

Frank Himmelhuber, Amberg

# Die aktiv geregelte Luftfederung für den Traktorsitz

## Ein Mikroprozessor steuert die Kennlinienanpassung in Fahrersitzen

*Obwohl der Anteil der Traktoren, die aufwändig gefedert sind (Vorderachsfederung, Kabinenfederung, Schwingungstilgung), weiter steigt, nimmt der gefederte Fahrersitz nach wie vor die herausragende Stellung für die Reduzierung der Schwingungseinleitung auf den Fahrzeugführer ein. Im vorliegenden Beitrag wird eine aktiv geregelte Federung mit dem technischen Funktionsprinzip der Kennlinienanpassung vorgestellt. Diskutiert werden ihre grundsätzliche Wirkungsweise sowie Messergebnisse aus diesem Verfahren.*

Dipl. Phys. Frank Himmelhuber ist Leiter der Entwicklung der Grammer AG, Amberg, Köferinger Straße 9 - 13, 92245 Kümmerbruck; e-mail: frank.himmelhuber@grammer.com

### Schlüsselwörter

Traktorsitz, Luftfederung, aktive Regelung, Kennlinienanpassung

### Keywords

Tractor seat, air suspension, active control, adjustment of characteristic curve

### Literatur

- [1] Coermann, R.R., und W. Lange: Untersuchung der Möglichkeit einer aktiven Dämpfung für Fahrzeugsitze. Grundl. Landtechnik 21 (1971)
- [2] Helms, H.: Schwingungseigenschaften eines aktivgefederten Schleppersitzes. Grundl. Landtechnik 26 (1976), H. 3

Seit den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts werden aktiv geregelte Fahrersitze als Konzeptmuster in Hochschul- und Industrielaboren erprobt und untersucht. Dass eine solche Lösung grundsätzlich möglich ist, wurde bereits sehr früh gezeigt [1, 2]. Der konkrete Nutzen solcher aktiv geregelter Sitze für den Fahrer besteht darin, dass er viel besser von den Schwingungen, die durch die Fahrzeugbewegungen über den Kabinenboden eingeleitet werden, isoliert ist. Wirtschaftliche und konstruktive Schwierigkeiten waren allerdings dafür verantwortlich, dass aktiv geregelte Fahrersitze zunächst keine flächendeckende Verbreitung fanden. Erst im Jahre 2002 gelang es mit dem „John Deere Active Seat“, den Bauraumbedarf eines aktiv gefederten Fahrersitzes so weit zu reduzieren, dass er seitdem für ausgewählte Großtraktoren verfügbar ist. Der aktive Sitz in diesen Fahrzeugen nutzt ein hydraulisches Stellglied, das von der Traktorhydraulik versorgt wird.

Nachfolgenden werden systemtechnische Grundlagen der nächsten Entwicklungsstufe des aktiv geregelten Fahrersitzes vorgestellt, der als so genannte „plug-and-play“-Lösung auf allen Traktoren eingesetzt werden kann. Voraussetzung dafür ist ein bauraumminimiertes Funktionskonzept, bei dem der Energieverbrauch des Aktivsitzes soweit reduziert ist, dass auf die Traktorhydraulik verzichtet werden kann. Zur Umsetzung dieses Konzeptes wurde das Prinzip der Federkennlinienanpassung entwickelt. Diese verwendet das sitzinterne Pneumatiksystem als Aktorik.

Bild 1: Theoretischer Verlauf der Übertragungsfunktionen in Abhängigkeit zur Federkennlinie

Fig. 1: Theoretical transmission as a function of a suspension's characteristic curve

### Definition der unterschiedlichen Federungstypen

Zwischen passiven, semiaktiven und aktiv geregelten Federungen kann sehr genau unterschieden werden, wenn man die jeweils zugehörige vereinfachte Schwingungsdifferenzialgleichung für einen fußpunkterregten Einmassenschwinger betrachtet.

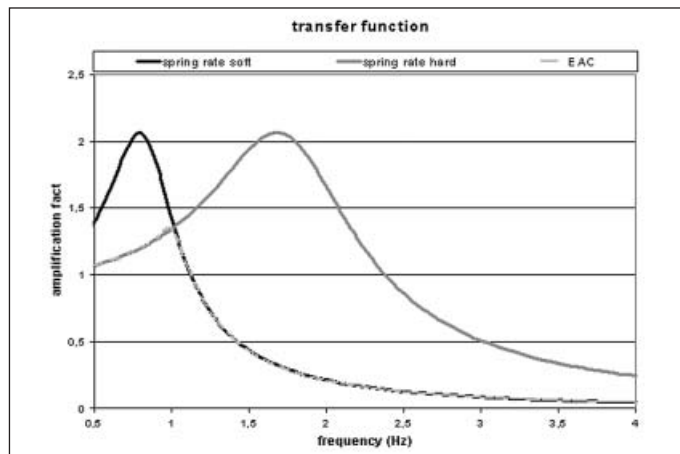
$$\underbrace{m \cdot \ddot{x}}_{\text{mass}} + \underbrace{b \cdot \dot{x}}_{\text{damping}} + \underbrace{c \cdot x}_{\text{spring}} = \underbrace{F_{\text{floor}}}_{\text{ex. force floor}} + F_{\text{control}}$$

