Vortrag anlässlich der 58. VDI-MEG-Tagung Landtechnik vom 10. bis 11. Oktober 2000 in Münster

Untersuchung und Optimierung der schwingungstechnischen Eigenschaften von Traktoren mit gefederter Vorderachse und gefederter Fahrerkabine

Investigation and tuning of the vibration characteristics of tractors with front suspension and cab suspension

Dipl.-Ing. Dr. Johann Schrottmaier, Ing. Manfred Nadlinger, Bundesanstalt für Landtechnik (BLT), Wieselburg/Österreich

EINLEITUNG

Die agrarpolitischen Rahmenbedingungen der EU und der WTO führen in allen europäischen Ländern zu Rationalisierungsmaßnahmen und zwingen die Landwirte zur Erhöhung ihrer Flächenausstattung oder zur überbetrieblichen Zusammenarbeit. Die damit verbundene Zunahme der Einsatzstunden der Traktoren und die gestiegenen Fahrgeschwindigkeiten führen zu einer erhöhten Belastung der Fahrer durch gesundheitsschädliche Fahrzeugschwingungen bei gleichzeitiger Beeinträchtigung der Fahrsicherheit (Lenkbarkeit, Bremsverhalten). Viele Traktorfirmen bieten daher für die Traktoren der oberen Leistungsklasse anstelle der starren Vorderachse, gefederte Vorderachssysteme an. Einige Hersteller ergänzen diese Maßnahme im Sinne eines höheren Fahrkomforts durch gefederte Fahrerkabinen.

Der Fahrkomfort von Traktoren wurde vor allem in den 60er und 70er Jahren eingehend untersucht, wobei die technischen Grundlagen für die Auslegung der Vorderachsfederung und der Kabinenfederung hinreichend in der Literatur dokumentiert sind. Allerdings haben sich seit 1970 sowohl die zulässige Höchstgeschwindigkeit der Traktoren (von 25 auf 50 km/h, beim Fastrac auf 80 km/h) als auch die Massen der Fahrzeuge, einschließlich der Anbaugeräte, mehr als verdoppelt. Umfassende aktuelle Untersuchungen über den Fahrkomfort und die Fahrsicherheit moderner Traktoren unter den verschiedensten heutigen Einsatzbedingungen und deren Vergleich liegen nicht vor. Die BLT Wieselburg hat daher gemeinsam mit Traktorherstellern in den Jahren 1998 – 1999 in Teilbereichen die Wirksamkeit, die Abstimmung und Optimierung der Vorderachsfederung, Kabinenfederung und des Fahrersitzes die Auswirkungen auf den Fahrkomfort und die Fahrsicherheit untersucht.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Für die in diesem Beitrag beschriebenen Versuche standen 3 Traktoren der oberen Leistungsklasse (110 kW/150 PS) von 3 verschiedenen europäischen Herstellern zur Verfügung. Bei allen 3 Fahrzeugen konnte wahlweise die Vorderachsfederung abgeschaltet und die vorhandene Kabinenfederung für die Versuche blockiert werden, sodass 4 Federungszustände bei jedem Fahrzeug untersucht wurden. Allen Kabinenfederungen gemeinsam war das Prinzip der gefederten Wippe („Ein-Achsen-Federung“), d. h. die Kabinen waren an den beiden vorderen Befestigungspunkten elastisch gelagert, während die beiden hinteren Kabinenbefestigungen durch mechanische oder hydraulische Feder-Dämpfer-Elemente ersetzt wurden.

Zum Unterschied von der vollgefederten Fahrerkabine (z. B. Renault) und dem vollgefederten Fahrzeug (JCB) ist diese Lösung nicht nur technisch sehr einfach und billig, sondern kann auch relativ leicht bei Serientraktoren nachgerüstet werden. Obwohl bereits 1988 von R. Stayner (Silsoe Research Institute, UK) erstmals in der Literatur erwähnt und für einen britischen Kabinenhersteller entwickelt, war es Fendt vorbehalten, 1993 erstmals Serientraktoren mit dieser einfachen Kabinenfederung auszurüsten. Weitere Hersteller wie Deutz, Same und Steyr sowie Nachrüster (Hegele) folgten.

