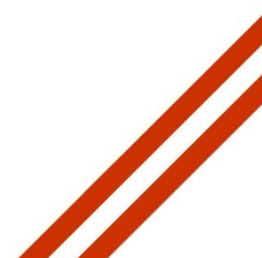


21. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium

ARBEIT IN DER DIGITALEN TRANSFORMATION

13. / 14. März 2018

HBLFA Francisco Josephinum
AT 3250 Wieselburg, Rottenhauser Straße 1
Tel.: +43 (0)7416 52175, Fax: +43 (0)7416 52175-645
blt@josephinum.at, <http://blt.josephinum.at>



IMPRESSUM

21. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium des VDI-Fachbereichs Max-Eyth-Gesellschaft-Agrartechnik (VDI-MEG)

Beiträge zum 21. Arbeitswissenschaftlichen Kolloquium VDI-MEG
vom 13. / 14. März 2018 in Wieselburg

Herausgeber:

HBLFA Francisco Josephinum, AT-3250 Wieselburg
des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus

Für den Inhalt verantwortlich:

Für die in diesem Tagungsband veröffentlichten Referate sind die Autoren verantwortlich.

Redaktion:

Franz Handler, Petra Renz
BLT Wieselburg
Tel.: +43 7416 52175-0
E-Mail: blt@josephinum.at
Web: blt.josephinum.at

Druck, Verlag und © 2018
Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-902451-16-3

Definition einer Prüfmethode für die Vertikaldynamik an Traktoren

Jürgen Karner, Lukas Handl

Josephinum Research, Wieselburg, Österreich

ZUSAMMENFASSUNG

Traktoren sind Universalmaschinen in der Land- und Forstwirtschaft. Sie werden sowohl auf der Straße als auch auf Feldern oder am Hof mit Anhängern oder Anbaugeräten verwendet. Zunehmende Geschwindigkeiten führen zu erhöhten Schwingungen am Chassis und in der Kabine, wie etwa bei Fahrten auf unbefestigten Straßen und Wegen. Diese können die Gesundheit des Fahrers beeinflussen.

Beim Betrieb des Traktors durch Arbeitnehmer ist die Einhaltung der Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit zwingend vorgeschrieben. Die Vorschriften (z. B. Richtlinie 2002/44/EC [1]) verpflichten zur Bewertung der Belastung von Arbeitnehmern hinsichtlich der durch Schwingungen verursachten Risiken. Die täglichen Belastungsgrenzwerte für Schwingungen, die bei der Schwingungsmessung zu verwendenden Sensoren, Signalfilter und Auswertungsformeln sind zwar durch Vorschriften definiert; jedoch fehlt eine genaue Spezifikation der Fahrbedingungen während der Evaluierung. Gemäß der Normen sollen die Messungen unter „Normalbetrieb“ durchgeführt werden. Das Einsatzspektrum eines Traktors ist jedoch unglaublich vielfältig [2]. Bisherige Versuche wurden typischerweise ohne Anbaugeräte durchgeführt [3, 4]. Dies entspricht jedoch nur selten dem praktischen Einsatzprofil. Mit der neu entwickelten Methode „Wieselburger Schwingungs-Prüfzyklus“ wurden Fahrzyklen und Ballastierungen für die Evaluierung von Vibrationen am Traktor vorgeschlagen. Diese Methode ermöglicht es, unter verschiedenen Fahrzuständen Vergleiche von Traktoren anzustellen und Verbesserungspotenziale im Zuge der Traktorentwicklung aufzuzeigen (z. B. Federungsabstimmung).

Zuständige Behörden können mit Hilfe dieser Methode Ganzkörperschwingungen messen und eigene Testzyklen basierend auf Messungen einzelner Events erstellen.

1. EINLEITUNG

Der DLG PowerMix ist eine weitreichend anerkannte Methode zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs. Die darin beschriebenen Zyklen wurden im Zuge der Entwicklung der Schwingungsprüfmethode als Referenzfahrten herangezogen und in Bezug auf Fahrgeschwindigkeit und Ballastierung (Ballast, Achslasten etc.) leicht angepasst und um Transportfahrten erweitert. Für die Wiederholbarkeit der Versuche werden die ISO 5008 [5] „Smooth Track“ und „Rough Track“, sowie die angrenzende Asphaltfahrbahn verwendet. Die Versuche werden sowohl im ballastierten als auch im unballastierten Zustand durchgeführt, wobei der Ballast eine vertikale Stützlast bzw. eine Gerätelast im ausgehobenen Zustand darstellt (*Abbildung 1*).

