

Langzeituntersuchung der Schwingungsdämpfung von Fahrersitzen auf Erdbaumaschinen



BG BAU

Berufsgenossenschaft
der Bauwirtschaft

Langzeituntersuchungen der Schwingungsdämpfung von Fahrersitzen auf Erdbaumaschinen

**Bericht zum Forschungsvorhaben der Tiefbau-Berufsgenossenschaft sowie
der Sitzhersteller GEBR. ISRINGHAUSEN GmbH & Co. KG und GRAMMER AG**

Autoren: W. Kummer
W. Schmidt
L. Meyer
S. Badura

unter Mitarbeit von:
U. Janzen

München 2006

Langzeituntersuchung der Schwingungsdämpfung von Fahrersitzen auf Erdbaumaschinen

Kurzreferat

Die Ganzkörper-Schwingungsbelastung auf Erdbaumaschinen kann abhängig von der Maschinenart und den Einsatzbedingungen eine der wesentlichsten gesundheitlichen Belastung von Erdbaumaschinenführern sein.

Bei Erdbaumaschinen, die in der Regel kein Feder-Dämpfer-System zwischen Fahrwerk und Chassis besitzen, ist der Einsatz von schwingungsmindernden Sitzen die beste Schutzmaßnahme gegen Schwingungsbelastungen für den Maschinenführer. Deshalb gibt es schon seit Jahrzehnten spezielle Anforderungen an die Schwingungsdämpfung der Fahrersitze von Erdbaumaschinen (UVV „Erdbaumaschinen“, ISO 7096).

In dieser Zeit stellte sich für die Fachleute auf diesem Gebiet immer wieder die Frage nach dem Langzeitverhalten der Schwingungsdämpfung der Fahrersitze in der Praxis und ob sich der Sitzübertragungsfaktor nach mehreren tausend Betriebsstunden ändert.

In dem vorliegenden Bericht wird die Durchführung von Langzeituntersuchungen der Schwingungsdämpfung von Fahrersitzen beschrieben und deren Ergebnisse dargestellt. Dabei wurde das Schwingungsverhalten der Versuchssitze auf 23 Erdbaumaschinen unterschiedlicher Maschinenart, die unter typischen harten Einsatzbedingungen in Bau- und Gewinnungsbetrieben arbeiteten, über einen Zeitraum von teilweise mehr als 6000 Betriebsstunden verfolgt.

Die Untersuchungen untergliederten sich in regelmäßige Labor- und Feldmessungen der vertikalen Schwingungen auf dem Sitz und am Sitzmontageort. Die Labormessungen erfolgten von den Sitzherstellern auf ihren Sitzprüfständen entsprechend ISO 7096:2000 und die Feldmessungen wurden unter praktischen Einsatzbedingungen durchgeführt.

II

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die schwingungstechnischen Eigenschaften eines Schwingsitzes nur in sehr geringem Maße über die Lebensdauer des Sitzes ändern und dass Schwingsitze, die hinsichtlich ihres Schwingverhaltens an die Erfordernisse im Feld angepasst sind, also die Prüfkriterien der ISO 7096:2000 erfüllen, ein geeignetes Präventionsmittel gegen zu hohe vertikale Schwingungsbelastungen auf Erdbaumaschinen sind.

Die Feldmessungen zeigen weiterhin, dass mit solchen Messungen keine exakte Bestimmung der Schwingungsdämpfung eines Fahrersitzes möglich ist, da eine Vielzahl von Faktoren, wie Fahrergewicht, -konstitution und -haltung sowie Anregungshöhe und -frequenz den Sitzübertragungsfaktor beeinflussen. Außerdem wurde festgestellt, dass Feldmessungen an der gleichen Maschine stark unterschiedliche Ergebnisse ergeben können, selbst wenn einige der schwingungsbeeinflussenden Faktoren (z.B. der gleiche Fahrer bei dem gleichen Betriebszustand) konstant bleiben.

Diese Ergebnisse der Untersuchungen sowie die weiteren Schlussfolgerungen aus den Labor- und Feldmessungen sind wichtige Erkenntnisse für die weitere Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Reduzierung der Ganzkörper-Schwingungsbelastung von Erdbaumaschinenführern.

Long term investigation of suspension of operator seats on earth moving machinery

Summary

The whole-body vibration exposure on earth-moving machinery may be one of the significant hazards to the operator of earth-moving machines.

On earth-moving machines, which are usually not equipped with a suspension system between the axels and the mainframe (where the operators seat is located), the use of a seat suspension system is the best solution for protecting the operator against whole-body vibration. For these reason specific requirements for a seat suspension system of operator seats used on earth-moving machine required since decades (UVV "Erdbaumaschinen", ISO 7096).

But experts questioned since that time how are the performances of the suspension system at the daily praxis under hard operating conditions and if there is any change of the suspension performance over a period of time.

In the following research report the execution of long term investigation of the seat suspension system provided for earth-moving operator seats are described and the results are illustrated. Hereby the suspension performance of seats used at 23 earth-moving machines of different types and sizes and in different applications under hard and typical operating conditions are investigate, partially over up to 6.000 operating hours. The regularly investigations are subdivided into laboratory and field measurements of the vertical vibration load on the seat and at the seat base.

The laboratory tests were performed by the seat manufacturer at their test equipment according to ISO 7096:2000 and the field tests under hard and typical operating conditions.

The result of the investigation illustrates that the suspension performance of the seats remains over the lifetime of the seat and only a very limit deviations be registered. It also proves that the test criteria according to ISO 7096:2000 is in conformance with the practical field use. Consequently operator seats, meeting ISO 7096:2000, are a suitable means to prevent high vertical whole-body vibration load on earth-moving machinery.

The field measurements have proven further that these measurements can not be used to define performance of a seat suspension system. There is a large quantity of factors which influence the seat transmissibility factor, such as operators' weight, constitution and posture as well as seat input vibration high and frequency. In addition it has been found that field measurements with the same machine can differ in the results although some of the other factors, like the same operator and equal applications, are constant.

The research result including further conclusions of the laboratory and field measurements are fundamental findings for further research and development to reduce whole-body vibrations exposure of earth-moving machine operators.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII - VIII	
Tabellenverzeichnis	IX	
Abkürzungen, Einheiten und Formelzeichen	X – XI	
Vorwort	XII	
1	Einleitung	1
2	Plan des Versuchsprogramms	6
2.1	Auswahl der Versuchssitze	6
2.2	Auswahl der Maschinen-Versuchsträger	6
2.3	Laufzeit der Versuchssitze	7
2.4	Labormessungen	8
2.5	Feldmessungen	8
2.6	Regelmäßige Untersuchung der Versuchssitze	9
3	Durchführungsprogramm	9
3.1	Stammdatenerfassung der Versuchssitze	9
3.2	Maschinen-Versuchsträger	9
3.3	Versuchsbeginn	9
4	Labor- und Feldmessungen	12
4.1	Labormessungen	12
4.1.1	Messausrüstung und Messdurchführung	12
4.1.2	Messprogramm der Firma Istringhausen	16
4.1.3	Messprogramm der Firma Grammer	18
4.2	Feldmessungen durch die Tiefbau-Berufsgenossenschaft	20
4.2.1	Messausrüstung und Messdurchführung	20
4.2.2	Messprogramm	24
4.2.2.1	Umsetzung der Versuchsplanung	24
4.2.2.2	Beschreibung der Betriebszustände	27

5	Messergebnisse	30
5.1	Ergebnisse der Labormessungen der Firma Isringhausen	30
5.2	Ergebnisse der Labormessungen der Firma Grammer	32
5.3	Ergebnisse der Feldmessungen	34
5.3.1	Zusammenfassung der Feldmessungen	38
5.3.2	Ursachenanalyse für hohe SEAT*-Faktoren	40
6	Diskussion der Messergebnisse	43
6.1	Abhängigkeit des SEAT* von der Laufzeit der Versuchssitze	44
6.2	SEAT aus Labor- und Feldmessungen	44
6.3	Sitzanregung bei den Feldmessung und bei den Sitzprüfungen	45
7	Zusammenfassung	50
	Literaturverzeichnis	52
Anlage 1	Ergebnisse der Labormessungen der Firma ISRINGHAUSEN	53
Anlage 2	Ergebnisse der Labormessungen der Firma GRAMMER	62
Anlage 3	Ergebnisse der Feldmessungen der Tiefbau-Berufsgenossenschaft	91

Abbildungsverzeichnis

- Bild 1: Prüfklassen nach ISO 7096:1982
- Bild 2: Spektralklassen nach ISO 7096:2000
- Bild 3: Auswahl der Maschinen-Versuchsträger (geplant und realisiert)
- Bild 4: Stammdaten-Blatt
- Bild 5: Maschinen-Versuchsträger
- Bild 6: Sitzposition aus ISO 7096:2000
- Bild 7: Versuchsaufbau und Person (55kg)
- Bild 8: 98 kg – Testperson
- Bild 9: 55 kg – Testperson
- Bild 10: 6-kanalige Schwingungsmesskette der Tiefbau-Berufsgenossenschaft
- Bild 11: Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer B&K 4322 auf dem Sitz
- Bild 12: Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer B&K 4321 am Chassis (Plattform - Sitzmontagepunkt)
- Bild 13: typische Anordnung der Messausrüstung an einem Kompaktlader
- Bild 14: Labormessung nach ISO 7096:2000, Spektralklasse EM 3, Radlader > 4.500 kg, Versuchssitz I-1
- Bild 15: Labormessung nach ISO 7096:2000, Spektralklasse EM 3, Radlader > 4.500 kg, Versuchssitz G-1
- Bild 16: Mittelwerte und Standardabweichungen der bewerteten vertikalen Beschleunigungen für die untersuchten Maschinenarten
- Bild 17: unbewertete Terzanalyse der vertikalen Beschleunigung am Chassis (Plattform) und am Sitz für den Versuchssitz I1 der 3. Feldmessung bei Load & carry, SEAT* = 1,26
- Bild 18: Zeitsignal der vertikalen Beschleunigung am Chassis und auf dem Sitz beim Anstoßen des Sitzes an den Sitzanschlag
- Bild 19: unbewertete Terzanalyse der vertikalen Beschleunigung am Chassis und auf dem Sitz beim Anstoßen des Sitzes an den Sitzanschlag

VIII

- Bild 20; SEAT* in Abhängigkeit von der Laufzeit der Versuchssitze
- Bild 21: SEAT bzw. SEAT* aus Labor- und Feldmessungen
- Bild 22: Mittelwerte und Standardabweichungen der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigungen am Chassis (a_{WP12}) aus den Feldmessungen und Sollwerte für die Sitzprüfung
- Bild 23: Spektrale Leistungsdichte der mittleren Schwingungsanregung bei den Feldmessungen an Muldenfahrzeugen und der Prüf-Erregerschwingung der Spektralklasse EM 1
- Bild 24: Spektrale Leistungsdichte der mittleren Schwingungsanregung bei den Feldmessungen an Radladern und der Prüf-Erregerschwingung der Spektralklasse EM 3
- Bild 25: Spektrale Leistungsdichte der mittleren Schwingungsanregung bei den Feldmessungen an Planier- und Laderaupen und der Prüf-Erregerschwingung der Spektralklasse EM 6

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Messtermine der Feldmessungen an den Versuchssitzen der Firma Isringhausen mit den Laufzeiten der Sitze
- Tabelle 2: Messtermine der Feldmessungen an den Versuchssitzen der Firma Grammer mit den Laufzeiten der Sitze
- Tabelle 3: Labor-Messergebnisse für den Versuchssitz I-1
- Tabelle 4: Labor-Messergebnisse für den Versuchssitz G-1
- Tabelle 5: Ergebnisse der Feldmessungen an den Versuchssitzen der Firma Isringhausen
- Tabelle 6: Ergebnisse der Feldmessungen an den Versuchssitzen der Firma Grammer
- Tabelle 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der bewerteten vertikalen Beschleunigungen für die untersuchten Maschinenarten

Einheiten

Hz	Hertz	Einheit der Frequenz
kg	Kilogramm	Masseneinheit
m	Meter	Längeneinheit
s	Sekunde	Zeiteinheit
h	Stunde	Zeiteinheit
t	Tonne	Masseneinheit
W	Watt	Leistung

Abkürzungen

AA	Arbeitsausschuss
AFNOR	Association française de normalisation
AG	Arbeitsgruppe
BGR	Berufsgenossenschaftliche Regel
BG	Berufsgenossenschaft
BGIA	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz
DAT	Digital Audio Tape
DIN	Deutsches Institut für Normung
DIS	Draft International Standard
EM 1 ~ EM 9	Spektralklassen der verschiedenen Erdbaumaschinenarten
EN	Europäische Norm
FA	Fachausschuss
FANAK	Fachnormenausschuss Akustik
FM	Feldmessung
G-1 ~ G-14	Versuchssitze G-1 bis G-14 der Firma Grammer
HDS	Hydraulisches Dämpfungssystem
ISO	International Organization for Standardization
I-1 ~ I-9	Versuchssitze I-1 bis I-9 der Firma Isringhausen
TBG	Tiefbau-Berufsgenossenschaft
TC	Technical Committee
UVV	Unfallverhütungsvorschrift
VBG	Verband der gewerblichen Berufsgenossenschaften
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

Formelzeichen

Größe	Einheit	Bezeichnung
a_w	m/s^2	Effektivwert der bewerteten vertikalen Beschleunigung für den gesamten Frequenzbereich entsprechend ISO 2631:1997
a_{wP}	m/s^2	Effektivwert der bewerteten vertikalen Beschleunigung an der Sitzplattform (Sitzmontagepunkt) für den gesamten Frequenzbereich entsprechend ISO 2631:1997
a_{wS}	m/s^2	Effektivwert der bewerteten vertikalen Beschleunigung auf dem Sitz für den gesamten Frequenzbereich entsprechend ISO 2631:1997
a_{wP12}	m/s^2	Effektivwert der bewerteten vertikalen Beschleunigung an der Sitzplattform zwischen den Frequenzen f_1 und f_2 der entsprechenden Spektralklasse nach EN ISO 7096:2000
a_{wS12}	m/s^2	Effektivwert der bewerteten vertikalen Beschleunigung auf dem Sitz zwischen den Frequenzen f_1 und f_2 der entsprechenden Spektralklasse nach EN ISO 7096:2000
$a_{wz(8)}$	m/s^2	Beurteilungsbeschleunigung (Tagesdosis) nach VDI 2057 Blatt1:2002 – Effektivwert der bewerteten Beschleunigung für eine 8-h-Schicht
f	Hz	Frequenz
f_r	Hz	Resonanzfrequenz
m	kg; t	Masse
$H(f_r)$		Schwingungsübertragung bei Resonanz
P	kW	Motorleistung
PSD	$(m/s^2)^2 / Hz$	Spektrale Leistungsdichte (Power Spectral Density), gleich dem Quadrat der Beschleunigung je Einheitsbandbreite
SEAT		Sitzübertragungsfaktor (Seat Effective Amplitude Transmissibility) nach EN ISO 7096:2000
SEAT*		Sitzübertragungsfaktor (Seat Effective Amplitude Transmissibility) für den gesamten Frequenzbereich entsprechend ISO 2631:1997

Vorwort

Bereits seit Anfang der Siebziger Jahre haben sich Experten der damaligen Tiefbau-Berufsgenossenschaft und Mitglieder des Fachausschusses „Tiefbau“ mit den Möglichkeiten der Reduzierung der Schwingungsbelastung der Maschinenführer von Erdbaumaschinen befasst.

Dabei wurde der schwingungsdämpfende Fahrersitz als wesentliche Maßnahme zur Schwingungsreduzierung erkannt und Anforderungen an das Dämpfungsverhalten des Sitzes in der Unfallverhütungsvorschrift „Erdbaumaschinen“ festgelegt.

Im Rahmen der internationalen Normung (ISO) erfolgten zur gleichen Zeit weltweite Untersuchungen zur Höhe und Art der Schwingungsanregung an der Sitzbasis von Erdbaumaschinen und zur Schwingungsdämpfung der Fahrersitze. Die Ergebnisse wurden in der Norm ISO 7096 zusammengefasst, die die Kriterien und die Prüfungen zur Schwingungsübertragung von Fahrersitzen für verschiedene Erdbaumaschinenarten festlegt. Nach dem Erscheinen der ISO 7096 im Jahre 1982 forderte die Prüfstelle des Fachausschusses „Tiefbau“ bei Maschinenprüfungen einen Nachweis über die Erfüllung der Normenanforderungen, um die Schwingungsbelastung der Maschinenführer auf ein vertretbares Maß zu reduzieren.

Von Experten wurde jedoch immer wieder die Frage gestellt: Wie verhält sich das Dämpfungssystem der Sitze nach 1000, 2000, 4000 oder 6000 Betriebsstunden?

Der Fachausschuss „Tiefbau“ hat deshalb 1994 beschlossen, dass Dämpfungsverhalten von Sitzen für Erdbaumaschinen unter Praxisbedingungen über einen längeren Zeitraum zu untersuchen. Ein Expertenteam aus Vertretern der Sitzhersteller, der Prüfstelle des Fachausschusses „Tiefbau“ und des Berufsgenossenschaftlichen Institutes für Arbeitsschutz haben ein entsprechendes Forschungskonzept entwickelt und die notwendigen Untersuchungen im Labor und unter Feldbedingungen durchgeführt.

Der vorliegende Forschungsbericht fasst die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens des Fachausschusses „Tiefbau“ zusammen.

Die Ergebnisse bestärken uns, an dem präventiven Konzept festzuhalten, durch hohe Anforderungen an die Schwingungsdämpfung der Fahrersitze, die Maschinenführer vor gesundheitsgefährdenden Schwingungsbelastungen zu schützen.

Prof. Rudolf Scholbeck

Leiter Prävention

Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft

1 Einleitung

Beim Einsatz von mobilen Arbeitsmaschinen werden Schwingungen und Vibrationen vom Fahrzeugrahmen in den Fahrersitz eingeleitet und von diesem in den Körper des Maschinenführers übertragen. Dies kann, abhängig von der Schwingbeschleunigung und Frequenz, zu schädigenden Belastungen hauptsächlich der Wirbelsäule in Z-Richtung führen.

Bei Erdbaumaschinen, die anwendungsbedingt kein fahrzeugeigenes Dämpfungssystem haben, sind deshalb besondere Anforderungen an die schwingungsdämpfenden Eigenschaften des Maschinenführersitzes zu stellen. Abhängig von der Art des Fahrwerkes (Kettenlaufwerk oder Räder), der Maschinenart und den betriebsüblichen Einsatzbedingungen der Maschinen sind deshalb unterschiedliche Anforderungen an die Dämpfungseigenschaften des zu verwendenden Maschinenführer-Sitzes zu stellen. Diese grundlegenden Anforderungen haben sowohl die nationalen Sicherheitsbehörden und Aufsichtsorgane (z. B. in Deutschland die Berufsgenossenschaften) als auch die verantwortlichen Normungsorganisationen (z. B. DIN, ISO, AFNOR) Rechnung getragen.

Bereits in den Jahren 1965 - 1974 hat der Fachausschuss Tiefbau im Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften im Rahmen der Erarbeitung der UVV "Erdbaumaschinen" (die VBG 40 trat am 01.01.2004 außer Kraft und wurde durch die BGR 500 ersetzt), die am 1. April 1974 in Kraft getreten ist, diesen grundlegenden Anforderungen Rechnung getragen. Im § 7 Abschnitt 1 heißt es wörtlich:

"Fahrersitze von Erdbaumaschinen müssen einstellbar sein und so gestaltet, gefedert und gedämpft sein, dass Gesundheitsschäden durch Erschütterungen vermieden werden."

Und in der Durchführungsanweisung hierzu:

"Für die Gestaltung und Bemessung von Fahrersitzen siehe

- DIN/ISO 7096 "Erdbaumaschinen, Maschinenführersitz, Schwingungsübertragung"
- VDI-Richtlinie 2782 „Empfehlungen für die Gestaltung von Fahrzeugführersitzen in Kraftfahrzeugen“; wobei jedoch die mittlere Neigung der Rückenlehne gegenüber der Senkrechten 10° bis 15° betragen soll.“

Auch die nationalen und internationalen Normenorganisationen,

in Deutschland: DIN, Arbeitsausschuss(AA) Erdbaumaschinen;

weltweit: ISO, Technical Committee (TC) 127 Earth-moving machinery

haben sich bereits ab Anfang der 60er Jahre mit dieser Thematik befasst.

Von ISO/TC 127 wurde die Norm ISO 7096 in Deutschland in Zusammenarbeit mit dem Normenausschuss Akustik und Schwingungstechnik (FANAK) entwickelt. Das Konzept dieser Norm sieht vor, dass an die Dämpfungseigenschaften des Maschinenführersitzes sehr hohe Anforderungen gestellt werden.

Dies bedeutet, dass die von der Maschine unter harten und schweren Einsatzbedingungen in den Fahrersitz über den Maschinenrahmen eingeleiteten Schwingungen und Vibrationen so weit "gedämpft" werden, dass am Sitzkissen (also unmittelbar an der Stelle, wo die Schwingungen vom Sitz in den Körper des Maschinenführers eingeleitet werden) in der Regel keine gesundheitsgefährdenden Schwingungsbelastungen auftreten.

Die erste Ausgabe der Norm ISO 7096 erfolgte im Jahre 1982 und sah Testanforderungen für 4 Maschinenklassen vor (siehe Bild 1):

Klasse	Maschine	Beschreibung
1	Motorschürfwagen	offener Kübel oder selbstladend; zwei Achsen, Knicklenkung; Vorderachs- oder Zweiachsantrieb; keine Achsfederung und kein Schwingungsdämpfer in der Sattelvorrichtung
2	Motorschürfwagen	wie Klasse 1, jedoch entweder mit Vorderachsfederung oder Schwingungsdämpfer in der Sattelvorrichtung
3	Radlader Radschlepper	Starrer Rahmen oder Knicklenker-Rahmen, Zweirad- oder Vierradantrieb; ausgenommen Dreirad-Maschinen, Maschinen mit Bremslenkung und Mehrzweckmaschinen unter 5000 kg Betriebsgewicht wie Radlader
4	Raupenschlepper Raupenlader	alle alle

Bild 1: Prüfklassen nach ISO 7096:1982

Die Schwingungen wurden nach ISO 2631:1978 „Leitfaden für die Bewertung von Schwingungseinwirkungen auf den menschlichen Körper als Ganzes“ frequenzbewertet.

Für jede dieser Maschinenklassen wurden PSD-Prüfspektren für die Z-Richtung (vertikale Einwirkungsrichtung) festgelegt, die bei der Prüfung des Sitzes in den Fahrersitz eingeleitet werden.

Für die Laborprüfung gelten dabei strengere Anforderungen als beim betriebsüblichen Einsatz der jeweiligen Maschinenklasse.

Im Laufe der nachfolgenden Jahre wurden neue und weitere Erdbaumaschinen entwickelt und gebaut. Laut ISO 6165:2001, der Norm, in der alle Erdbaumaschinen definiert sind, gibt es heute 11 Maschinenfamilien mit 21 Maschinenarten sowie den Kompaktmaschinen (Maschinen mit einem Betriebsgewicht ≤ 4.500 kg bzw. ≤ 6.000 kg für Kompaktbagger) innerhalb dieser Maschinenarten.

Dieser Entwicklung hat ISO 7096 Rechnung getragen und in den Jahren 1994 und 2000 die 2. und 3. Ausgabe erarbeitet und veröffentlicht. Die 3. Ausgabe wurde im "Parallel Voting" als harmonisierte Norm EN ISO 7096:2000 verabschiedet. Diese Ausgabe umfasst nunmehr 9 Spektralklassen: EM 1 bis EM 9 für die einzelnen Maschinenarten (siehe Bild 2):

Spektralklasse	Maschinenart
EM 1	Muldenfahrzeuge mit Knickgelenkrahmen oder mit Starrrahmen > 4.500 kg
EM 2	Scraper ohne Federung (weder an der Achse noch am Fahrzeugrahmen)
EM 3	Radlader > 4.500 kg
EM 4	Grader
EM 5	Planiermaschinen auf Rädern, Bodenverdichter auf Rädern, Baggerlader
EM 6	Raupenlader, Planierraupen ≤ 50.000 kg
EM 7	Kompakt-Muldenfahrzeuge ≤ 4.500 kg
EM 8	Kompakt-Radlader ≤ 4.500 kg
EM 9	Kompakt-Radlader mit Bremslenkung (Skid-Steer-Lader) ≤ 4.500 kg

Bild 2: Spektralklassen nach ISO 7096:2000

Dabei wurde die Schwingung nach der neu überarbeiteten Ausgabe der ISO 2631:1997 frequenzbewertet, und die Maßstäbe für die Sitzprüfung wurden so gewählt, dass gegenüber den Feldmessungen überdurchschnittlich hohe Prüfanforderungen resultieren.

Die Prüfspektren wurden, wie bereits bei der 1. Ausgabe, auf der Basis einer großen Zahl weltweiter Messungen an Maschinen unter harten und schweren Einsatzbedingungen entwickelt und festgelegt.

Dass dieses Konzept sich in der Praxis bewährt hat, belegt die Entwicklung bei den Anträgen von Erdbaumaschinenführern auf die Anerkennung einer Berufskrankheit wegen einer bandscheibenbedingten Erkrankung der Lendenwirbelsäule durch langjährige, vorwiegend vertikale Einwirkung von Ganzkörperschwingungen im Sitzen.

Mit Inkrafttreten der VBG 40 im April 1974 wurden faktisch keine neuen Maschinen mehr in Betrieb genommen, deren Maschinenführersitze nicht ISO 7096 erfüllten. In den Jahren ab 1970/1971 haben annähernd 100 % aller Erdbaumaschinenhersteller ihre Maschinen durch den FA "Tiefbau" prüfen lassen. Dabei musste ein Prüfprotokoll nach ISO 7096 des Sitzherstellers vorgelegt werden. Dementsprechend sank die Zahl der Anträge von Erdbaumaschinenführern auf eine Berufskrankheit wegen einer schwingungsbedingten Erkrankung der Lendenwirbelsäule kontinuierlich. Bei den Antragstellern handelte es sich in aller Regel um Maschinenführer, die bereits vor Inkrafttreten der VBG 40 Erdbaumaschinen und andere Baustellenfahrzeuge gefahren und bedient hatten.

Über all diese Jahre seit Inkrafttreten der VBG 40 haben die Experten immer wieder die Fragen beschäftigt, ob und wie sich das Schwingungsverhalten eines neuen Sitzes nach dessen Inbetriebnahme verändert: "Die gesetzliche Regelung und Forderung für neue Maschinen und damit neue Sitze ist eine Sache, aber was passiert nach 1.000, 2.000, 3.000 oder gar 6.000 und mehr Betriebsstunden dieses Sitzes? Haben sich die schwingungsdämpfenden Eigenschaften des Fahrersitzes geändert? Muss ggf. gesetzlich geregelt werden, die Sitze regelmäßig innerhalb einer bestimmten Betriebsstundenzahl auszutauschen?"

Hinzu kam, dass entsprechend der europäischen Maschinenrichtlinie 89/392/EG (heutige Fassung 98/37/EG) Anhang I, Absatz 3.6.3 der Maschinenhersteller eine Angabe zum gewichteten Effektivwert der Beschleunigung, dem der Maschinenführer ausgesetzt ist, machen muss, falls dieser Wert über $0,5 \text{ m/s}^2$ liegt. Die Fachleute sind sich einig, dass dies bei Erdbaumaschinen, die ständig wechselnde Einsatzbedingungen haben, nicht machbar und sinnvoll ist. Der Weg, hohe Anforderungskriterien für das Dämpfungsverhalten des Sitzes zu verlangen, die möglichst alle harten Einsatzbedingungen erfassen, wird deshalb dem Schutzziel am besten gerecht .

Der FA "Tiefbau" hat deshalb vorgeschlagen, in Zusammenarbeit mit den betroffenen BG'en, dem BGIA (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz), der Erdbaumaschinenindustrie, dem Normenausschuss "Maschinenbau" (AA-Erdbaumaschinen) und den Sitzherstellern ein entsprechendes Forschungsvorhaben durchzuführen.

Projekt Koordination

Damit das gesetzte Ziel, nämlich eine zuverlässige Aussage über das Langzeitverhalten der Schwingungsdämpfung von Maschinenführersitzen von Erdbaumaschinen zu machen, allen wissenschaftlichen Aspekten gerecht wird, wurde eine Beratergruppe mit Vertretern aller betroffenen Kreise gegründet.

Teilnehmer dieser Beratergruppe waren (in alph. Reihenfolge):

Herr Stefan Badura	Grammer AG, Amberg; Vertreter der Sitzhersteller;
Herr Dr. Bauer,	Sächsisches Oberbergamt, Freiberg;
Herr Josef Dotzler,	Grammer AG, Amberg; Vertreter der Sitzhersteller;
Herr Dr. Fischer,	BGIA, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz, St. Augustin;
Herr Wolfgang Gralla,	Oberbergamt Dortmund;
Herr Wolfgang Kummer,	Messstelle "Lärm und Vibration" der Tiefbau-Berufsgenossenschaft;
Herr Henning Meyer,	Isringhausen GmbH & Co. KG, Lemgo; Vertreter der Sitzhersteller;
Herr Lutz Meyer,	Isringhausen GmbH & Co. KG, Lemgo; Vertreter der Sitzhersteller;
Herr Werner Schmidt,	Prüfstelle/Abt. Normung der Tiefbau-Berufsgenossenschaft;
Herr Dr. Steller,	Vorsitzender des Fachausschusses Tiefbau, Sachgebiet "Vibration", Mitarbeiter der Tiefbau-Berufsgenossenschaft

Hinweis: Im Bedarfsfall (z. B. zur Auswahl der Testmaschinen) wurden Mitarbeiter der Baumaschinenindustrie, die gleichzeitig Mitglieder des AA-Erdbaumaschinen waren, hinzugezogen.

Anlässlich der 1. Sitzung am 14. Dezember 1994 wurde Herr Werner Schmidt mit der Projektkoordination beauftragt.

2 Plan des Versuchsprogramms

Die AG beschloss anlässlich der 1. Sitzung folgende Grundsätze für das Versuchsprogramm:

2.1 Auswahl der Versuchssitze

- a) Für die Versuchsreihe sind nur neue Sitze einzusetzen, die je nach Art des Maschinen-Versuchsträgers den Anforderungen der jeweiligen Prüfklasse nach ISO 7096 entsprechen müssen; die Auswahl der Sitztypen erfolgt durch die Sitzhersteller.
- b) Die Versuchssitze müssen vor dem Einbau in die jeweiligen Maschinen-Versuchsträger nach ISO 7096:2000 (seinerzeit bereits als DIS vorliegend) im Labor getestet werden.
- c) Diese Labormessergebnisse sind Vergleichsbasis für alle weiteren Messungen und Untersuchungen über die gesamte Versuchs-Laufzeit.
- d) Sollte die Maschine (Maschinen-Versuchsträger) vor Ablauf der geplanten Versuchs-Laufzeit außer Betrieb genommen oder verkauft werden, wird der Versuchssitz auf einen anderen Maschinen-Versuchsträger gleicher Bauart aufgebaut und weitergetestet.

2.2 Auswahl der Maschinen-Versuchsträger

- a) Es sollen sowohl neu in Betrieb zu nehmende Maschinen als auch bereits im Einsatz befindliche Maschinen, allerdings neuerer Baujahre, mit den Versuchssitzen bestückt werden.
- b) Die Maschinen müssen unter harten Einsatzbedingungen arbeiten, möglichst mit hohen jährlichen Betriebsstunden, um die Versuchslaufzeit so schnell wie möglich zu erreichen.
- c) Es sollen mindestens 18 Maschinen-Versuchsträger gemäß der in Bild 3 aufgelisteten Maschinenarten eingesetzt werden.
- d) Die Einsatzorte sollen im Nahbereich der beiden Sitzhersteller, die dieses Forschungsvorhaben unterstützen, liegen, um die erforderlichen projektbegleitenden Arbeiten durchzuführen und größere Maschinen-Ausfallzeiten zu vermeiden.

Maschinenart	Anzahl		besondere Konstruktionsmerkmale	Bemerkungen	Anzahl je Sitzhersteller	
	geplant	realisiert			ISRI	Grammer
Dumper	2	3	Starrrahmen, gefedert	Dumper <u>ohne</u> Federsystem werden heute nicht mehr gebaut	1	2
	2	2	mit Knickrahmen		1	1
Radlader						
> 200 kW	2	5	ohne Dämpfungssystem		2	3
100 – 200kW	2	4	ohne Dämpfungssystem		-	4
100 – 200 kW	2	2	mit Dämpfungssystem ¹⁾		2	-
50 – 100 kW	2	-	ohne Dämpfungssystem		-	-
Kompaktlader	2	2	-		1	1
Planierraupen	2	2	-		1	1
Laderaupen	2	1	-		1	-
Baggerlader	-	1	-		-	1
Grader	-	1	-		-	1
Gesamt	18	23			9	14

Bild 3: Auswahl der Maschinen-Versuchsträger (geplant und realisiert)

- 1) bei Radladern in dieser Leistungsklasse werden häufig hydraulische Dämpfungssysteme in die Ausleger-Hubzylinder-Hydraulik integriert, die bei Transportfahrten > 5 km/h ein „Aufschaukeln“ des Laders verhindern (im Bericht wird dies mit dem Kürzel HDS bezeichnet).

2.3 Laufzeit der Versuchssitze

Aufgrund der Erfahrungen über die Laufzeit der Maschinen pro Jahr, die je nach Maschinen- und Einsatzart zwischen 1.000 und 2.000 Betriebsstunden liegen, wird eine Mindestversuchslaufzeit von 6.000 Betriebsstunden festgelegt.

2.4 Labormessungen

Während der Versuchslaufzeit sind folgende Labormessungen für die Versuchssitze nach ISO 7096:2000 durchzuführen:

- vor dem erstem Einbau in den Maschinen-Versuchsträger,
- nach 2.000 Betriebsstunden,
- nach 4.000 Betriebsstunden und
- nach 6.000 Betriebsstunden (Ende der Versuchslaufzeit).

Die Labormessungen werden von den Sitzherstellern in fachlicher Abstimmung mit den Experten der AG durchgeführt.

2.5 Feldmessungen

Neben den Labormessungen sollen auch Feldmessungen durch die Messstelle für Lärm und Vibration der Tiefbau-Berufsgenossenschaft durchgeführt werden:

- nach der Inbetriebnahme des Versuchssitzes,
- zwischen zwei Labormessungen (nach ca. 1.000, 3.000 und 5.000 Betriebsstunden) und
- nach jeder "Labor-Zwischenmessung" (bei ca. 2.000, 4.000 und 6.000 Betriebsstunden).

Die Feldmessungen sollen im normalen Produktionsprozess unter den betriebsüblichen Einsatzbedingungen erfolgen. Dabei sollen die Schwingungen an folgenden Messorten bestimmt werden:

- die in den Fahrersitz eingeleiteten Schwingungen am Sitzmontagepunkt des Maschinenrahmens in den 3 Einwirkungsrichtungen und
- die auf den Fahrer einwirkenden Schwingungen auf dem Fahrersitz in den 3 Einwirkungsrichtungen.

Folgende Betriebszustände sind zu berücksichtigen:

- typischer Arbeitszyklus und
- eine Leer- bzw. Lastfahrt (soweit zutreffend).

Bei jeder Messung sind mindestens 5 Arbeitszyklen durchzuführen (Messdauer mindestens 10 Minuten). Nach der Messung soll eine Befragung des Maschinenführers zum Sitzkomfort, zur Dämpfungseinstellung und zu Besonderheiten (z.B. hohe Stoßbelastung beim Überfahren eines großen Hindernisses) erfolgen.

