

1 Einleitung

Unter dem Fahrkomfort betrachtet man eine Summe von Einflüssen, wie das Kabinenklima, die Schwingungen am Fahrersitz, der Lärm und die ergonomische Gestaltung der Fahrerkabine. In diesem Bericht wird hauptsächlich auf die Schwingungen, die beim Traktorfahren auf den Menschen und den Traktor wirken, eingegangen. Sie sind die Haupteinflussfaktoren für den Fahrkomfort.

Mechanische Schwingungen, Vibrationen, Erschütterungen und Stöße stellen neben anderen Arbeitsumgebungsfaktoren (Lärm, Klima, Staub usw.) eine große Belastung dar, die das Wohlbefinden, die Leistungsfähigkeit und die Gesundheit des Menschen beeinflussen. Seit Anbeginn der Entwicklung von selbstfahrenden Arbeitsmaschinen wird kontinuierlich an der Verbesserung des Fahrkomforts von Fahrersitzen gearbeitet.

Der Strukturwandel in der Landwirtschaft führte nicht nur zu einer ständigen Zunahme der jährlichen Betriebsstunden, sondern auch zu einer stetigen Steigerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und damit verbunden zu einer wesentlichen Erhöhung der Schwingungsbelastungen für den Fahrer. Früher fuhr ein Landwirt mit seinem Traktor im Durchschnitt 150 bis 300 Stunden im Jahr, mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h. Derzeit werden viele Traktoren ca. 500 bis 1500 Stunden im Jahr, bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h gefahren. Der Trend zu höheren Geschwindigkeiten geht aber noch weiter. Bei vielen Herstellern wird bereits über eine Steigerung der Höchstgeschwindigkeit für den Standardtraktor auf 70 km/h nachgedacht. Einzelne Spezialtraktoren ("Fastrac") sind bereits für diese Fahrgeschwindigkeit zugelassen. Die Folgen der gestiegenen Höchstgeschwindigkeiten ungefederter Fahrzeuge sind hohe Schwingungsbelastungen für den Fahrer und eine Verschlechterung der Fahrsicherheit im Straßenverkehr.

Bei Transportfahrten auf der Straße kommt es durch die großen Schwingungsanregungen der Vorderachse zu starken Vorderachs-entlastungen. Die Vorderachse verliert den Bodenkontakt und gefährliche Fahrsituationen sind die Folge. Zur Dämpfung des Schwingungsaufkommens auch bei den modernen Traktoren ist der Fahrersitz nicht mehr ausreichend. Daher wurden zusätzlich unterschiedliche Federungssysteme, wie die Vorderachsfederung und die Kabinenfederung für den Traktor entwickelt. Die Federungssysteme wurden vom Markt verhältnismäßig schnell angenommen und sind derzeit Stand der Technik.

Das Ziel dieser Arbeit war es:

- ◆ die Auswirkungen der Fahrzeugschwingungen auf den menschlichen Körper darzustellen
- ◆ den derzeitigen Stand der Technik der Traktorfederungssysteme aufzuzeigen
- ◆ den komfortrelevanten Unterschied zwischen ungefederten und gefederten Traktoren anhand umfangreicher Untersuchungen aufzuzeigen
- ◆ die Verbesserung der Fahrsicherheit im Straßenverkehr durch die Vorderachsfederung zu verdeutlichen
- ◆ das Schwingungsaufkommen des Traktors im Praxiseinsatz, mit den Grenzwerten der EU - Richtlinie 89/391 EWG „Vibrationen“ zu vergleichen. Diese Richtlinie regelt in Zukunft die maximal zulässigen Schwingungsbelastungen auf den Fahrer

Mit den Erkenntnissen des umfangreichen Praxiseinsatzes können bereits im Hinblick auf die neue EU-Richtlinie Aussagen über künftig zulässige Arbeitszeiten bei unterschiedlichsten Tätigkeiten und verschiedenen Traktorfederungssystemen gemacht werden.