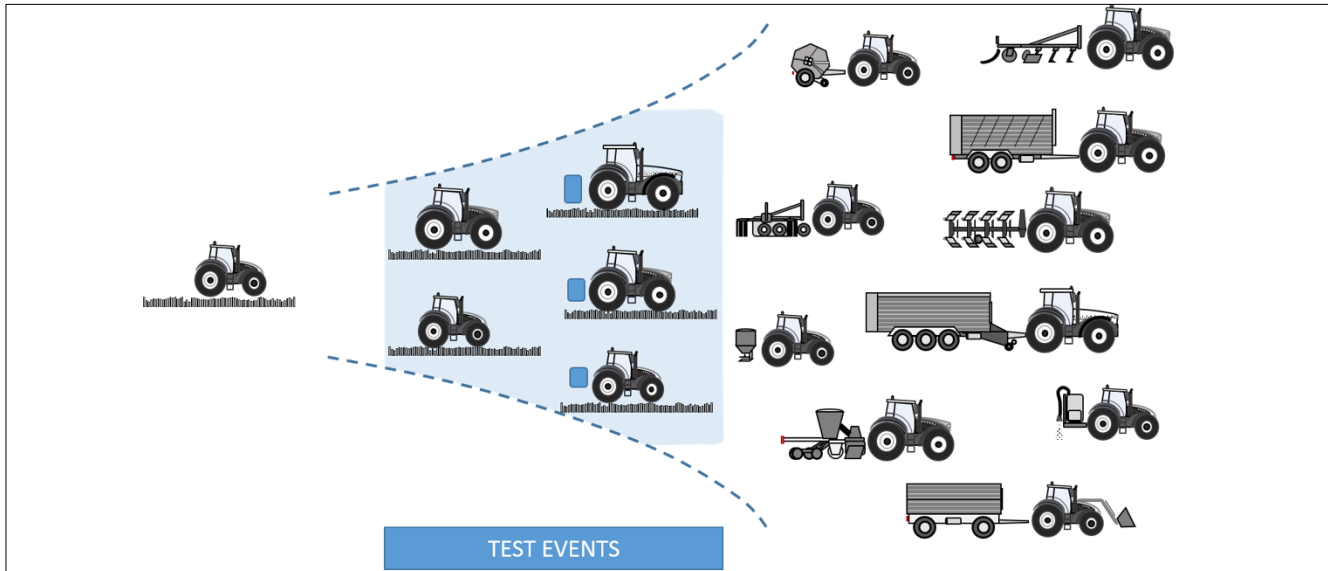


Abbildung 1: Testmethode als Bindeglied von Einzelfahrten und praktischer Verwendung von Traktoren.

Der gesamte Leistungsbereich von Standardtraktoren wurde in 7 Klassen unterteilt und jeder eine klassenspezifische Ballastierung zugewiesen. Diese wurden anhand statistischer Analysen von Traktorendaten ermittelt.

Für die Messungen und Datenauswertung wurde das modifizierte Tool AVL DriveTM verwendet. Basierend auf der Schwingungsauswertung wurden zulässige Betriebszeiten berechnet und der Traktor ziffernmäßig bewertet. Darüber hinaus wurde eine Reihe von Allradtraktoren zur Analyse von Parametern verwendet, welche die Ergebnisse beeinflussen könnten. Letztendlich wurden über ein Dutzend Traktoren unterschiedlicher Hersteller für die Auswertung herangezogen.

2. MATERIAL UND METHODE

2.1 Messtechnik

Für die Messungen wird das Tool AVL-DriveTM verwendet. Es werden die CAN-Bus Signale aufgezeichnet, die vertikalen Vorderachsbeschleunigungen und die Beschleunigungen am Fahrersitz (Sitzkissen) gemessen. Das Auslösen und Zuteilen der jeweiligen Events wird von der Software automatisch durchgeführt. Die Auswertung erfolgt mittels der in ISO 2631-1 [6] beschriebenen Methode der quadratischen Mittelwerte. Die resultierenden Werte (in Zeiteinheiten) werden auch in eine Bewertung (von 0 bis 10 Punkte) umgerechnet, wobei der Wert sieben den gesetzlichen Grenzwert bei achtstündiger Belastung darstellt.