Unter vergleichbaren Bedingungen wurden auf den vorhandenen Prüfstrecken der BLT (100m- und 35m-OECD-Testbahn nach ISO 5008, 24m-Testopbahn, BLT-interne Asphalt- und Betonstraße) und unter praktischen Einsatzbedingungen – als Kontrolle der Praxisrelevanz der Ergebnisse der Teststrecken – mit verschiedenen Reifendrücken, Ballastierungen, Fahrgeschwindigkeiten und Fahrersitzen über 2000 Versuchsfahrten durchgeführt. Die auftretenden Schwingungen in den 3 Richtungen wurden an ausgewählten Punkten (z. B. Sitzfläche, Sitzbefestigungspunkt, Rahmen, Vorderachse, Hinterachse) von einem Mehrkanaldatenerfassungssystem (Hottinger) ebenso während der Fahrt aufgezeichnet wie die Relativbewegungen zwischen Vorderachse und Rahmen und die Kräfte im Oberlenker bei Anbaugeräten. Entsprechend ISO 2631 wurden die gemessenen Schwingungen im Labor bewertet, die für den Fahrkomfort nicht relevanten Schwingungsanteile (z. B. Motorschwingungen) mittels Filter ausgeschieden und nach verschiedenen Kriterien ausgewertet. Gemeinsam mit den Traktorherstellern wurden die 3 Schwingungssysteme (Vorderachsfederung, Kabinenfederung, gefederter Sitz) optimiert und abgestimmt.

ERGEBNISSE

Eine seriöse Beurteilung des Schwingungsverhaltens von Traktoren mit gefederter Vorderachse, gefederter Kabine und gefedertem Sitz muss verschiedene Fahrbahnzustände, Einsatzbedingungen und vor allem Fahrgeschwindigkeiten umfassen. Aufgrund des unterschiedlichen Resonanzverhaltens der Traktoren sind Vergleiche bei einer einzigen Fahrgeschwindigkeit unzulässig und können zu falschen Schlüssen führen. Um den Einfluss der doch sehr großen qualitativen Streuung der Fahrersitze auszuschalten, erscheint es sinnvoll, den Sitzmontagepunkt als Referenzpunkt zu wählen.

Bild 1a zeigt einen typischen Verlauf der am Sitzmontagepunkt (identisch Kabinenboden) gemessenen bewerteten Beschleunigungen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit für die 4 Federungszustände bei Fahrt über die 100 m-OECD-Testbahn („Holperbahn 100 m“). Typisch für das ungefederte Fahrzeug (AUS/AUS) sind die Resonanzen im Bereich 12 bis 14 km/h und 20 bis 24 km/h. Werden die Messpunkte (Fahrgeschwindigkeiten) enger gewählt, erscheinen diese auch in der Darstellung als Singularitäten. Aus Kosten- und Zeitgründen hat sich im Allgemeinen eine Geschwindigkeitsabstufung von 2 km/h als ausreichend für eine Beurteilung erwiesen.

Zum Unterschied von älteren Traktormodellen haben moderne Traktoren eine andere Massenverteilung, höhere Fahrgeschwindigkeiten und eine höhere Fahrerposition, wodurch die Bedeutung der Schwingungsbelastung in z-Richtung abgenommen, die Bedeutung der sehr unangenehmen Nickschwingungen, vor allem bei unrunden Reifen, stark zugenommen hat. Diese Nickschwingungen führen zu erhöhten horizontalen Schwingungen in Fahrtrichtung (x-Richtung) sowohl am Fahrersitz als auch am Sitzmontagepunkt und lassen sich damit messtechnisch quantifizieren. Durch Frontgewichte und schwere Heckanbaugeräte wird dieser Effekt noch verstärkt.