2.6 Regelmäßige Untersuchung der Versuchssitze

Neben den messtechnischen Untersuchungen sollen auch der allgemeine Zustand des Sitzes geprüft und die Betriebsbedingungen der Maschine sowie die Fahrweise des Maschinenführers erfasst werden. Die AG hat hierzu eine Check-Liste erarbeitet, die folgende Punkte beinhaltet:

1. Maschinendaten
2. Sitzdaten (Laufzeit des Versuchssitzes)
3. Betriebsdaten (Fahrer, Fahrweise, Betriebsvorgang)
4. Sicht- und Funktionsprüfung aller Sitzbauteile und -funktionen

Diese Untersuchungen sollen erfolgen bei:

- allen Zwischenmessungen (Labor- und Feld-Messungen) und
- darüber hinaus nach Maßgabe des Sitzherstellers und den Erfordernissen des Versuchsbetriebes .

3 Durchführungsprogramm

Die Mitglieder der AG haben das auf der 1. AG-Sitzung erarbeitete Versuchsprogramm intern in den jeweiligen Gremien diskutiert. Anlässlich der 2. AG-Sitzung am 1. Februar 1996 wurde das Versuchsprogramm genehmigt und ein unmittelbarer Start vereinbart.

3.1 Stammdatenerfassung der Versuchssitze

Zur Vereinfachung des Berichtswesens und einer guten Übersicht zu jedem Versuchssitz wurde ein Stammdatenblatt, wie in Bild 4 vorgestellt, geschaffen. Jeder Versuchssitz erhält eine Kenn-Nummer, die entsprechend dem Sitzhersteller bezeichnet ist:

- alle Sitzversuchsträger der Firma Isringhausen: I-1 und fortlaufend,
- alle Sitzversuchsträger der Firma Grammer: G-1 und fortlaufend

3.2 Maschinen-Versuchsträger

In Abstimmung mit den Maschinenherstellern, den örtlichen Bau- und Gewinnungsbetrieben und den Sitzherstellern wurden die in Bild 5 aufgelisteten Maschinen-Versuchsträger ausgewählt.

3.3 Versuchsbeginn

Ende April 1996 erfolgte die Inbetriebnahme des ersten Versuchssitzes auf einem Radlader mit mehr als 200 kW Antriebsleistung, eingesetzt in einem Basalt-Gewinnungsbetrieb. Es folgten weitere Inbetriebnahmen in den Monaten Mai/Juni 1996 sowie Januar/Februar 1997, so dass anlässlich der 3. Sitzung im Februar 1997 über den Startbeginn von 16 Sitz-Versuchsträgern berichtet werden konnte.

Projekt: Langzeituntersuchungen der Schwingungsdämpfung von Fahrersitzen auf Erdbaumaschinen

**STAMMDATENERFASSUNG
BEI EINBAU UND HAUPTUNTERSUCHUNGEN DES TESTSITZES**

1. Versuchsträger Nr.:

2. Maschinendaten

FZ-Art:	Ausrüstung:
Hersteller:	Sonderausrüstung:
Typ:	HDS oder ähnliches Dämpfungssystem:
Neumaschine:	

3. Sitzdaten

Typ:	Sach-Nr.:
bei Sitzeinbau: Tag: Betriebsstunden:	bei Neumaschinen: vorh. Sitz verwendet?:
Dämpfungssystem:	Test ISO 7096, EM: SEAT:

4. Betriebsdaten

Firma:	Anschrift:
Ansprechpartner:	Telefon/Fax:
Betriebsrat:	üblicher Einsatz der Maschine:
ständige(r) Fahrer: andere:	Alter: üblicher Betriebsvorgang:

Fahrweise des Fahrers: <input type="checkbox"/> ruppig <input type="checkbox"/> normal (zügig, aber schonend) <input type="checkbox"/> sehr langsam
--

5. Prüfung bei 2.000, 4.000 und 6.000 Betriebsstunden

Betriebsstunden	Ausbau bei Betriebsstunden	genaue Laufzeit [h]	Tag	Test 7096 EM / SEAT		Wiedereinbau	
				55 kg	98 kg	Tag	Betriebsstd.
2.000							
4.000							
6.000							

Bild 4: Stammdaten-Blatt

Sitz-hersteller	Firmenname Betriebsart Ort	Maschinenart							
		Radlader	Kompakt- lader	Starr- rahmen- Dumper	knick- gelenkter Dumper	Lade- raupe	Planier- raupe	Grader	Bagger- lader
Grammer AG	Heidelberger Zementwerke Burglengenfeld	2		2				1	
	Pichl Bauunternehmen Paulsdorf		1				1		1
	AKW Hirschau Kaolinwerk Hirschau	1			1				
	Kick Kaolinwerk Hirschau	2							
	Dorfner Kaolinwerk Hirschau	2							
Isringhausen GmbH & Co. KG	Schieve Steinbruch Losbruch	2							
	Quakernak Deponie Bad Salzflun						1		
	Pampel Kiesgrube Lemgo		1						
	Risse Steinbruch Warstein	2		1					
	AWS Deponie Stadthagen					1			
	Bölling Deponie Marl				1				
Gesamt	23	11	2	3	2	1	2	1	1

Bild 5: Maschinen-Versuchsträger

4 Labor- und Feldmessungen

4.1 Labormessungen

Die Messung und Beurteilung der Sitze bei den Labormessungen erfolgte auf der Basis der ISO 7096:2000. Da beim Projektstart die Revision dieser Norm noch nicht abgeschlossen war, waren Maßnahmen notwendig, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse über den gesamten Projektverlauf sicherzustellen.

Zum Zeitpunkt der ersten Labormessungen lag der revidierte Bewertungsfilter nach ISO 2631-1:1997 noch nicht vor. Die Frequenzbewertung erfolgte bei den Anfangsmessungen nach ISO 2631-1:1985. Bei den späteren Labormessungen wurde der Bewertungsfilter nach ISO 2631-1:1997 verwendet.

Die Anfangswerte wurden durch Vergleichsmessungen „alter“ und „neuer“ Filter und/oder nach Messungen an baugleichen Sitzen angepasst. Näheres Vorgehen ist unter 4.1.1, 4.1.2 und 4.1.3 beschrieben.

4.1.1 Messausrüstung und Messdurchführung

Die Messausrüstung der Firma ISRINGHAUSEN für Labormessungen besteht aus folgenden Komponenten:

- Hydropulsanlage Typ PL Z32XQ (Hersteller Carl Schenk); Nr.: POZ 0784 mit analoger Regelung; Serie 31
- Ausgabe Sollwerte (Beschleunigung) über einen Funktionsgenerator HP 33120A
- Eingabe in die Hydropulser-Wegregelung über einen Doppelintegrator ID5 (Hersteller Elan Schaltgeräte); Nr. E6V06 (781270)
- Beschleunigungssensoren Sitzbasis Typ 141 A (Hersteller Setra); Nr.: 33362
- Beschleunigungssensor Messscheibe Sitz Typ 141 A (Hersteller Setra); Nr.: 1118756
- Konstantspannungsversorgung 10 V der Beschleunigungssensoren (Eigenbau)
- Messdatenerfassung mit PC-Messdatenerfassungskarte PCL818HG
- Messdatenerfassungs- und Analysesoftware DasyLab 5.5 oder Vorgängerversion.

Die Kalibrierung erfolgt mit der gesamten Messkette vom Sensor bis zur Anzeige im Mess-PC. Neben der Kalibrierung der einzelnen Sensoren erfolgten zusätzliche Kontrollen, indem der Sensor der Messscheibe gemeinsam mit dem Sensor an der Sitzbasis auf der Basis befestigt und mit Anregungssignalen in einem breiten Frequenzband beaufschlagt wurde. Bei diesen Kontrollen hatten beide Sensoren sowohl den gleichen Frequenzinhalt (PSD-Spektren) als auch die gleichen bewerteten Beschleunigungsamplituden.

Die einzelnen Messungen erfolgten entsprechend der ISO 7096:2000. Da zum Zeitpunkt des Starts der Labormessungen auf der einen Seite die Norm in der Fassung 2000 erst als Entwurf vorlag und auf der anderen Seite die genaue Festlegung der Sitzausführungen für die einzelnen Klassen der revidierten Fassung der ISO 7096 noch nicht abgeschlossen war, konnten einige Parameter, die im Prinzip Einfluss auf die Vergleichbarkeit der Messergebnisse haben oder haben könnten, nicht konstant gehalten werden. Grund war die Revision der ISO 2631 (Bewertungsfiler für Humanschwingungen), die in die Zeit dieses Projektes fiel und die vereinzelt Anpassung von Stoßdämpfern.

Die Berücksichtigung der Aufgabenstellung dieses Forschungsprojektes - die Beobachtung des Schwingungsübertragungsverhaltens gefederter Sitze über einen langen Einsatzzeitraum bei Verwendung in ISO 7096 relevanten Maschinen - bestimmte die weitere Vorgehensweise. Unter Punkt 4.1.2 (Messprogramm) ist die Vorgehensweise zur Erzielung vergleichbarer Ergebnisse näher erläutert.

Die Durchführung der Labormessungen erfolgte gemäß ISO 7096:2000, mit Ausnahmen zu Beginn ("alter" Humanschwingungsfiler). Wie unter Punkt 4.1.2 (siehe unten) beschrieben, wurden die Sitze vor der ersten Messung "konditioniert", oder anders gesagt, einlaufen gelassen. Als Versuchspersonen wurden Mitarbeiter aus der Entwicklung im eigenen Hause eingesetzt, so dass während des Projektes ein sehr schneller "Zugriff" auf immer die selben Versuchspersonen bestand, was die Vergleichbarkeit der Messungen über die Dauer eines solchen Projektes positiv beeinflusst. Die Anregungssignale lagen in digitaler Form vor, so dass bei allen Labormessungen für die jeweilige EM-Klasse der ISO 7096 die gleichen zeitlichen Verläufe der Anregungssignale verwendet wurden.

Bild 6 zeigt die Position der Versuchsperson gemäß ISO 7096:2000, Bild 7 den Prüfaufbau mit Versuchsperson im Labor ISRINGHAUSEN.

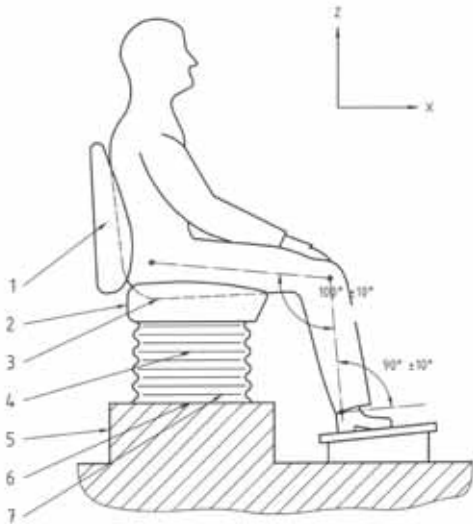


Bild 6: Sitzposition aus ISO 7096:2000



Bild 7: Versuchsaufbau und Person (55kg)

Die Auswertung der Einzelmessungen erfolgte entsprechend der angegebenen Norm, so dass auf eine detaillierte Beschreibung hier verzichtet werden kann.

Die Messausrüstung der Firma GRAMMER für Schwingungsmessungen im Versuchslabor besteht aus den unten gelisteten Komponenten. Im Laufe des Forschungsprojekts wurde der gesamte Prüfstand komplett erneuert, deshalb sind hier nur die aktuellen Komponenten genannt. Weiterhin ging die Abteilung Technischer Versuch (Versuchsleiter bis März 2000: Herr Dotzler) organisatorisch und auch räumlich in das sogenannte GRAMMER Competence-Center über, für das seit März 2000 Herr Badura verantwortlich ist.

Messausrüstung der Firma GRAMMER:

- Hydropulsanlage (Hersteller Instron Schenck); Nr.: POZ 0784 mit digitaler Regelung Software RS Console
- Eingabe in die Hydropulser-Wegregelung über RS plus (Hersteller: Instron Schenck)
- Beschleunigungssensoren Sitzbasis: K-Beam (Hersteller Kistler)
- Beschleunigungssensor Messscheibe Sitz: K-Beam (Hersteller Kistler)
- Konstantspannungsversorgung der Beschleunigungssensoren über HBM Spider 8 Messverstärker
- Messdatenerfassungs- und Analysesoftware Beam (Version 3.11)

Die Kalibrierung erfolgt mit der gesamten Messkette vom Sensor bis zur Anzeige in der Steuerung des Schwingungsprüfstandes. Die Kalibrierung der einzelnen Sensoren wird vom Lieferanten der Sensoren durchgeführt und zusätzlich erfolgten zusätzliche Überprüfungen.

Der Sensor der Messscheibe wurde gemeinsam mit dem Sensor am Sitzbefestigungspunkt befestigt und mit Anregungssignalen in einem breiten Frequenzband beaufschlagt. Bei diesen Kontrollen hatten beide Sensoren sowohl den gleichen Frequenzinhalt (PSD-Spektren) als auch die gleichen bewerteten Beschleunigungsamplituden.



Bild 8: 98 kg-Testperson



Bild 9: 55 kg-Testperson

Die einzelnen Messungen erfolgten entsprechend der ISO 7096:2000. Zum Start der Labormessungen lag die ISO 7096:2000 nur als Entwurf vor, die genaue Festlegung der Sitzausführungen für die jeweilige Maschinenklasse, der in Revision befindlich EN ISO 7096, war noch nicht abgeschlossen. Diese nicht genauen Definitionen führten zu Mehraufwand bei den Messungen und auch die Vergleichbarkeit der Messergebnisse wurde dadurch schwierig, weil sich Parameter änderten bzw. entfielen .

Die Durchführung der Labormessungen erfolgte gemäß ISO 7096:2000, zu Beginn des Projekts wurde noch der Humanschwingungsfilter (Stand: ISO 2631-1:1985) verwendet. Wie in der Norm ISO 7096:2000 beschrieben wird, ließen wir vor den Messungen die Sitze einlaufen, allerdings nicht mit der geforderten Anzahl an Schwingungen. Die Versuchspersonen (siehe Bild 8 und Bild 9) kamen ausschließlich aus der Entwicklungsabteilung der GRAMMER AG. Dies hatte positive Auswirkungen auf die Qualität und die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse. Der Zugriff auf die 55 kg-Versuchsperson war wegen der Verfügbarkeit dieser Testperson nicht immer einfach. Die Anregungssignale lagen in digitaler Form vor, dadurch konnten bei allen Labormessungen für die jeweilige EM-Klasse der ISO 7096 die gleichen zeitlichen Verläufe der Anregungssignale verwendet werden. Weiterhin wurde die Richtigkeit durch diverse Abgleiche der Anregungssignale mit dem Berufsgenossenschaftlichen Institut (BGIA) in St. Augustin sichergestellt.

4.1.2 Messprogramm der Firma ISRINGHAUSEN

Nach Auswahl der Versuchsträger wurden in der Fa. ISRINGHAUSEN entsprechend dem Maschinentyp und den Anforderungen der ISO 7096, die sich zu diesem Zeitpunkt noch in der Revision befand (im Folgenden ISO 7096:2000 genannt, obwohl diese Fassung zum Zeitpunkt der Durchführung der Messungen noch nicht vorlag), geeignete Sitze ausgewählt und bereitgestellt. Diese Sitze wurden im Mess- und Prüflabor der Firma ISRINGHAUSEN nach einem intern festgelegten Verfahren einlaufen gelassen. Die Forderung, dass die Sitze nach dieser Einlaufzeit ein stabiles Verhalten zeigen, wurde gemäß der ISO 7096:2000 geprüft.

Anschließend erfolgten die Prüfungen der Sitze mit der in Punkt 4.1.1 beschriebenen Prüfeinrichtung für die jeweils zutreffende Spektralklasse. Da zu diesem Zeitpunkt noch nicht der revidierte Bewertungsfiter nach ISO 2631-1:1997 vorlag, erfolgte hier die Frequenzbewertung nach ISO 2631-1:1985. Bei der erneuten Messung im Labor wurden die Messungen sowohl mit dem Bewertungsfiter "alt" (1985) und "neu" (1997) durchgeführt und die Ergebnisse verglichen. Auf Basis dieser Vergleichsmessungen ergab sich ein Verhältnis für die SEAT-Werte bei Bewertung mit "altem" und "neuem" Filter, bei ansonsten gleichen Bedingungen. Mittels dieses Verhältnisses konnten die SEAT-Werte bei Bewertung mit Filtern der revidierten Fassung der ISO 2631 für den Ausgangszustand zurückgerechnet werden. Da die Sitze in beiden Messungen jeweils das gleiche Übertragungsverhalten - den nahezu identischen Verlauf der Übertragungsfunktion - zeigten, war die Umrechnung über das o.g. Verhältnis zulässig.

Auf Grund der Tatsache, dass zu Beginn dieses Projektes die Revision der ISO 7096:1994 noch nicht abgeschlossen war, liefen parallel zu diesem Projekt bei ISRINGHAUSEN Entwicklungsarbeiten zur endgültigen Festlegung der Auslegung der Sitze für die jeweilige Spektralklasse. Bei den erneuten Labormessungen der jeweils ersten Wiederholungsmessung wurden einige Sitze auf diesen endgültigen Stand umgebaut. Diese Umrüstung beschränkte sich auf den Einbau eines Stoßdämpfers gleicher Bauart, jedoch mit anderen Dämpfungskräften. Analog der Ermittlung der Anfangswerte für den geänderten Bewertungsfiter nach ISO 7096 wurden auch hier Vergleichsmessungen durchgeführt und die Ausgangswerte für 0 Stunden kontrolliert bzw. geringfügig korrigiert.

Die Labormessungen als solche wurden in enger Abstimmung zwischen den Betrieben, in denen die Versuchsträger liefen, dem Musterbau, der den Ein- und Ausbau der Sitze durchführte und dem Mess- und Prüflabor, in dem die Schwingungsmessungen erfolgten, organisiert. Die ausgebauten Originalsitze, die den Versuchssitzen Platz machen mussten, wurden im Mess- und Prüflabor eingelagert. In Abhängigkeit von den kontinuierlich telefonisch abgefragten Laufzeiten (Betriebsstunden) der Maschinen bzw. der Versuchssitze und der verfügbaren Kapazität im Mess- und Prüflabor wurden die Labormessungen geplant.

Vor Ort wurden die Versuchssitze gegen die Originalsitze für die Zeit der Labormessung getauscht und eine Befragung des Maschinenführers durchgeführt. Die Betriebsstunden der Maschine wurden beim Ausbau und später beim erneuten Einbau festgehalten, so dass sowohl die Betriebsstunden der Maschine als auch die des Versuchssitzes vorliegen. Durch die enge Abstimmung konnte erreicht werden, dass zwischen Aus- und Wiedereinbau in der Regel nie mehr als 5 Arbeitstage lagen. Um den Arbeitsaufwand sowohl für den Austausch der Versuchssitze als auch für die Labormessungen möglichst gering zu halten, wurde versucht, mehrere Versuchssitze zusammenzufassen.

Nicht alle Sitze haben die angestrebten 6000 Betriebsstunden erreicht. Geringere Auslastung der Maschinen als vom Betrieb im Voraus angegeben oder auch der Verkauf von Maschinen und ein notwendiges Umsetzen auf andere Versuchsträger waren die Gründe. Der Versuchsträger 3 mit dem entsprechenden Versuchssitz ist ohne Information an die Fa. ISRINGHAUSEN nach Spanien verkauft worden, so dass hier keine weiteren Messungen vorliegen. Alle anderen Versuchssitze haben die Feldphase dieses Projektes mit den jeweils angegebenen Betriebsstunden beendet.

Aus dem Vorgenannten ergibt sich, dass die geplanten Intervalle von 2000 h für die Labormessungen nicht genau eingehalten werden konnten. In der Regel sind die Abstände zwischen den einzelnen Labormessungen geringer. Mit den Messungen im Neuzustand und den Abschlussmessungen liegen für alle Versuchssitze, die den Feldversuch beendet haben, genügend Messergebnisse vor, um die Fragestellung dieses Projektes hinreichend beantworten zu können.

Neben der Befragung der Maschinenführer erfolgte im Rahmen der Labormessungen jeweils eine eingehende Sitzuntersuchung auf Schäden, Verschleiß und sonstige Veränderungen. Auf diese Daten, die über die Aufgabenstellung dieses Forschungsvorhabens hinaus Erkenntnisse für die Entwicklung von gefederten Sitzen lieferten, wird hier nicht näher eingegangen.

4.1.3 Messprogramm der Firma GRAMMER

Nach Auswahl der Versuchsträger wurden in der Fa. GRAMMER entsprechend dem Maschinentyp und den Anforderungen der ISO 7096, die sich zu diesem Zeitpunkt noch in der Revision befand, geeignete Sitze ausgewählt und bereitgestellt. Diese Sitze ließ man im damaligen Technischen Versuch der Firma GRAMMER analog der ISO 7096 einlaufen. Nach der geforderten Einlaufzeit zeigten die Sitze ein stabiles Verhalten, das wurde gemäß der ISO 7096:2000 für jeden Sitz auch geprüft.

Anschließend erfolgten die Prüfungen der Sitze mit der in Punkt 4.1.1 beschriebenen Prüfeinrichtung für die jeweils zutreffende(n) Spektralklasse(n), hierzu wurde die Frequenzbewertung nach ISO 2631-1:1985 durchgeführt. Bei der erneuten Messung im Labor wurden die Messungen sowohl mit dem Bewertungsfilter "alt" (1985) und "neu" (1997) durchgeführt und die Ergebnisse verglichen. Auf Basis dieser Vergleichsmessungen ergab sich ein Verhältnis für die SEAT-Werte bei Bewertung mit Filter „alt/neu“ bei ansonsten gleichen Rahmenbedingungen. Mittels dieses Verhältnisses konnten die SEAT-Werte bei Bewertung mit den Filter der revidierten Fassung der ISO 2631 für den Ausgangszustand zurückgerechnet werden.

Im ersten Schritt kam es allerdings zu diversen Umrechnungsfehlern, welches eine Wiederholung einiger Messungen nach sich zog. Die relativ einfache Vorgehensweise der Umrechnung der Faktoren wurde im Punkt 4.1.2 bereits von den Kollegen der Firma Isringhausen begründet. Auf Grund der Tatsache, dass zu Beginn dieses Projektes die Revision der ISO 7096:1994 noch nicht abgeschlossen war, liefen parallel zu diesem Projekt bei der Firma GRAMMER Aktivitäten zur endgültigen Festlegung der Sitze für die jeweilige Spektralklasse, weitere Modifikationen an Testsitzen waren hierzu nicht mehr notwendig.

Die Organisation der gesamten Aktivitäten lag für dieses Projekt in der Firma GRAMMER beim Technischen Versuch, der sowohl die externen Partnerbetriebe, als auch die internen Dienstleister (z.B. den Musterbau) zu koordinieren hatte. Dies zog einige Probleme nach sich, denn oft waren zu den vereinbarten Terminen die Maschinen trotz Absprache nicht verfügbar. Weiterhin mussten wir uns mit Austauschsitzen bevorraten, diese wurden dann verwendet, wenn die Versuchssitze aus den Fahrzeugen ausgebaut und anschließend im Technischen Versuch vermessen wurden.

Die Laufzeiten wurden von den Partnerbetrieben abgefragt und nach Erreichen der geforderten Laufzeit bzw. bei einem Kundendienst in der Werkstatt war der Zugriff auf die Sitze möglich. Vor Ort wurde auch eine Befragung des Maschinenführers zur Performance des Fahrersitzes durchgeführt. Die Betriebsstunden der Maschine wurden beim Ausbau und später beim Einbau festgehalten, so dass sowohl die Betriebsstunden der Maschine als auch die des Versuchssitzes vorliegen.

Um den Arbeitsaufwand sowohl für den Austausch der Versuchssitze als auch für die Labormessungen möglichst gering zu halten, wurde versucht, mehrere Versuchssitze zusammenzufassen und die Sitze wurden auf nur wenige Betriebe verteilt. Dies hatte auch den Vorteil, dass man wenige Ansprechpartner hatte, diese waren stark in das Projekt eingebunden und haben uns bei der Durchführung dieses Projektes nach besten Kräften unterstützt.

Dennoch haben nicht alle Sitze die angestrebten 6000 Betriebsstunden erreicht. Manche Baumaschinen, z.B. Grader, hatten von Grund auf keine so hohe Laufzeiten wie z.B. Dumper, die im Tagebau im 2-Schicht-Betrieb gefahren wurden. Weiterhin lag die nicht so hohe Laufzeit der Maschine auch immer an der Auftragsituation im jeweiligen Partnerbetrieb. Der Versuchsträger G 3.1 mit dem entsprechenden Versuchssitz ist ohne Information an die Fa. GRAMMER an Dritte verkauft worden, ein Zugriff auf den Sitz war nicht mehr möglich, zwei Versuchsträger sind vor Ablauf der Projektlaufzeit ausgefallen. Alle anderen Versuchssitze haben die Feldphase dieses Projektes mit den jeweils angegeben Betriebsstunden beendet.

Die Abstände zwischen den einzelnen Labormessungen war im Durchschnitt geringer als die angestrebte Anzahl von 2000 h. Mit den Messungen im Neuzustand und den Abschlussmessungen liegen für alle Versuchssitze, die den Feldversuch beendet haben, genügend Messergebnisse vor, um die Fragestellung dieses Projektes hinreichend beantworten zu können.

Neben der Befragung der Maschinenführer erfolgte im Rahmen der Labormessungen jeweils eine eingehende Sitzuntersuchung auf Schäden, Verschleiß und sonstige Veränderungen. Natürlich wurden die Ergebnisse intern bei GRAMMER diskutiert und sind bereits in die Verbesserung der Produkte eingeflossen. Dieses Projekt hat der Firma GRAMMER wichtige Hinweise für die Modifikationen an unseren Produkten geliefert, diese Details sind jedoch nicht Bestandteil dieses Forschungsprojektes.

4.2 Feldmessungen durch die Tiefbau-Berufsgenossenschaft

Von der Messstelle für Lärm und Vibration der Tiefbau-Berufsgenossenschaft wurden die Schwingungsmessungen beim Einsatz der Sitze in den Maschinen-Versuchsträgern unter den üblichen Praxisbedingungen (Feldmessungen) durchgeführt. Mit der 6-kanaligen-Schwingungsmesskette der Messstelle wurden sowohl die Schwingungsbeanspruchung der Bedienperson der Maschine als auch die am Chassis auftretenden Schwingungen in den beiden horizontalen Richtungen X (Brust-Rücken) und Y (Schulter-Schulter) sowie in der vertikalen Richtung Z gleichzeitig gemessen und auf Band gespeichert.

Für die Untersuchungen im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes war nur die vertikale Einwirkungsrichtung Z von Bedeutung, da die Sitzprüfung nach EN ISO 7096 nur diese Richtung berücksichtigt. Deshalb wird in den nachfolgenden Ausführungen und Beurteilungen nur die Z-Richtung betrachtet. (Die Messergebnisse für die horizontalen Einwirkungsrichtungen wurden in die Datenbank für Ganzkörperschwingungen der Tiefbau-Berufsgenossenschaft aufgenommen.)

4.2.1 Messausrüstung und Messdurchführung

Die Schwingungsmesskette der Messstelle für Lärm und Vibration bestand für die Ganzkörper-Schwingungsmessungen aus folgenden Mess- und Auswertegeräten:

- Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer	B&K	4321
- Triaxial-Sitz-Beschleunigungsaufnehmer	B&K	4322
- 6 x Ladungsverstärker	B&K	2635
- Schwingungskalibrator	Firma AST	VC 310.1
- DAT-Recorder	Firma Heim	DATaRec-A16
- Computer mit Signalanalysesoftware	Firma IMC	FAMOS
- 2 x Handsprechfunkgerät	Firma Bosch	PR 11 S-E

Das Bild 10 zeigt die 6-kanalige Schwingungsmesskette mit DAT-Recorder, Ladungsverstärkern und Funksprechgerät.

Die Schwingungsmesskette erfüllte die Anforderungen von ISO 8041:1990, wobei die Frequenzbewertung entsprechend ISO 2631-1:1997 erfolgte.



Bild 10: 6-kanalige Schwingungsmesskette der Tiefbau-Berufsgenossenschaft

Die Durchführung der Feldmessungen (Kalibrierung, Ankopplung der Aufnehmer usw.) erfolgte unter Berücksichtigung der Schwingungsmessnormen DIN EN 1032:1996 und DIN 45671-2:1987.

Zur Messung der Schwingungen am Chassis wurde der Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer B&K 4321 unter Verwendung eines Adapters an den Stahlrahmen der Sitzhalterung angebracht und für die Messungen auf dem Fahrersitz wurde der Triaxial-Sitz-Beschleunigungsaufnehmer B&K 4322 auf dem Sitz befestigt. Beispiele für die Ankopplung der Schwingungsaufnehmer auf dem Sitz und am Chassis sind in den Bildern 11 und 12 dargestellt.



Bild 11: Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer B&K 4322 auf dem Sitz



Bild 12: Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer B&K 4321 am Chassis
(Plattform - Sitzmontagepunkt)

Anschließend wurden die Ladungsverstärker und der DAT-Recorder auf der Maschine installiert. Dabei war der Eingang für das Kommentarmikrofon des DAT-Recorders mit einem am Messsystem befestigten Handsprechfunkgerät verbunden. Damit war es dem Messenden möglich, die aktuellen Betriebs- und Fahrbahnzustände vor Ort mündlich auf Band zu speichern und bei der Auswertung der Messungen den jeweiligen Messergebnissen die zugehörigen Betriebsbedingungen eindeutig zuzuordnen. Das Bild 13 zeigt die übliche Anordnung des Messsystems an einer Erdbaumaschine.



Bild 13: typische Anordnung der Messausrüstung an einem Kompaktlader

Bei der Durchführung der Feldmessungen im jeweiligen Betrieb oder auf der Baustelle wurde darauf geachtet, dass die vom Hersteller oder Anwender vorgegebenen Maschinenparameter (wie z.B. Betriebstemperatur, Reifendruck usw.) eingehalten wurden. In diesem Zusammenhang erfolgte auch eine Sichtprüfung des Fahrersitzes sowie die Einstellung des Sitzes auf das Fahrergewicht.

Weiterhin wurden die Fahrer der Maschinen über das Ziel der Schwingungsmessungen informiert und auf die Notwendigkeit einer typischen für die jeweiligen Einsatzbedingungen repräsentativen Fahrweise hingewiesen.

Bei der Messdurchführung wurde der Sicherung einer ausreichenden Messdauer besondere Bedeutung beigemessen. So wurde die jeweilige Messdauer für den Betriebszustand in Abhängigkeit von Art und Anzahl der schwingungsbeeinflussenden Betriebsbedingungen individuell festgelegt und betrug mindestens 10 Minuten.

Speziell bei Dumpfern ergaben sich aber auch Messzeiten von mehr als einer Stunde, die durch die Vielzahl von Einflussfaktoren (wie z.B. Fahrbahnzustand, Fahrgeschwindigkeit, Fahrstrecke, Fahrstil, Wartezeiten beim Be- und Entladen usw.) bedingt waren.

Durch die Bandspeicherung der Schwingungssignale war die Möglichkeit gegeben, die Messungen im Nachhinein unter den verschiedensten Gesichtspunkten zu analysieren.

Die Auswertung der unbewerteten, bandgespeicherten Signale erfolgte mit dem Computer und der Signalanalysesoftware FAMOS.

Dabei wurden standardmäßig für die Messpunkte auf dem Sitz und am Chassis Frequenzanalysen (Terzanalysen) der unbewerteten Schwingungssignale in der Z-Richtung durchgeführt sowie die Gesamt-Effektivwerte der unbewerteten Schwingbeschleunigung a und der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung a_w berechnet.

Weiterhin erfolgte die Berechnung des Sitzübertragungsfaktors für die Z-Richtung, die sich im Unterschied zur ISO 7096:2000 über den gesamten Frequenzbereich von $f = 0,5 \text{ Hz} - 80 \text{ Hz}$ erstreckte (SEAT*).

Für speziell interessierende, repräsentative Betriebszustände der Maschinen wurden außerdem die PSD-Spektren der Schwingungsanregung am Sitzfuß für die Z-Richtung bestimmt. Damit ist ein Vergleich der Prüf-Erregerschwingung nach ISO 7096:2000 für die Sitzprüfung im Labor mit den tatsächlich unter praktischen Betriebsbedingungen auftretenden Schwingungsanregungen am Sitzfuß möglich.

4.2.2 Messprogramm

4.2.2.1 Umsetzung der Versuchsplanung

Bei der Planung des Versuchsprogramms wurden die Zeitpunkte der Feldmessungen in Abhängigkeit von der Laufzeit der Versuchsträger festgelegt (ca. alle 1000 Betriebsstunden).

Nach den ersten Feldmessungen zeigte sich jedoch, dass diese geplante Festlegung der Messtermine praktisch nicht durchführbar war. Wegen der sehr unterschiedlichen monatlichen Laufzeiten der einzelnen Versuchsträger wäre für jede Feldmessung am Versuchsträger ein separater Messtermin erforderlich gewesen. Da sich die Einsatzorte der Maschinen in der Nähe der Sitzhersteller (Lemgo bzw. Amberg) befanden, hätte sich für die Messstelle in Berlin ein Untersuchungsaufwand ergeben, der zeitlich und finanziell nicht realisierbar sowie vertretbar gewesen wäre. Aus diesen Gründen wurde angestrebt, die Feldmessungen in regelmäßigen zeitlichen Abständen durchzuführen. Eine Übersicht über die Messtermine der Feldmessungen, die Laufzeiten der Sitze und die Betriebsstunden der Maschinen wird in den nachfolgenden Tabellen 1 und 2 gegeben.

Die Feldmessungen wurden im Zeitraum vom April 1996 bis Oktober 2000 durchgeführt. Bedingt durch die große Zeitspanne von ca. 4,5 Jahren ergaben sich auch in den Bau- bzw. Gewinnungsbetrieben, in denen die Maschinen eingesetzt waren, Änderungen im Maschinenpark. So wurden Maschinen mit Versuchssitz verkauft bzw. wurden durch andere Maschinen ersetzt. Diese Änderungen wurden in der Übersicht wie folgt dokumentiert:

- Beim Ausfall einer Maschine wurde der Versuchssitz auf einen neuen Maschinen-Versuchsträger aufgebaut und die Bezeichnung änderte sich von z.B. I-2 in I-2a.
- Wurde ein Versuchssitz defekt und durch einen neuen Sitz auf dem gleichen Maschinen-Versuchsträger ersetzt, so änderte sich die Bezeichnung von z.B. G-7 in G-7.1.

Weiterhin erwies es sich speziell bei den Baubetrieben als schwierig, die Feldmessungen für gleiche Betriebszustände zu realisieren, da die Einsatzbedingungen der Maschinen aus dem Bauauftrag der Firma am jeweiligen Messtermin resultierten.

Bei der Versuchsplanung der Feldmessungen war zur Reduzierung des Fahrereinflusses auf die Messergebnisse außerdem festgelegt worden, dass die Maschinen möglichst vom gleichen Fahrer bedient werden sollten. Bedingt durch den langen Untersuchungszeitraum (Fluktuation) und die Praxisbedingungen (u.a. Schichtbetrieb) konnte das nur für 3 Maschinen realisiert werden (siehe Tabellen im Anhang „Feldmessungen“).