Ferner wurden die im Auftrag von verschiedenen Traktorfirmlen an der BLT erstellten und bisher vertraulich behandelten Messergebnisse, sowie auch externe Ergebnisse zu einem „Statusbericht“ zusammengefasst. Damit ist eine objektivere Bewertung und Beurteilung des Themenbereiches „Traktorfederungssysteme“ möglich.

2 Gesundheitliche Auswirkungen und Bewertung von Fahrzeugschwingungen

Der Fahrersitz war immer die Grundlage verschiedenster älterer Untersuchungen zur Schwingungsreduktion. Bei den modernen Traktoren ist er derzeit nur mehr ein Teil eines ganzen Federungssystems. Vorderachsfederung und Kabinenfederung haben in ihrer schwingungsreduzierenden Bedeutung mit dem Sitz gleichgezogen. In der ISO 2631-1:1997, „Mechanische Schwingungen und Stöße - Bewertung der Einwirkung von Ganzkörperschwingungen auf den Menschen“ Teil 1, (vorher DIN 45671), werden die gesundheitsrelevanten Grenzwerte für den Menschen definiert. Darin wird die Schwingungsbelastung an Arbeitsplätzen (z.B.: landwirtschaftliche Maschinen), zum Schutz der Arbeitnehmer bewertet. In dieser Norm wird in den Bereich „Beeinträchtigungen im Sinne des Wohlbefindens“ (schwache Schwingungen) und den Bereich „Leistungsfähigkeit und der Gesundheit“ (starke gesundheits-schädliche Schwingungen) unterschieden. Diese Einschränkungen treten auf, wenn sich Menschen für eine bestimmte Zeit einer Schwingungsbelastung aussetzen. Entsprechend negative Erscheinungen lassen sich dabei sowohl bei kurzzeitiger aber auch bei länger andauernden Einwirkungen feststellen.

2.1 Auswirkungen mechanischer Schwingungen auf den Menschen (Ganzkörperschwingungen)

Sogenannte „Ganzkörperschwingungen“ können auf den menschlichen Körper entweder im Stehen über die Füße, im Liegen über die Rückenfläche oder im Sitzen vorwiegend über das Gesäß einwirken. Über das Gesäß eingeleitete Schwingungen haben in der Praxis die größte Bedeutung. Die menschlichen Reaktionsweisen auf derartige Belastungen sind sehr unterschiedlich, wobei sich allerdings einige Gemeinsamkeiten festhalten lassen. Der menschliche Körper muss zur Regulierung der Körperhaltung und zur Kompensation der externen Schwingungseinflüsse eine beachtliche Muskelarbeit aufbringen. Sind Schwingungen beispielsweise sinusförmig oder periodisch, so sind sie relativ vorhersehbar und der Organismus reagiert darauf mit gezielter aktiver Muskelarbeit. Dadurch wird die Muskulatur entsprechend den Anforderungen aktiv nachreguliert. Bei stochastischen Signalen, die nicht oder nur bedingt vorhersehbar sind, ist eine zusätzliche ausgleichende Muskelarbeit nicht mehr möglich. In solchen Situationen verspannt sich die Muskulatur andauernd statisch, um so den Einfluss des Schwingungsverhaltens zu reduzieren. Durch die lange Dauer

der Muskelverspannungen und durch die dadurch bedingten fehlenden muskulären Erholungspausen werden stochastische Einflüsse auch subjektiv als besonders unangenehm empfunden.

Bei lang andauernder Schwingungseinwirkung reicht häufig die Muskelarbeit nicht mehr aus, die einlaufenden Erschütterungen abzufangen, so dass diese unmittelbar auf die Knochen, Gelenke oder Bandscheiben treffen, was langfristig zu durchaus bedeutenden gesundheitlichen Problemen führen kann. Typische Schäden, die beim Fahren von nicht oder nur unzureichend gefederten Fahrzeugen auftreten, sind die Abnützerscheinungen der Lenden- und Halswirbelsäule sowie der Kniegelenke. Auch auf das Herz-Kreislauf-System haben Vibrationen und Stöße einen nicht zu unterschätzenden Einfluss. So kann sich eine Erhöhung der Herzfrequenz, des Blutdruckes und ein vermehrter Sauerstoffverbrauch ergeben. Ebenso können auch Durchblutungsstörungen in peripheren Bereichen des Körpers auftreten.