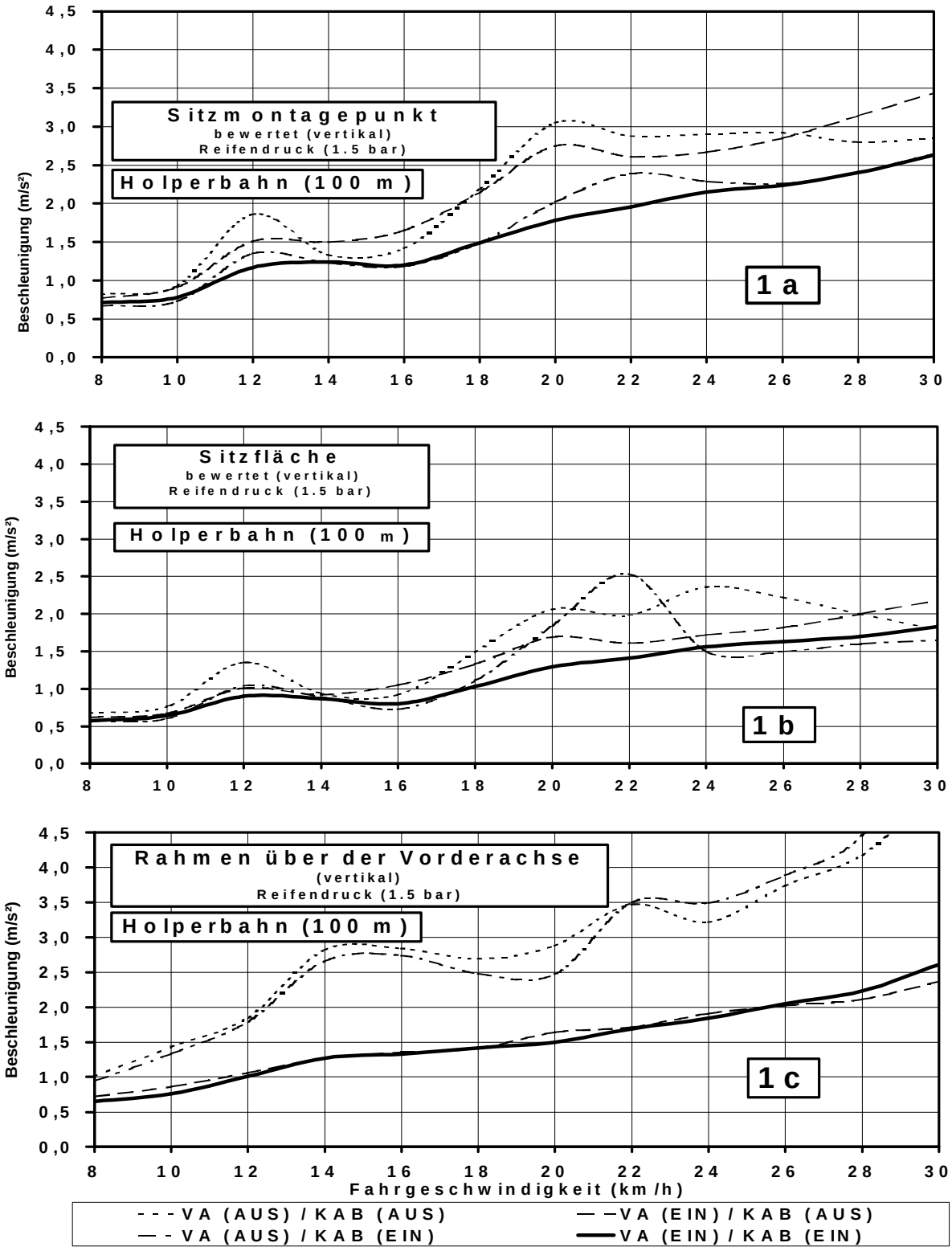

Bild 1: Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf die bewerteten vertikalen Schwingungen auf der 100m-OECD-Testbahn mit ein- und/oder ausgeschalteter Vorderachsfederung und Kabinenfederung: a) am Sitzmontagepunkt (Kabinenboden), b) am Fahrersitz, c) am Rahmen, direkt über der Vorderachse

Fig. 1: Effect of speed on tractor weighted vertical vibrations on the 100m-OECD-test track with fixed and/or activated front-axle suspension and cab-suspension: a) at the seat-mounting-point (cab floor), b) at the driver seat, c) at the frame, directly above the front axle

Wird die Vorderachsfederung eingeschaltet (EIN/AUS), führt dies zu einer wesentlichen Beruhigung des Fahrzeuges und zu einer Glättung der Beschleunigungsspitzen. Während die Vertikalschwingungen am Sitzmontagepunkt (wegen seiner Lage ungefähr über der Hinterachse) nur wenig reduziert werden, werden die Nickschwingungen nachweisbar und sichtbar reduziert (siehe auch Bild 1c). Wird beim starren Fahrzeug die Kabinenfederung ohne Vorderachsfederung (AUS/EIN) aktiviert, bleiben die Nickschwingungen erhalten, aber die vertikalen Schwingungen werden über den gesamten Geschwindigkeitsbereich stark reduziert. Beim vollaktivierten Fahrzeug (EIN/EIN) und gut abgestimmter Vorderachs- und Kabinenfederung ergänzen sich die beiden Federungssysteme und man erhält den besten Fahrkomfort über den gesamten Geschwindigkeitsbereich. Ist der gefederte Fahrersitz richtig abgestimmt, treten keine Resonanzen auf und es kann ein zusätzlicher Fahrkomfort erreicht werden.