Maschinen-Versuchsträger			Sitzeinbau			1.Feldmessung			2.Feldmessung			3.Feldmessung			4.Feldmessung			5.Feldmessung			Kommentar
Nr.	Maschine	Typ	Tag	Laufzeit Sitz [h]	Betriebs-std.	Tag	Laufzeit Sitz [h]	Betriebs-std.	Tag	Laufzeit Sitz [h]	Betriebs-std.	Tag	Laufzeit Sitz [h]	Betriebs-std.	Tag	Laufzeit Sitz [h]	Betriebs-std.	Tag	Laufzeit Sitz [h]	Betriebs-std.	
11	Radlader	WA 500	25.04.1996	0	86	12.02.1997	1888	1974	22.10.1997	4060	4146	27.05.1998	5599	5685							Ende
12	Dumper	HD 465	28.01.1997	0	6610	12.02.1997	92	6702	22.10.1997	1746	8356	27.05.1998	2956	9566							Sitz auf I2a
I2a	Dumper	HD 465	20.11.1998	3250	1182										26.05.1999	4345	2277	23.02.2000	6088	4020	Sitz defekt bei 6800h
13	Radlader	50 E	16.01.1997	0	4913	19.02.1997	9	4922													Sitz auf I3a
I3a	Radlader	77 D	16.07.1998	338	5713				08.10.1998	495	5870										mit Sitz verkauft
14	Radlader	312 SL	14.02.1997	0	1540	19.02.1997	3	1543	31.05.1999	855	2395	26.10.2000	1356	2896							geringe Laufleistung
15	Radlader	77 D	15.01.1997	0	3729	19.02.1997	21	3750	28.05.1998	1102	4831	26.10.1999	2249	5978	26.10.2000	2935	6664				
16	Planierraupe	D 600 DS	27.05.1997	0	3336	23.10.1997	643	3979	07.10.1998	1681	5017										Sitz auf I6a
I6a	Planierraupe	D6R LGP	10.06.1999	2582	200							26.10.1999	2975	593	30.10.2000	4105	1723				
17	Dumper	A 25 C	12.02.1997	0	4000	12.03.1997	91	4091	15.01.1998	1724	5724										Sitz auf I7a
I7a	Dumper	A 25 C		3451	7062							27.04.1999	3717	7328	24.02.2000	5340	8951				Sitz defekt
18	Laderaupe	L 600 D	31.01.1997	0	3391	20.02.1997	9	3400	07.10.1998	486	3877	05.10.1999	769	4160	01.11.2000	943	4334				geringe Laufleistung
19	Radlader	L 551	13.03.1997	0	8037	13.03.1997	0	8037	23.10.1997	1063	9100										Sitz auf I9a
I9a	Radlader	WA 500	05.02.1999	2203	4301							26.05.1999	3040	5138	23.02.2000	5462	7560				

Tabelle 1: Messtermine der Feldmessungen an den Versuchssitzen der Fa. Isringhausen mit den Laufzeiten der Sitze

Maschinen-Versuchsträger			Sitzeinbau			1.Feldmessung			2.Feldmessung			3.Feldmessung			4.Feldmessung			5.Feldmessung			Kommentar
Nr.	Maschine	Typ	Tag	Laufzeit Sitz [h]	Betriebs-std.	Tag	Laufzeit Sitz [h]	Betriebs-std.	Tag	Laufzeit Sitz [h]	Betriebs-std.	Tag	Laufzeit Sitz [h]	Betriebs-std.	Tag	Laufzeit Sitz [h]	Betriebs-std.	Tag	Laufzeit Sitz [h]	Betriebs-std.	
G1	Radlader	Cat 992 C	30.05.1996	0	16140	02.07.1996	184	16324	07.08.1997	1789	17929	13.05.1998	2687	18827	15.06.1999	4509	20649	13.09.2000	ca. 6550	23364	
G2	Dumper(10)	K 85.8	30.05.1996	0	22300	02.07.1996	163	22463	07.08.1997	1642	23942	13.05.1998	2501	24801	15.06.1999	4416	26716	29.08.2000	6213	28513	
G3	Dumper(11)	K 85.8	27.06.1996	0	12138	02.07.1996	17	12155	07.08.1997	1138	13276	13.05.1998	2128	14266	15.06.1999	3742	15880				Sitz defekt bei 3777h
G3.1	Dumper(11)	K 85.8	20.07.1999	0	15915	29.08.2000	1721	17636													
G4	Grader	F 156 A	30.05.1996	0	5362	02.07.1996	23	5385	13.05.1998	409	5771	13.09.2000	864	6226							wenig Stunden
G5	Radlader	Cat 966 D	21.06.1996	0	7712	03.07.1996	145	7857	06.08.1997	1385	9097										Sitz defekt
G6	Radlader	L 45	21.06.1996	0	9367	03.07.1996	56	9423	06.08.1997	1670	11037										Sitz auf G6a
G6a	Radlader	Cat 966 D	05.11.1997	2197	19321							14.05.1998	2809	19933	16.06.1999	3794	20918	30.08.2000	5080	22204	
G7	Radlader	Cat 980 C	21.06.1996	0	9069	03.07.1996	66	9135													Sitz defekt bei 997h
G7.1	Radlader	Cat 980 C	28.02.1997	0	10066	06.08.1997	425	10491	14.05.1998	1000	11066	16.06.1999	1799	11865	30.08.2000	2805	12871				
G8	Dumper	A 35	21.06.1996	0	2484	03.07.1996	94	2578	06.08.1997	3837	6321	14.05.1998	5053	7537	20.07.1999	7141	9625				
G9	Dumper	K 40	28.06.1996	0	15150	03.07.1996	20	15170													Sitz auf G9a
G9a	Radlader	Cat 950 B	29.04.1997	510	3936				08.07.1998	1208	4634	20.07.1999	1950	5376	30.08.2000	2361	6297				
G10	Radlader	Cat 992 C	16.05.1997	0	18162	07.08.1997	216	18378	13.05.1998	1408	19570	15.06.1999	3252	21414	13.09.2000	ca. 5200	22707				
G11	Baggerlader	316 S	28.08.1997	0	1949	02.09.1997	11	1960	08.07.1998	360	2309	20.07.1999	1103	3052	25.10.2000	1823	3772				
G12	Radlader	52 C	04.08.1997	0	6114	07.07.1998	409	6523	29.09.1999	995	7109	31.08.2000	1319	7433							
G13	Radlader	Cat 950 B	06.08.1997	0	5325	06.08.1997	4	5329	07.07.1998	2085	7410	20.07.1999	5148	10473	30.08.2000						
G14	Planierdraupe	FD 14E	06.08.1997	0	6444	02.09.1997	213	6657	08.07.1998	1161	7605	29.09.1999	1997	8441							Versuchsabbruch

Tabelle 2: Messtermine der Feldmessungen an den Versuchssitzen der Fa. Grammer mit den Laufzeiten der Sitze

4.2.2.2 Beschreibung der Betriebszustände

Während der Feldmessungen wurden in den Baubetrieben und auch in den Gewinnungsbetrieben (Steinbruch, Kiesgrube, Kaolinwerk) die Maschinen teilweise bei unterschiedlichen Betriebszuständen gemessen. Erst im Verlauf der Untersuchung zeigte sich, dass sich speziell bei Radladern einige Einsatzbedingungen den Betriebszuständen V-Betrieb bzw. Load & carry zuordnen lassen.

Nachfolgend werden die in den Übersichten „Ergebnisse der Feldmessungen“ (Tabellen 5 und Tabelle 6 im Punkt 5.3) verwendeten Abkürzungen der Betriebszustände für die verschiedenen Maschinenarten genauer beschrieben.

Radlader

- | | | |
|-------------------|---|--|
| V-Betrieb | - | Dieser Betriebszustand entspricht der Arbeitsweise beim Beladen eines Lkw (Material aufnehmen – kurze Rückwärtsfahrt – kurze Vorwärtsfahrt mit einer Biegung von ca. 90° zum Lkw – Material ausschütten – kurze Rückwärtsfahrt – kurze Vorwärtsfahrt mit einer Biegung von ca. 90° zum Materialhaufen). |
| Load & carry (LC) | - | Bei diesem Betriebszustand erfolgt ein Materialtransport über größere Entfernungen, d.h. der Radlader pendelt mit Last- und Leerfahrt zwischen dem Materialaufnahme- und -abladepunkt mit hohem Fahranteil. Der Fahrbahnzustand und der Fahrstil des Fahrers (Wahl der Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Fahrbahnzustand) beeinflussen bei diesem Betriebszustand die Schwingungen der Maschine besonders stark. |
| Lkw beladen | - | siehe V-Betrieb |
| Material mischen | - | Im Steinbruch wird das vom Kunden gewünschte Mischungsverhältnis unterschiedlich gekörnten Materials dadurch hergestellt, dass der Radlader von verschiedenen gesiebten Materialhaufen das geforderte Material in einem Haufen zusammenstellt. Der Arbeitsablauf entspricht dem V-Betrieb mit etwas höherem Fahranteil. |
| Aufhalden | - | Der Radlader schüttet das Material auf eine Halde. Der Arbeitsablauf entspricht im Wesentlichen dem V-Betrieb mit etwas höherem Fahranteil. |
| Dumper beladen | - | siehe V-Betrieb |

- Material aus Wand lösen - Der Radlader löst im Steinbruch mit der Schaufel Material aus der Wand (harter Einsatz).
- Wegebau - Der Radlader schiebt und planiert Material, um die Fahrwege für die Dumper einzuebnen.
- Trichter beschicken - Der Radlader füllt die Trichter der Förderbänder auf dem Verladeplatz im Kaolinwerk. Der Arbeitsablauf entspricht im Wesentlichen dem V-Betrieb mit etwas höherem Fahranteil.
- Bunker beschicken - Der Radlader befüllt im Kaolinwerk die Bunker zur Weiterverarbeitung mit dem Material aus verschiedenen Halden. Der Arbeitsablauf entspricht dem Load & carry-Betrieb.
- Schieben auf Halde - Der Radlader schiebt und planiert Material auf einer Abraumhalde.
- Sandgewinnung aus der Wand - Der Radlader löst in einer Sandgrube mit der Schaufel Material aus der Wand und belädt den Lkw (harter Einsatz).
- Straßenfahrt leer bzw. beladen - Der Radlader fährt ohne bzw. mit Last über mehrere 100 m (Materialtransport) auf Straßen unterschiedlicher Qualität.

Dumper

- Arbeitszyklus - Der Dumper fährt einen typischen Arbeitszyklus im Steinbruch ohne Wartezeiten (Beladen, Lastfahrt, Entladen, Leerfahrt)
- Leerfahrt (LEER) bzw. Lastfahrt (LAST) - Der Dumper fährt ohne bzw. mit Last auf Fahrwegen unterschiedlicher Qualität im Gewinnungsbetrieb bzw. auf der Deponie.

Laderaupe

- Schieben von Bauschutt - Die Laderaupe schiebt und planiert Bauschutt auf der Deponie
- Aufhalden von Bauschutt - Die Laderaupe schüttet Bauschutt auf eine Halde auf der Deponie.
- Schieben von Baumschnitt - Die Laderaupe schiebt angelieferten Baumschnitt auf der Deponie.

Planierraupe

- Schieben von Bodenaushub - Die Planierraupe schiebt und plantiert den angelieferten Boden auf der Deponie.
- Schieben und Planieren - Die Planierraupe schiebt und plantiert den angelieferten Mutterboden auf dem Feld.

Baggerlader

- Schotter verteilen - Der Baggerlader transportiert auf einer Kanalbaustelle den Schotter zu den Einbaustellen.
- Load & carry - siehe Radlader
- Straßenfahrt leer bzw. beladen - siehe Radlader
- Asphaltaufbruch mit Hydraulikhammer - Mit einem am Anbaubagger montierten Hydraulikhammer wird die Asphaltstraße aufgebrochen.
- Graben ausheben - Mit dem Anbaubagger wird mit dem Tieflöffel ein Graben in steinigem Boden ausgehoben.
- Schieben und Planieren - Der Baggerlader schiebt und plantiert Bauschutt auf der Deponie.

Motorgrader

- Wegebau - Der Motorgrader wird zur Pflege der Fahrwege im Steinbruch eingesetzt und ebnet mit seinen Planiereinrichtungen die ausgefahrenen Fahrwege.

5 Messergebnisse

5.1 Ergebnisse der Labormessungen der Firma ISRINGHAUSEN

Die Messergebnisse der Labormessungen der Firma ISRINGHAUSEN sind in Anlage 1 für jeden Versuchssitz einzeln dargestellt.

Vom Versuchssitz I-3 liegt außer der 0h-Messung keine weitere Messung vor, da der Versuchsträger mit dem Versuchssitz nach Spanien verkauft wurde. Auf eine Darstellung der Ergebnisse des Versuchssitzes I-3 wird daher verzichtet.

Die Bilder zeigen die gemessenen SEAT-Werte für die 55 kg und 98 kg Versuchsperson aufgetragen über der Nr. der Messung. Der zulässige SEAT aus der ISO 7096:2000 ist mit aufgeführt. In den Tabellen sind der Nr. der Messung die jeweiligen Betriebsstunden des Sitzes zugeordnet. Neben dem SEAT enthält die Tabelle die Effektivwerte a_{wS12} der bewerteten vertikalen Beschleunigung auf dem Sitz zwischen den Frequenzen f_1 und f_2 und die Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz aus dem Dämpfungstest.

Als Beispiel sind im Bild 14 und Tabelle 3 die Ergebnisse der Labormessungen am Versuchssitz I-1 aufgeführt. Der Sitz lief auf einem Komatsu Radlader WA 500. Die Labormessungen erfolgten demzufolge nach Spektralklasse EM 3.

Das geplante Intervall von 2000 h zwischen den Labormessungen konnte bei diesem Sitz relativ gut eingehalten werden.

Der in den Labormessungen ermittelte SEAT ist über die Laufzeit des Versuchssitzes I-1 von 6270 h sowohl für die leichte als auch schwere Versuchsperson nahezu konstant. Die maximalen Abweichungen vom Mittelwert lagen bei ca. +/- 2 %.

Eine ähnliche Konstanz ergibt sich auch für die Versuchssitze I-2, I-5, I-7 und I-9, welche auch mit niederfrequenten Anregungen nach Spektralklassen EM 1 bzw. EM 3 gemessen wurden. Für die Versuchssitze I-4, I-6 und I-8, welche mit höherfrequenten Anregungen nach Spektralklassen EM 6 bzw. EM 8 gemessen wurden, sind die maximalen Abweichungen des SEAT vom Mittelwert mit ca. +/-10 % bis +/-15% größer.

Im Dämpfungstest erhöhte sich die Schwingungsübertragung bei Resonanz $H(f_r)$ bei Versuchssitz I-1 über die Laufzeit. Der Wert der 3. Labormessung lag ca. 28 % über dem Ausgangswert. Bei Sitz I-4 hat die Verstärkung in Resonanz ähnlich zugenommen. Bei allen anderen Sitzen traten nur geringe Änderungen auf.

Durch eine Abnahme der Reibung des Sitzes oder ein geringfügiges Nachlassen der Dämpferkräfte kann die Schwingungsübertragung bei Resonanz zunehmen. Auch könnten zu hohe Temperaturen des Dämpfers und somit verminderte Dämpferkräfte bei Dämpfungstests eine Rolle spielen. Ein Indiz hierfür ist die Abnahme der Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz bei der 4. Messung am Versuchssitz I-1 gegenüber der 3. Messung

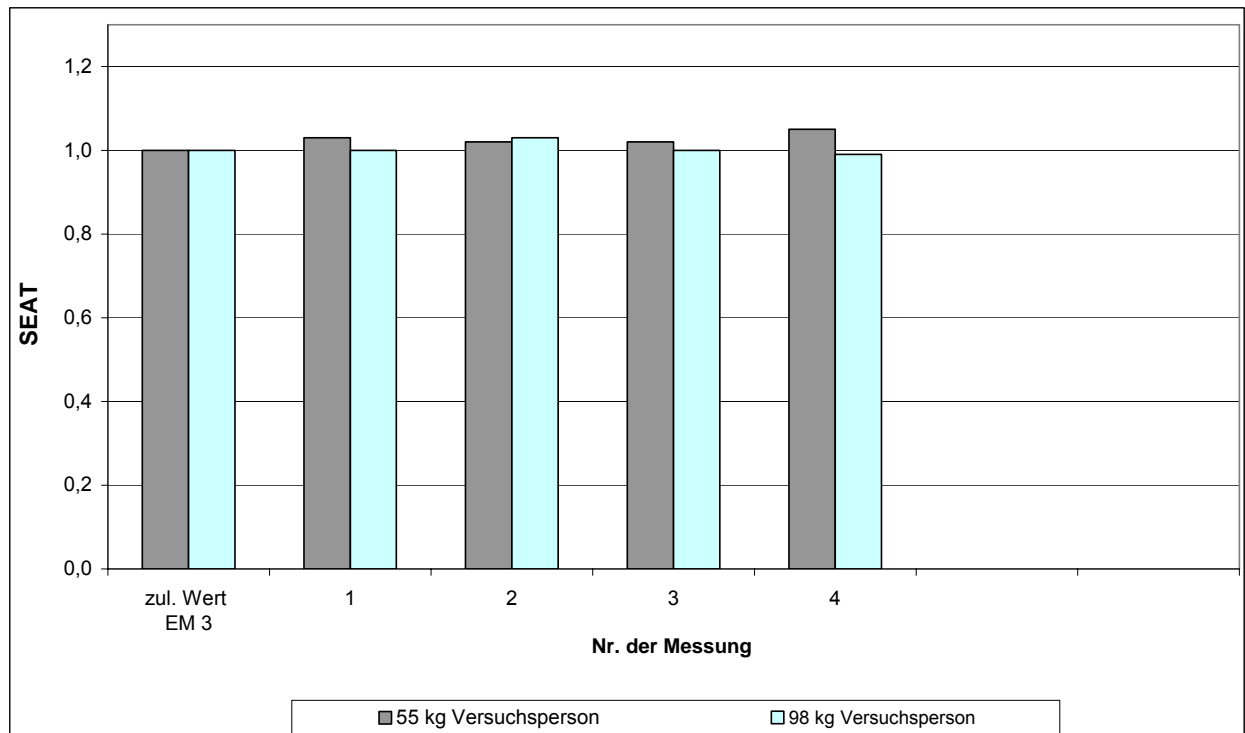


Bild 14: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 3, Radlader > 4.500 kg, Versuchssitz I-1

Versuchssitz I-1		Spektralklasse EM 3 $a_{wp12} = 1,13 \text{ m/s}^2$					
Nr. der Messung		zul. Wert EM 3	1	2	3	4	
Betriebsstunden Versuchssitz			0	2041	3822	6270	
55 kg Versuchsperson	SEAT	1	1,03	1,02	1,02	1,05	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,16	1,15	1,15	1,19	
98 kg Versuchsperson	SEAT	1	1,00	1,03	1,00	0,99	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,13	1,16	1,13	1,12	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz			1,32	1,50	1,70	1,63	

Tabelle 3: Labor-Messergebnisse für den Versuchssitz I-1

5.2 Ergebnisse der Labormessungen der Firma GRAMMER

Die Messergebnisse der Labormessungen der Firma GRAMMER sind in Anlage 2 für jeden Versuchssitz einzeln dargestellt.

Betrachtet man das Dauerfestigkeitsverhalten der GRAMMER-Sitze, so sind die Ergebnisse dieses Projektes als gut zu betrachten. Von den insgesamt 14 Versuchssitzen sind zwei Sitze ausgefallen und zwar mit Defekten am Sitz-Oberteil. Die Federungssysteme der Versuchssitze haben die geforderten Laufzeiten mit einer Ausnahme erreicht.

Der Versuchssitz G-7 fiel nach 997 h Laufzeit komplett aus und wurde durch den Versuchssitz G-7.1 ersetzt. Der Versuchssitz G-5 fiel nach 1397 h Laufzeit mit dem gleichen Schadensbild aus. Der Konstruktionsstand des bei den Versuchssitz G-5 und G-7 verwendeten Sitz-Oberteils wurde bereits im Jahre 1998 komplett überarbeitet und durch das S700-Sitz-Oberteil im Hause GRAMMER ersetzt. Dieses Schadensbild trat später nicht mehr auf.

Einige Sitze aus dem Testprogramm der Firma GRAMMER wurden während der Laufzeit des Projektes auf andere Maschinen aufgebaut, weil die Maschinen-Versuchsträger verkauft oder stillgelegt wurden. Die Details hierzu sind in der Tabelle 2 ersichtlich.

Von dem Versuchssitz G-8 liegt nur ein Messwert für die Maschinenkategorie des Erstaufbaus des Fahrersitzes außer der 0h-Messung vor, da der ursprüngliche Versuchsträger G-8 als Versuchsträger G-13 weiter verwendet wurde.

Die Bilder zeigen die gemessenen SEAT-Werte für die 55 kg und 98 kg Versuchsperson aufgetragen über der Nr. der Messung. Der zulässige SEAT aus der ISO 7096: 2000 ist mit aufgeführt. In den Tabellen sind der Nr. der Messung die jeweiligen Betriebsstunden des Sitzes zugeordnet. Neben dem SEAT enthält die Tabelle die Effektivwerte a_{wS12} der bewerteten vertikalen Beschleunigung auf dem Sitz zwischen den Frequenzen f_1 und f_2 und die Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz aus dem Dämpfungstest.

Als Beispiel sind im Bild 15 und Tabelle 4 die Ergebnisse der Labormessungen am Versuchssitz G-1 aufgeführt. Der Sitz lief auf einem Caterpillar Radlader 992 C. Die Labormessungen erfolgten demzufolge nach Spektralklasse EM 3.

Der in den Labormessungen ermittelte SEAT ist über die Laufzeit des Versuchssitzes G-1 von 7570 h, sowohl für die leicht als auch für die schwere Versuchsperson, nahezu konstant. Die maximalen Abweichungen vom Mittelwert lagen bei ca. +/- 2%.

Für die Versuchssitze G-4 und G-11, welche mit höherfrequenten Anregungen nach Spektralklassen EM 4 bzw. EM 6 gemessen wurden, sind die maximalen Abweichungen des SEAT vom Mittelwert mit ca. +/-10 % bis +/-15% merklich größer.

Aufgrund der geringen Anzahl an Messergebnissen bei den Dämpfungstests der verschiedenen Fahrersitze kann hier keine Aussage getätigt werden.

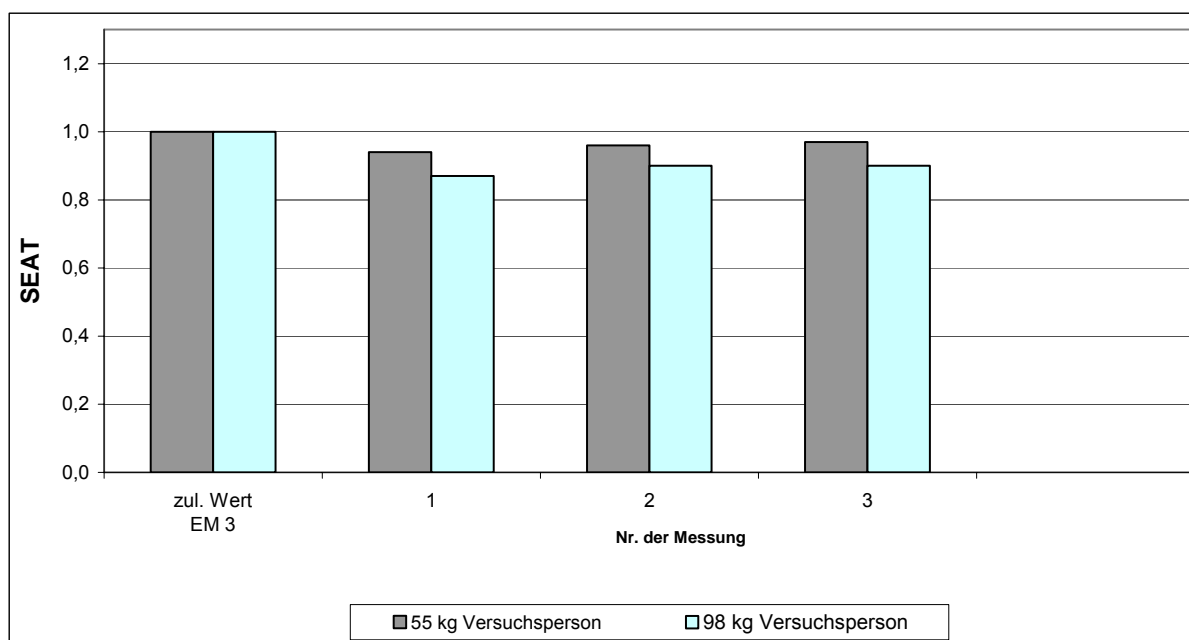


Bild 15: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 3, Radlader > 4.500 kg, Versuchssitz G-1

Versuchssitz G-1		Spektralklasse EM 3 $a_{wp12} = 1,13 \text{ m/s}^2$			
Nr. der Messung		zul. Wert EM 3	1	2	3
Betriebsstunden Versuchssitz			0	5139	7570
55 kg Versuchsperson	SEAT	1	0,94	0,96	0,97
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,06	1,08	1,1
98 kg Versuchsperson	SEAT	1	0,87	0,9	0,90
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,98	1,02	1,02
Schwingungsübertragung H (f_r) bei Resonanz				1,51	1,54

Tabelle 4: Labor-Messergebnisse für den Versuchssitz G-1

5.3 Ergebnisse der Feldmessungen

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsberichtes war die Auswertung der bandgespeicherten Schwingungsmessungen aus den Felduntersuchungen an den Versuchsträgern bei den typischen praktischen Einsatzbedingungen unter folgenden Gesichtspunkten von Bedeutung:

1. Ermittlung der Höhe der Schwingungsbelastung der Fahrer und der am Chassis eingeleiteten Schwingungen für die vertikale Einwirkungsrichtung
2. Bestimmung des Sitzübertragungsfaktors SEAT* für den gesamten Frequenzbereich entsprechend ISO 2631:1997 in der Praxis
3. Vergleich der bewerteten Beschleunigung der Schwingungsanregungen am Chassis bei den Feldmessungen mit der Prüferregerschwingung der entsprechenden Spektralklasse (EM 1 - EM 9) nach EN ISO 7096:2000
4. Vergleich des spektralen Leistungsdichte-Spektrums (PSD) der Schwingungsanregungen am Chassis bei den Feldmessungen mit dem PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung
5. Analyse der Ursachen für Sitzübertragungsfaktoren bei den Feldmessungen, die deutlich über denen aus den Sitzprüfungen der Hersteller liegen.

Die Auswertungen entsprechend den Punkten 1 bis 4 sind in Anlage 3 „Ergebnisse der Feldmessungen der Tiefbau-Berufsgenossenschaft“ für jeden Versuchsträger der Firmen Isringhausen (I1 - I9) und Grammer (G1 - G14) separat auf jeweils 3 - 4 Seiten zusammengefasst.

Die etwas geänderte Versuchsträgerbezeichnung (G1 statt G-1) wurde gewählt, um Verwechslungen bei der Bezeichnung der Tabellen und Bilder der Labor- und Feldmessungen zu vermeiden.

Nachfolgend wird der systematische Aufbau der Anlage 3 erläutert:

- Auf der ersten Seite erfolgen Angaben zum Sitztyp, zum Maschinentyp (mit den Information zur Maschinenmasse und Motorleistung), zur zutreffenden Spektralklasse entsprechend EN ISO 7096:2000 sowie zum Einsatzort der Maschine. Nachfolgend ist die Maschine (bzw. sind die Maschinen) sowie die Art der Ankopplung der Aufnehmer am Sitz abgebildet.

- Im nachfolgendem Bild (z.B. Bild G 6.1) sind die Messergebnisse für die bewerteten Beschleunigungen an der Sitzplattform und auf dem Sitz aus den Feldmessungen für jeden Versuchssitz grafisch dargestellt.
- In der anschließenden Tabelle (z.B. Tabelle G 6) sind alle Ergebnisse der Feldmessungen, wie der Effektivwert der bewerteten vertikalen Beschleunigung an der Sitzplattform a_{wP} , der Effektivwert der bewerteten vertikalen Beschleunigung auf dem Sitz a_{wS} , der daraus resultierende Sitzübertragungsfaktor SEAT* und der Effektivwert der bewerteten vertikalen Beschleunigung an der Sitzplattform a_{wP12} zwischen den Frequenzen f_1 und f_2 der entsprechenden Spektralklasse nach EN ISO 7096:2000 zusammengestellt. Weiterhin sind in dieser Tabelle wichtige zugehörige Daten wie die Nummer der Feldmessung, das Messdatum, die Betriebsstunden des Sitzes am Messtag, der Fahrername, das Fahrergewicht und der Betriebszustand der Maschine bei der Messung angegeben.
- Anschließend ist im 2. Bild (z.B. Bild G 6.2) für jeden Versuchssitz die bewertete Beschleunigung der Prüferregerschwingung der entsprechenden Spektralklasse nach EN ISO 7096:2000 den Schwingungsanregungen bei den Feldmessungen gegenübergestellt.
- Zum Schluss erfolgt im 3. Bild bzw. 4. Bild (z.B. Bild G 6.3 bzw. Bild G 6.4) für jeden Versuchssitz ein Vergleich des PSD-Spektrums der Prüf-Erregerschwingung mit PSD-Spektren der Schwingungsanregungen für ausgewählte typische Betriebszustände.

In den folgenden Tabellen 5 und 6 erfolgt eine Zusammenstellung aller bei den Feldmessungen an den Versuchssitzen der Firmen Grammer und Istringhausen ermittelten SEAT*-Faktoren.

In diesen Übersichten sind die bei den verschiedenen Betriebszuständen der Maschinen-Versuchsträger gemessenen Schwingungsanregungen am Chassis a_{wP} und die durch die Versuchssitze unter Praxisbedingungen hervorgerufene Schwingungsdämpfungen (SEAT*-Faktoren) aufgeführt.

Isringhausen				1. Feldmessung			2. Feldmessung			3. Feldmessung			4. Feldmessung			5. Feldmessung		
Nr.	Maschine	Betriebszustand	Sitztyp	Fahrer gewicht	a _{WP} [m/s ²]	SEAT ^a	Fahrer gewicht	a _{WP} [m/s ²]	SEAT ^a	Fahrer gewicht	a _{WP} [m/s ²]	SEAT ^a	Fahrer gewicht	a _{WP} [m/s ²]	SEAT ^a	Fahrer gewicht	a _{WP} [m/s ²]	SEAT ^a
I1	Radlader WA500	Load & carry	6500/515	75kg	0,50	0,98	75 kg	0,31	1,03	75kg	0,43	1,26						
		LKW beladen						0,38	0,80		0,39	0,97						
		V-Betrieb									0,52	1,23						
		Material mischen						0,29	0,96									
I2	Dumper HD465	Leerfahrt	6500/575		1,30	0,59		1,43	0,74		1,05	0,59						
		Lastfahrt			1,00	0,85		1,13	0,98		0,78	0,76						
I2a	Dumper HD465	Lastfahrt	6500/575										94kg	0,81	0,79	94kg	0,87	0,92
		Leerfahrt												1,29	0,73		0,96	0,95
I3	Radlader 50E	Load & carry	6000/575	70kg	0,40	1,14												
		V-Betrieb			0,41	0,91												
I3a	Radlader 77D	Load & carry	6000/575				105kg	0,69	0,75									
I4	Radlader 312SL	Load & carry	6000/516	70kg	0,68	0,72	88kg	0,91	0,62	87kg								
		V-Betrieb			0,63	0,60		0,86	0,62		0,67	0,63						
I5	Radlader 77D	Load & carry, Material mischen	6500/575	107kg	0,54	0,85	80kg	0,52	0,82	105kg	0,81	0,67	110kg	0,71	0,70			
		LKW beladen						0,41	0,86									
I6	Planierraupe D600DS	Schieben von Bodenaushub	6000/575	88kg	0,65	0,66	88kg	0,74	0,76									
I6a	Planierraupe D6RLGP	Schieben von Bodenaushub	6000/575							100kg	0,83	0,88	110kg	0,89	0,80			
I7	Dumper A25C	Leerfahrt	6500KM/575	115kg	0,71	0,97	115kg	0,85	0,98									
		Lastfahrt			0,67	1,24		0,64	1,24									
I7a	Dumper A25C	Leerfahrt	6500KM/575							65kg	0,49	1,09	100kg	0,73	1,23			
		Lastfahrt									0,38	1,09		0,68	1,23			
I8	Laderaupen L600D	Schieben von Bauschutt	6500K/575	90kg	0,89	0,55	90kg	0,79	0,52	90kg	1,04	0,42	95kg	0,92	0,50			
		Aufhalten von Bauschutt									1,06	0,44						
		Schieben von Baumschnitt						0,68	0,55									
I9	Radlader L551	Load & carry	6500KM/575	72kg	Fehlmessung am Chassis		72kg	0,42	1,15									
		Aufhalten						0,35	1,09									
I9a	Radlader WA500	Load & carry	6500KM/575							100kg	0,67	1,03	100kg	0,72	1,06			
		V-Betrieb									0,91	0,76						

Tabelle 5: Ergebnisse der Feldmessungen an den Versuchssitzen der Firma Isringhausen

Grammer				1. Feldmessung			2. Feldmessung			3. Feldmessung			4. Feldmessung			5. Feldmessung		
Nr.		Betriebszustand	Sitztyp	Fahrer gewicht	a _{wP} [m/s ²]	SEAT*	Fahrer gewicht	a _{wP} [m/s ²]	SEAT*	Fahrer gewicht	a _{wP} [m/s ²]	SEAT*	Fahrer gewicht	a _{wP} [m/s ²]	SEAT*	Fahrer gewicht	a _{wP} [m/s ²]	SEAT*
G1	Radlader 992C	Material aus Wand lösen	MSG 95A	110kg			80kg	0,52	0,97	80kg			80kg			86kg		
		Dumper beladen			0,48	0,76		0,48	0,97		0,44	0,98						
		Load & carry									0,28	1,09						
G2	Dumper K85.8	Leerfahrt	MSG 95A	90kg	0,88	0,74	90kg	1,00	0,69	83kg	0,81	0,80	90kg	0,93	0,84	83kg	0,97	0,67
		Lastfahrt			0,89	0,57		0,90	0,60		0,95	0,57		1,02	0,74		0,86	0,67
G3	Dumper K85.8	Leerfahrt	MSG 95A	90kg	1,04	0,53	75kg	1,17	0,68	70kg	1,18	0,65	70kg	1,32	0,79			
		Lastfahrt			1,05	0,55		0,96	0,71		1,06	0,74		1,22	0,70			
G3.1	Dumper K85.8	Leerfahrt	MSG 95A	83kg	0,94	0,71												
		Lastfahrt			0,83	0,76												
G4	Grader F156A	Wegebau	DS 85 H/L	100kg	0,58	0,71	100kg	0,54	0,74	75kg	1,07	0,46						
G5	Radlader 966D	Wegebau	DS 85 H/L	100kg	0,40	1,19	75kg	0,42	0,99									
G6	Radlader L45	V-Betrieb	MSG 95A	100kg	0,40	0,97	100kg	0,42	1,14									
		Load & carry			0,63	0,96		0,50	1,22									
G6a	Radlader 966D	Trichter beschicken, Aufhalten	MSG 95A							95kg	0,67	0,83	82kg	0,56	0,74	117kg	0,63	0,85
		V-Betrieb						0,48	0,88		0,62	0,69						
G7	Radlader 966D	Bunker beschicken	DS 85 H/L	80kg	0,44	0,88												
G7.1	Radlader 980C	Bunker beschicken	DS 85 H/L	80kg	0,44	1,08	80kg	0,54	1,10	72kg	0,56	1,01	70kg	0,44	1,01			
G8	Dumper A35	Leerfahrt	MSG 95A	80kg	0,97	1,03	65kg	0,82	1,37	113kg	1,10	0,99	104kg	0,74	0,98			
		Lastfahrt			0,99	1,05		0,74	1,25		0,76	0,98		0,63	1,03			

Tabelle 6a: Ergebnisse der Feldmessungen an den Versuchssitzen der Firma Grammer

Grammer				1.Feldmessung			2.Feldmessung			3.Feldmessung			4.Feldmessung			5.Feldmessung														
Nr.	Maschine	Betriebszustand	Sitztyp	Fahrer gewicht	a _{WP} [m/s ²]	SEAT*	Fahrer gewicht	a _{WP} [m/s ²]	SEAT*	Fahrer gewicht	a _{WP} [m/s ²]	SEAT*	Fahrer gewicht	a _{WP} [m/s ²]	SEAT*	Fahrer gewicht	a _{WP} [m/s ²]	SEAT*												
G9	Dumper K40	Arbeitszyklus, Leer-u. Lastfahrt	DS 85 H/L	80kg	0,58	0,91																								
G9a	Radlader 950B	V-Betrieb	DS 85 H/L				90kg			86kg			86kg																	
		Schieben auf Halde																	0,70	1,04	0,73	0,98	0,94	0,85	1,10	0,91	1,02	0,93		
		Load & carry																												
		Sandgew. a. d. Wand																												
G10	Radlader 992C	Material mischen	MSG 95A	80kg			85kg			80kg	0,50	1,16	85kg																	
		Dumper beladen																	0,46	0,99	0,45	0,97	0,46	1,09	0,41	0,87				
G11	Baggerlader 316S	Schotter verteilen	DS 85 H/L	83kg		0,52	0,80	102kg			102kg			75kg																
		Load & carry																		0,69	0,76									
		Straßenfahrt leer																		0,40	0,89	0,49	1,15	0,51	0,81	1,17	0,45			
		Straßenfahrt beladen																								0,91	0,53			
		Asphaltaufbr. m. Hydr.hammer																				0,62	0,47	0,47	0,81					
		Graben ausheben (steinig)																				0,35	0,57	0,44	0,53					
		Schieben und planieren																		0,88	0,79									
G12	Radlader 52C	V-Betrieb	DS 85 H/L	110kg		0,84	0,83	76kg			70kg																			
		Straßenfahrt leer																	1,12	0,64			0,73	0,85						
		Straßenfahrt beladen																					0,79	0,88						
		Load & carry																			1,05	0,76								
		Aufhalten																	0,76	0,69										
G13	Radlader 950B	Trichter beschicken	MSG 95A	88kg	0,47	0,96	72kg	0,49	0,72	73kg	0,61	0,78																		
G14	Planierraupe FD14E	Schieben und planieren		90kg	1,00	0,54	90kg	1,06	0,38	90kg	1,06	0,46																		

Tabelle 6b: Ergebnisse der Feldmessungen an den Versuchssitzen der Firma Grammer

5.3.1 Zusammenfassung der Feldmessungen

Außerdem erfolgte die Zusammenfassung aller Messergebnisse für die jeweilige Maschinenart, um einen Überblick über die durchschnittliche Schwingungsbelastung der Fahrer und über die Höhe der am Chassis eingeleiteten Schwingungen bei dieser Maschinenart unter typischen praktischen Einsatzbedingungen zu erhalten.