Die gesundheitlichen Auswirkungen einer bestimmten Schwingungsbelastung sind jedoch von Mensch zu Mensch verschieden. Dies ist natürlich abhängig von der Einwirkdauer, von der Konstitution des Menschen (trainiert, untrainiert), vom Körpergewicht und der Körpergröße und sogar von der psychischen Verfassung. In der Praxis bedeutet das z.B. dass die Steuergenauigkeit zum Lenken des Fahrzeuges und eine dosierte Betätigung des „Gaspedales“ unter Schwingungseinfluss schlechter werden. Auch die menschliche Sehleistung kann beeinflusst werden. So kann eine hohe Schwingungsintensität die Sehschärfe herabsetzen und die Reaktionszeiten erhöhen. Das bedeutet im Fahrbetrieb, dass im Nahbereich Anzeigeelemente weniger genau erfasst und abgelesen werden können. Im Fernbereich ist die Abnahme der Sehschärfe mit erhöhter Verkehrsfährdung gleichzusetzen.

Schwingungsbelastung kann auch zu verminderter Tiefensehschärfe führen. Dies würde bedeuten, dass das Abschätzen von Entfernungen unter Schwingungseinfluss schwieriger wird. Festgestellt wurde auch, dass zwischen Schwingungsbelastung und Ernährung ein kausaler Zusammenhang besteht. Daraus wird abgeleitet, dass man sich mit gefüllten Magen keinen starken Schwingungen aussetzen soll. Die Folgen sind Unwohlsein und Konzentrationsstörungen.

Studien zum Gesundheitszustand der Wirbelsäule bei Traktorfahrern sind schon frühzeitig und in verhältnismäßig großem Umfang durchgeführt worden. Verschiedenste Forschungsstellen haben Untersuchungsreihen zur Morbidität von Traktorfahrern durchgeführt. Es wurde der Einfluss der

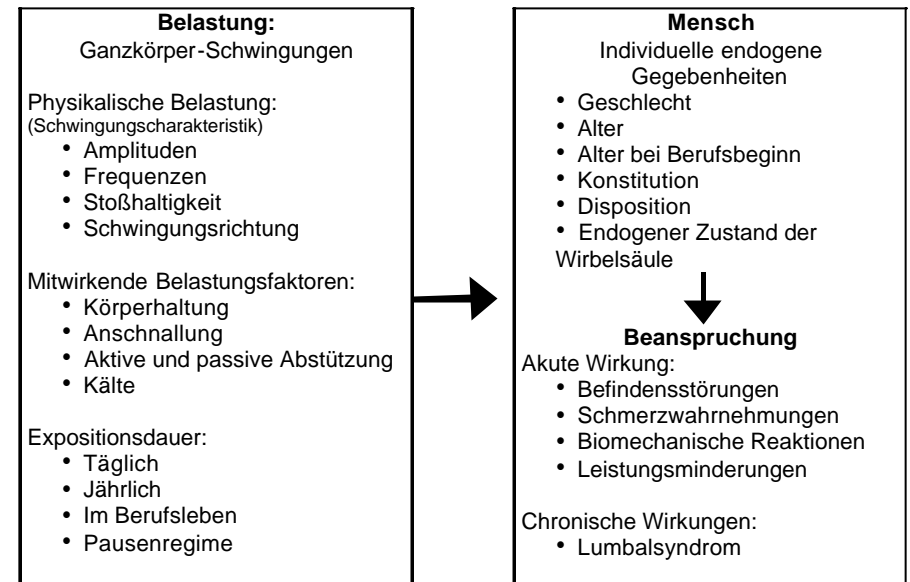


Abb. 2.1: Belastungs-Beanspruchungs-Modell der Ganzkörperschwingungen [Konietzko - Dupis "Handbuch der Arbeitsmedizin"]