Bild 1b zeigt die bewerteten Beschleunigungswerte in z-Richtung am Fahrersitz für die gleichen Messfahrten wie in Bild 1. Ein Vergleich der beiden Bilder zeigt die Wirkung des Fahrersitzes für alle 4 Federungszustände. Man beachte bei 22 km/h die ungünstige Abstimmung Kabinenfederung/gefederter Sitz!

Bild 1c zeigt für die gleichen Messfahrten wie in Bild 1a und 1b den Einfluss der Vorderachs- und Kabinenfederung auf die vertikalen Schwingungen am Rahmen direkt über der Vorderachse. Während die Kabinenfederung faktisch keinen Einfluss hat, reduziert die Vorderachsfederung die auftretenden Schwingungen am Rahmen ganz wesentlich (AUS/AUS und AUS/EIN im Vergleich mit EIN/AUS und EIN/EIN).

Bild 2a und 2b zeigen als Beispiel den Einfluss der Vorderachsfederung auf die Beschleunigungswerte an verschiedenen ausgewählten Punkten des Traktors bei Fahrt mit einem 5-Schar-Wendepflug (2.050 kg) und 1.400 kg Frontballast auf der 100 m-Holperbahn und auf einer schlechten Asphaltstraße Die Testbahn liefert die gleichen Trends wie die schlechte Asphaltstraße. Durch das Aktivieren der Vorderachsfederung bei eingeschalteter Kabinenfederung werden die Schwingungen am Rahmen über der Vorderachse (z-Richtung) und die horizontalen Beschleunigungen in Fahrtrichtung am Sitz (x-Richtung) wesentlich reduziert. Das Fahrzeug fährt mit der Vorderachsfederung bei dieser Nickschwingungen „geradezu produzierenden“ Gerätekombination wesentlich ruhiger, ist im Unterschied zum starren Fahrzeug (Bild 2a ab 14 km/h, Bild 2b ab 40 km/h) bis in höhere Fahrgeschwindigkeitsbereiche lenk- und bremsbar und wird festigkeitsmäßig weniger beansprucht.

Allerdings muss die Vorderachsfederung optimal ausgeführt sein (d. h. weich gefedert, ausreichender freier Schwingweg und geringste Reibung) um auch richtig wirken zu können. Weiters ist beim starken Bremsen des Traktors sicherzustellen, dass infolge der Vorderachsfederung kein unkontrolliertes Aufschaukeln des Fahrzeuges eintritt.

Alle Versuche haben gezeigt, dass nur eine optimal abgestimmte Kombination der 3 Federungssysteme (Vorderachsfederung, Kabinenfederung und gefederter Fahrersitz) besten Fahrkomfort und höchste Fahrsicherheit liefert. Als Richtwert kann unter ökonomischen Gesichtspunkten bei Traktoren der oberen Leistungsklasse mit Vorderachsfederung und Kabinenfederung eine Reduzierung der Beschleunigungswerte gegenüber dem starren Fahrzeug um durchschnittlich 50 % erreicht werden. Die Reduktion der Fahrzeugschwingungen kann der Fahrer durch Verdoppelung der Fahrgeschwindigkeit bei gleichbleibender Schwingungsbelastung direkt nachvollziehen. Bild 3 vergleicht die Schwingungsbelastung am Fahrersitz der 3 verschiedenen Traktoren mit aktivierter Vorderachs- und Kabinenfederung untereinander und in Relation zum vollgefederten Fahrzeug JCB Fastrac.