Die Zusammenfassung der Messwerte auf den Sitzen (a_{ws}) ohne Berücksichtigung einer sich über die Versuchszeit eventuell ändernden Schwingungsdämpfung ist zulässig, da erste Auswertungen zeigten, dass keine signifikanten Änderungen der Schwingungsdämpfung mit den zunehmenden Betriebsstunden der Sitze auftraten. Die detaillierten Analysen zu dieser Thematik sind im Punkt 6 aufgeführt.

Der Mittelwert und die Standardabweichung der bewerteten vertikalen Beschleunigung an der Sitzplattform a_{wP} und auf dem Sitz a_{ws} sind für die verschiedenen Maschinenarten in der Tabelle 7 zusammengestellt und im Bild 16 dargestellt.

Maschinenart		a_{wP} [m/s ²]	a_{ws} [m/s ²]	SEAT*
Radlader	Mittelwert	0,57	0,52	0,94
	Standardabweichung	0,20	0,15	0,16
Kompaktlader	Mittelwert	0,82	0,57	0,69
	Standardabweichung	0,16	0,13	0,10
Dumper	Mittelwert	0,92	0,76	0,86
	Standardabweichung	0,22	0,18	0,22
Planier- und Laderaupen	Mittelwert	0,89	0,50	0,57
	Standardabweichung	0,15	0,11	0,16
Baggerlader	Mittelwert	0,62	0,41	0,68
	Standardabweichung	0,26	0,15	0,21
Motorgrader	Mittelwert	0,73	0,43	0,64
	Standardabweichung	0,30	0,05	0,15

Tabelle 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der bewerteten vertikalen Beschleunigungen für die untersuchten Maschinenarten

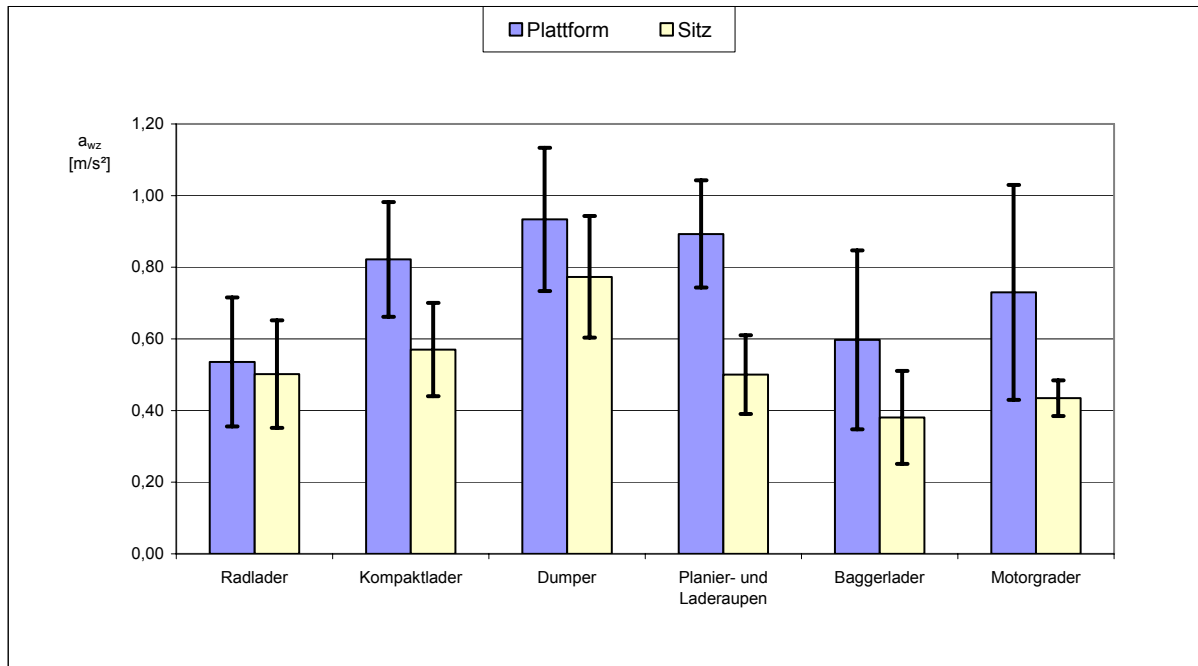


Bild 16: Mittelwerte und Standardabweichungen der frequenzbewerteten vertikalen Beschleunigungen für die untersuchten Maschinenarten

Bei der Interpretation der Mittelwerte ist zu beachten, dass bei den Maschinenarten Baggerlader, Motorgrader und Kompaktlader nur jeweils eine bzw. zwei Maschinen mit relativ wenigen Betriebszuständen die Berechnungsbasis waren.

Als erste zusammenfassende Beurteilung kann festgestellt werden, dass im Durchschnitt bei den Feldmessungen die Versuchssitze bei allen Maschinenarten eine Schwingungsminderung bewirkten.

Weiterhin lagen die durchschnittlichen Schwingungsbelastungen der Fahrer bei den Feldmessungen an allen Maschinenarten unterhalb der Richtwertkurve mit $a_{wz(8)} = 0,8 \text{ m/s}^2$ nach VDI 2057, ab der von einer deutlichen Gefährdung für die betroffenen Menschen ausgegangen werden kann, sofern Einwirkungen dieser Tagesdosis sich über Jahre hinweg regelmäßig wiederholen. **Das ist von besonderer Bedeutung, da bei den Feldmessungen ausschließlich Betriebszustände erfasst wurden, die keine expositionsfreien Zeiten (z.B. Warte- und Stillstandszeiten) enthielten, welche im betrieblichen Arbeitsprozess auftreten.**

5.3.2 Ursachenanalyse für hohe SEAT*-Faktoren

Beim betriebsüblichen Einsatz von Erdbaumaschinen ist zu erwarten, dass die bei Feldmessungen ermittelten SEAT*-Faktoren unter den SEAT-Faktoren aus der Sitzprüfung der Hersteller liegen. Die unterschiedlichen betrachteten Frequenzbereiche sind dafür die Ursache.

Während bei den Feldmessungen der gesamte Frequenzbereich nach ISO 2631:1997 betrachtet wird ($f = 1 \text{ Hz} - 80 \text{ Hz}$), erfolgt die Schwingungsanregung bei der Sitzprüfung im Labor nur in dem Frequenzbereich, der für die entsprechende Maschinenart charakteristisch ist ($f_1 - f_2$ ca. $0,9 \text{ Hz} - 18 \text{ Hz}$) und für den die Schwingungsdämpfung des Sitzes dimensioniert wurde. Alle hochfrequenten Schwingungsanregungen, die bei den Feldmessungen auftreten, werden durch den Sitz gut gedämpft.

Die meisten Messergebnisse in den Tabellen 5 und 6 bestätigen diese Aussage und die SEAT* sind geringer als die SEAT aus der Sitzprüfung. Aber es sind auch Messungen enthalten, bei denen der ermittelte SEAT* deutlich über dem SEAT liegt.

Sehr hohe SEAT*-Faktoren bei Feldmessungen können folgende Ursachen haben:

1. Die Schwingungsanregung an der Sitzplattform ist geringer als bei der Sitzprüfung. Bei diesen geringen Anregungen arbeitet das schwingungsdämpfende System des Sitzes nicht optimal und die auf dem Sitz gemessenen Schwingungen werden durch vom Fahrer erzeugte Schwingungen (Bedienbewegungen u.a.) mitbestimmt.
2. Die Schwingungsanregung an der Sitzplattform erfolgt hauptsächlich bei der Resonanzfrequenz des Sitzes. Dieser Fall kann speziell bei Radladern auftreten, wenn bei langen Fahrstrecken sich der Radlader durch eine Anregung in seiner Eigenfrequenz aufschaukelt und die Eigenfrequenzen von Maschine und Sitz übereinstimmen.
3. Die Schwingungsanregung an der Sitzplattform ist so stark, dass der Sitz gegen die oberen oder unteren Anschläge stößt. Damit werden stoßhaltige Schwingungen auf dem Sitz erzeugt, die nicht in der Schwingungsanregung der Maschine enthalten sind. Im Ergebnis werden auf dem Sitz größere Schwingungen als an der Sitzplattform gemessen.

Ein Beispiel für Punkt 1 ist der Versuchssitz I6 / I6a auf den Planierraupen D600 DS bzw. D6R LGP. Hier lag die Schwingungsanregung an der Sitzplattform bei den Feldmessungen im Bereich von $a_{wP12} = 0,55 \text{ m/s}^2 - 0,84 \text{ m/s}^2$ während die Anregung bei der Sitzprüfung bei $a_{wP12} = 1,61 \text{ m/s}^2$ beträgt.

Als Beispiel für Punkt 2 kann der Betriebszustand „Load & carry“ bei der 3. Feldmessung am Versuchssitz I1 herangezogen werden. Die Messung ergab einen Sitzübertragungsfaktor von $SEAT^* = 1,26$. Die Terzanalysen der Schwingungen am Chassis und auf dem Sitz im Bild 17 zeigen deutlich die bei der Eigenfrequenz der Maschine auftretende Verstärkung der Schwingungen durch den Sitz.

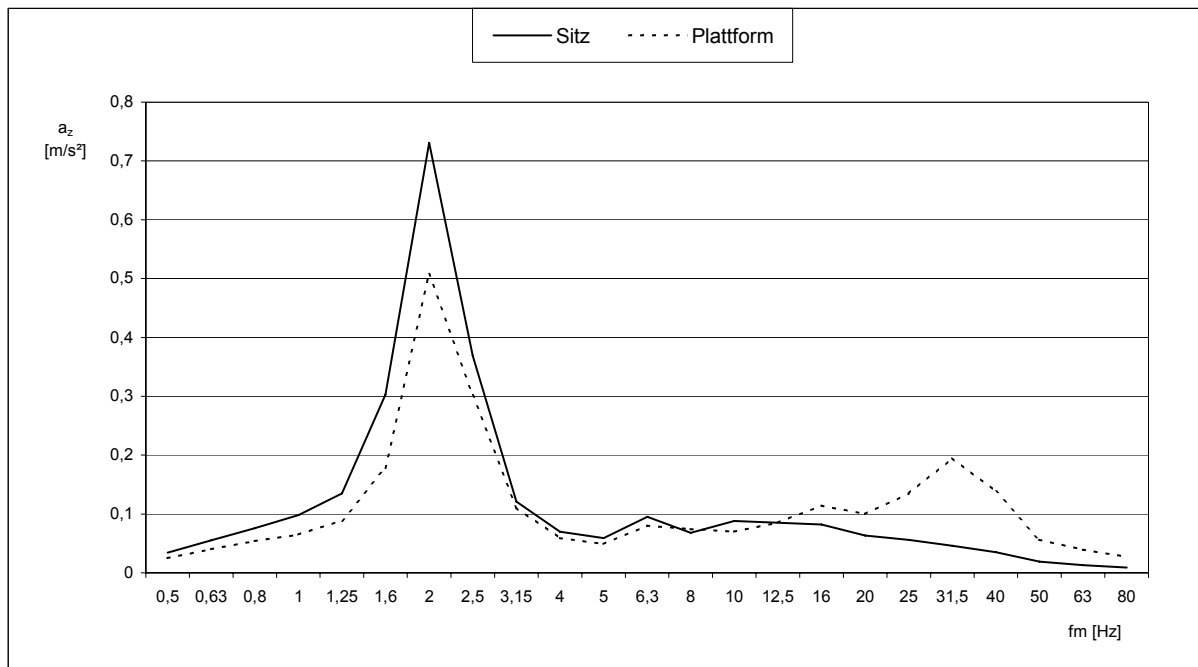


Bild 17: unbewertete Terzanalyse der vertikalen Beschleunigung am Chassis (Plattform) und am Sitz für den Versuchssitz I1 der 3. Feldmessung bei Load & carry, $SEAT^* = 1,26$

Der im Punkt 3 beschriebene Effekt des Anschlages des Sitzes bei starker Schwingungsanregung ist im Bild 18 deutlich zu erkennen. Dort sind die Zeitsignale der vertikalen Beschleunigung am Chassis und auf dem Sitz für einen knickgelenkten Dumper gegenübergestellt. Man erkennt deutlich, dass es mit einer zunehmenden Schwingungsanregung am Chassis zu einem Anstoßen an den oberen Anschlag des Sitzes kommt. Diese auf dem Sitz auftretenden Stöße führen dazu, dass in einem großen Frequenzbereich auf dem Sitz höhere Werte gemessen werden als am Chassis (siehe Bild 19).

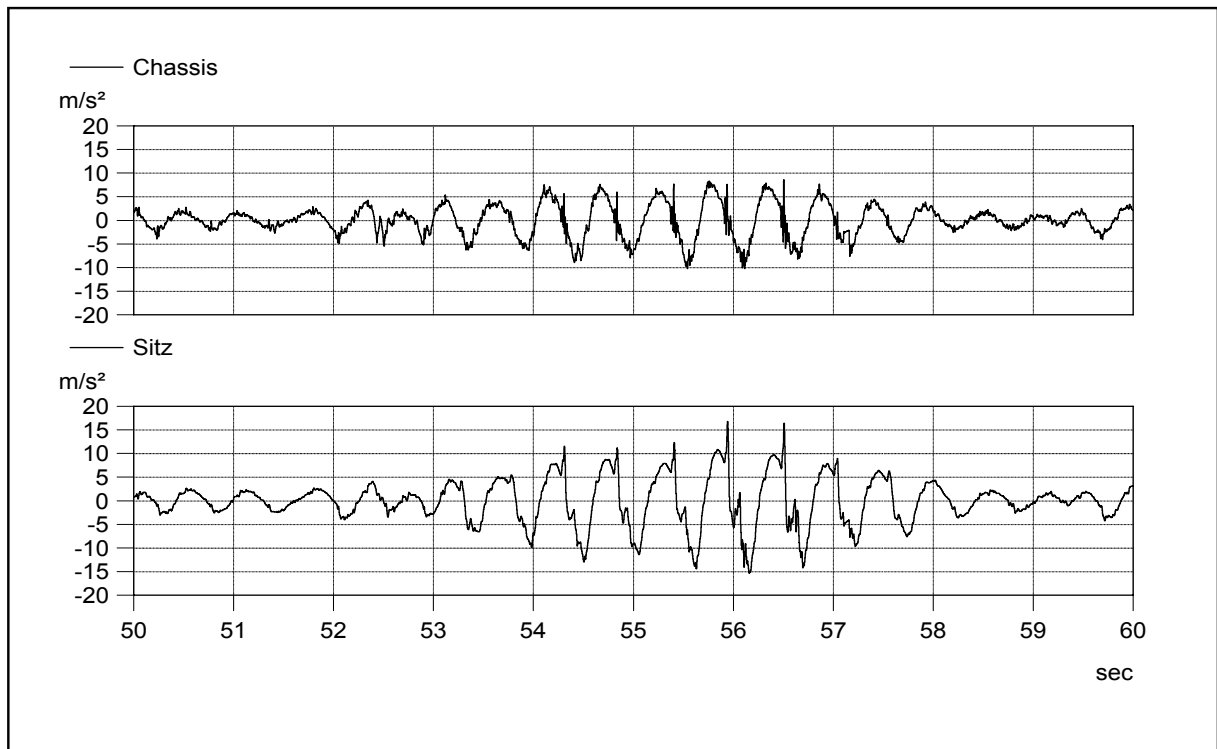


Bild 18: Zeitsignal der vertikalen Beschleunigung am Chassis und auf dem Sitz beim Anstoßen des Sitzes an den Sitzanschlag

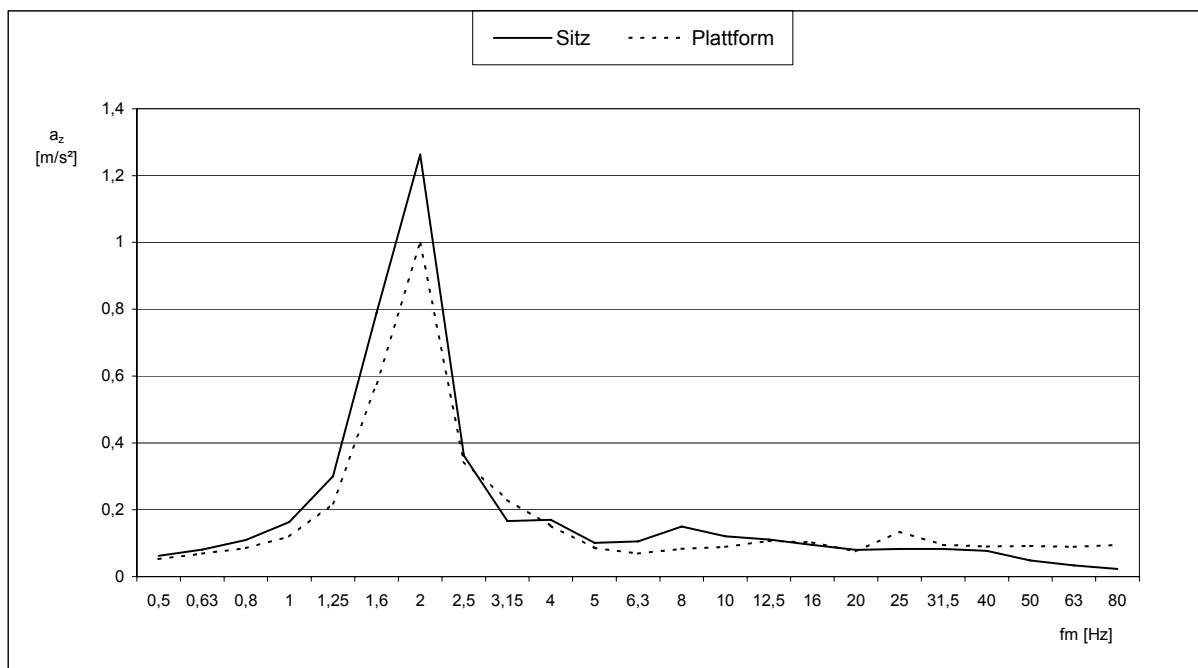


Bild 19: unbewertete Terzanalyse der vertikalen Beschleunigung am Chassis und auf dem Sitz beim Anstoßen des Sitzes an den Sitzanschlag

Zusammenfassend kann jedoch festgestellt werden, dass es sich dabei um Einzelfälle handelte, die an den Maschinen selten auftraten.

6 Diskussion der Messergebnisse

6.1 Abhängigkeit des SEAT* von der Laufzeit der Versuchssitze

In den Zusammenstellungen der Messergebnisse der Feldmessungen in den Tabellen 5 und Tabelle 6 ist bereits zu erkennen, dass keine eindeutige Tendenz der Änderung der Schwingungsminderung der Versuchssitze in Abhängigkeit von der Laufzeit auftrat.

Als Beispiel dafür sind im nachfolgenden Bild 20 die ermittelten SEAT* für Sitze in zwei Dumpfern (G2, I2 / I2a) und zwei Radladern (G10, I5) über den gesamten Versuchszeitraum dargestellt.

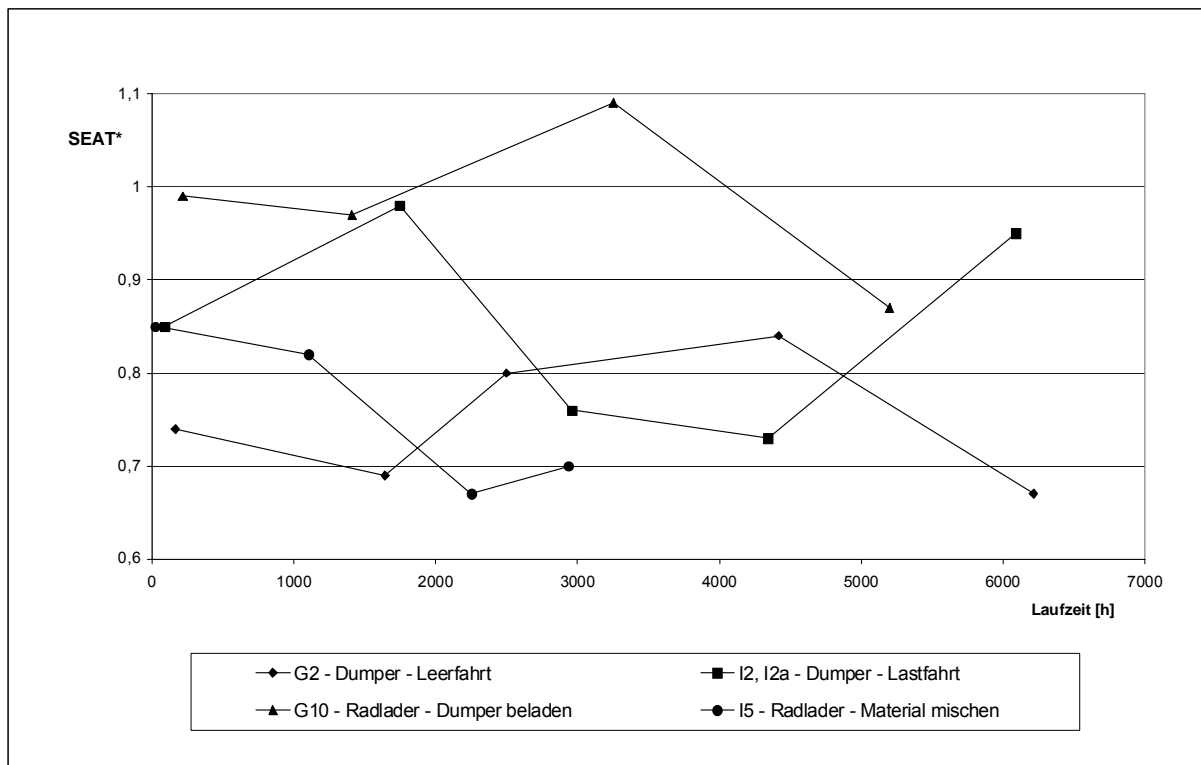


Bild 20: SEAT* in Abhängigkeit von der Laufzeit der Versuchssitze

Für das Beispiel wurden Versuchssitze ausgewählt, die hohe Laufzeiten hatten und während der gesamten Laufzeit auf dem gleichen Maschinentyp eingesetzt waren sowie eine repräsentative Anzahl von Feldmessungen hatten. Weiterhin wurde berücksichtigt, dass der SEAT* immer beim gleichen Betriebszustand für die jeweilige Maschine ermittelt wurde.

Obwohl der Betriebszustand, der ein wesentlicher Einflussfaktor für die Größe der Schwingungen der Maschine ist, bei den Messungen für die Maschinen im Bild 20 gleich war, treten doch erhebliche Schwankungen des SEAT* auf. Damit wird die Bedeutung anderer Einflussfaktoren auf den SEAT* bei Feldmessungen unterstrichen.

Fahrergewicht, -konstitution und -haltung sowie der Fahrerstil, der die Höhe der in den Sitz eingeleitenden Schwingungen und damit das Übertragungsverhalten des Sitzes wesentlich bestimmt, beeinflussen den SEAT* stärker als Änderungen des Schwingungsverhaltens des Sitzes während seiner Laufzeit.

Somit ist die Beurteilung einer Änderung des Übertragungsverhaltens der Versuchssitze während des Versuchszeitraumes auf der Basis der Feldmessungen nicht möglich. Weiterhin kann für zukünftige praktische Ganzkörper-Schwingungsmessungen unter Feldbedingungen festgestellt werden, dass eine exakte Bestimmung der Schwingungsdämpfung eines Fahrersitzes nicht möglich ist, da eine Vielzahl von Faktoren den SEAT* wesentlich beeinflussen.

Mit diesen Erkenntnissen und unter Berücksichtigung der Labormessungen, bei denen keine signifikante Änderung der SEAT* ermittelt wurden, können bei den weiteren Betrachtungen zum SEAT* von der Laufzeit abhängige Einflüsse vernachlässigt werden.

6.2 SEAT aus Labor- und Feldmessungen

Die im vorhergehenden Abschnitt getroffene Aussage wird durch einen Vergleich der SEAT bzw. SEAT* aus den Labor- und Feldmessungen unterstrichen. Es zeigt sich, dass die Schwankungsbreite der SEAT aus den Feldmessungen deutlich höher als aus den Labormessungen ist und dass sie in einer anderen Größenordnung liegen können. Als Beispiel sind im Bild 21 die Mittelwerte und Standardabweichungen der SEAT für die Versuchssitze I2 / I2a, I5 und I6 / I6a aus Labor- und Feldmessungen gegenübergestellt.

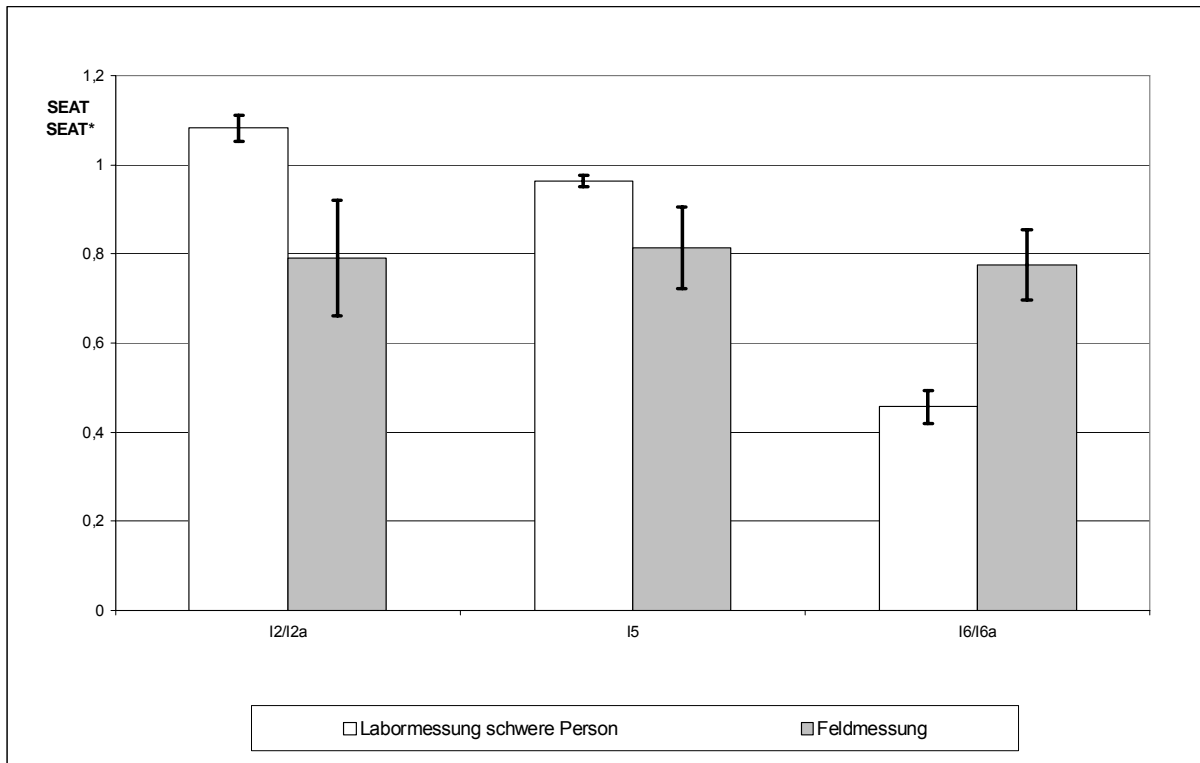


Bild 21: SEAT bzw. SEAT* aus Labor- und Feldmessungen

Während bei den Versuchssitzen I2 / I2a und I5 die SEAT* geringer sind als die SEAT, ergeben sich für den Versuchssitz I6 / I6a im Feld größere Sitzübertragungsfaktoren als im Labor.

Die schon erwähnte Vielzahl von Einflussfaktoren und deren Schwankungsbreite auf den SEAT* bei Feldmessungen sowie die unterschiedliche Frequenzbereiche bei der Ermittlung des SEAT bzw. SEAT* sind dafür die Ursache (siehe auch Punkt 5.3.2).

6.3 Sitzanregung bei den Feldmessungen und bei den Sitzprüfungen

Die bisherigen Analysen der Feldmessungen werfen die Frage auf: Wie praxisrelevant ist die Sitzprüfung nach ISO 7096?

Zur Beantwortung dieser Frage muss man sowohl die Effektivwerte als auch die Frequenzzusammensetzungen der Sitzanregungen bei den Feldmessungen mit denen bei den Sitzprüfungen vergleichen.

Im Bild 22 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen aller frequenzbewerteten Schwingbeschleunigungen am Chassis (a_{wp12}) im relevanten Frequenzbereich ($f_1 - f_2$) bei der Sitzprüfung für die jeweilige Spektralklasse aus den Feldmessungen dem Sollwert für die Sitzprüfung gegenübergestellt.

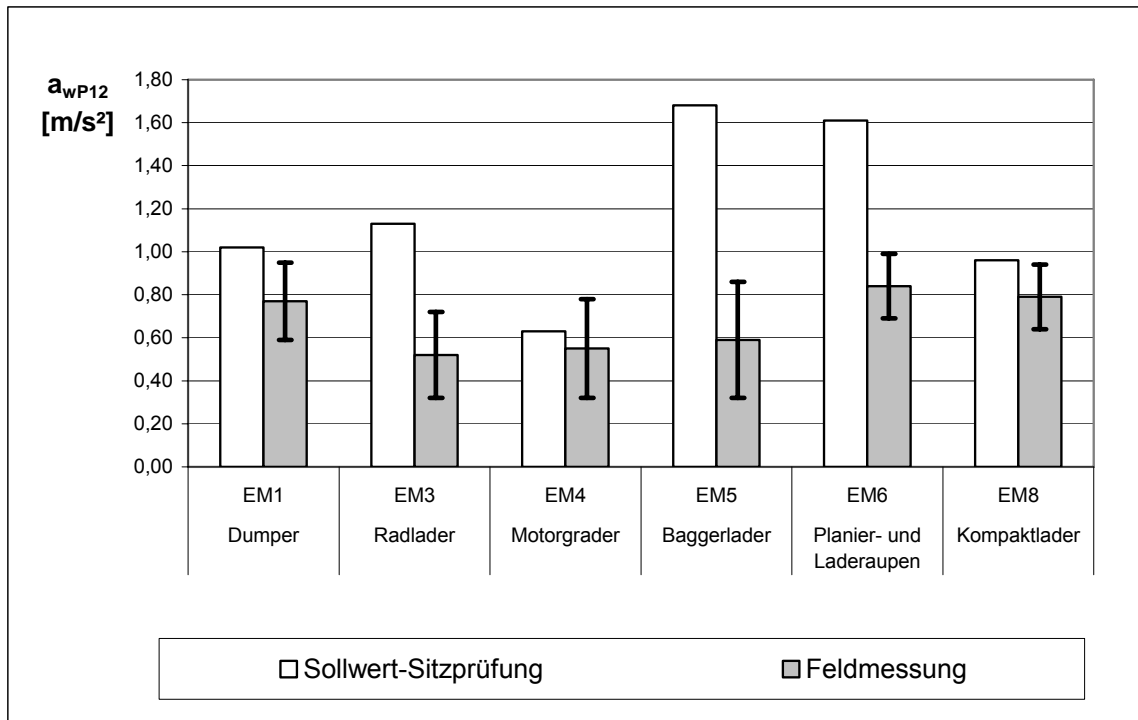


Bild 22: Mittelwerte und Standardabweichungen der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigungen am Chassis (a_{wp12}) aus den Feldmessungen und Sollwerte für die Sitzprüfung

Der Vergleich im Bild 22 zeigt, dass in allen betrachteten Spektralklassen die Mittelwerte der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigungen am Chassis (a_{wp12}) immer unter dem Sollwert aus der Sitzprüfung der jeweiligen Spektralklasse liegen.

In allen Klassen außer Kompaktlader (EM 8) und Motorgrader (EM 4) liegt sogar die Summe aus Mittelwert und Standardabweichung unter dem a_{wp12} - Wert aus der Sitzprüfung. Dabei ist noch für den Motorgrader zu berücksichtigen, dass die nur 3 Messergebnisse, bedingt durch 2 unterschiedliche Fahrer mit sehr unterschiedlichen Fahrweisen, extrem weit auseinander lagen (Faktor ≈ 2).