Jahr	1969/61	1965/66	1970/71
Anzahl der Untersuchten	211	137	106
Durchschnittliches Alter	17,4	23	29,3
Röntgenbefunde	Prozent	Prozent	Prozent
A	50,2	68,7	80,1
B	22,3	10,2	8,5
C	14,7	13,1	5,7
D	12,8	8	5,7
Gesamt	100	100	100

Abb. 2.2: Vergleiche innerhalb einer Langzeituntersuchung von Traktorfahrern zwischen 1969 und 1971 [18, 21]

Ganzkörperschwingungen auf den menschlichen Bewegungsapparat mittels Röntgenbefunde und Aussagen über pathologische Veränderungen der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule, über Abnützerscheinungen in Abhängigkeit von Alter, Einwirkdauer und Konstitution festgestellt [7, 11, 12, 16].

Nachdem die Schädigung des Bewegungsapparates durch das Traktorfahren in Österreich nicht als Berufskrankheit angesehen wird, liegen dazu auch keine statistischen Zahlen neuerer Untersuchungen vor.

2.1.1 SCHWINGUNGSVERHALTEN DES MENSCHLICHEN KÖRPERS

Der menschliche Körper ist ein kompliziertes elastisches System mit verschiedenen wirksamen Massen, Federkennwerten und Dämpfungseigenschaften. Auf den Menschen einwirkende mechanische Schwingungen können den ganzen Körper oder Körperteile zu Eigenschwingungen anregen. Ebenso wie in der Technik werden Körperteile oder innere Organe dann besonders stark belastet, wenn sie mit ihrer Eigenfrequenz (Resonanz) angeregt werden. Je nach Einwirkungsstelle der Schwingung auf den Körper, zeigt er unterschiedliches Resonanzverhalten. Im Sitzen muss bei vertikaler Schwingungserregung mit Eigenfrequenzen zwischen 3 und 7 Hz für den Bereich des Rumpfes (Wirbelsäule, Magen) gerechnet werden. Für horizontale Schwingungen liegt die Resonanzfrequenz des Rumpfes um 3 Hz. Bei einer Schwingungsanregung der Hände, kommt es zu Resonanzerscheinungen des Hand-Arm-Systems im Frequenzbereich zwischen 10 - 20 Hz, die Eigenschwingungsfrequenz der Augäpfel liegt bei 20 - 25 Hz.

Schwingungen im Frequenzbereich zwischen 4 und 8 Hz werden vom Menschen als besonders störend empfunden, da in diesem Frequenzspektrum die Eigenfrequenzen vieler Organe liegen.

Körperteil	Schwingungsrichtung	Resonanzfrequenz [Hz]
Wirbelsäule	vertikal (z)	3 - 5
Magen	vertikal (z)	4 - 5
Rumpf	vertikal (z)	4 - 6
Rumpf	horizontal (x)	3 - 6
Kopf - Hals	vertikal (z)	20 - 30
Nieren	vertikal (z)	6 - 8
Bauch	vertikal (z)	2 - 4
Herz	vertikal (z)	4 - 6
Hand - Arm	vertikal (z)	2 - 5
Hand - Arm	horizontal (y)	10 - 20
Augäpfel	vertikal (z)	20 - 25
Gleichgewichtsorgan	vertikal (z)	0.5 - 1.3
Brustkorb	vertikal (z)	4 - 6
Schulter	vertikal (z)	2 - 6

Abb. 2.3: Eigenfrequenz bestimmter Körperteile im Sitzen [Dupis]

Die Belastung des Menschen durch mechanische Schwingungen ist abhängig von:

- ◆ der Schwingbeschleunigung
- ◆ der Frequenz
- ◆ der Schwingungsrichtung
- ◆ der Einwirkdauer
- ◆ der Arbeitsperson (subjektiver Faktor)