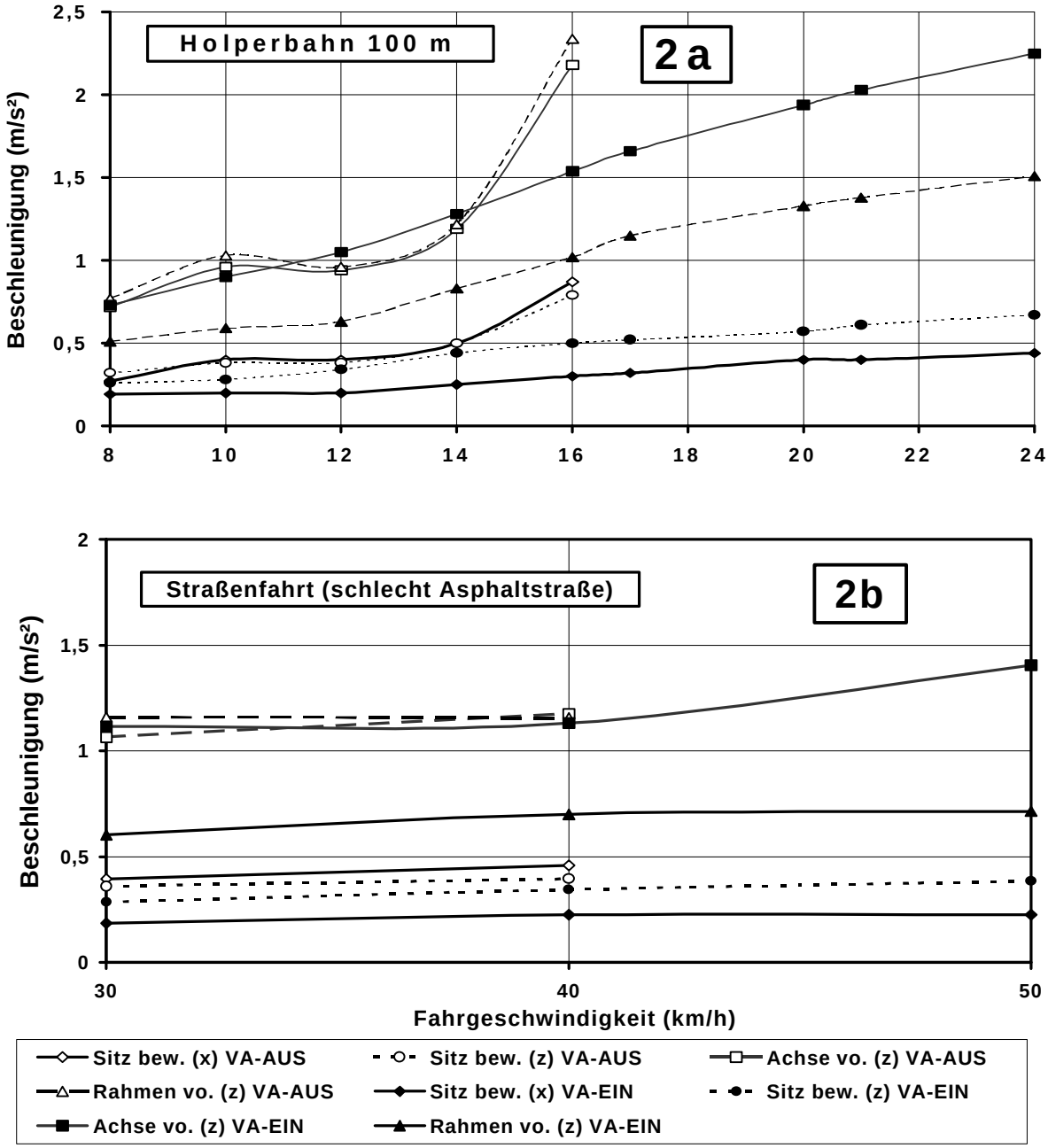

Bild 2: Einfluß der Vorderachsfederung und der Fahrgeschwindigkeit auf die bewerteten Beschleunigungen an verschiedenen Punkten des Traktors mit Kabinenfederung (Sitz in x, z-Richtung, Vorderachse (z) u. Rahmen direkt über der Vorderachse (z))
a) auf der 100m-OECD-Testbahn (8 – 24 km/h)
b) auf einer schlechten Asphaltstraße (30 – 50 km/h)