- b = Dämpfungsfaktor [(N\*s)/m]
- c = Federrate [N / m]
- m = Masse [kg]

- Sind Dämpfungskonstante und Federrate nicht steuerbar und  $F_{\text{control}} = 0$ , dann handelt es sich um eine passive Federung.
- Werden Dämpfungskonstante und/oder Federrate in Abhängigkeit von Geschwindigkeit oder Beschleunigung verändert und ist  $F_{\text{control}} = 0$ , dann liegt eine semiaktive Federung vor.
- Eine aktive Federung liegt vor, wenn Dämpfungskonstante und/oder Federrate gesteuert werden können und  $F_{\text{control}} \neq 0$  ist.

### Das Funktionsprinzip der Kennlinienanpassung

Um die grundsätzlichen Möglichkeiten des Funktionsprinzips der Federkennlinienan-



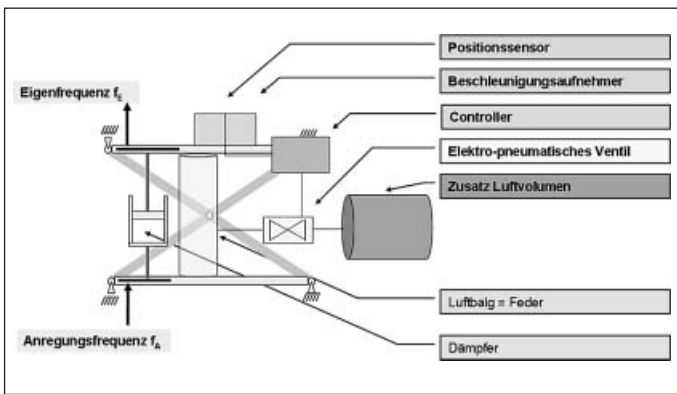


Bild 2: Prinzipaufbau Grammer EAC

Fig. 2: Schematic diagram of Grammer EAC (electronic active controlled suspension)

passung nachzuvollziehen, sollte man zweckmäßigerweise die Übertragungsfunktion eines schwingfähigen Ein-Masse-Systems betrachten. Die Ausgangs-DGL wird modifiziert, indem man die auf den Fußpunkt wirkende Kraft periodisch mit der Kreisfrequenz  $\omega_z$  ansetzt.

Aus der Lösung  $x = A \cdot \cos(\omega_z \cdot t - \varphi_z)$  folgt die bekannte Übertragungsfunktion:

$$\frac{A_z}{F_z} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega_z}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + 4\vartheta^2 \cdot \left(\frac{\omega_z}{\omega_0}\right)^2}}$$

$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$  : Eigenfrequenz  
 $\vartheta = \frac{b}{2m\omega_0}$  : Dämpfung  
 $\omega_z$  : Anregungsfrequenz

Bild 1 zeigt, dass eine Federung mit variabler Federrate immer so geschaltet werden kann, dass bei periodischen Einleitungen die optimale Schwingungsisolierung verfügbar ist. Die unterbrochene Linie in Bild 1 veranschaulicht diesen Fall. Die beiden durchgezogenen Kurven stellen die Übertragungsfunktionen von Federungen mit unterschiedlichen Kennlinien bei identischer Dämpfung dar. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Form der Übertragungsfunktion wesentlich von der Dämpfung des Federungssystems abhängig ist. So würde ein schwach gedämpftes System einen sehr geringen Verstärkungsfaktor im Isolationsbereich aufweisen, im Resonanzbereich  $\omega_z < \omega_0 \cdot \sqrt{2}$  dagegen wäre eine starke Resonanzüberhöhung feststellbar.

Bei der sogenannten Federkennlinienanpassung wird nun je nach Einleitungsfrequenz jeweils die vorteilhaftere Federkennlinie gewählt. Realisiert wird dieses Prinzip,

indem externe Zusatzvolumina zugeschaltet oder abgetrennt werden. Außerdem wird durch die im Zusatzvolumen gespeicherte, während des Schwingbetriebes komprimierte oder expandierte Luft beim Wiederzuschalten Energie zur Verfügung gestellt. Diese Energie kann dazu benutzt werden, der Bewegung entgegenzuwirken, die vom Karabinenboden induziert wird. Die im Zusatzvolumen als komprimierte Luft gespeicherte Energie steht also fast verlustfrei für Korrekturimpulse zur Verfügung!