2.2 Schwingungsprüfung und Schwingungsbewertung

Zwischen der Empfindungsschwelle und der Grenze des noch Erträglichen liegt der Bereich, innerhalb dessen eine quantitative Beurteilung der Schwingungen notwendig wird. Grundlage dieser Bewertung ist die ISO 2631 "Guide for the evaluation of human exposure to the wholebody vibration". Sogenannte „Ganz-Körper-Schwingungen" erfassen alle diejenigen Vibrations- und Schwingungseinwirkungen, die so in den menschlichen Körper eingeleitet werden, dass praktisch der gesamte Körper in Schwingung gerät. Bestimmend für die Höhe der Schwingungsbelastung ist die Schwingungsfrequenz, die Schwingungsamplitude und die Dauer der Einwirkung. Um Ergebnisse von Schwingungsmessungen für den Menschen bewerten zu können, werden die gemessenen Beschleunigungen mit einem Humanschwingungsfiter gewichtet. Die Bewertung der Ganz-

körperschwingungen erfolgt durch nationale und internationale Normen. Die gültigen Richtlinien zur Bewertung von Schwingungseinwirkungen auf den Menschen waren früher die DIN 45671 (identisch mit ISO 2631-1:1985 alt), für Deutschland die VDI 2057. Der internationale Standard wird derzeit von der ISO 2631-1 (1997 neu) definiert [35]. Alle Schwingungsnormen berücksichtigen eine frequenz-

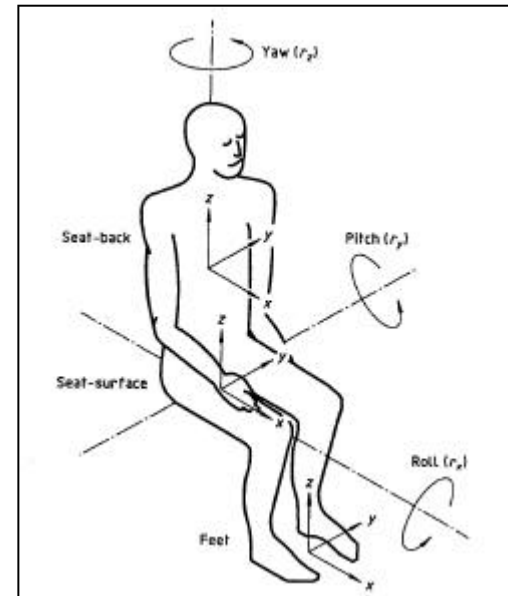


Abb. 2.4: Hauptmess- und Bewegungsrichtungen im Sitzen [nach ISO 2631-1]

abhängige Bewertungsfunktion, die das unterschiedliche Empfinden des Menschen, je nach Frequenz und Wirkungsrichtung der Schwingungsbelastung beinhaltet.

Diese Richtlinien gelten für vertikale und horizontal wirkende mechanische Schwingungen.

2.2.1 SCHWINGUNGSPRÜFUNG NATIONAL

In Österreich gilt nach wie vor die Österreichische Kraftfahrgesetz-Durchführungsverordnung „Sitze an Zugmaschinen und Motorkarren“ § 19a die angewendet werden kann, aber in der Praxis seit 1995 (EU-Beitritt) nicht mehr angewendet wird.

Diese Prüfung wird in eine sitzbezogene Prüfung (Laborprüfung) und in eine sitz-fahrzeugbezogene Prüfung (Sitz in Kombination mit dem jeweiligen Fahrzeug auf einer Testbahn) unterteilt.

Dabei werden folgende Eigenschaften des Sitzes untersucht:

1. Sitzbezogene Prüfung:

- ◆ Ausformung des Sitzes und der Polsterung, Seitenstabilität, Dauerfestigkeit, Schwingweg, Gefahrenquellen, Gewichtseinstellbereich, Sitzaufbau (Vermessung zu den Bezugspunkten am Traktor usw.)
- ◆ Sitzfederkennlinie und Gewichtseinstellbereich, horizontaler Schwingweg, Begrenzung des Schwingweges

2. Fahrzeugbezogene Prüfung (Schwingungstechnische Eigenschaften von Sitzen mit Federungsvorrichtung, in Kombination mit Fahrzeugen):

- ◆ Federungs- und Dämpfungseigenschaften einer mit einem Sitz versehenen Zugmaschine (z.B. Traktorsitz-Fahrzeugkombination), mit einem leichten (65 kg) und einem schweren Fahrer (95 kg), auf der 100m Bahn (15 km/h) und auf der 35m Bahn (5 km/h).