Resultierend aus den Feldmessungen im Rahmen dieses Forschungsthemas kann festgestellt werden, dass die in der EN ISO 7096:2000 festgelegten frequenzbewerteten Schwingbeschleunigungen an der Plattform für die Sitzprüfung in den Klassen EM 1, EM 3, EM 5 und EM 6 überdurchschnittlich hoch im Vergleich zum betriebsüblichen Einsatz der entsprechenden Maschinenart sind.

Die Betrachtungen zur Frequenzzusammensetzungen der Sitzanregungen bei den Feldmessungen werden nachfolgend nur für die drei EM-Klassen durchgeführt, für die Messungen an mehreren Maschinen erfolgten. In den Bildern 23 bis 25 sind für die EM-Klassen EM 1 (Muldenfahrzeuge), EM 3 (Radlader) und EM 6 (Planier- und Laderaupen) die Mittelwerte der spektralen Leistungsdichtespektren aus den Feldmessungen denen der Prüf- Erregerschwingungen der entsprechenden EM-Klasse gegenübergestellt.

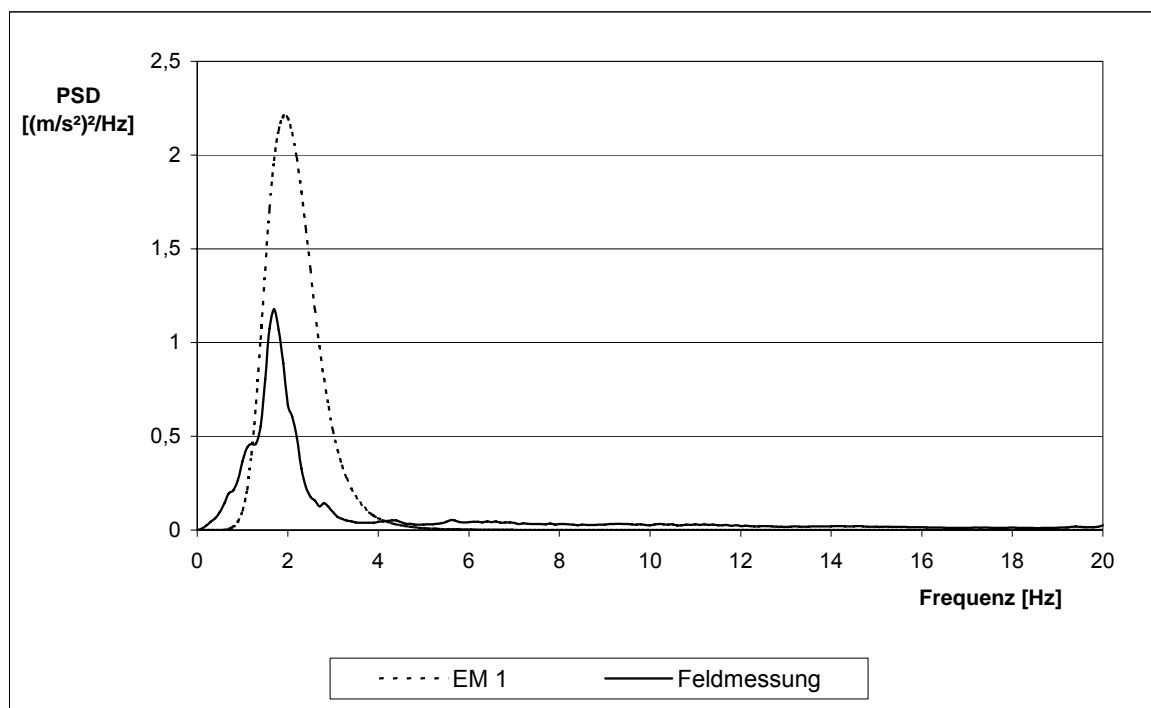


Bild 23: Spektrale Leistungsdichte der mittleren Schwingungsanregung bei den Feldmessungen an Muldenfahrzeugen und der Prüf-Erregerschwingung der Spektralklasse EM 1

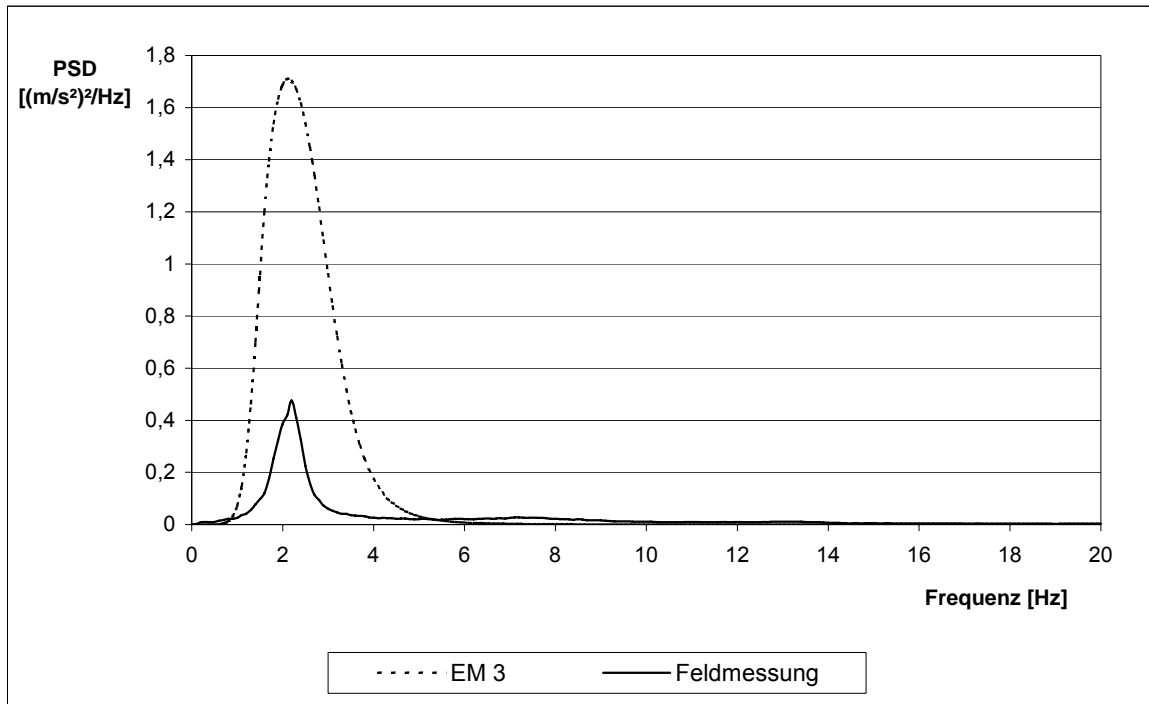


Bild 24: Spektrale Leistungsdichte der mittleren Schwingungsanregung bei den Feldmessungen an Radladern und der Prüf-Erregerschwingung der Spektralklasse EM 3

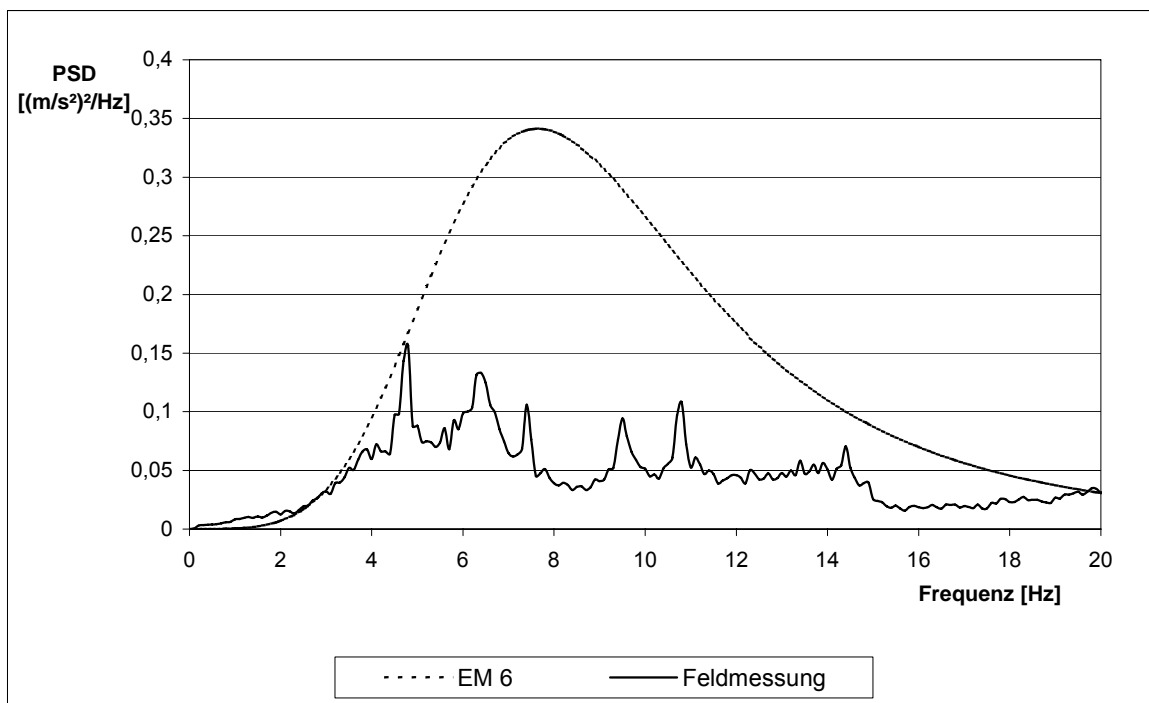


Bild 25: Spektrale Leistungsdichte der mittleren Schwingungsanregung bei den Feldmessungen an Planier- und Laderaupen und der Prüf-Erregerschwingung der Spektralklasse EM 6

Während bei den Radladern (Bild 24) die Kurve der gemittelten spektralen Leistungsdichten aus den Feldmessungen im Frequenzverlauf der Sollkurve für die Prüf-Erregerschwingungen der Spektralklasse EM 3 entspricht und deutlich unter ihr liegt, sind in den Bildern 23 und 25 Abweichungen erkennbar.

Im Bild 25 (Planier- und Laderaupen) folgt die Mittelwertkurve aus den Feldmessungen nicht der Sollkurve für die Prüf-Erregerschwingungen sondern ist durch einzelne Frequenzspitzen gekennzeichnet. Die Ursache dafür besteht darin, dass die Mittelwertkurve aus den Messungen an nur 4 Maschinen (G14, I6 / I6a und I8) resultiert, die in ihren Leistungsdichtespektren extrem herausragende Einzelfrequenzen haben (siehe Anlage 3). Zur Überprüfung des Übereinstimmens der spektralen Leistungsdichtekurve der Prüf-Erregerschwingung der Spektralklasse EM 6 mit den aktuellen Einsatzbedingungen sind daher weitere Feldmessungen an Planier- und Laderaupen erforderlich.

Die Mittelwertkurve aus den Feldmessungen für Muldenfahrzeuge (Bild 23) ist gegenüber der Sollkurve zu tieferen Frequenzen verschoben und liegt dort teilweise außerhalb des Prüfspektrums. Speziell bei den Muldenfahrzeugen mit Starrahmen (G2, G3 und I2 / I2a) wurden bei den Feldmessungen deutlich größere tieffrequente Anteile im PSD-Spektrum ermittelt als im Prüfspektrum enthalten sind (siehe Anlage 3).

Bei einer Überarbeitung der ISO 7096:2000 ist daher zu überprüfen, ob das PSD - Spektrum der Prüf-Erregerschwingungen der Spektralklasse EM 1 (Muldenfahrzeuge) noch den praktischen Anforderungen aus der aktuellen Maschinenteknik entspricht.

7. Zusammenfassung

Aus den im Rahmen dieses Forschungsthemas durchgeführten Labor- und Feldmessungen sowie aus deren Auswertungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Die schwingungstechnischen Eigenschaften eines Schwingsitzes ändern sich nur in sehr geringem Maße über die Lebensdauer des Sitzes. Wenn der Sitz keine eindeutigen erkennbaren Anzeichen eines Defektes hat (z.B. Verlust der Dämpferleistung, Bruch eines Bauteils,) kann davon ausgegangen werden, dass der Sitz schwingungstechnisch in Ordnung ist und die an ihn gestellten Anforderungen erfüllt.
- Schwingsitze, die hinsichtlich ihres Schwingverhaltens an die Erfordernisse im Feld angepasst sind, also die Prüfkriterien der ISO 7096 erfüllen, stellen ein geeignetes Präventionsmittel gegen zu hohe vertikale Schwingungsbelastungen auf Erdbaumaschinen dar.
- Mit Ganzkörper-Schwingungsmessungen unter Feldbedingungen ist eine exakte Bestimmung der Schwingungsdämpfung eines Fahrersitzes nicht möglich, da eine Vielzahl von Faktoren, wie Fahrgewicht, -konstitution und -haltung sowie Anregungshöhe und -frequenz den Sitzübertragungsfaktor beeinflussen.
- Die in der ISO 7096:2000 festgelegten frequenzbewerteten Schwingbeschleunigungen an der Plattform für die Sitzprüfung in den Klassen EM 1, EM 5 und EM 6 sind überdurchschnittlich hoch im Vergleich zum betriebsüblichen Einsatz der entsprechenden Maschinenart.
- Die unter Feldbedingungen ermittelten PSD-Spektren der Schwingbeschleunigung am Chassis von Muldenfahrzeuge weichen im tieffrequenten Bereich von der Spektralklasse EM 1 der EN/ISO 7096:2000 ab.
Diese Erkenntnis sollte bei einer Revision der ISO 7096 berücksichtigt werden.
- Die durchschnittlichen Schwingungsbelastungen der Fahrer lagen bei den Feldmessungen an allen Maschinenarten immer (zum Teil deutlich) unterhalb der Richtwertkurve mit $a_{wz(8)} = 0,8 \text{ m/s}^2$ nach VDI 2057. Damit kann eine Gesundheitsgefährdung der Fahrer ausgeschlossen werden.

- Ganzkörper-Schwingungsmessungen unter Feldbedingungen ergeben zum Teil auch an der gleichen Maschine stark unterschiedliche Ergebnisse, selbst wenn einige der möglichen Parameter, die Einfluss auf das Messergebnis haben, konstant bleiben (z. B. der gleiche Fahrer bei dem gleichen Betriebszustand).
- Die Bestimmung der Ganzkörper-Schwingungsbelastung eines Maschinenführers auf der Basis einer Einzelmessung oder einiger weniger Messungen ohne eine exakte Analyse und Berücksichtigung der Vielzahl von Einflussfaktoren auf die Expositionshöhe kann zu einer falschen Expositionsbeurteilung führen. Dieses Erkenntnis ist bei der Umsetzung der Richtlinie 2002/44/EG (EG-Vibrationsrichtlinie) zu berücksichtigen.

Literaturverzeichnis

ISO 2631-1:1997	Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements
ISO 2631-1:1985	Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements
ISO 6165:2001	Earth-moving machinery - Basic types - Vocabulary
ISO 8041:1990	Human response to vibration Measuring instrumentation
ISO 7096:2000	Earth-moving machinery - Laboratory evaluation of operator seat vibration
DIN EN 1032:1996	Mechanische Schwingungen - Prüfverfahren zur Ermittlung der Ganzkörper-Schwingungen von beweglichen Maschinen - Allgemeines
DIN 45671-2:1987	Messung mechanischer Schwingungen am Arbeitsplatz; Messverfahren
VDI 2057 Blatt 1	Einwirkungen mechanischer Schwingungen auf den Menschen; Ganzkörper-Schwingungen, September 2002
BGR 500	BG-Regel „Betreiben von Arbeitsmitteln“
VBG 40	Unfallverhütungsvorschrift Bagger, Lader, Planiergeräte und Spezialmaschinen des Erdbaues (Erdbaumaschinen), Januar 1997
98/37/EG	Richtlinie 98/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22.Juni 1998 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Maschinen
2002/44/EG	Richtlinie 2002/44/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25.Juni 2002 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Vibrationen)

Anlage 1

Ergebnisse der Labormessungen der Firma ISRINGHAUSEN

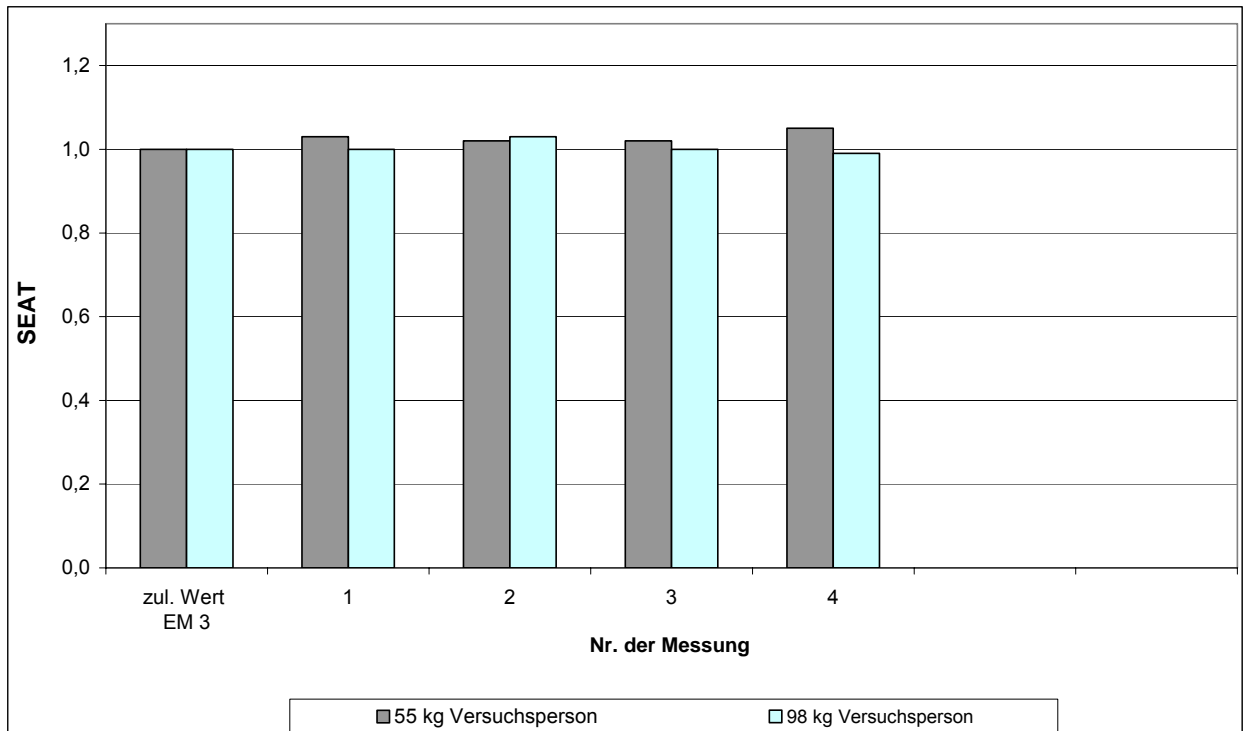


Bild I-1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 3

Versuchssitz I-1		Spektralklasse EM 3 $a_{wp12} = 1,13 \text{ m/s}^2$					
Nr. der Messung		zul. Wert EM 3	1	2	3	4	
Betriebsstunden Versuchssitz			0	2041	3822	6270	
55 kg Versuchsperson	SEAT	1	1,03	1,02	1,02	1,05	
	$a_{ws12} \text{ [m/s}^2\text{]}$		1,16	1,15	1,15	1,19	
98 kg Versuchsperson	SEAT	1	1,00	1,03	1,00	0,99	
	$a_{ws12} \text{ [m/s}^2\text{]}$		1,13	1,16	1,13	1,12	
Schwingungsübertragung H (f _r) bei Resonanz			1,32	1,50	1,70	1,63	

Tabelle I-1: Labor-Messergebnisse

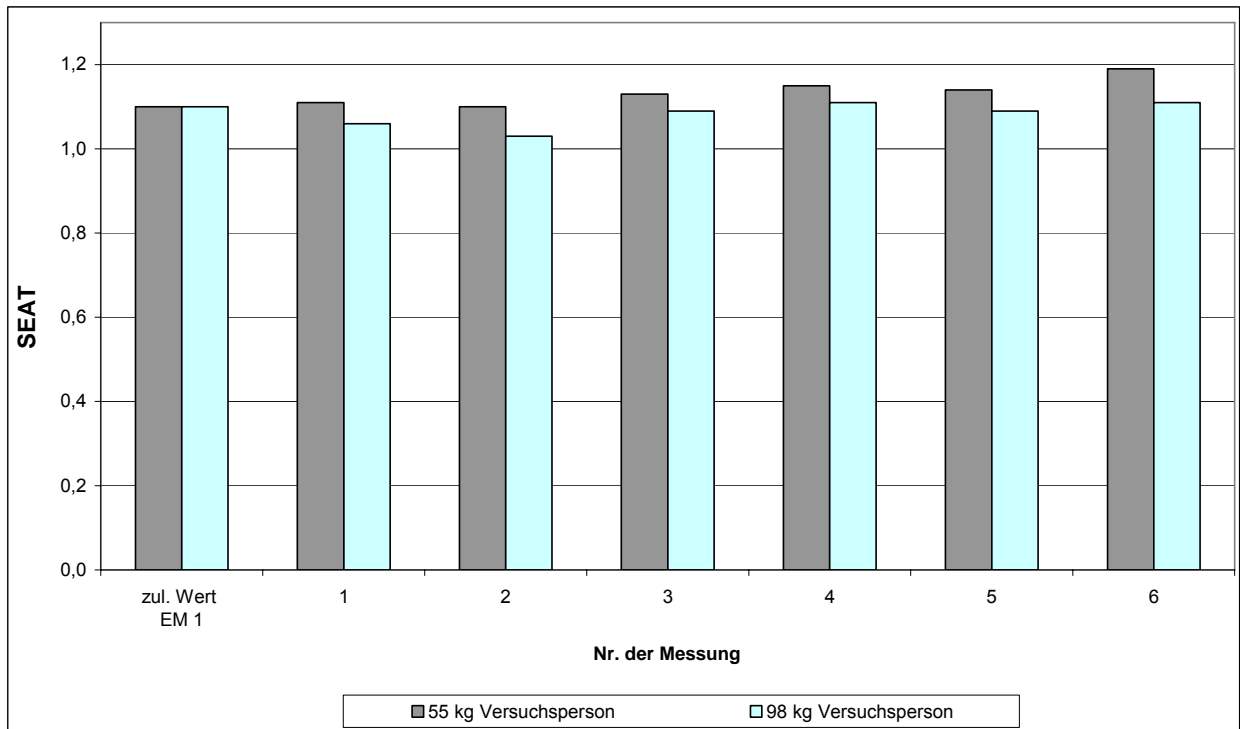


Bild I-2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 1

Versuchssitz I-2 (I-2a)		Spektralklasse EM 1 $a_{wp12} = 1,02 \text{ m/s}^2$						
Nr. der Messung		zul. Wert EM 1	1	2	3	4	5	6
Betriebsstunden Versuchssitz			0	1860	3164	4082	5358	6560
55 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	1,11	1,10	1,13	1,15	1,14	1,19
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,13	1,12	1,15	1,17	1,16	1,21
98 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	1,06	1,03	1,09	1,11	1,09	1,11
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,08	1,05	1,11	1,13	1,11	1,13
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz			1,39	1,44	1,40	1,40	1,40	1,50

Tabelle I-2: Labor-Messergebnisse

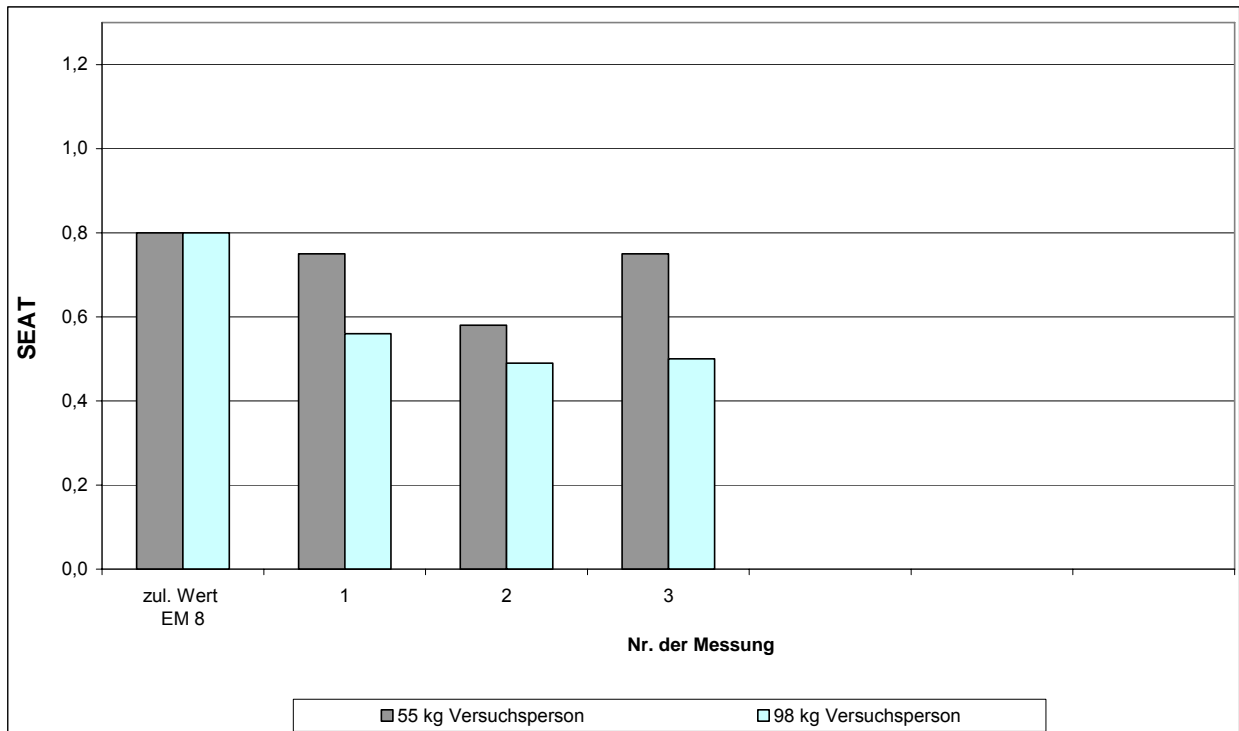


Bild I-4: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 8

Versuchssitz I-4		Spektralklasse EM 8 $a_{wp12} = 0,96 \text{ m/s}^2$					
Nr. der Messung		zul. Wert EM 8	1	2	3		
Betriebsstunden Versuchssitz			0	1055	1334		
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,8	0,75	0,58	0,75		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,72	0,56	0,72		
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,8	0,56	0,49	0,50		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,54	0,47	0,48		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz			1,35	1,60	1,72		

Tabelle I-4: Labor-Messergebnisse

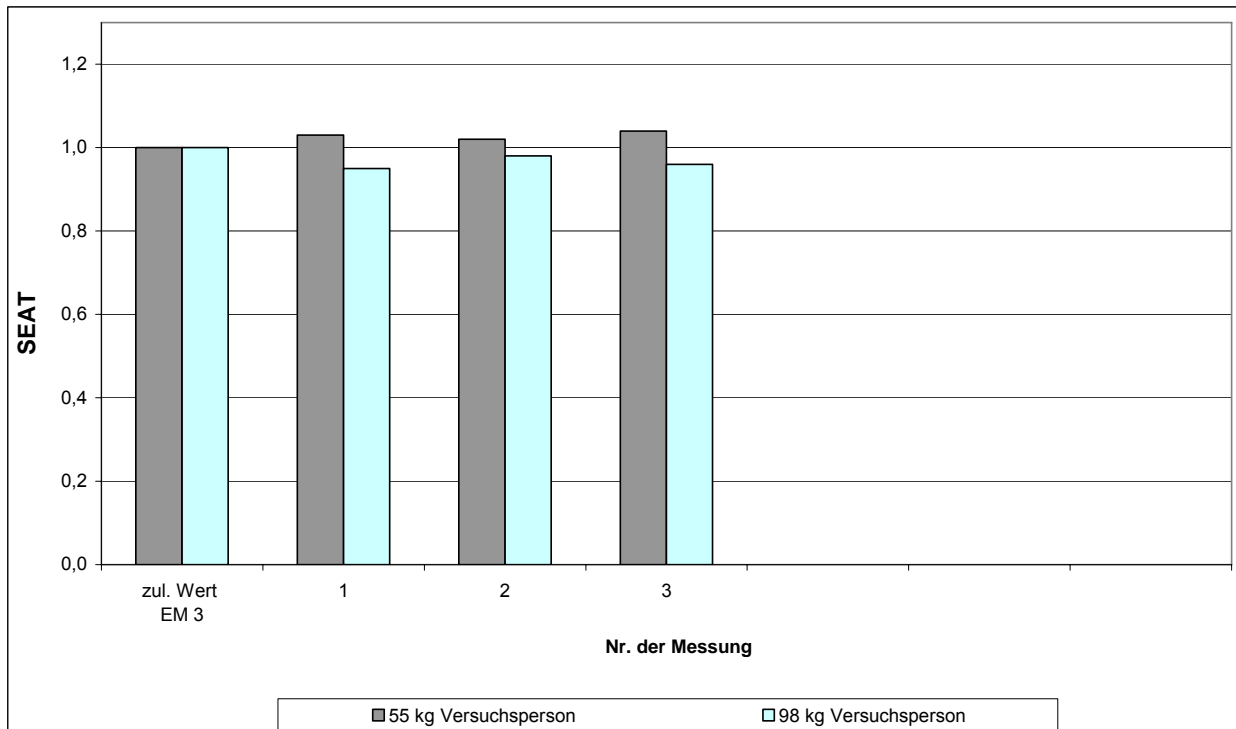


Bild I-5: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 3

Versuchssitz I-5		Spektralklasse EM 3 $a_{wp12} = 1,13 \text{ m/s}^2$					
Nr. der Messung		zul. Wert EM 3	1	2	3		
Betriebsstunden Versuchssitz			0	1520	2886		
55 kg Versuchsperson	SEAT	1	1,03	1,02	1,04		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,16	1,15	1,18		
98 kg Versuchsperson	SEAT	1	0,95	0,98	0,96		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,07	1,11	1,08		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz			1,39	1,54	1,54		

Tabelle I-5: Labor-Messergebnisse

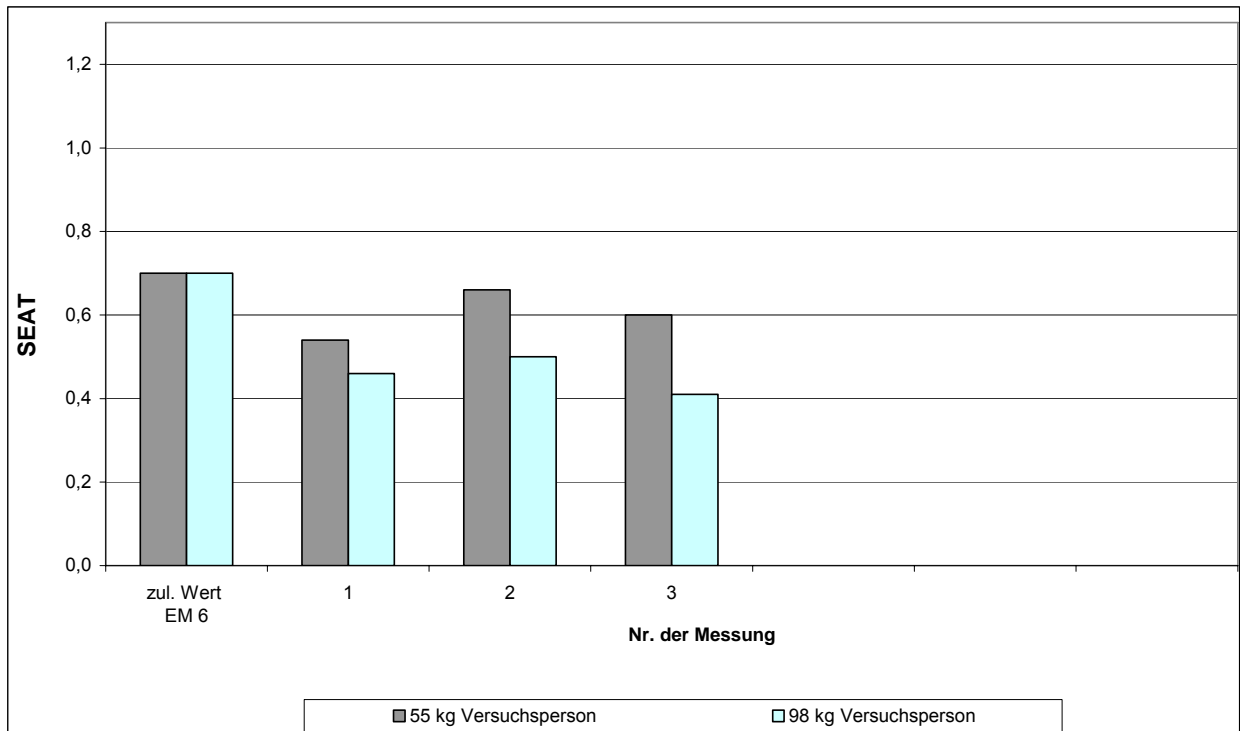


Bild I-6: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 6

Versuchssitz I-6 (I-6a)		Spektralklasse EM 6 $a_{wp12} = 1,61 \text{ m/s}^2$					
Nr. der Messung		zul. Wert EM 6	1	2	3		
Betriebsstunden Versuchssitz			0	1866	3396		
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,54	0,66	0,60		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,87	1,06	0,97		
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,46	0,50	0,41		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,74	0,80	0,66		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz			1,37	1,40	1,39		

Tabelle I-6: Labor-Messergebnisse

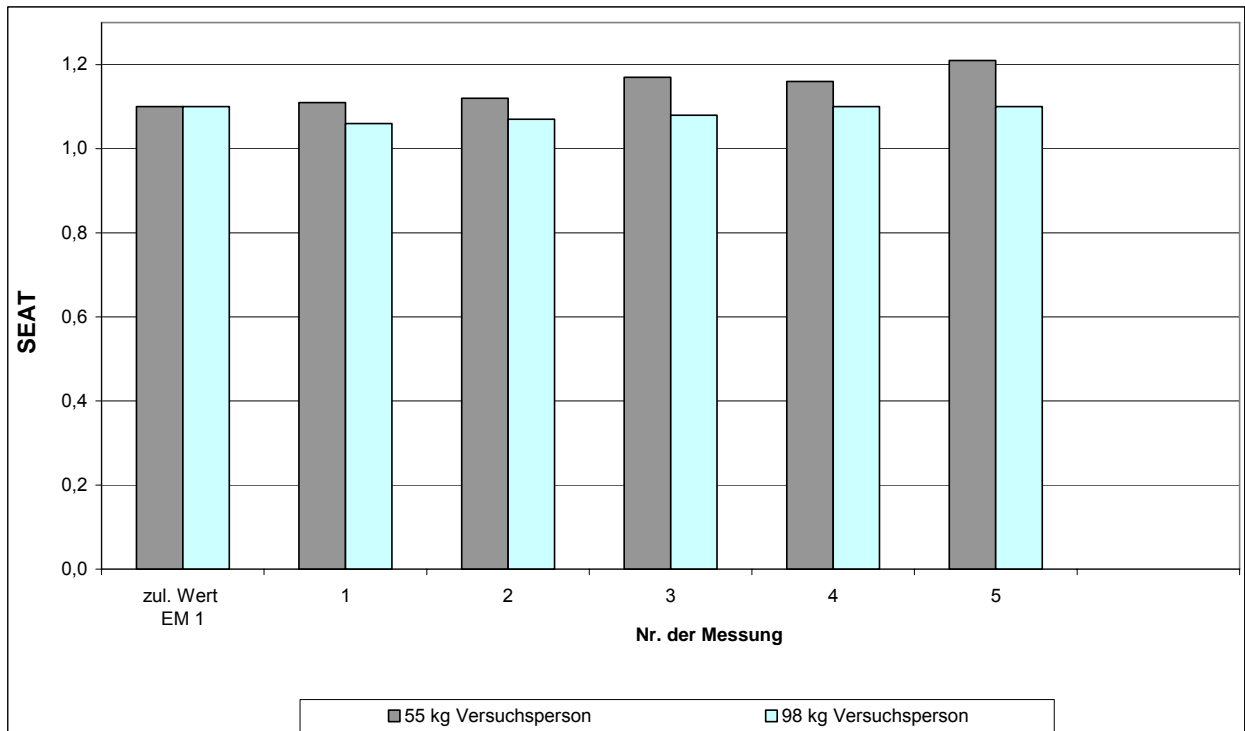


Bild I-7: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 1

Versuchssitz I-7 (I-7a)		Spektralklasse EM 1 $a_{wp12} = 1,02 \text{ m/s}^2$					
Nr. der Messung		zul. Wert EM 1	1	2	3	4	5
Betriebsstunden Versuchssitz			0	2000	2532	4076	5109
55 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	1,11	1,12	1,17	1,16	1,21
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,13	1,14	1,19	1,18	1,23
98 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	1,06	1,07	1,08	1,10	1,10
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,08	1,09	1,1	1,12	1,12
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz			1,39	1,44	1,50	1,33	1,46

