Versuche an der TU Berlin bestätigen diese Aussage für ein Trac-Fahrzeug. Weiterführende Untersuchungen mit dem semiaktiven System, bei denen die Belastungsverhältnisse variiert, reale Arbeitssituationen simuliert sowie verschiedene Reglerkonzepte umgesetzt werden, sollen tiefergehende Erkenntnisse über die praktischen Eigenschaften eines solchen Systems liefern.

#### Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] Scarlett, A. J., J. S. Price and R. M. Stayner: Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. Journal of Terramechanics 44 (2007), pp. 65 - 73
- [2] • Hoppe, U.: Einfluss der Hinterachsfederung auf die Fahrdynamik von Traktoren. Dissertation, Technische Universität Berlin, 2006; Wiku-Verlag, 2007
- [3] Schäfer, E., K.-P. Jäker und A. Wielenberg: Aktive Federung für ein geländegängiges Nutzfahrzeug. Entwicklung und Inbetriebnahme. VDI-Berichte Band 1931, 2006, S. 35 - 44