Während jeder Prüffahrt auf den Testbahnen wird aus den gewonnenen Beschleunigungswerten (in vertikaler Richtung am Sitzpolster) die Quadratwurzel aus dem Integral des Quadrates der gewichteten Beschleunigungen über die Dauer der Prüffahrt bestimmt. Die Beschleunigungen müssen dabei noch mit Hilfe eines Frequenzbewertungsfilters mit einer bestimmten Filtercharakteristik (nach ISO 2631-1) gewichtet werden. Bis zum Jahre 1994 galt in Österreich noch eine eigene gesetzliche Regelung die besagte, dass der Grenzwert der bewerteten Beschleunigung am Fahrersitz in vertikaler Richtung auf der 100m-Holperbahn bei einer Fahrgeschwindigkeit

von 15 km/h (+- 0.5 km/h), 1,8 m/s² nicht überschritten werden darf. Das Gleiche gilt für die 35m-Holperbahn bei 5 km/h (+- 0.15 km/h). Beim Motorkarren beträgt die Fahrgeschwindigkeit auf der 100m-Bahn 10 km/h (+- 0.3 km/h) und auf der 35m-Bahn 3.3 km/h (+- 0.1 km/h). Alle Messungen auf den Testbahnen sind mit einem 60 kg und einem 95 kg schweren Fahrer durchzuführen. Die Mittelwerte der Beschleunigungen von zwei zusammengehörigen Messungen, dürfen nicht mehr als 5 % voneinander abweichen. Ist der Unterschied größer sind weitere Messungen durchzuführen.

Liegt bei diesen Messungen der Beschleunigungswert am Fahrersitz in vertikaler Richtung unter dem Grenzwert von 1.8 m/s², so ist voraussichtlich ein tägliches achtstündiges Fahren mit diesem Traktor, ein ganzes Jahr lang ohne gesundheitliche Schädigung möglich und die Prüfung kann als positiv bewertet werden.

2.2.2 SCHWINGUNGSPRÜFUNG NACH DER EWG-RICHTLINIE

Seit dem EU-Beitritt 1995 ist Österreich verpflichtet, die Prüfordnung der EU anzuerkennen. Die nationale Bestimmung wurde ab dem Jahre 1995 von der Bestimmung der 78/764/EWG - Anhang II in der Praxis abgelöst. Die EWG Richtlinie über Fahrersitze von land- oder forstwirtschaftlichen Maschinen auf Rädern (78/764/EWG) gilt nur für den Standardtraktor mit gefedertem Fahrersitz.

Bei dieser Prüfung wird nicht die Sitz-Fahrzeugkombination, sondern ein Traktorsitz einmalig auf einer Hydropulsanlage (Schwingungsprüfstand) schwingungstechnisch für bestimmte Traktorklassen (I, II, III) untersucht. Ist diese Prüfung positiv, so darf der Sitz mit einer „e“-Nummer versehen auf allen Traktoren herkömmlicher Bauart dieser Traktorklasse aufgebaut werden. Nach der EG-Regel beträgt der Grenzwert der Beschleunigung auf der Holperbahn 100 m, in vertikaler Richtung (z), bei 12 km/h Fahrgeschwindigkeit 1.25 m/s².

Der Sitz muss dabei folgenden Prüfungen unterzogen werden:

- ◆ Prüfung bestimmter Merkmale des Federungssystems und des Einstellbereiches in Abhängigkeit vom Gewicht des Fahrers.
- ◆ Prüfung zur Ermittlung der Federkennlinie.
- ◆ Bestimmung der Sitzschwingung am Schwingungsprüfstand oder der Versuchsstrecke.
- ◆ Der Prüfbericht muss den arithmetischen Mittelwert der bewerteten Schwingbeschleunigung am Sitz für den leichten und den schweren Fahrer enthalten. Der Bericht muss auch das Verhältnis der bewerte-

ten Schwingbeschleunigungen an der Sitzoberfläche und an der Sitzbefestigung (Sitzmontagepunkt) enthalten.