### Regelungsalgorithmus

Die grundsätzlichen Überlegungen zeigen, dass ein sehr einfacher Regelalgorithmus für alle periodischen Anregungen gefunden werden kann. Die wesentlichen Impulse auf den Fahrersitz stellen aber stoßartige Belastungen dar. Diese durch das Befahren von schlechten Wegen verursachten Schwingungseinleitungen sind dadurch gekennzeichnet, dass große Amplituden in kurzen Zeitabschnitten auftreten. Bei solchen nicht-periodischen Anregungen ergeben sich kontinuierliche Frequenzspektren, die verhindern, dass ein einfacher frequenzabhängiger Regelalgorithmus wirkungsvoll eingesetzt werden kann. Eine von diskreten Zeitfunktionen abhängige Regelung erweist sich somit als notwendig!

## Resultate und Messergebnisse

Auf dem Prüfstand im Labor und im Feldversuch wurde nachgewiesen, dass die Schwingungsisolierung mit einem aktiv geregelten Sitz gegenüber passiven und semiaktiven Niederfrequenzfederungen deutlich verbessert werden kann (Bild 3). Es ergab sich eine deutliche Verminderung des Verstärkungsfaktors über alle Frequenzbereiche! Bemerkenswert ist die geringe Überhöhung im Resonanzbereich bei gleichzeitig flachem Kurvenverlauf im Isolationsbereich.

### Vergleichsmessungen

Der Messaufbau für die im folgenden diskutierten Vergleichsmessungen wurde in einer Weise gestaltet, die annähernd gleiche Messbedingungen für die Vergleichssitze zulässt. Dazu wurde ein Parallelbalken, auf dem beide Sitze gleichzeitig montiert waren, mit einem Hydropulser angeregt. Mit identischen Beschleunigungssensoren wurden dabei die Messkurven aufgezeichnet. Beide Sitze waren mit Fahrern gleicher Größe und gleichen Gewichts besetzt. Die Beschleunigungssensoren waren zwischen Sitzpolster und Fahrer angebracht.

In Bild 4 sind die Beschleunigungswerte aufgetragen, wie sie typischerweise beim Überfahren von hohen, ausgeprägten Einzelhindernissen wie Rampen oder Furchen auftreten. Die Maximalbeschleunigungen sind im Vergleich zu den hier parallel gemessenen semiaktiven Niederfrequenzfederungen sehr deutlich reduziert. „Harte Stöße“, die Maximalbeschleunigungen im Bereich über 30 m/s<sup>2</sup> darstellen, können mit der Aktivfederung völlig vermieden werden.

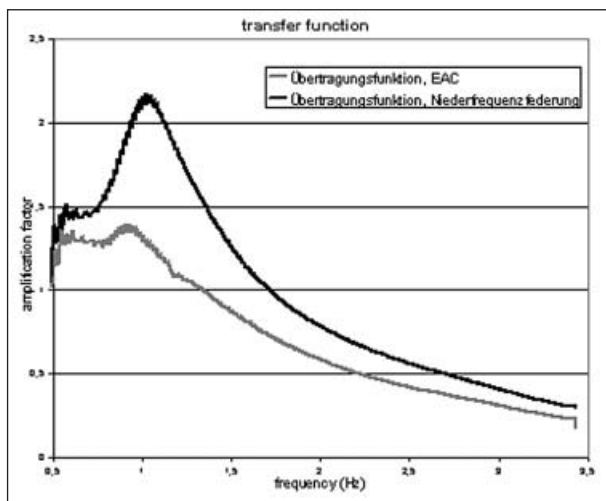


Bild 3: Übertragungsfunktion der aktiv geregelten Federung im Vergleich zu einem Sitz mit Niederfrequenzfederung

Fig. 3: Measured transmission of an actively controlled suspension compared to that of a seat with low frequency suspension

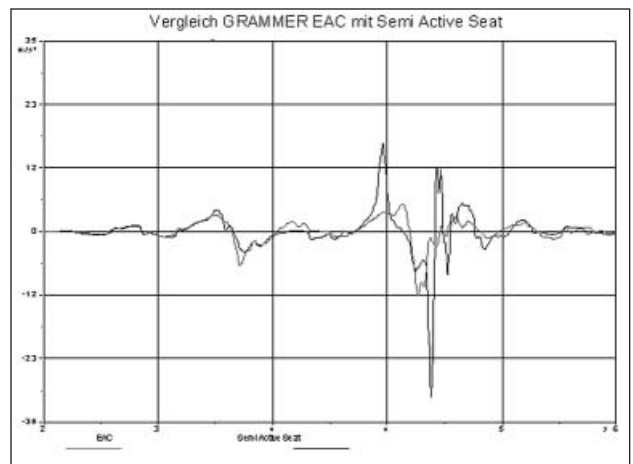


Bild 4: Absolute Beschleunigungswerte zwischen Fahrer und Sitz beim Überfahren von Einzelhindernissen. Beim aktiv geregelten Sitz sind die maximalbeschleunigungen erheblich reduziert.

Fig. 4: Absolute acceleration values when driving over single obstacles (as measured between the driver and the seat)