2.2 Entwicklung der Testzyklen und Events

Da das Einsatzspektrum von Traktoren sehr vielfältig ist, muss der Prüfzyklus genaue Fahrbedingungen definieren, um die Vielfalt und Komplexität der Prüfungen zu begrenzen. Das Prüfverfahren beinhaltet zehn „Events“, wobei jeder einzelne eine bestimmte Geschwindigkeit und Fahrbahn, Hubwerksposition und Heckballast vorgibt. Jeder Event muss fünfmal wiederholt werden, wie in der ISO 5008 beschrieben. Der Testzyklus umfasst somit insgesamt 50 Einzelfahrten.

Für den Gesamtvergleich verschiedener Traktormodelle werden eine numerische Bewertung (0-10) und eine zulässige Betriebszeit (in h) berechnet. Für die Traktorentwicklung können bestimmte Events für die Optimierung des Fahrkomforts herangezogen werden, z. B. Federungseinstellungen.

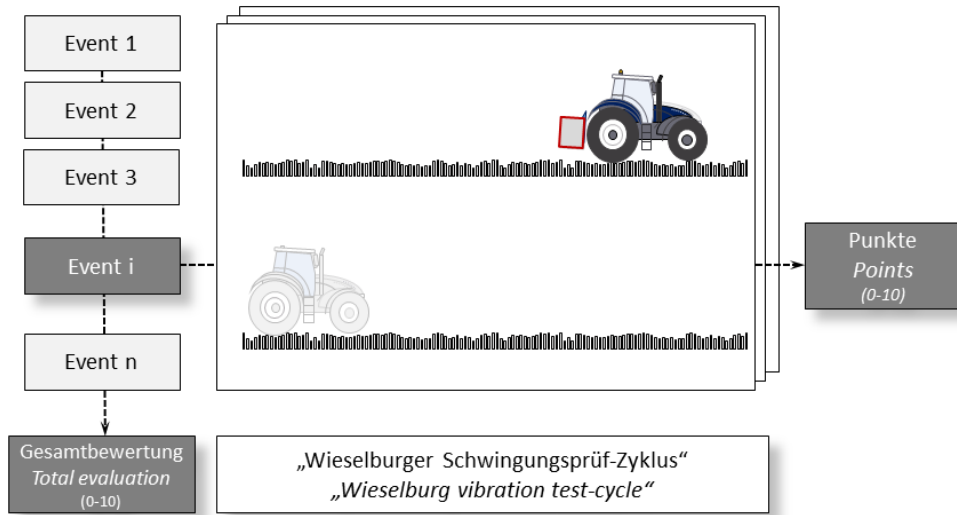


Abbildung 2: Der Wieselburger Schwingungsprüf-Zyklus setzt sich aus zehn Events zusammen, wobei jeder einzelne einen definierten Fahrzustand repräsentiert.

Abbildung 2 zeigt, dass nicht nur der gesamte Testzyklus ausgewertet werden kann, sondern auch einzelne Events. Vor der genauen Definition der einzelnen Events wurden verschiedene Parameter, welche das Schwingungsverhalten beeinflussen könnten, mit Hilfe verschiedener Traktoren analysiert. Vor allem Fahrgeschwindigkeit, Ballast, Position des Ballastes sowie Gewicht des Fahrers wurden mit verschiedenen Traktoren untersucht.

Die grundlegenden Versuche wurden mit folgenden Traktoren durchgeführt:

| | | | |
|-------------------------|----------------|--------------------|-------------------------|
| Case Puma 210 | Steyr CVT 6160 | Case Maxxum 150 | Steyr Multi 4115 tier4i |
| Steyr Multi 4115 tier4f | Case CVX 185 | New Holland T7.270 | |

Für den Zweck der Untersuchungen wurden die Traktoren ohne Ballast bei einer Geschwindigkeit von 8 bis 16 km/h auf der 100 m („smooth track“) Bahn und mit Ballast bei einer Geschwindigkeit von 8 bis 20 km/h gefahren. Die 35 m („rough track“) Bahn wurde mit einer Geschwindigkeit zwischen 4 und 8 km/h inklusive Ballast befahren.