- ♦ Die Messwerte dürfen für die in der Richtlinie definierte Anregung nicht mehr als 1.25 m/s betragen.

Folgende Methoden werden dabei angewendet:

- a. Prüfung mit Schwingungsprüfstand (Hydropuls)
- b. Prüfung auf der Versuchsstrecke

Abhängig davon, ob der Sitz für eine bestimmte Klasse (oder für bestimmte Klassen) von Zugmaschinen der Kategorie A oder für eine Zugmaschine der Kategorie B bestimmt ist, werden die Versuche an einem Schwingungsprüfstand und/oder auf einer genormten Versuchsstrecke durchgeführt.

Ein Fahrersitz der für eine Klasse von Zugmaschinen (Klasse I, II, III) der Kategorie A bestimmt ist, wird unter Verwendung des Schwingungsprüfstandes mit den entsprechenden Sollwertsignalen geprüft. Dabei entfällt die sitz- und die fahrzeugbezogene Prüfung.

Zugmaschinentypen der Kategorie B werden nur auf der genormten Prüf-
strecke geprüft. Es kann auch eine Prüfung auf dem Schwingungsprüfstand durchgeführt werden, bei der ein Sollwertsignal verwendet wird, das dem Beschleunigungsverlauf entspricht der bei der Prüfung auf der genormten Versuchsstrecke mit dem Zugmaschinentyp festgestellt wurde.

Die Schwingungen sind auf dem Sitz sowie an der Sitzmontagegestelle der Zugmaschine zu messen.

In allen Fällen darf der Schwingungspegel auf dem Sitz den Grenzwert von 1.25 m/s² nicht überschreiten.

Unter der „Schwingungsklasse“ versteht man die Klasse bzw. Gruppe von Zugmaschinen die gleiche Schwingungsmerkmale aufweisen.

Eine Zugmaschine der „Kategorie A“ ist jene Zugmaschine, deren Schwingungsverhalten sich aufgrund ähnlicher Konstruktionsmerkmale einer bestimmten Schwingungsklasse zuordnen lässt.

Zugmaschinen der Kategorie A:

- Klasse I: Zugmaschinen mit einem Leergewicht zwischen 1400 kg und 3600 kg
- Klasse II: Zugmaschinen mit einem Leergewicht über 3600 kg bis 5000 kg
- Klasse III: Zugmaschinen mit einem Leergewicht von mehr als 5000 kg.

Zugmaschinen der Kategorie B:

Sind Zugmaschinen, die sich keiner Schwingungsklasse der Kategorie A zuordnen lassen (Knicklenker, Schmalspurtraktor usw.).

Grenzwerte am Schwingungsprüfstand:

Die gewichtete Beschleunigung am Fahrersitz vertikal (z) darf 1,25 m/s² nicht überschreiten. Das Verhältnis der Effektivwerte der Schwingungsbeschleunigungen an der Sitzbefestigung (a_{wb}) und auf der Sitzfläche (a_{ws}) darf den Wert 2 nicht übersteigen.

Lenkersitze für land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen der Klasse "Iof" müssen den Bestimmungen der Anhänge der EWG-Richtlinie 78/764/EWG in der Fassung 1999/57/EG entsprechen.

Beifahrersitze für landwirtschaftliche Zugmaschinen können auch den Bestimmungen der EWG-Richtlinie 76/763, Abl. Nr. L 262 vom 27. Sept. 1976, S 135, entsprechen.

Die EG-Fahrersitzprüfung ist eine Mindestanforderung für ungefederte Traktoren.

Genaugenommen müssten die Traktoren mit Vorderachsfederung und Kabinenfederung nach österreichischem Gesetz geprüft werden (wird aber in der Praxis nicht mehr angewendet).