Fig. 2: Effect of the front-axle-suspension and of the speed on the weighted vibrations at different points of the tractor with cab-suspension (seat x, z-direction, front axle (z) and frame directly above the front axle (z))
a) at the 100m-OECD-test track (8 – 24 km/h)
b) at a bad asphalt-street (30 – 50 km/h)

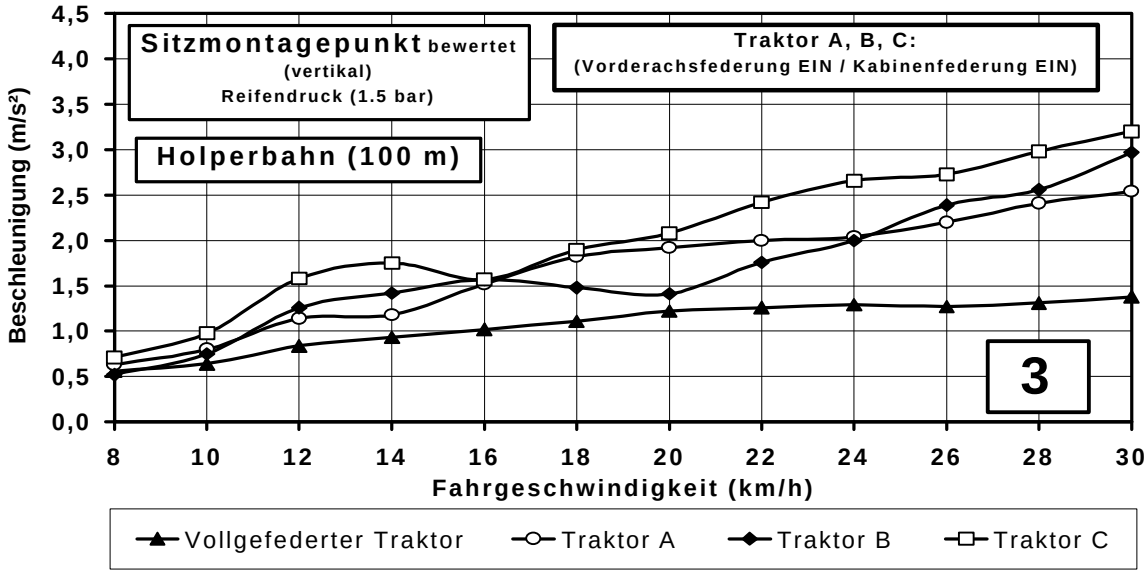

Bild 3: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die bewerteten vertikalen Schwingungen am Sitzmontagepunkt von 3 verschiedenen 110 kW/150 PS Traktoren mit Vorderachsfederung und Kabinenfederung im Vergleich mit einem vollgefederten Fahrzeug (Fastrac)

Fig. 3: Effekt of speed on the weighted vertical vibrations on the seat mounting point of 3 different 110 kW/150 PS tractors (A, B, C) with front-axle-suspension and cab-suspension in relation to the full-suspended vehicle (Fastrac)

Nachdem alle untersuchten Fahrzeuge nachträglich umgerüstet wurden, sollte die Einbeziehung der Vorderachs- und Kabinenfederung und deren Optimierung bereits bei der Neukonzeption der Traktoren berücksichtigt werden, woraus sich weitere Verbesserungen des Fahrkomforts und Kosteneinsparungen ergeben könnten. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse sollten in ein mathematisches Simulationsmodell integriert werden, um bereits im Planungsstadium die schwingungstechnischen Eigenschaften verschiedenster Traktormodelle optimieren zu können.

SUMMARY

The ride comfort and safety of 3 tractors of the high-power-class (110 kW/150 PS) with front-axle suspension, cab-suspension and suspended driver seat from different producers were investigated on different test tracks from the BLT Wieselburg and on natural tracks. The vibrations characteristics on different points of the tractors (i. e. seat, seat mounting, point, frame), at different speeds, different tyre pressures and with different equipments are determinated with fixed and activated suspensions. The tuning of the three suspensions (front axle, cab, seat) were analysed and optimised.

Results:

Only an optimized combination of front-axle-suspension, cab-suspension and suspended seat reduces the unhealthy ride vibrations by 50 % and brings high ride comfort and better steering and braking conditions.

Dieser Vortrag kann kostenlos von der Homepage der BLT Wieselburg, http://www.blt.bmlf.gv.at heruntergeladen werden.