Tabelle I-7: Labor-Messergebnisse

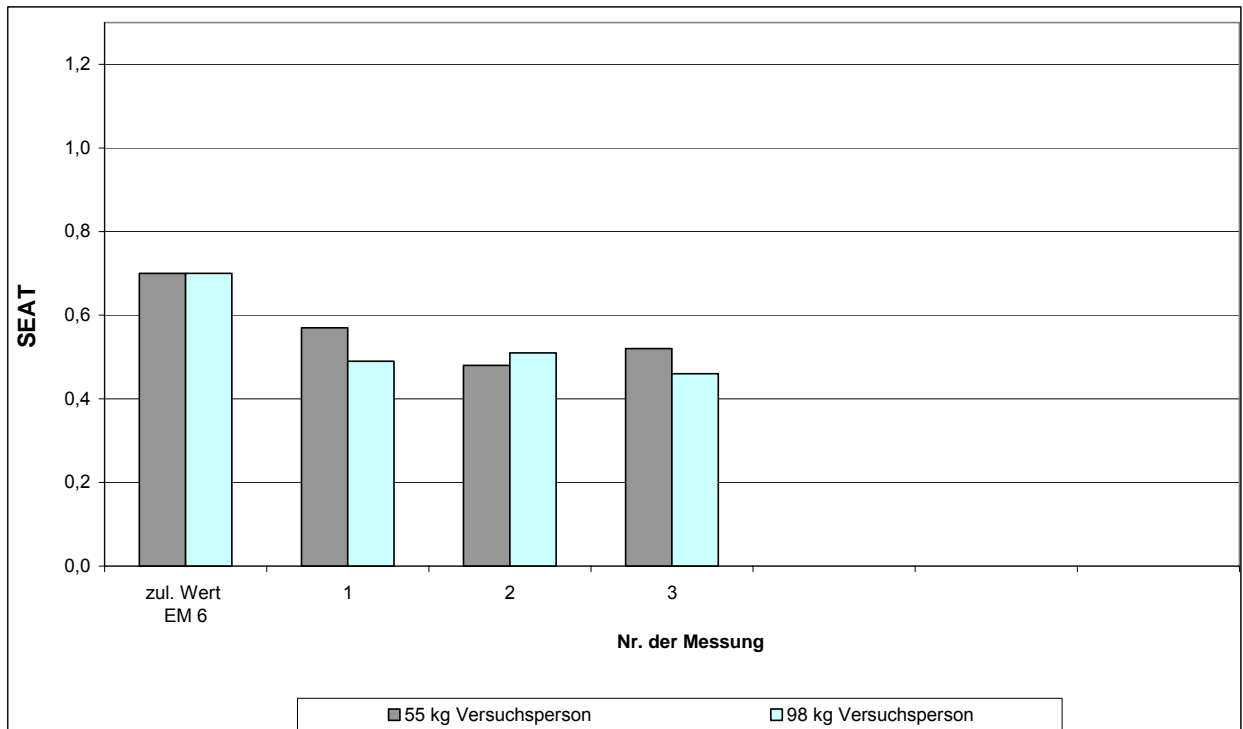


Bild I-8: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 6

Versuchssitz I-8		Spektralklasse EM 6 $a_{wp12} = 1,61 \text{ m/s}^2$					
Nr. der Messung		zul. Wert EM 6	1	2	3		
Betriebsstunden Versuchssitz			0	803	929		
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,57	0,48	0,52		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,92	0,77	0,83		
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,49	0,51	0,46		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,79	0,82	0,74		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz			1,42	1,37	1,42		

Tabelle I-8: Labor-Messergebnisse

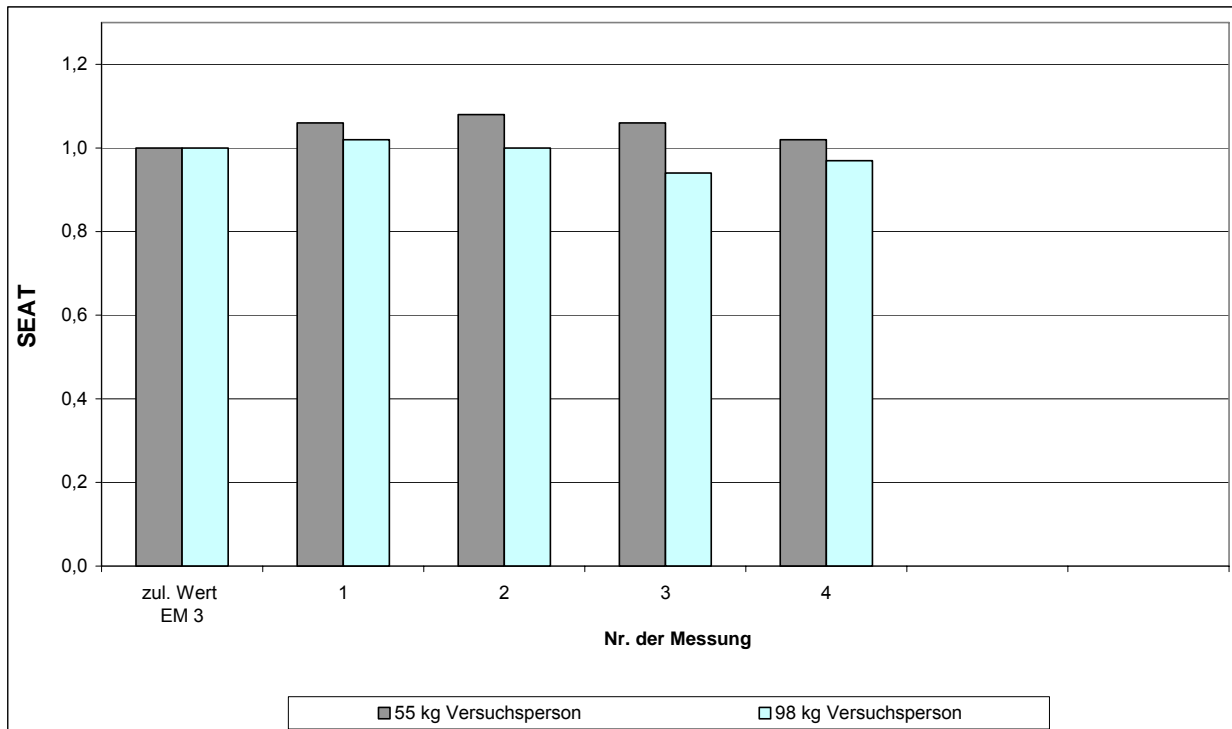


Bild I-9: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 3

Versuchssitz I-9		Spektralklasse EM 3 $a_{wp12} = 1,13 \text{ m/s}^2$					
Nr. der Messung		zul. Wert EM 3	1	2	3	4	
Betriebsstunden Versuchssitz			0	2203	4711	5881	
55 kg Versuchsperson	SEAT	1	1,06	1,08	1,06	1,02	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,20	1,22	1,20	1,15	
98 kg Versuchsperson	SEAT	1	1,02	1,00	0,94	0,97	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,15	1,13	1,06	1,09	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz			1,47	1,36	1,40	1,45	

Tabelle I-9: Labor-Messergebnisse

Anlage 2

Ergebnisse der Labormessungen der Firma GRAMMER

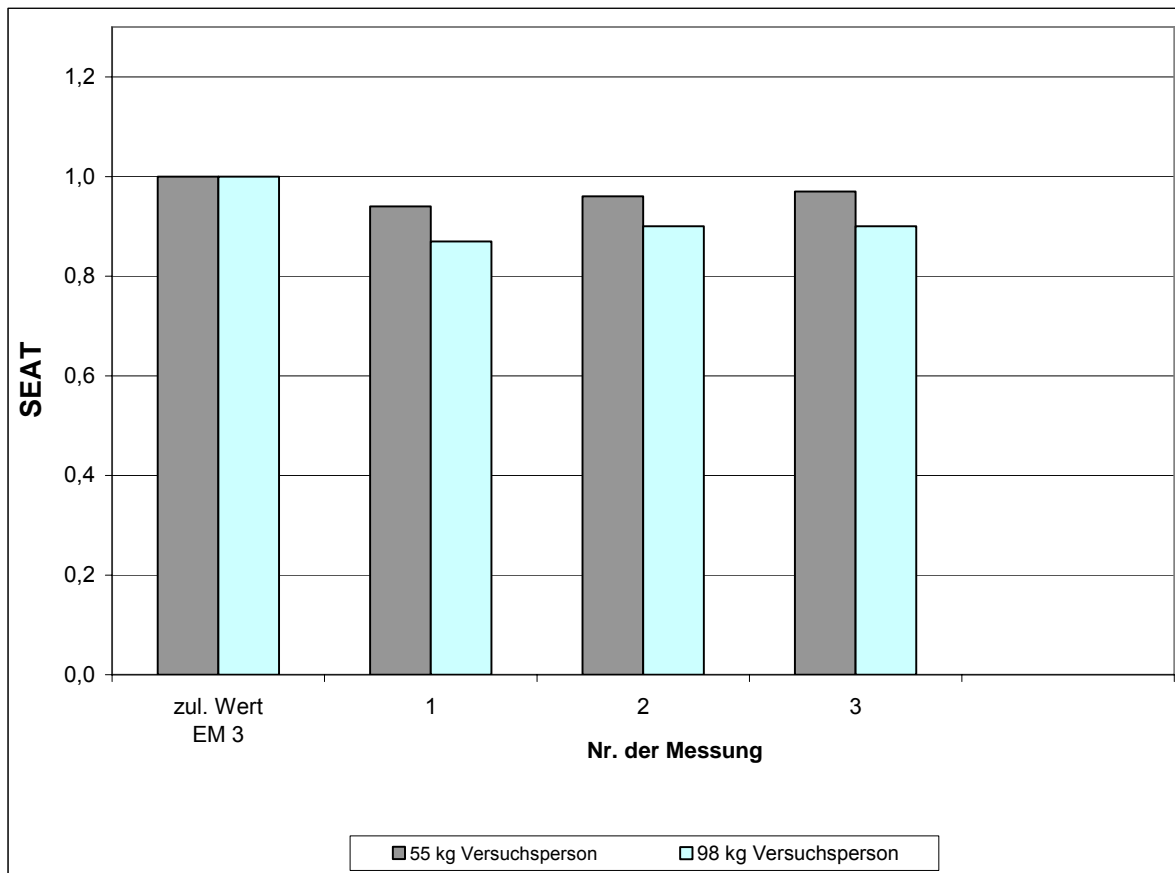


Bild G-1.1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 3

Versuchssitz G-1		Spektralklasse EM 3 $a_{wp12} = 1,13 \text{ m/s}^2$			
Nr. der Messung		zul. Wert EM 3	1	2	3
Betriebsstunden Versuchssitz			0	5139	7570
55 kg Versuchsperson	SEAT	1	0,94	0,96	0,97
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,06	1,08	1,1
98 kg Versuchsperson	SEAT	1	0,87	0,9	0,90
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,98	1,02	1,02
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,51	1,54

Tabelle G-1.1: Labor-Messergebnisse

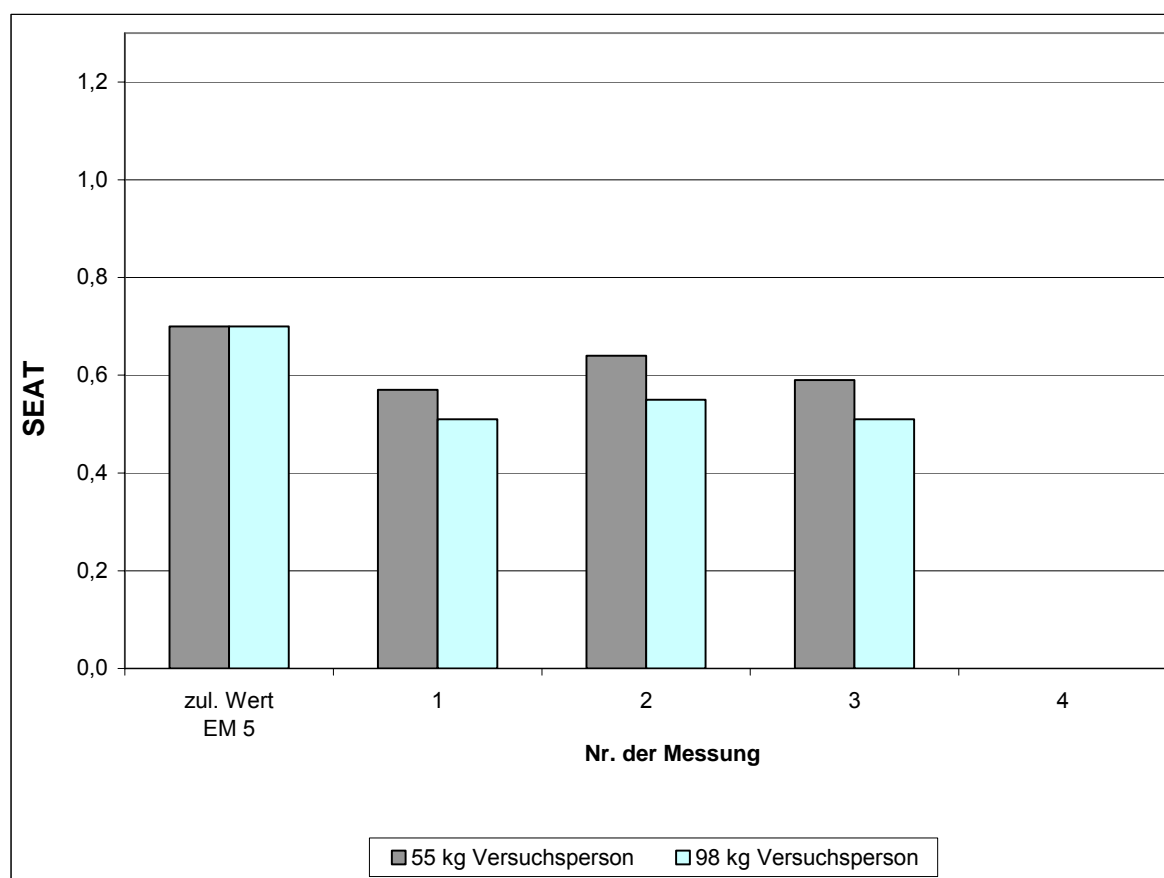


Bild G-1.2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 5

Versuchssitz G-1		Spektralklasse EM 5 $a_{wp12} = 1,68 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 5	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	5139	7570	
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,57	0,64	0,59	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,96	1,08	0,99	
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,51	0,55	0,51	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,86	0,92	0,86	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,51	1,54	

Tabelle G-1.2: Labor-Messergebnisse

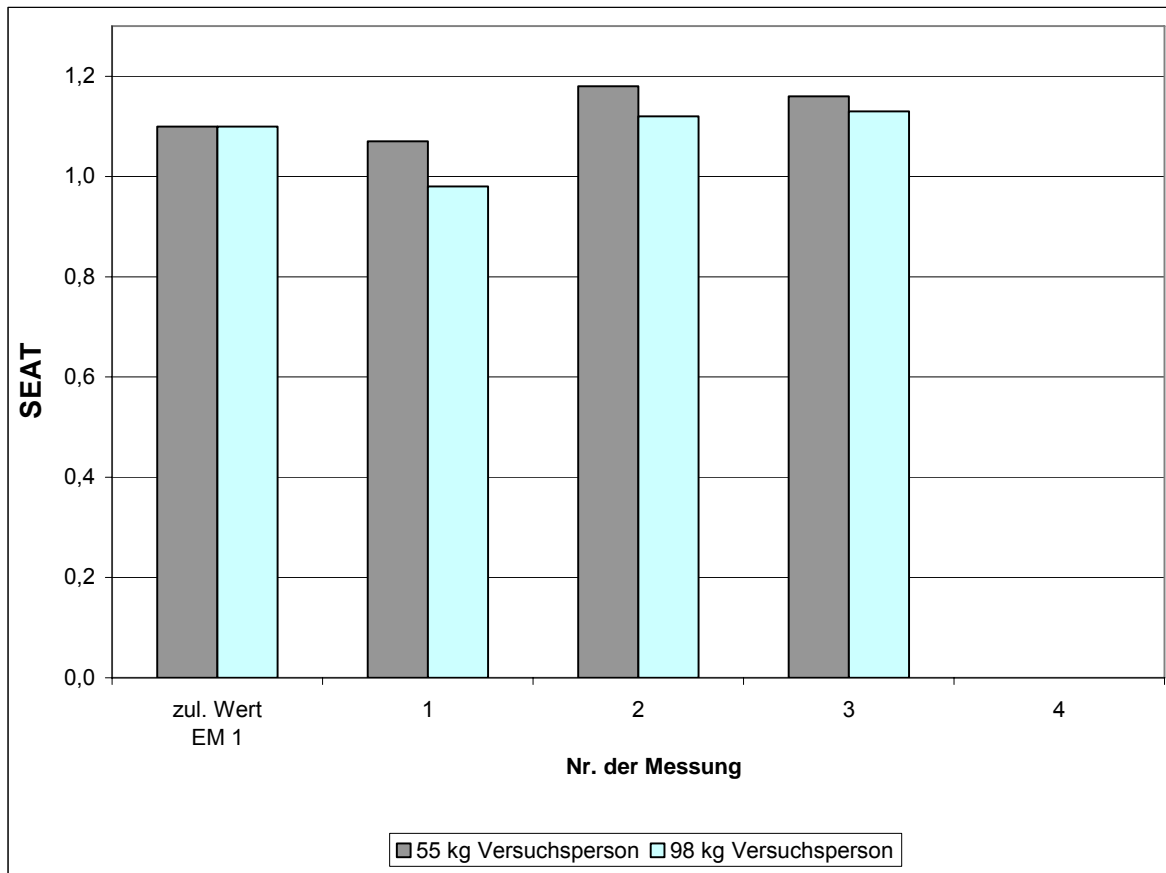


Bild G-2.1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 1

Versuchssitz G-2		Spektralklasse EM 1 $a_{wp12} = 1,02 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 1	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	5192	6398	
55 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	1,07	1,18	1,16	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,09	1,2	1,18	
98 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	0,98	1,12	1,13	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,00	1,14	1,15	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,76	1,69	

Tabelle G-2.1: Labor-Messergebnisse

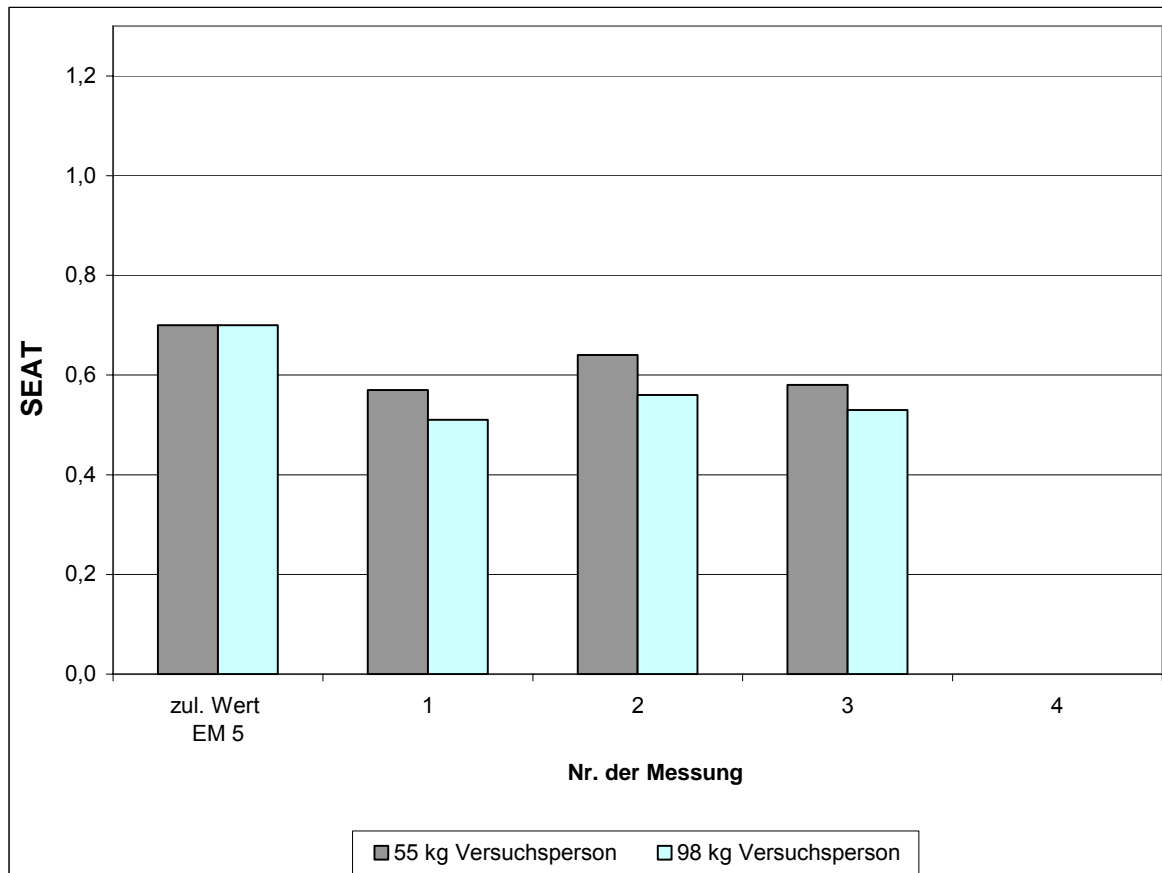


Bild G-2.2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 5

Versuchssitz G-2		Spektralklasse EM 5 $a_{wp12} = 1,68 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 5	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	5192	6398	
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,57	0,64	0,58	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,96	1,08	0,97	
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,51	0,56	0,53	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,86	0,94	0,89	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,76	1,69	

Tabelle G-2.2: Labor-Messergebnisse

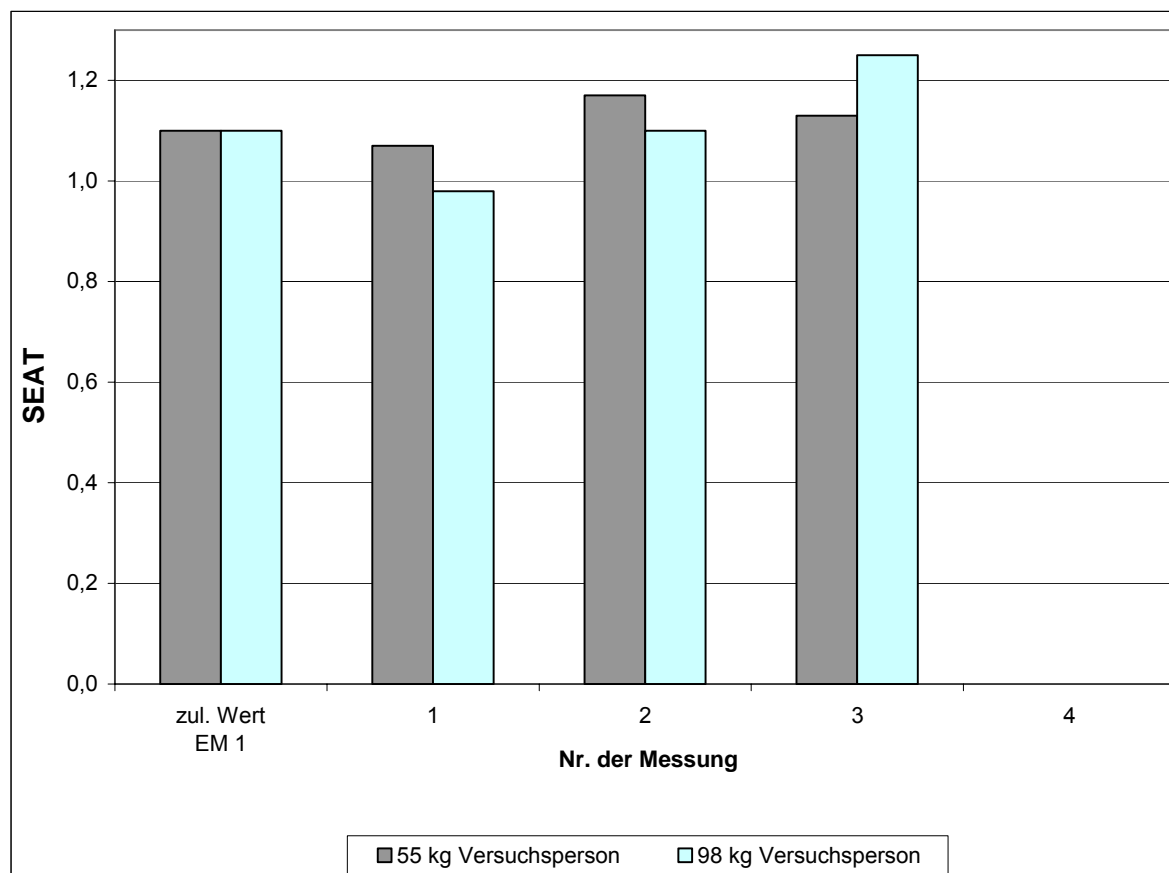


Bild G-3.1.1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 1

Versuchssitz G-3.1		Spektralklasse EM 1 $a_{wp12} = 1,02 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 1	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	619	2015	
55 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	1,07	1,17	1,13	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,09	1,19	1,15	
98 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	0,98	1,1	1,25	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,00	1,12	1,28	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,52	1,67	

Tabelle G-3.1.1: Labor-Messergebnisse

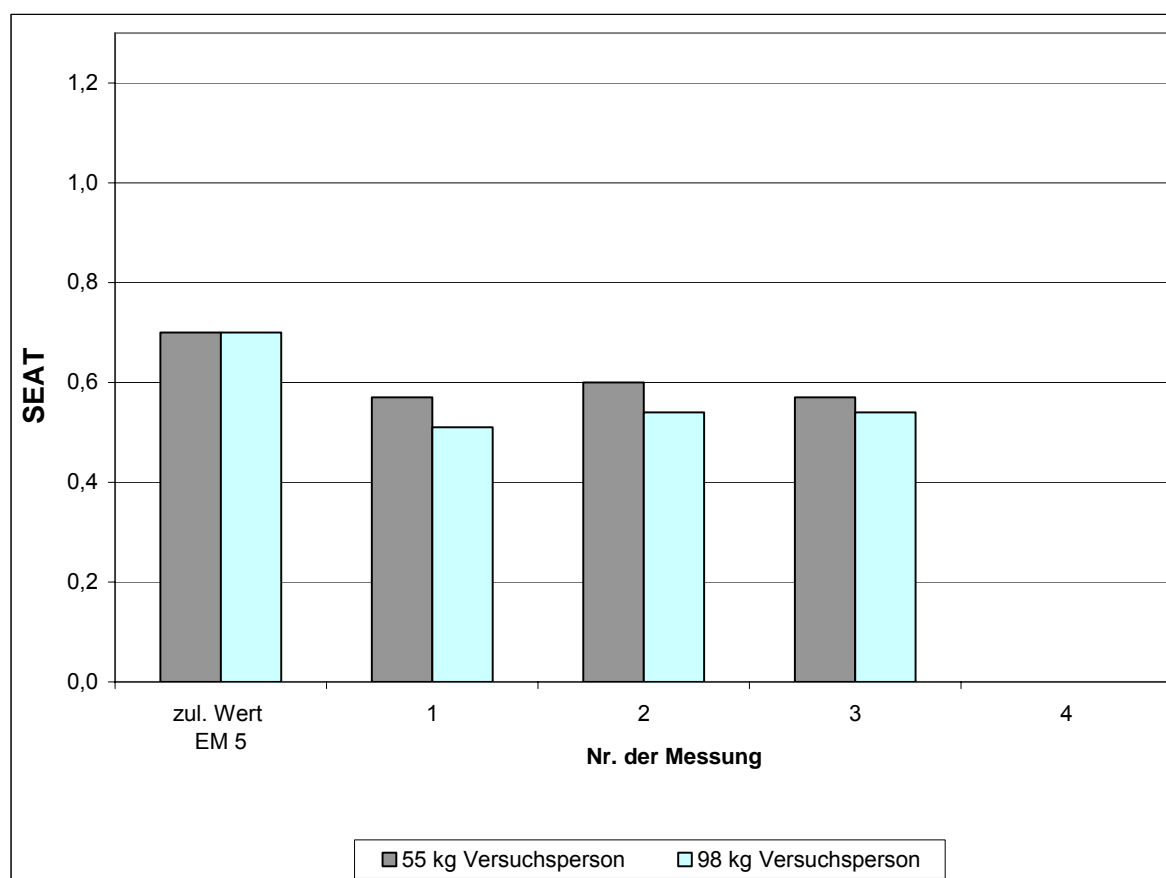


Bild G-3.1.2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 5

Versuchssitz G-3.1		Spektralklasse EM 5 $a_{wp12} = 1,68 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 5	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	619	2015	
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,57	0,60	0,57	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,96	1,01	0,96	
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,51	0,54	0,54	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,86	0,91	0,91	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,52	1,67	

Tabelle G-3.1.2: Labor-Messergebnisse

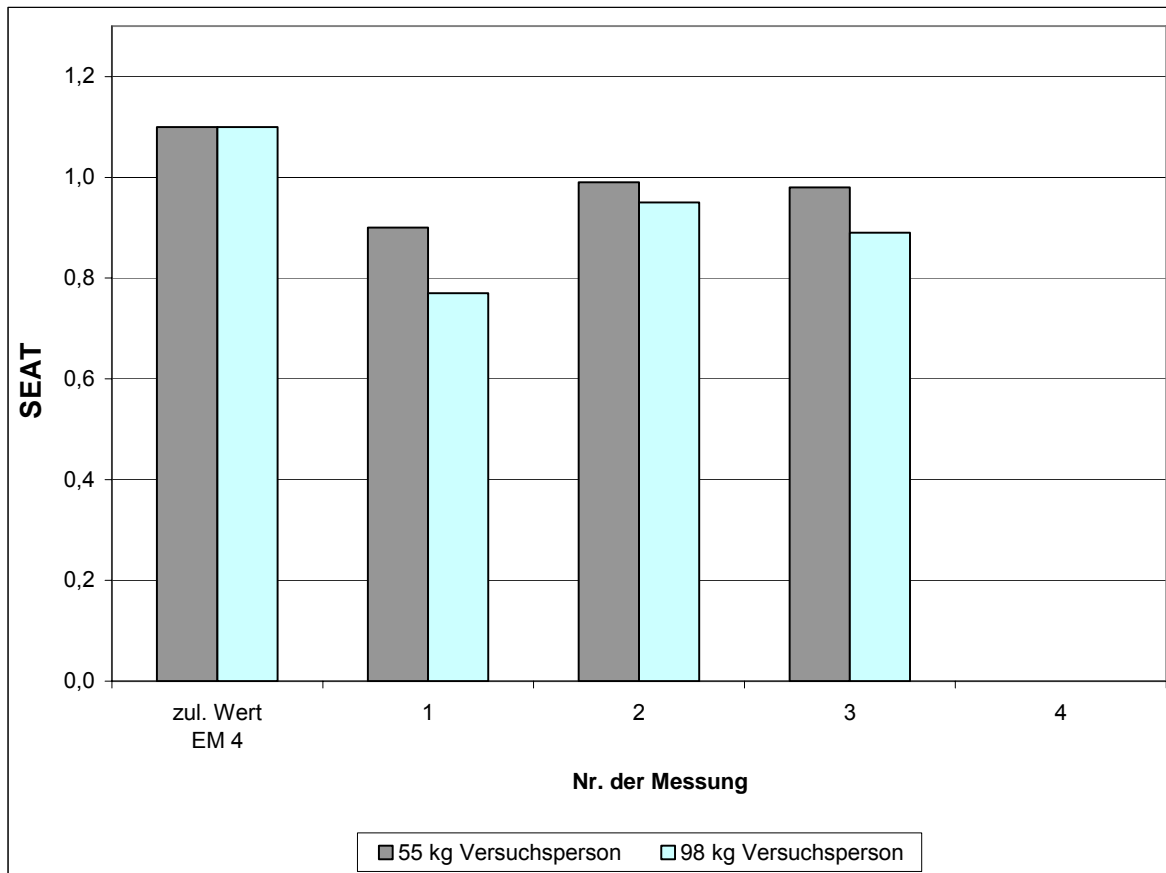


Bild G-4.1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 4

Versuchssitz G-4		Spektralklasse EM 4 $a_{wp12} = 0,63 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 4	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	624	919	
55 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	0,90	0,99	0,98	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,57	0,62	0,62	
98 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	0,77	0,95	0,89	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,49	0,60	0,56	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz					1,34	