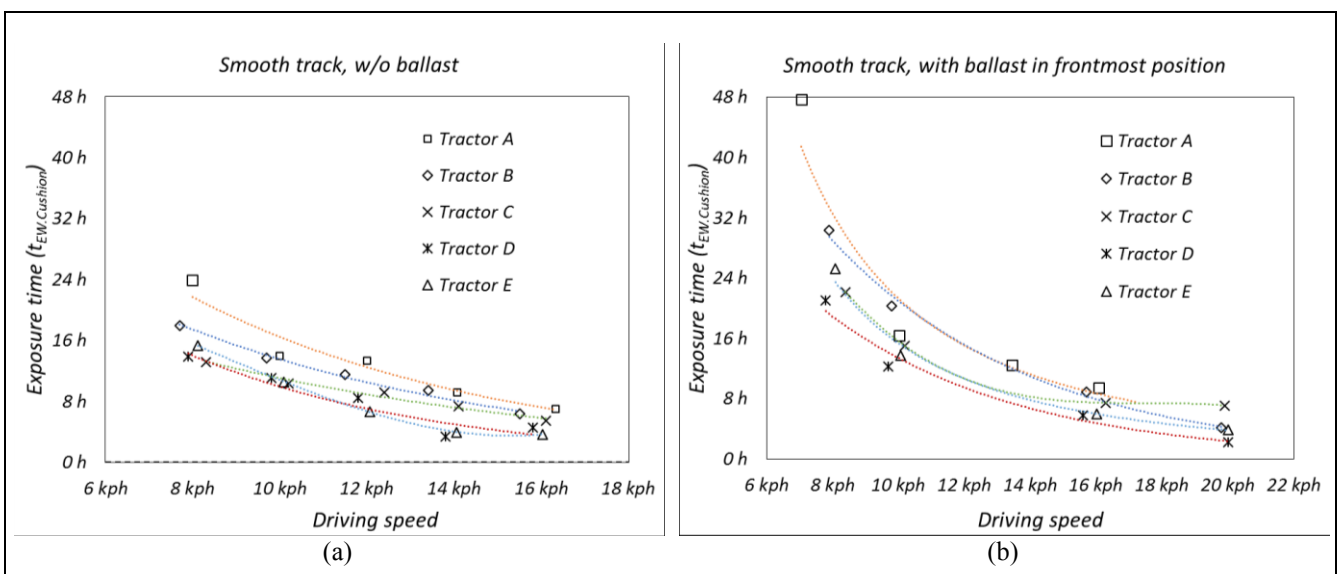


Abbildung 3: Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf der 100 m ISO Bahn ohne Ballast (a) und mit an den Heck-Anbaupunkten montiertem Ballast (b)

Nicht überraschend ist, dass die Intensität der Schwingungen, gemessen am Sitzkissen, mit steigender Fahrgeschwindigkeit zunimmt und die zulässige Einsatzzeit folglich sinkt. Traktor A würde eine Arbeitszeit von 8 Stunden bis zu einer Geschwindigkeit von 15 km/h ermöglichen (unballastiert, *Abbildung 3a*) und bis zu etwa 17 km/h mit einem Heckballastgewicht von 1500 kg (*Abbildung 3b*).

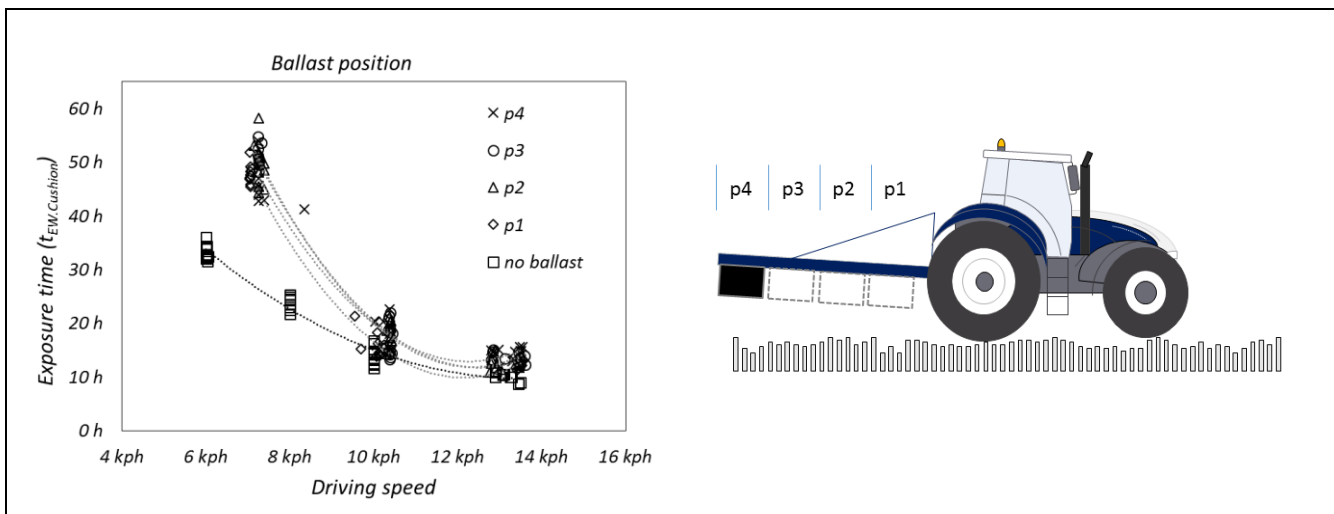


Abbildung 4: Einfluss des Ballastes und dessen Position

Der Einfluss der Ballastposition wurde in vier verschiedenen Abständen zu den Koppelpunkten untersucht (p1 vorderste, p4 hinterste Position). *Abbildung 4* zeigt, dass auf der 100 m-Bahn der ballastierte Traktor längere Einsatzzeiten ermöglicht als der leere. Der Ballast verlagert mehr Gewicht auf die Hinterachse und entlastet so die Vorderachse. Die groß dimensionierten Hinterräder weisen ein gutes Schwingungsdämpfungsverhalten auf. Die Position des Ballasts (p1, p2, p3, p4) hat nur geringen Einfluss auf die zulässige Einsatzdauer. Die Ergebnisse des leeren und ballastierten Traktors konvergieren mit zunehmender Geschwindigkeit (typischerweise zwischen 14 und 16 km/h). Das Gewicht des Fahrers hat keinen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse.

2.3 Definition der Test-Zyklen

Die Fahrgeschwindigkeiten wurden grundsätzlich vom DLG PowerMix abgeleitet, jedoch mit geringen Abweichungen (*Tabelle 1*). Die Arbeiten mit dem Pflug, Grubber und Mähwerk werden mit 9, 12 und 15 km/h auf der 100 m Bahn (smooth track) simuliert. Die Hinterachslast mit einem Anbaugerät in Arbeitsposition ist in etwa die gleiche wie jene eines leeren Traktors ohne Feldeinsatz, wodurch bei den Tests kein Ballast notwendig ist. Ballenpressen, Miststreuer und Ladewägen übertragen eine gewisse Stützlast auf den Traktor. Diese Last wird durch einen Ballast am Heckhubwerk mit Geschwindigkeiten von 9 bis 15 km/h und einem zusätzlichen Transport Event (Feldweg) mit 20 km/h simuliert.

Das Wenden am Vorgewende wird mit angehobenem Arbeitsgerät durchgeführt. Dieser Event wird mit 5 km/h und Ballast auf der 35 m Bahn (rough track) durchgeführt.

Zusätzlich wurden zwei Transportfahrten mit 40 und 50 km/h (abhängig von der Bauartgeschwindigkeit) hinzugefügt und sowohl ballastiert als auch leer gefahren. Diese Varianten werden auf einer Asphaltstraße neben den ISO-Bahnen mit einer einzigen Anregung vom Untergrund durchgeführt. Dieser Impuls wird durch Dreischicht-Holzspanplatten (2000 x 500 x 27 mm) realisiert, welche auf dem Asphalt befestigt sind. Durch deren Länge wird der Gesamtschwerpunkt des Traktors kurzzeitig minimal angehoben.

Tabelle 1: Überblick der Test Events

| | Events | Track | Ballast | Geschwindigkeit | Hubwerk |
|---------|--------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------|-----------------|---------|
| 1, 2, 3 | z. B. Pflug, Grubber, Mähwerk in Arbeitsposition | 100 m (smooth) | Nein | 9, 12, 15 km/h | unten |
| 4, 5, 6 | z. B. Ballenpresse, Miststreuer, Ladewagen | 100 m (smooth) | Ballast (simuliert Stützlast) | 9, 12, 15 km/h | oben |
| 7 | Transport (Feldweg) | 100 m (smooth) | Ja | 20 km/h | oben |
| 8 | Vorgewende (Gerät angehoben) | 35 m (rough) | Ballast (simuliert angehobenes Gerät) | 5 km/h | oben |
| 9 | Transport | Asphalt | Nein | 40 oder 50 km/h | unten |
| 10 | Transport | Asphalt | Ja | 40 oder 50 km/h | oben |

Basierend auf statistischen Analysen von 114 Traktormodellen wurden sieben Leistungsklassen definiert. Mit Hilfe von Regressionsanalysen wurden das mittlere Leergewicht und der Radstand abgeleitet.