Tabelle G-4.1: Labor-Messergebnisse

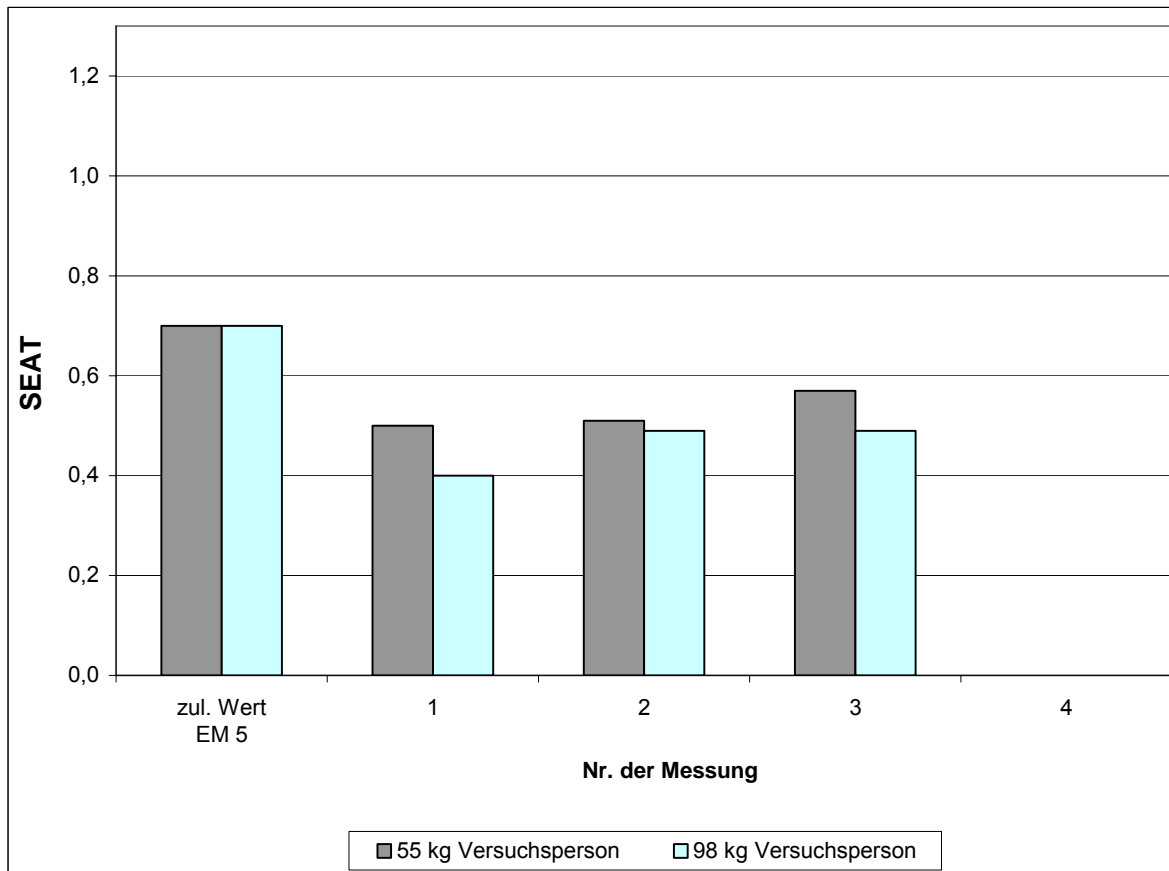


Bild G-4.2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 5

Versuchssitz G-4		Spektralklasse EM 5 $a_{wp12} = 1,68 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 5	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	624	919	
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,50	0,51	0,57	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,84	0,86	0,96	
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,40	0,49	0,49	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,67	0,82	0,82	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz					1,34	

Tabelle G-4.2: Labor-Messergebnisse

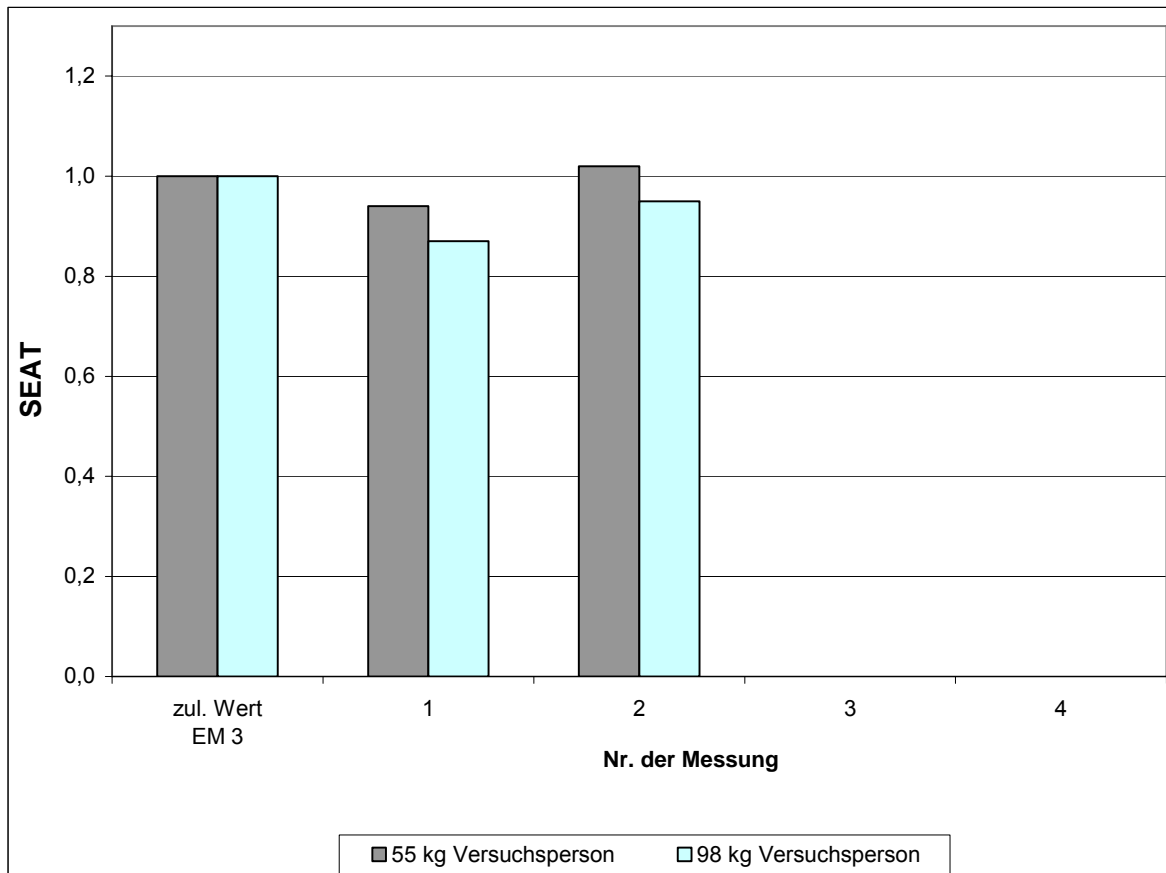


Bild G-6A.1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 3

Versuchssitz G-6A		Spektralklasse EM 3 $a_{wp12} = 1,13 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 3	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	4665		
55 kg Versuchsperson	SEAT	1	0,94	1,02		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,06	1,15		
98 kg Versuchsperson	SEAT	1	0,87	0,95		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,98	1,07		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz						

Tabelle G-6A.1: Labor-Messergebnisse

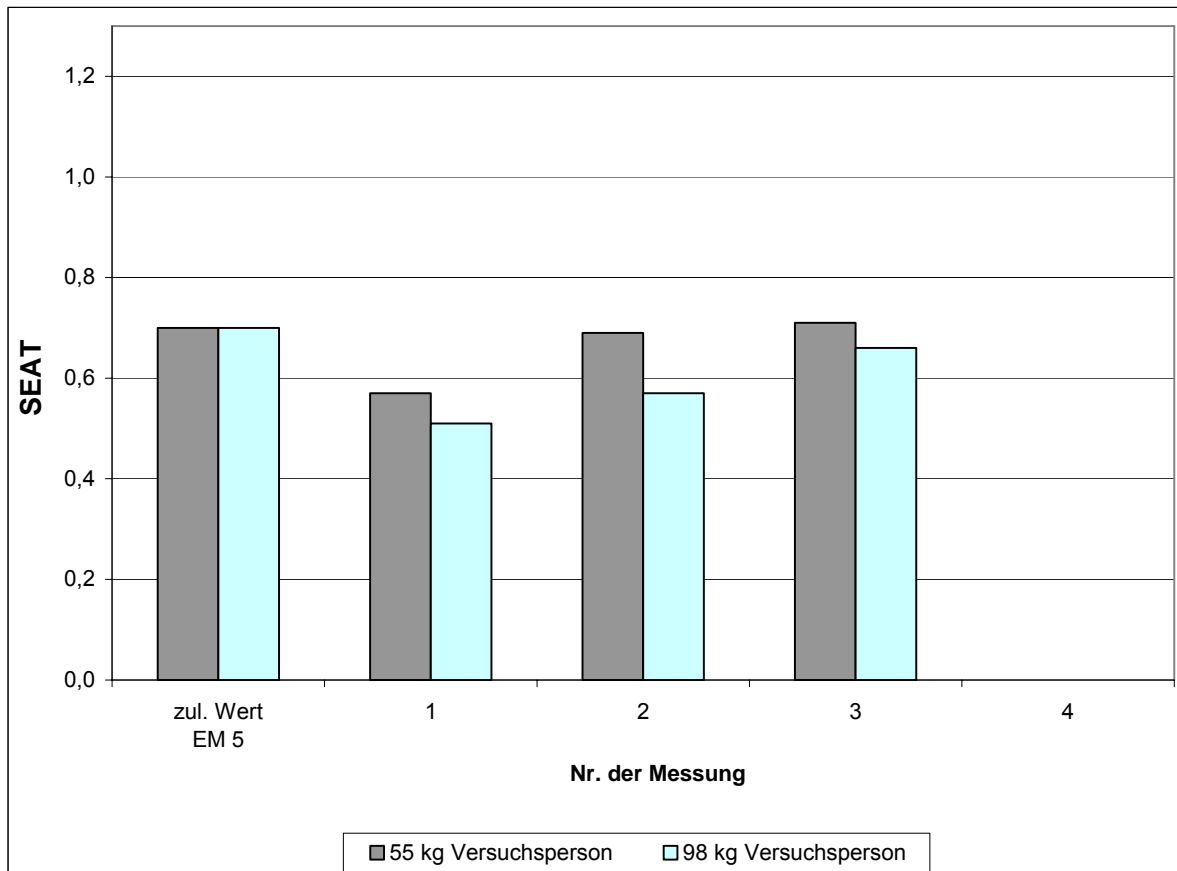


Bild G-6A.2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 5

Versuchssitz G-6A		Spektralklasse EM 5 $a_{wp12} = 1,68 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 5	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	4665	5044	
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,57	0,69	0,71	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,96	1,16	1,19	
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,51	0,57	0,66	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,86	0,96	1,01	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,58		

Tabelle G-6A.2: Labor-Messergebnisse

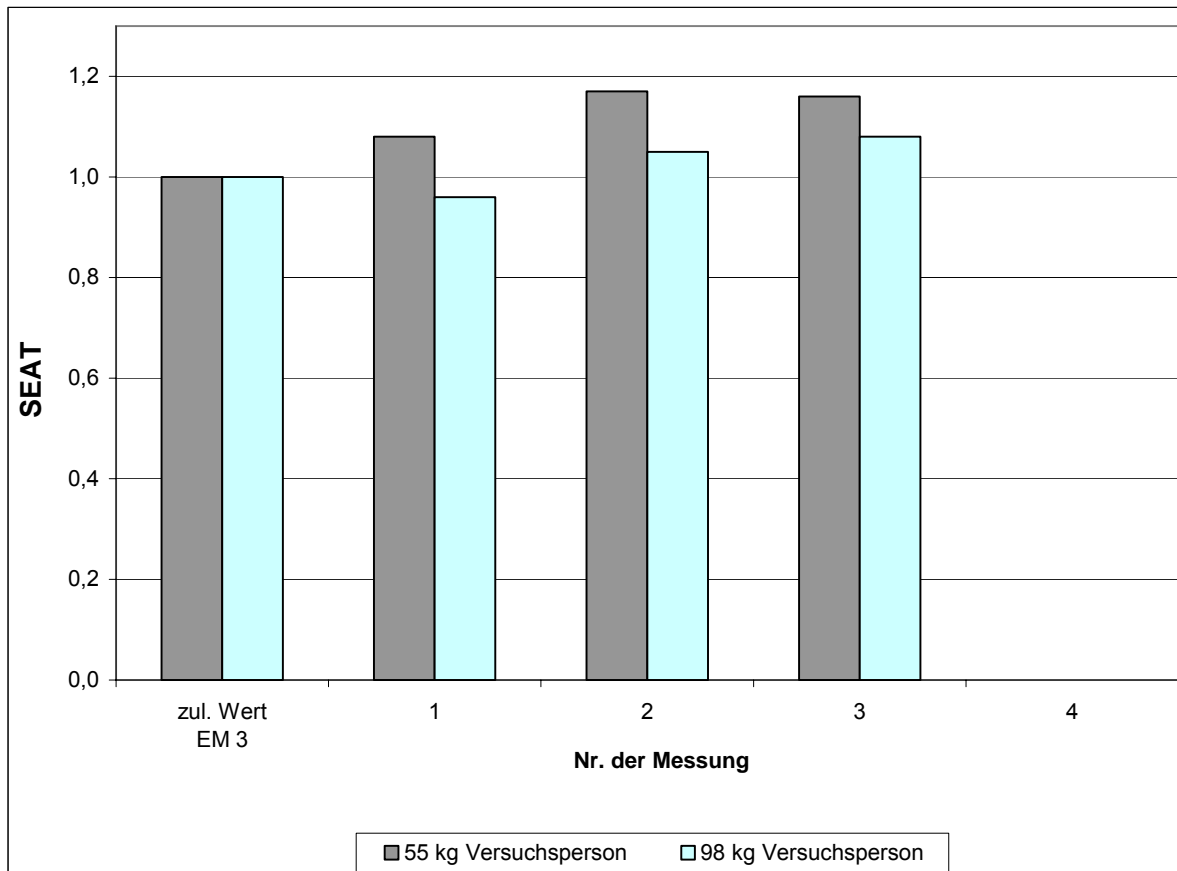


Bild G-7.1.1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 3

Versuchssitz G-7.1		Spektralklasse EM 3 $a_{wp12} = 1,13 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 3	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	2113	3267	
55 kg Versuchsperson	SEAT	1	1,08	1,17	1,16	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,22	1,32	1,31	
98 kg Versuchsperson	SEAT	1	0,96	1,05	1,08	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,08	1,17	1,22	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,33	1,47	

Tabelle G-7.1.1: Labor-Messergebnisse

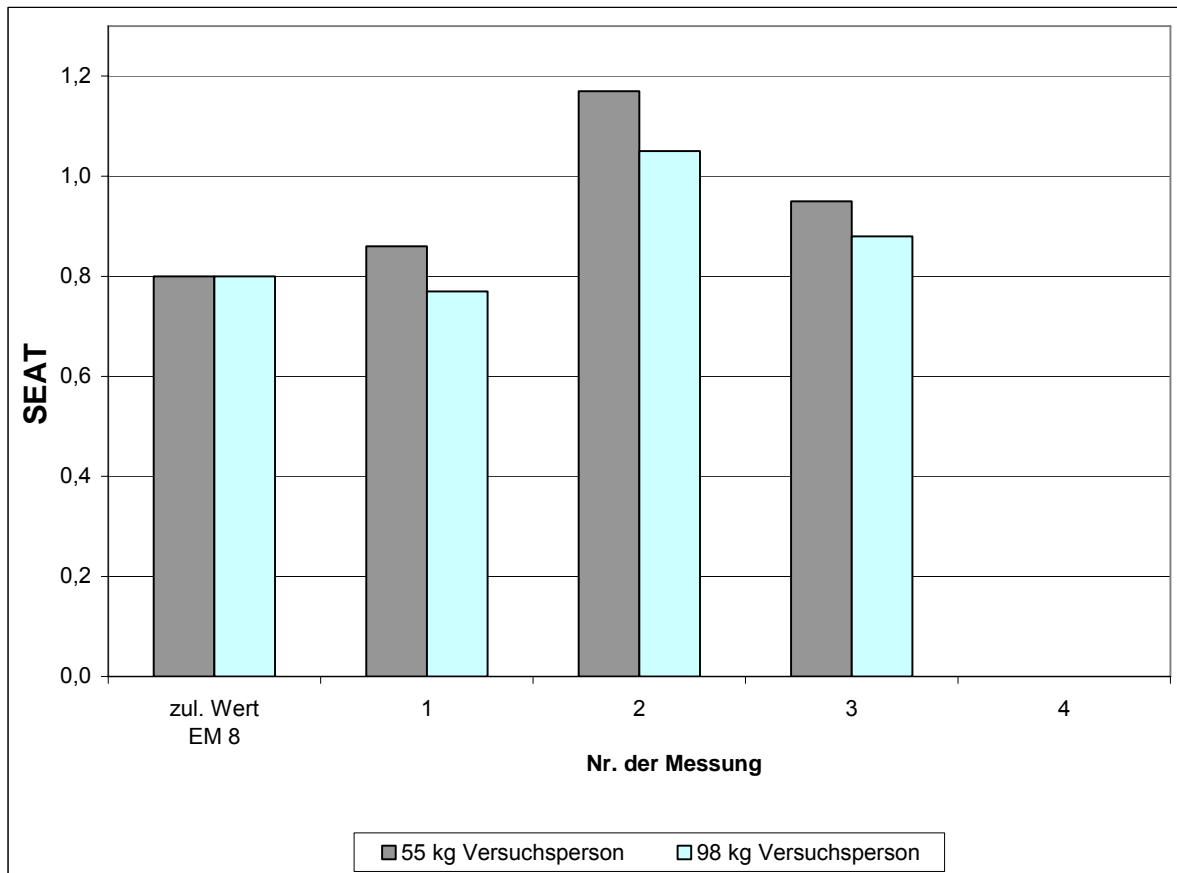


Bild G-7.1.2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 8

Versuchssitz G-7.1		Spektralklasse EM 8 $a_{wp12} = 0,96 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 8	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	2113	3267	
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,8	0,86	1,17	0,95	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,83	1,12	0,91	
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,8	0,77	1,05	0,88	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,74	1,01	0,84	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,33	1,47	

Tabelle G-7.1.2: Labor-Messergebnisse

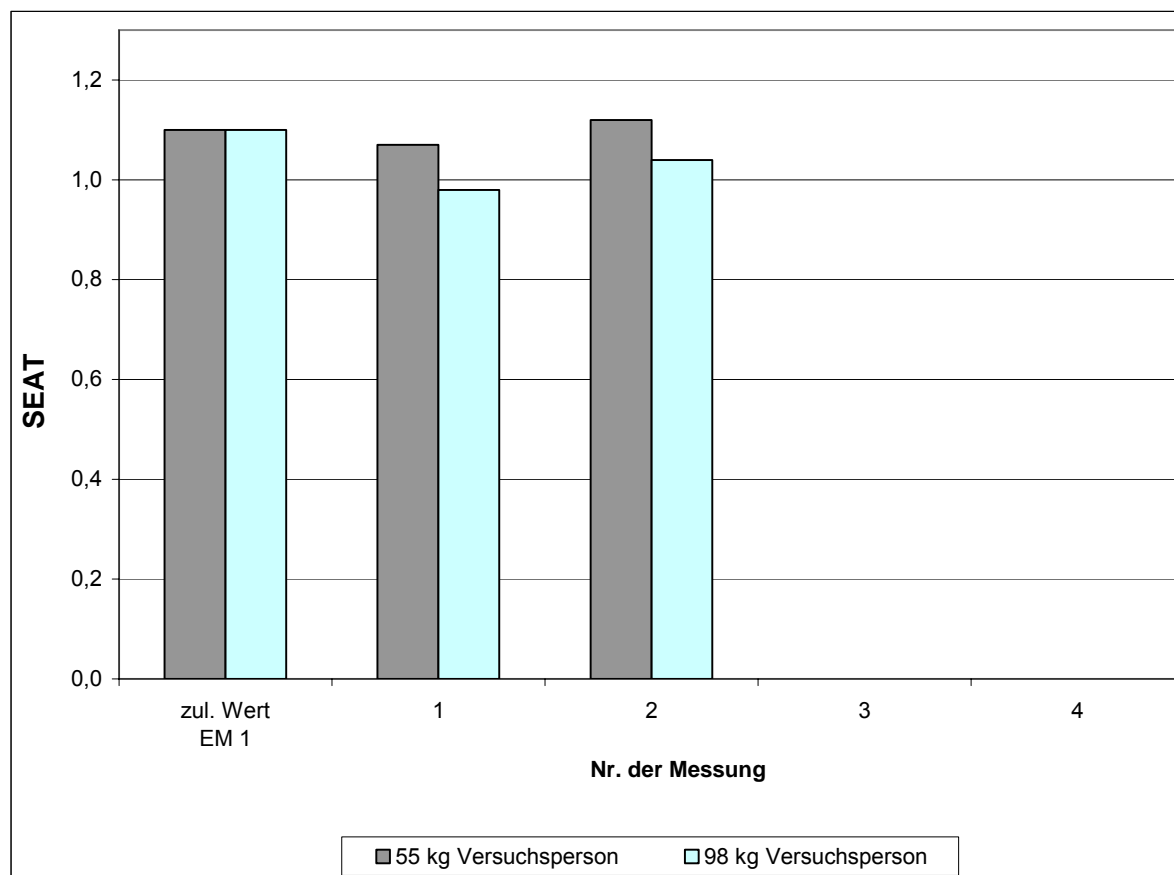


Bild G-8.1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 1

Versuchssitz G-8		Spektralklasse EM 1 $a_{wp12} = 1,02 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 1	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	7216		
55 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	1,07	1,12		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,09	1,14		
98 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	0,98	1,04		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,00	1,06		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz						

Tabelle G-8.1: Labor-Messergebnisse

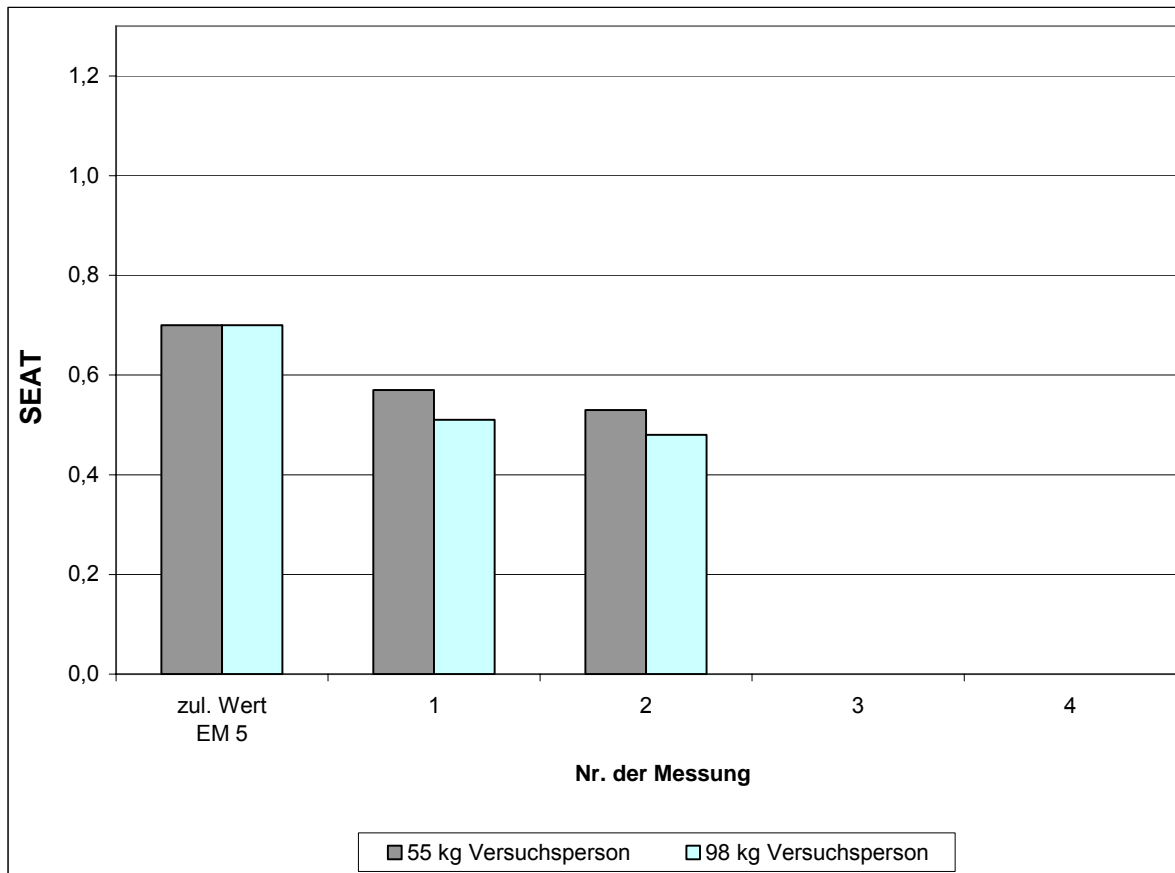


Bild G-8.2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 5

Versuchssitz G-8		Spektralklasse EM 5 $a_{wp12} = 1,68 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 5	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	7216		
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,57	0,53		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,96	0,89		
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,51	0,48		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,86	0,81		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz						

Tabelle G-8.2: Labor-Messergebnisse

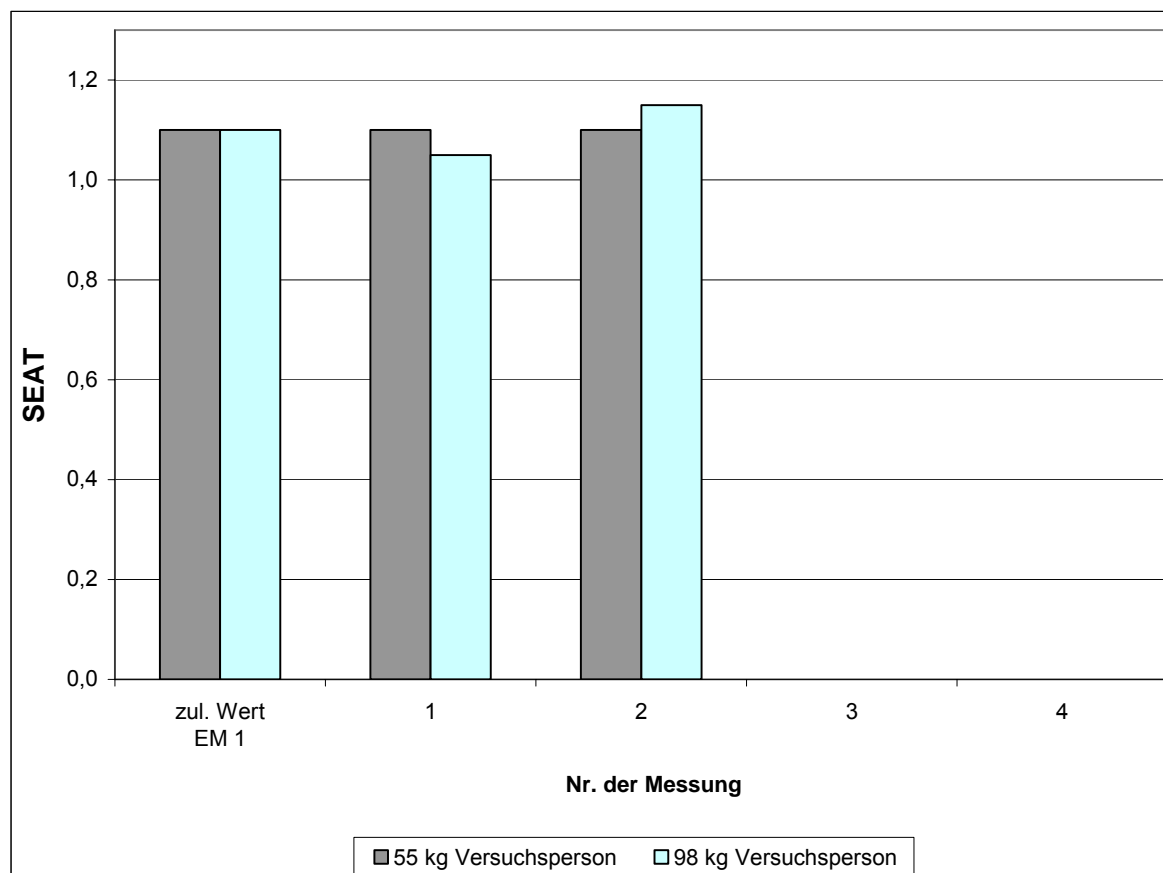


Bild G-9A.1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 1

Versuchssitz G-9A		Spektralklasse EM 1 $a_{wp12} = 1,02 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 1	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	3468		
55 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	1,10	1,10		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,12	1,12		
98 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	1,05	1,15		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,07	1,17		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,15		

Tabelle G-9A.1: Labor-Messergebnisse

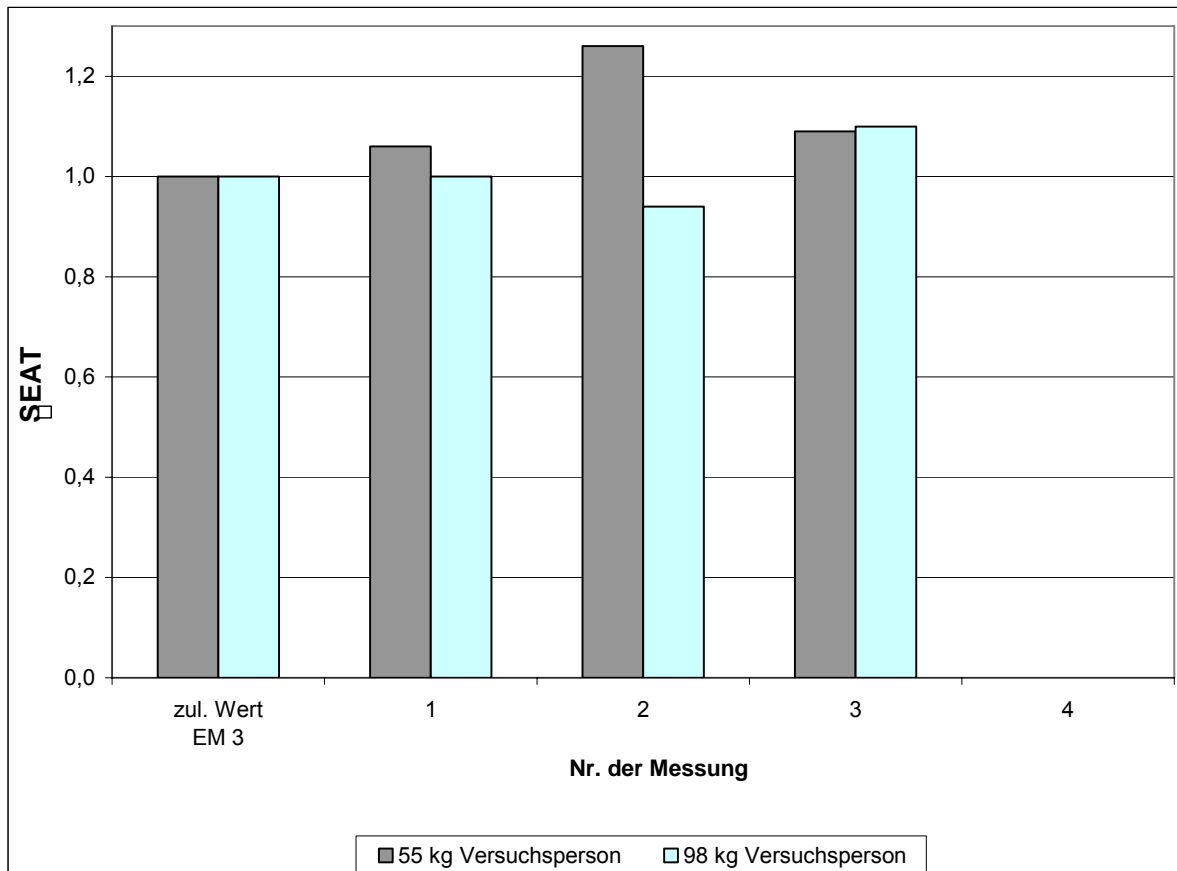


Bild G-9A.2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 3

Versuchssitz G-9A		Spektralklasse EM 3 $a_{wp12} = 1,13 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 3	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	2122	3468	
55 kg Versuchsperson	SEAT	1	1,06	1,26	1,09	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,20	1,42	1,23	
98 kg Versuchsperson	SEAT	1	1,00	0,94	1,10	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,13	1,06	1,24	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,3	1,16	

Tabelle G-9A.2: Labor-Messergebnisse

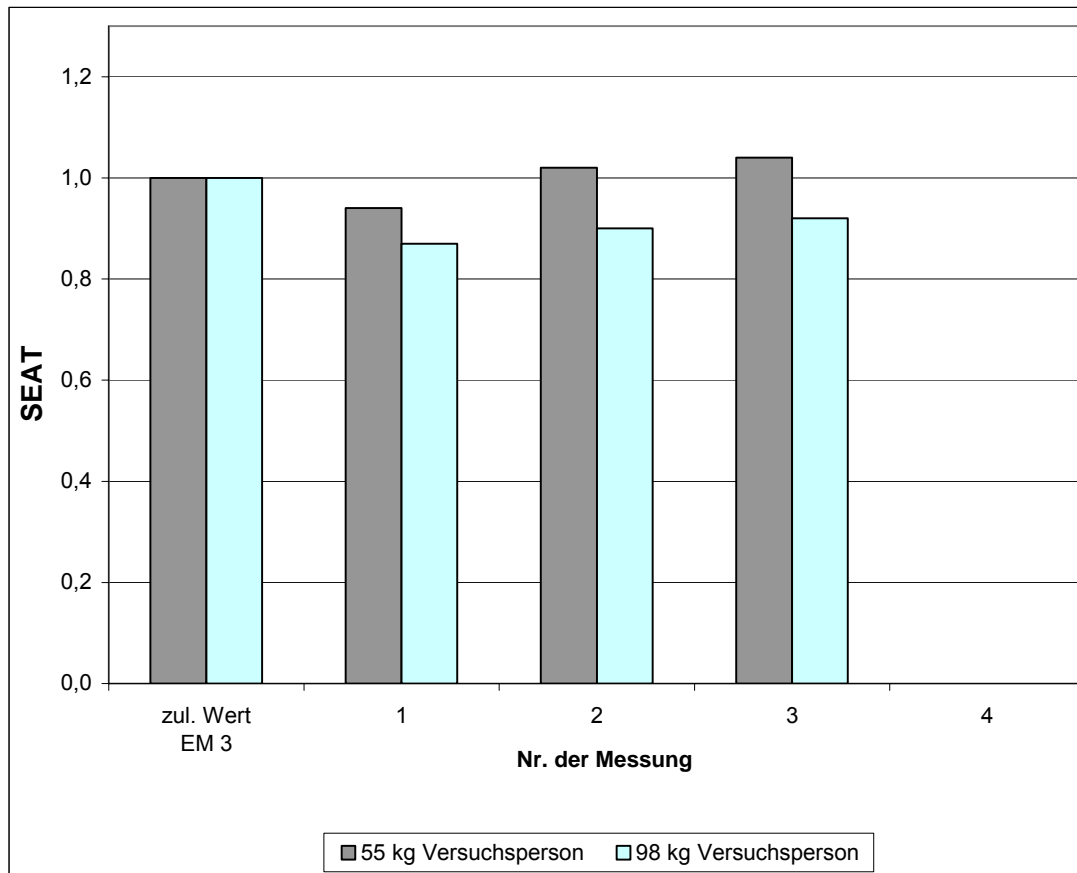


Bild G-10.1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 3

Versuchssitz G-10		Spektralklasse EM 3 $a_{wp12} = 1,13 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 3	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	3937	4793	
55 kg Versuchsperson	SEAT	1	0,94	1,02	1,04	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,06	1,15	1,18	
98 kg Versuchsperson	SEAT	1	0,87	0,9	0,92	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,98	1,02	1,04	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,53	1,51	