Tabelle 2: Traktorklassen

| Klasse | I | II | III | IV | V | VI | VII |
|---------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nennleistung (in kW) | ≤ 55 | ≤ 74 | ≤ 110 | ≤ 147 | ≤ 184 | ≤ 220 | >220 |
| Ballast für Tests (in kg) | 440 | 592 | 880 | 1 176 | 1 472 | 1 760 | 1 760 |

Die Nennleistung wird als Referenz für die Berechnung des Ballast-Gewichts herangezogen, weil die Motorleistung zumeist die Größe des Anbaugeräts bestimmt (z. B. Arbeitsbreite) und nicht das Gewicht der Zugmaschine.

Das Ballast-Gewicht wurde so gewählt, dass einerseits die gesetzlichen Anforderungen (in Österreich: 20 % des Eigengewichts auf der Vorderachse) erfüllt werden und andererseits das höchstzulässige Gesamtgewicht nicht überschritten werden.

Die Analyse hat gezeigt, dass die Hubkraft des Heckhubwerks mit der Motorleistung des Traktors bis etwa 180 kW zunimmt. Bei Traktoren höherer Motorleistung nimmt die Hubkraft nicht wesentlich zu, da die landwirtschaftlichen Geräte von diesen Traktoren meist gezogen werden. Darum ist der Ballast für Traktoren der Klassen VI und VII gleich (Tabelle 2).

Für die weiteren Messungen wurden folgende Zugmaschinen verwendet: John Deere 6130 R, Claas Arion 530, New Holland T5.120, Lindner Lintrac 90, Fendt 313 Vario, Fendt 211 Vario, Fendt 724 Vario, Fendt 516 Vario, Fendt 716 Vario, Lamborghini Spark 180, Valtra N114e.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Für die Traktoren der Klasse III beträgt der Ballast je 880 kg. *Tabelle 3* zeigt die Ergebnisse der Klasse III Traktoren.

Tabelle 3: Versuchsergebnisse der Klasse III Traktoren

| | Einheiten | Limit für 8h Arbeitstag | Traktor F | Traktor G | Traktor H | Traktor I | Traktor J |
|--------------------------|------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $a_{\text{eff.cushion}}$ | m/s ² | 1.15 | 1.23 | 1.14 | 1.12 | 1.24 | 1.22 |
| $t_{\text{eff.cushion}}$ | Std. | 8 | 7.02 | 8.12 | 8.45 | 6.84 | 7.15 |
| AVL-DRIVE™ Bewertung | Pkt. | 7.0 | 6.51 | 7.03 | 7.11 | 6.42 | 6.57 |

Die gemessenen effektiven Beschleunigungswerte am Sitzkissen zeigten ähnliche Werte. Für einen acht Stunden Arbeitstag darf der Grenzwert von 1,15 m/s² nicht überschritten werden. Zwei Modelle lagen etwas unter diesem Wert, drei darüber. Die zulässige Betriebsdauer ist daher auf Einsatzzeiten von weniger als acht Stunden zu begrenzen. Höhere Beschleunigungen führen zu niedrigeren Einsatzzeiten. Die numerische AVL-DRIVE™ Bewertung mit sieben Punkten entspricht einer effektiven Beschleunigung von 1,15 m/s² oder einer Einsatzzeit von 8 Stunden.

Folglich liegt die AVL-DRIVE™ Bewertung für zwei Modelle über sieben Punkte und für drei Modelle darunter.

Auf der 35 m ISO-Bahn zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Traktormodellen (*Abbildung 5*). Die Anregung ist vergleichsweise stark, sodass selbst bei einer geringen Fahrgeschwindigkeit von 5 km/h deutliche Wankbewegungen und Stöße in der Kabine auftreten. Durch die hohe Sitzposition auf einem Traktor wird der Fahrer stark hin- und hergeschüttelt. Die schlecht abgestimmten Traktoren ließen bei den auftretenden Beanspruchungen Einsatzzeiten von nur etwa 2,3 Stunden zu, während die besten auf über 6 Stunden kommen (*Abbildung 5*).

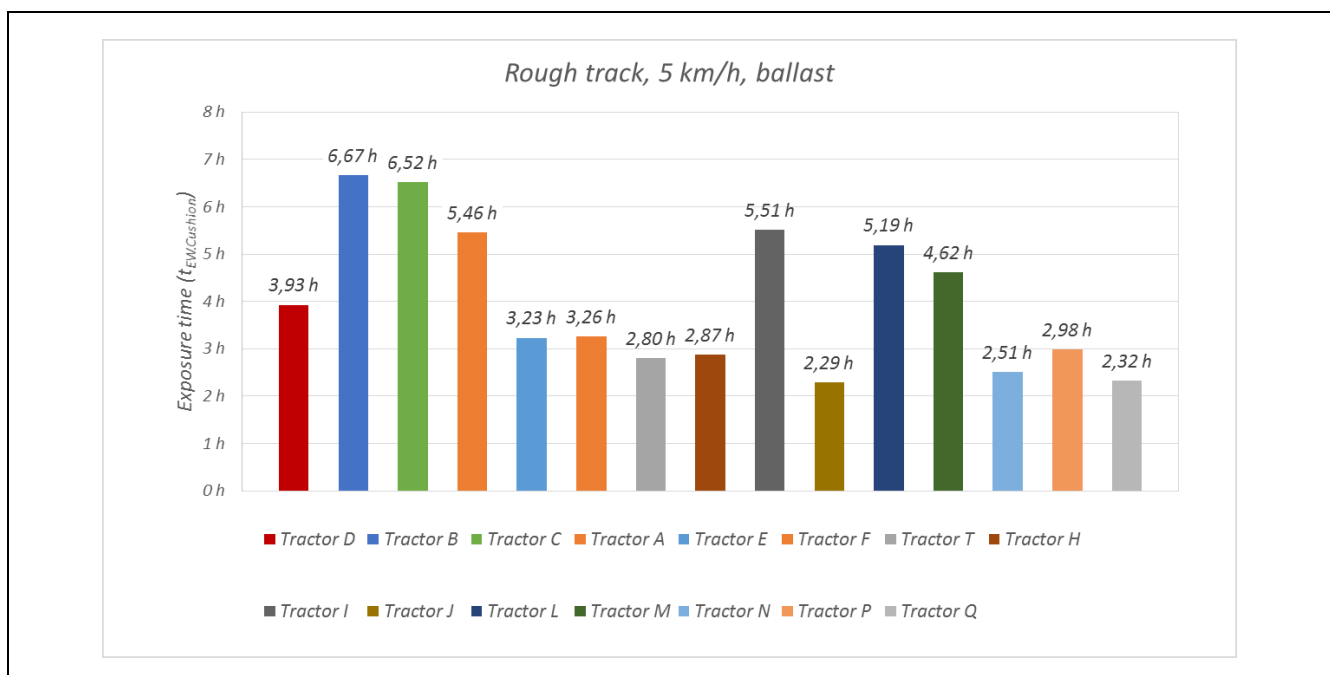


Abbildung 5: Ergebnisse auf der „Rough Track“ (35 m)

Auf der 100 m „Smooth Track“ konvergieren die Ergebnisse stärker. Hier wird der Unterschied zwischen leeren (empty) und ballastierten Traktoren deutlich (*Abbildung 6*).

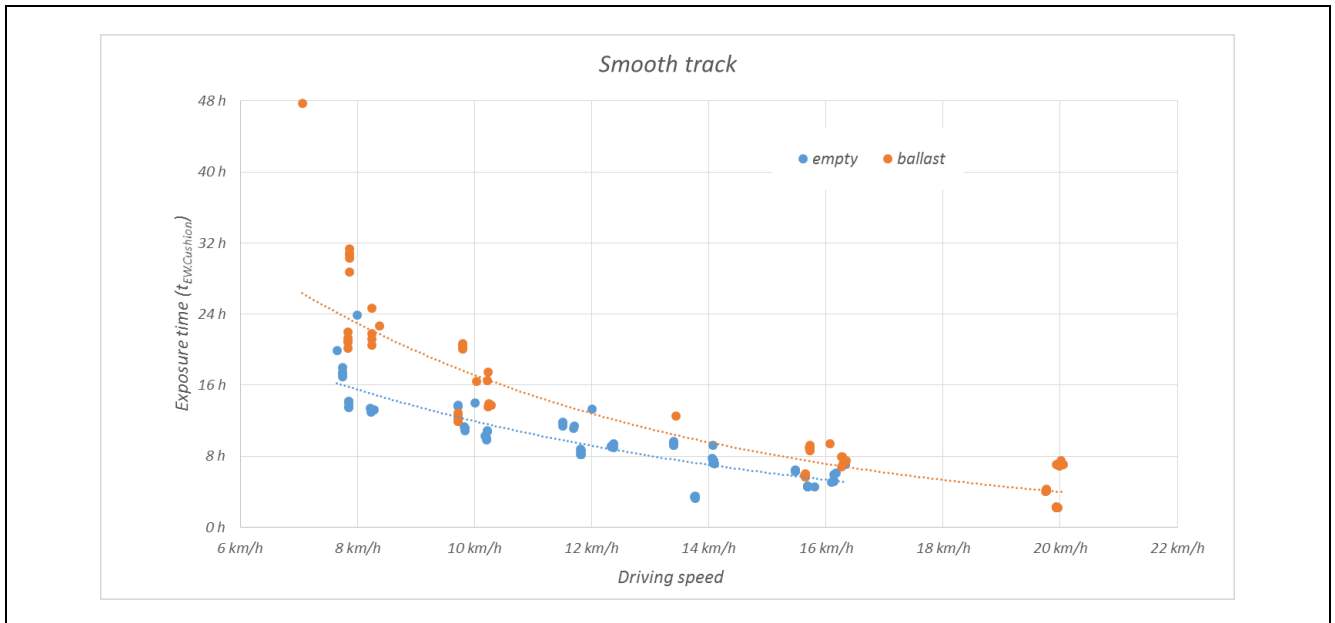


Abbildung 6: Ergebnisse auf der „Smooth Track“ (100 m) bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Die Unterschiede zwischen komfortablen und weniger komfortablen Traktoren zeigen sich am deutlichsten im unteren Geschwindigkeitsbereich des untersuchten Spektrums.

4. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die vorgestellte Prüfmethode definiert Fahrbedingungen für Ganzkörper-Schwingungsmessungen an landwirtschaftlichen Traktoren. Es wurden sieben Leistungsklassen definiert und für einige Testfahrten sollte ein Ballastgewicht am Heckhubwerk angebracht werden. Daher wurden für jede Leistungsklasse bestimmte Ballaste bestimmt. Weitere Messungen an Traktoren sollen dem Aufbau einer Datenbank dienen. Der „Wieselburger Schwingungs-Prüfzyklus“ könnte Grundlage für eine standardisierte Prüfmethode werden.

5. DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich bei CNH Industrial, Lindner Traktorenwerke, ACA Center Roher, Esch.Technik GmbH, Heindl Landtechnik GmbH, MeinTraktor GmbH und Raiffeisen-Lagerhaus Mostviertel Mitte eGen für die Zurverfügungstellung von Traktoren für die Versuche.

6. QUELLENVERZEICHNIS

- [1] Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration)
- [2] Schrottmaier, J., Lechner, B. (1986): Untersuchungen zur EG-Fahrersitzprüfung. Forschungsberichte der Bundesanstalt für Landtechnik, Wieselburg. Heft 16, Februar 1986
- [3] Scarlett, A.J., Price, J.S., Stayner, R.M. (2007): Whole-body vibration: Evaluation of emissions and exposure levels arising from agricultural tractors. *Journal of Terramechanics* 44 (2007), S. 65-73
- [4] Schrottmaier, J., Nadlinger, M. (2000): Untersuchung und Optimierung der schwingungstechnischen Eigenschaften von Traktoren mit gefederter Vorderachse und gefederter Fahrerkabine. 58. VDI-MEG-Tagung Landtechnik, 10.-11. Oktober 2000, Münster
- [5] ISO 5008:2002: Agricultural wheeled tractors and field machinery – Measurement of whole-body vibration of the operator. International Organisation for Standardisation, 2002
- [6] ISO 2631-1:1997: Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements. International Organisation for Standardisation, 1997
- [7] Karner, J. (2017): Analysis of Power and Dimensions of European Tractors. *GSTF Journal on Agricultural Engineering (JAE)* Vol.3 No.1, 2017