Tabelle G-10.1: Labor-Messergebnisse

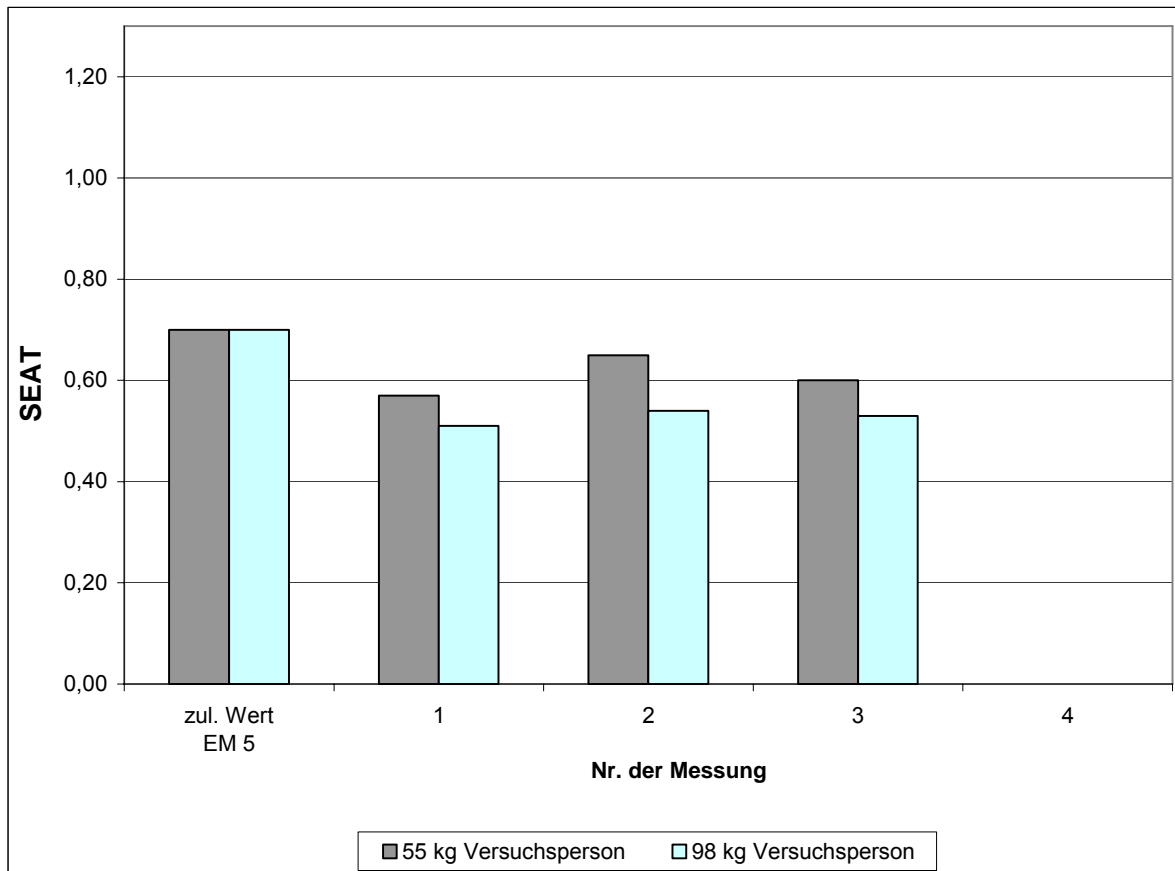


Bild G-10.2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 5

Versuchssitz G-10		Spektralklasse EM 5 $a_{wp12} = 1,68 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 5	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	3937	4793	
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,57	0,65	0,60	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,96	1,1	1,01	
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,51	0,54	0,53	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,86	0,91	0,89	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,53	1,51	

Tabelle G-10.2: Labor-Messergebnisse

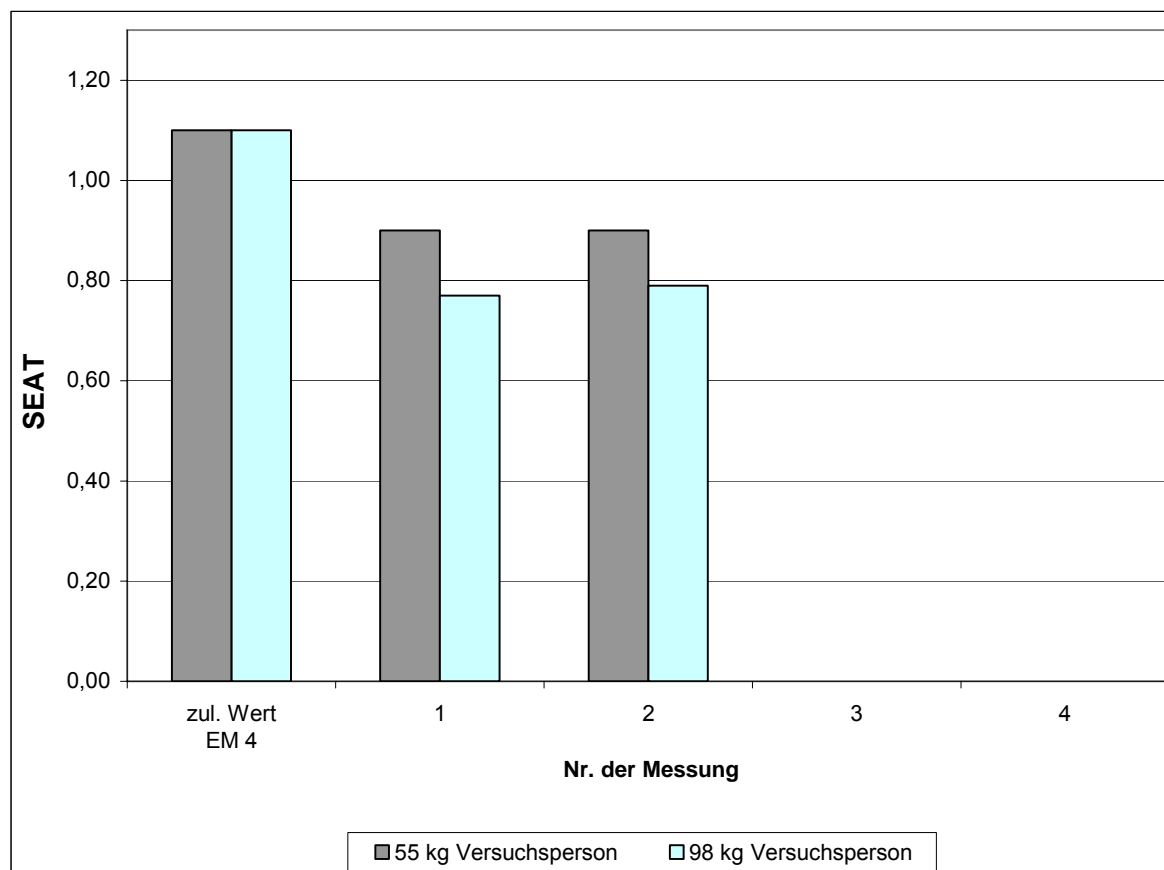


Bild G-11.1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 4

Versuchssitz G-11		Spektralklasse EM 4 $a_{wp12} = 0,63 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 4	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	1861		
55 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	0,90	0,90		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,57	0,57		
98 kg Versuchsperson	SEAT	1,1	0,77	0,79		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,49	0,50		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,26		

Tabelle G-11.1: Labor-Messergebnisse

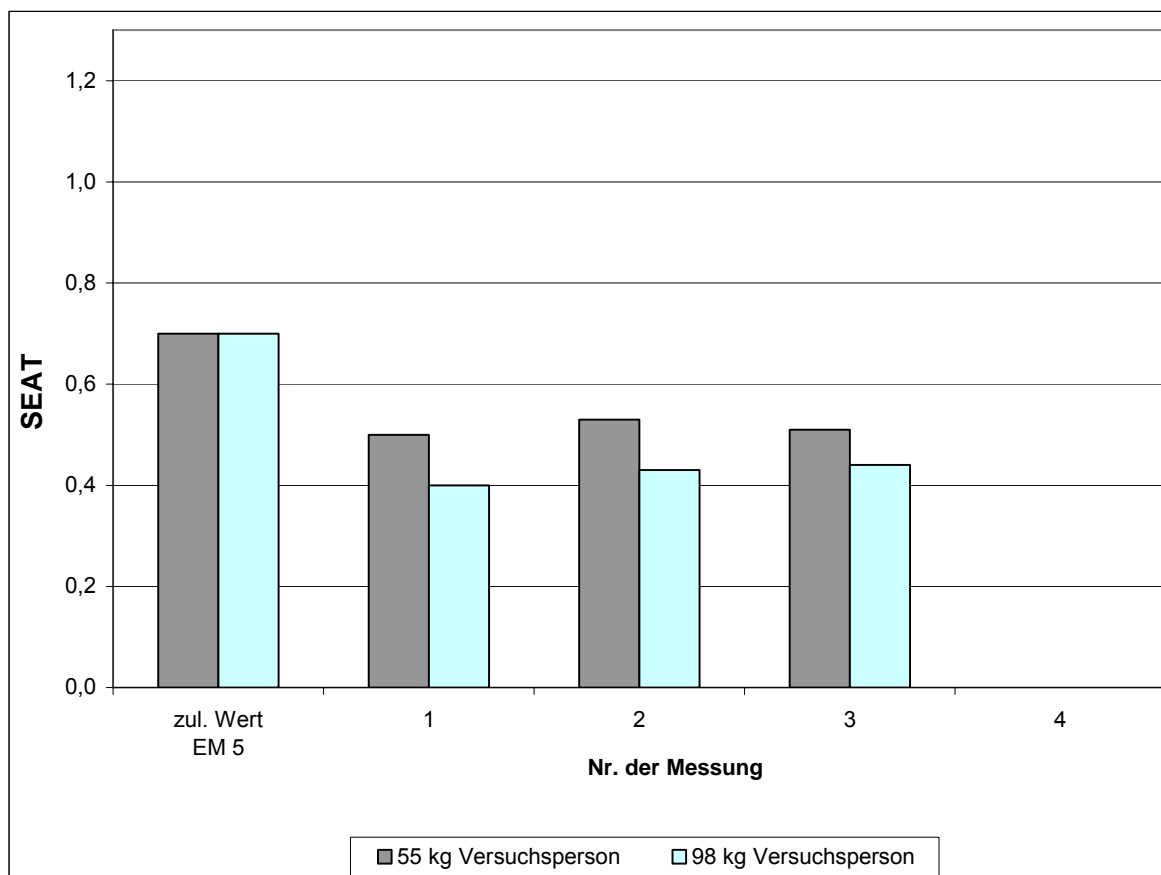


Bild G-11.2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 5

Versuchssitz G-11		Spektralklasse EM 5 $a_{wp12} = 1,68 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 5	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	1398	1861	
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,50	0,53	0,51	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,84	0,89	0,86	
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,40	0,43	0,44	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,67	0,72	0,74	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,3	1,26	

Tabelle G-11.2: Labor-Messergebnisse

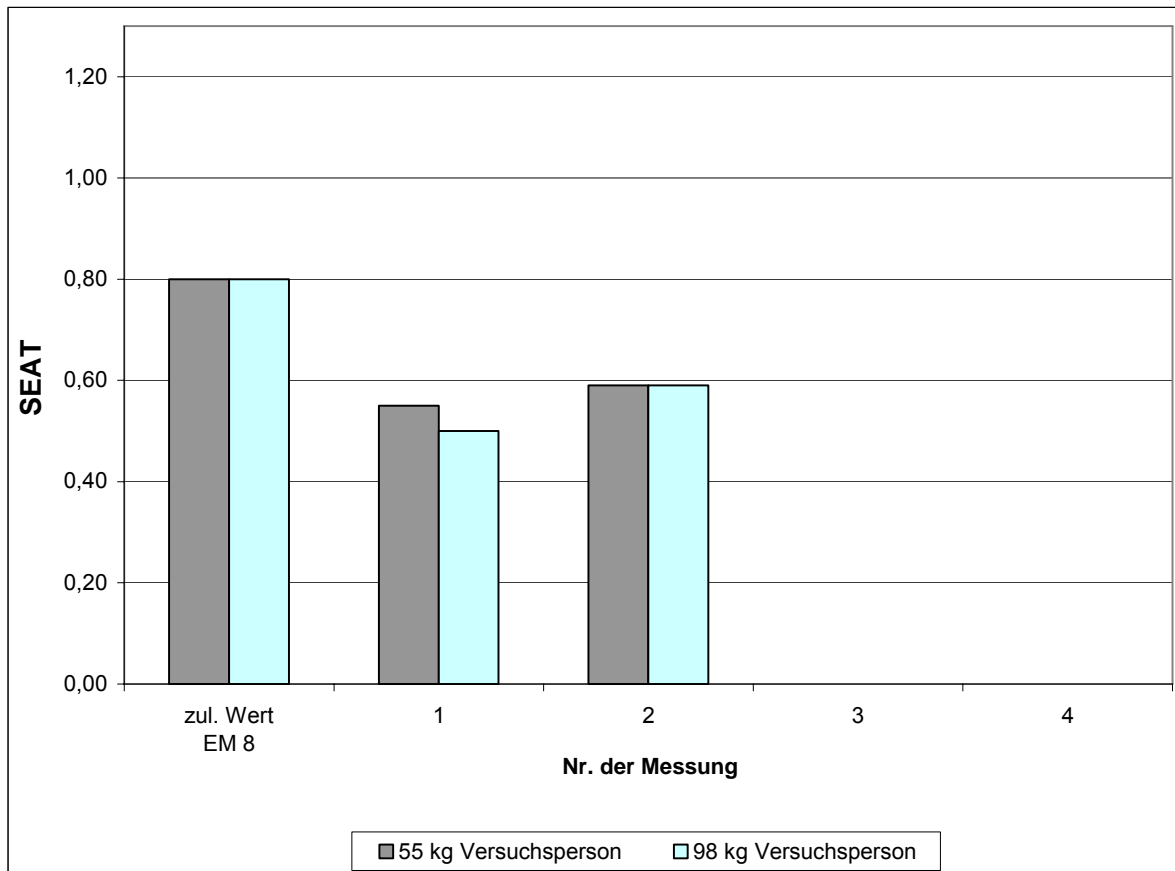


Bild G-11.3: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM8

Versuchssitz G-11		Spektralklasse EM 8 $a_{wp12} = 0,96 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 8	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	1398		
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,8	0,55	0,59		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,53	0,57		
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,8	0,50	0,59		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,48	0,57		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,3		

Tabelle G-11.3: Labor-Messergebnisse

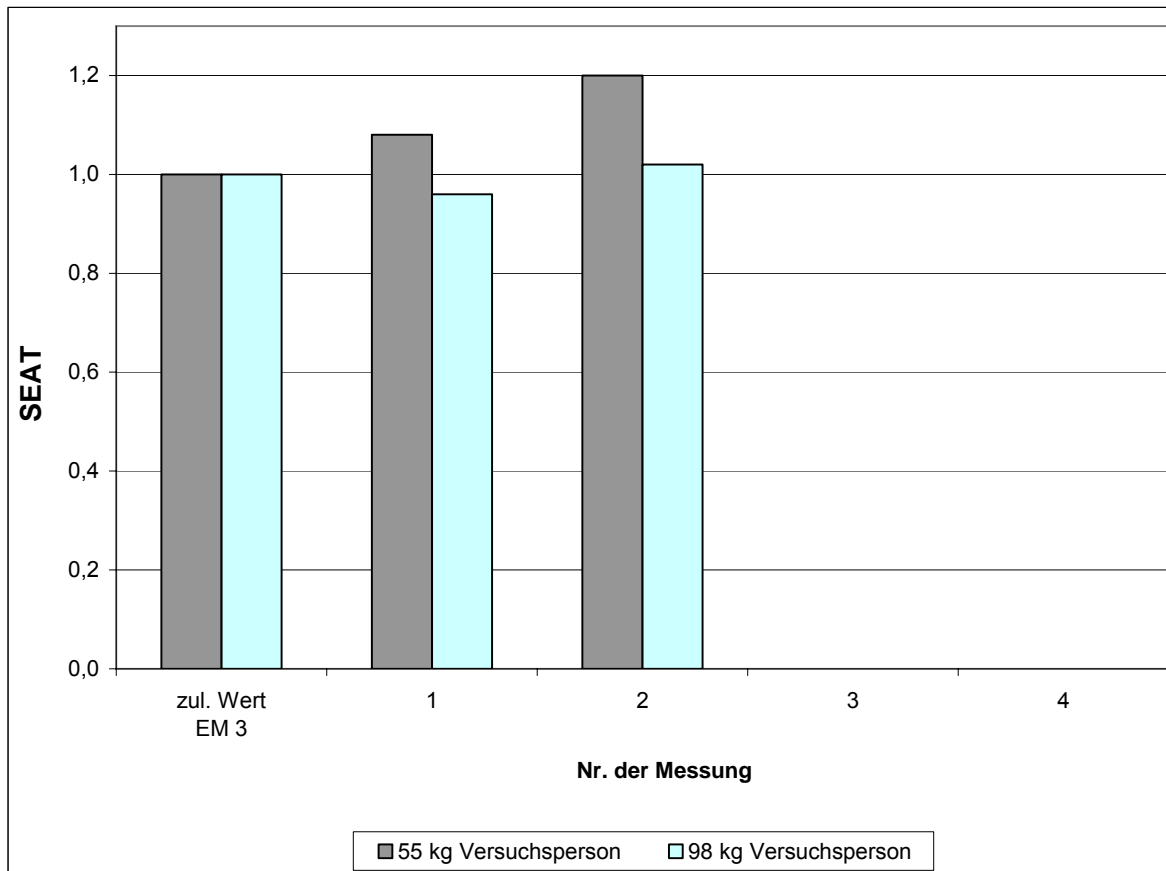


Bild G-12.1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 3

Versuchssitz G-12		Spektralklasse EM 3 $a_{wp12} = 1,13 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 3	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	1471		
55 kg Versuchsperson	SEAT	1	1,08	1,20		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,22	1,37		
98 kg Versuchsperson	SEAT	1	0,96	1,02		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,08	1,15		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,5		

Tabelle G-12.1: Labor-Messergebnisse

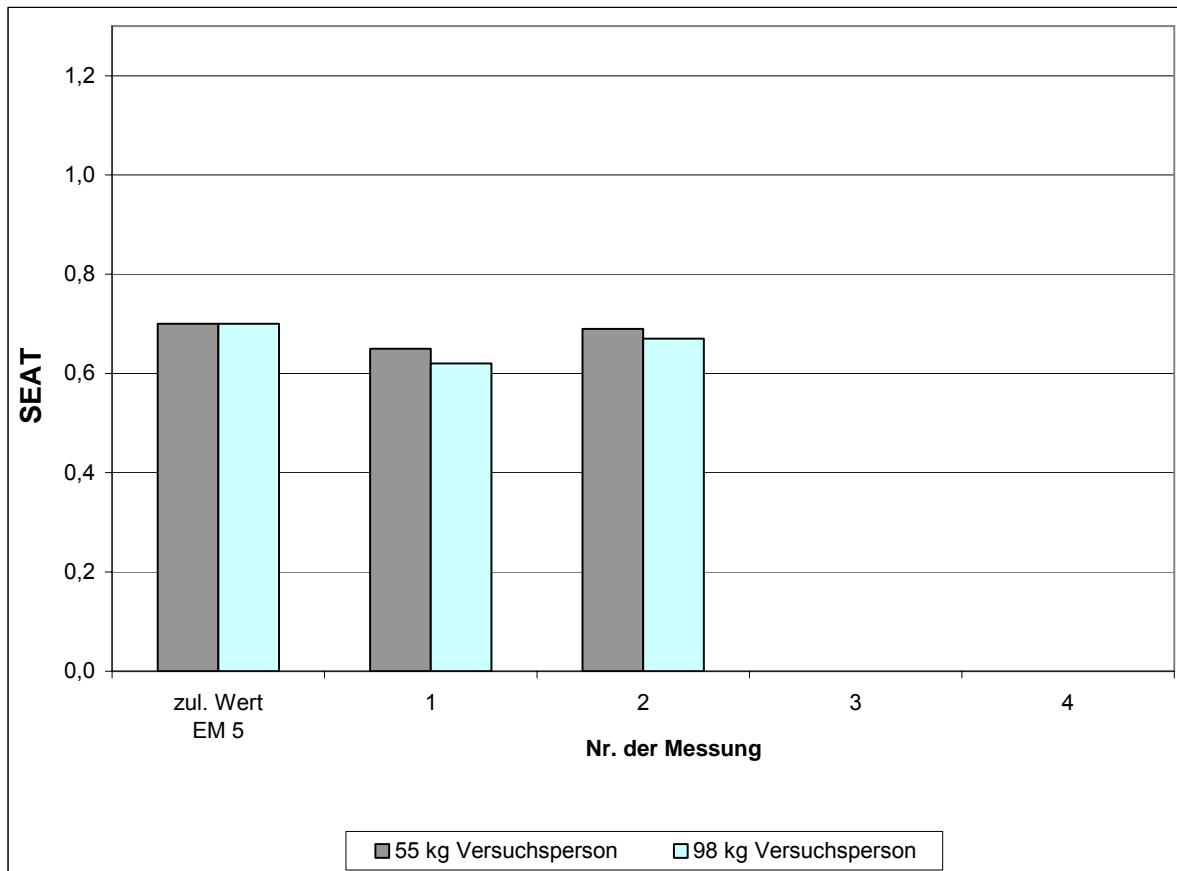


Bild G-12.2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 5

Versuchssitz G-12		Spektralklasse EM 5 $a_{wp12} = 1,68 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 5	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	1053		
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,65	0,69		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,09	1,16		
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,62	0,67		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,04	1,13		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz						

Tabelle G-12.2: Labor-Messergebnisse

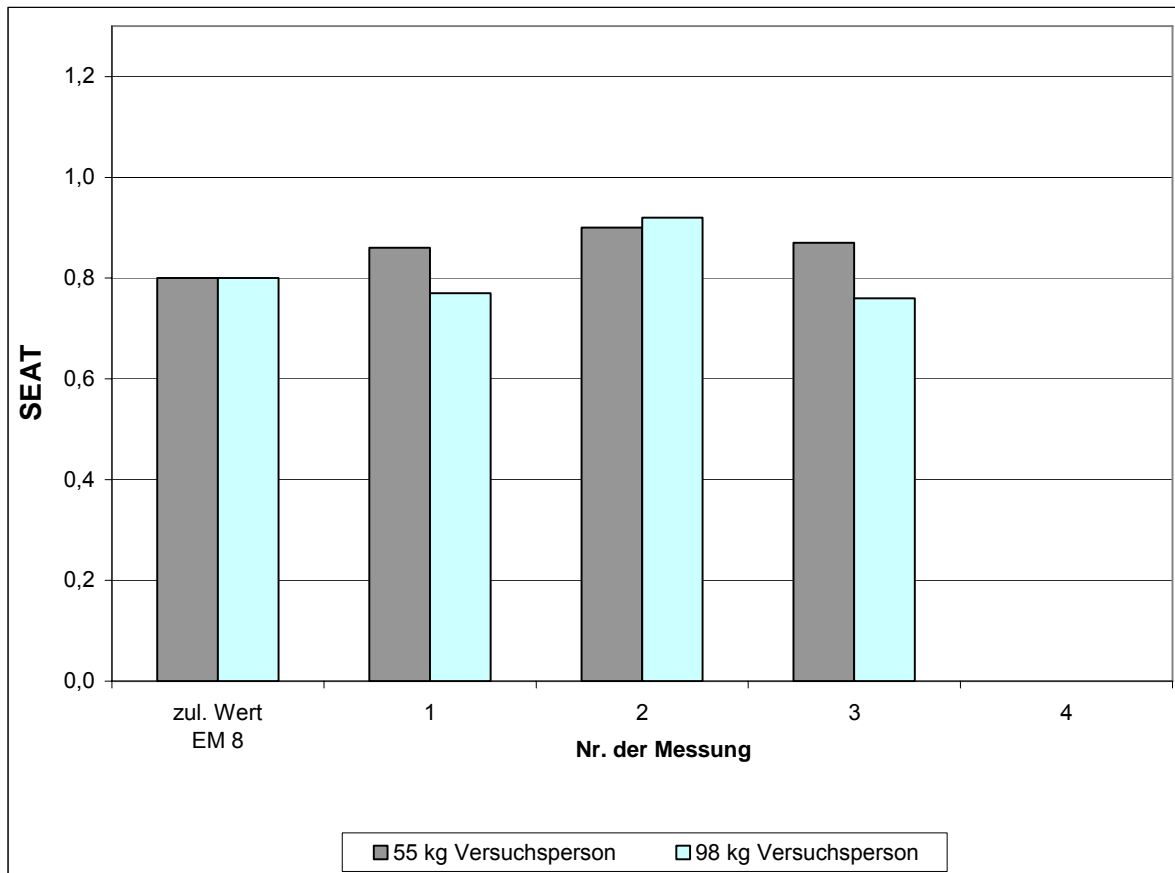


Bild G-12.3: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 8

Versuchssitz G-12		Spektralklasse EM 8 $a_{wp12} = 0,96 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 8	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	1053	1471	
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,8	0,86	0,90	0,87	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,83	0,86	0,84	
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,8	0,77	0,92	0,76	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,74	0,88	0,73	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,5	1,5	

Tabelle G-12.3: Labor-Messergebnisse

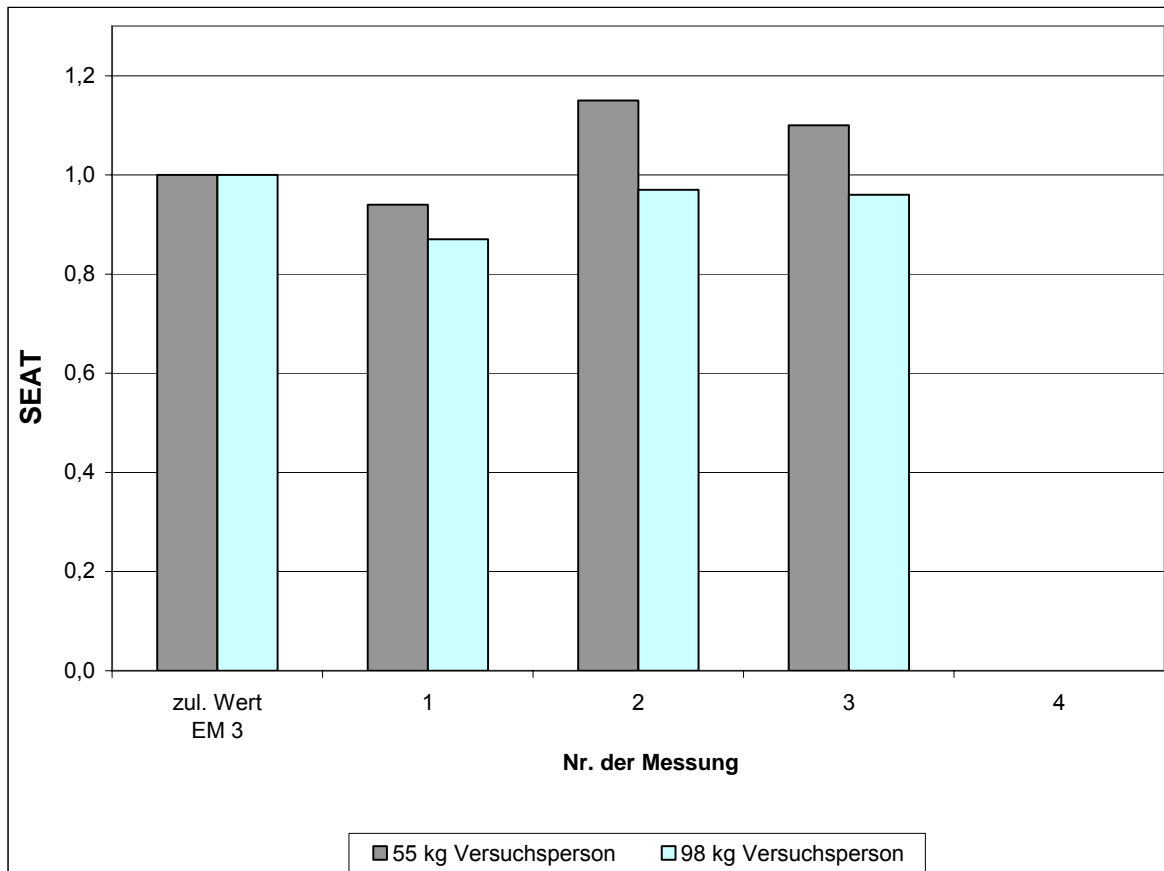


Bild G-13.1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 3

Versuchssitz G-13		Spektralklasse EM 3 $a_{wp12} = 1,13 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 3	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	5589	9255	
55 kg Versuchsperson	SEAT	1	0,94	1,15	1,10	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		1,06	1,3	1,24	
98 kg Versuchsperson	SEAT	1	0,87	0,97	0,96	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,98	1,10	1,08	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,38	1,41	

Tabelle G-13.1: Labor-Messergebnisse

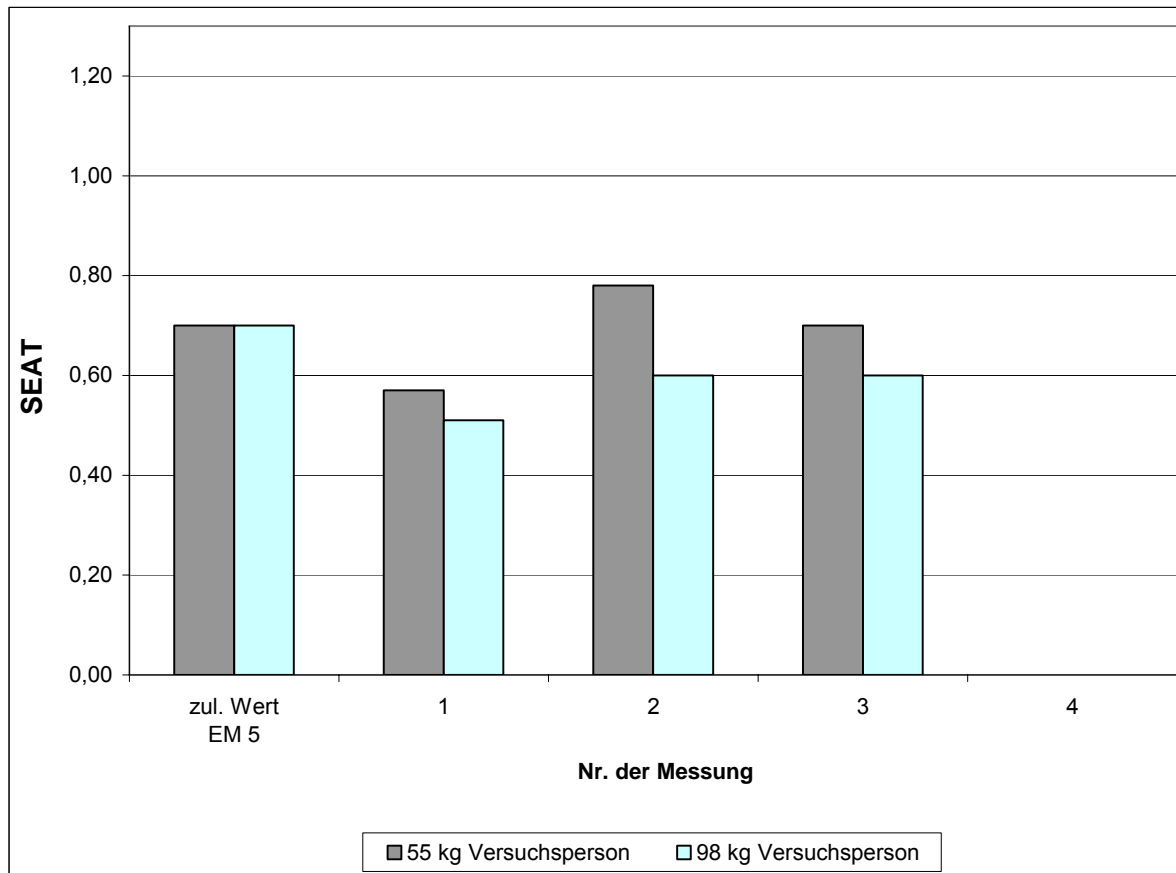


Bild G-13.2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 5

Versuchssitz G-13		Spektralklasse EM 5 $a_{wp12} = 1,68 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 5	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	5589	9255	
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,57	0,78	0,70	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,96	1,31	1,18	
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,51	0,60	0,60	
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,86	1,01	1,01	
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz				1,38	1,41	

Tabelle G-13.2: Labor-Messergebnisse

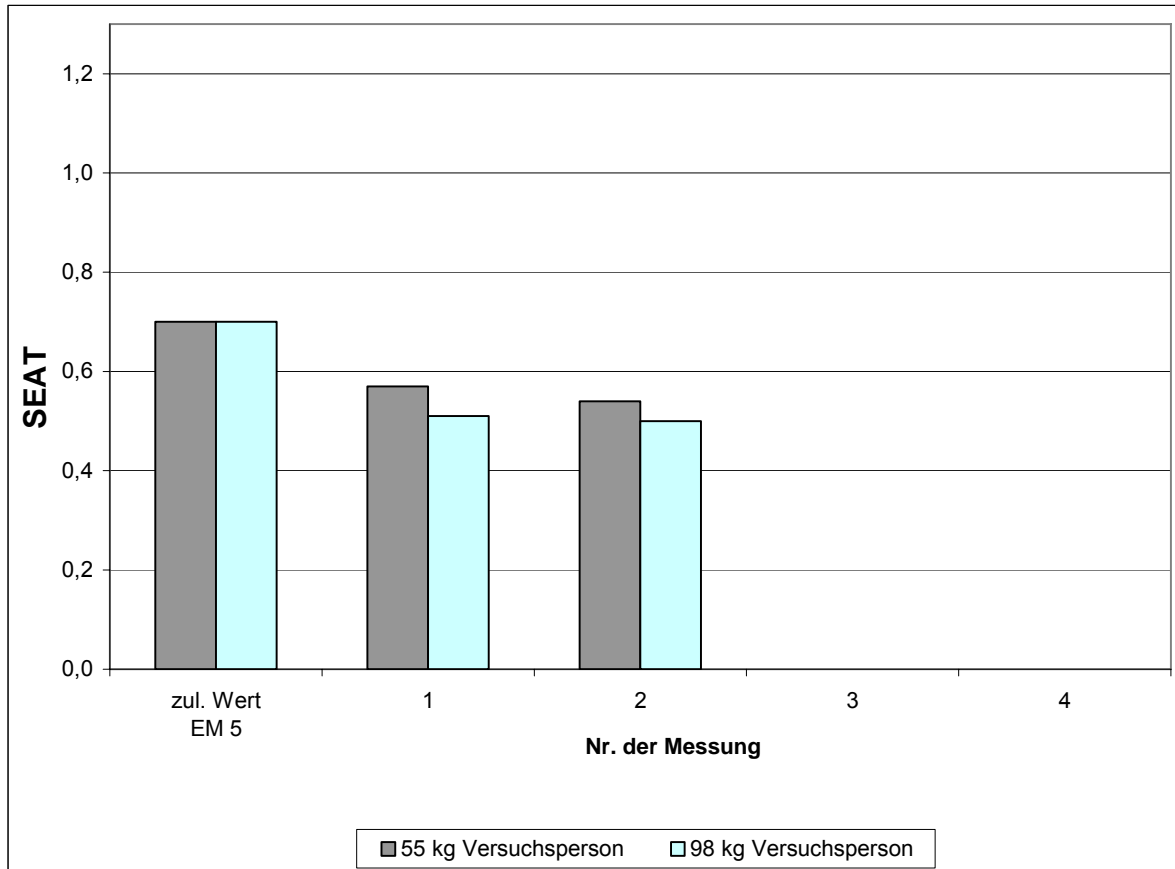


Bild G-14.1: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 5

Versuchssitz G-14		Spektralklasse EM 5 $a_{wp12} = 1,68 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 5	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	2283		
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,57	0,54		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,96	0,91		
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,51	0,5		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,86	0,84		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz						

Tabelle G-14.1: Labor-Messergebnisse

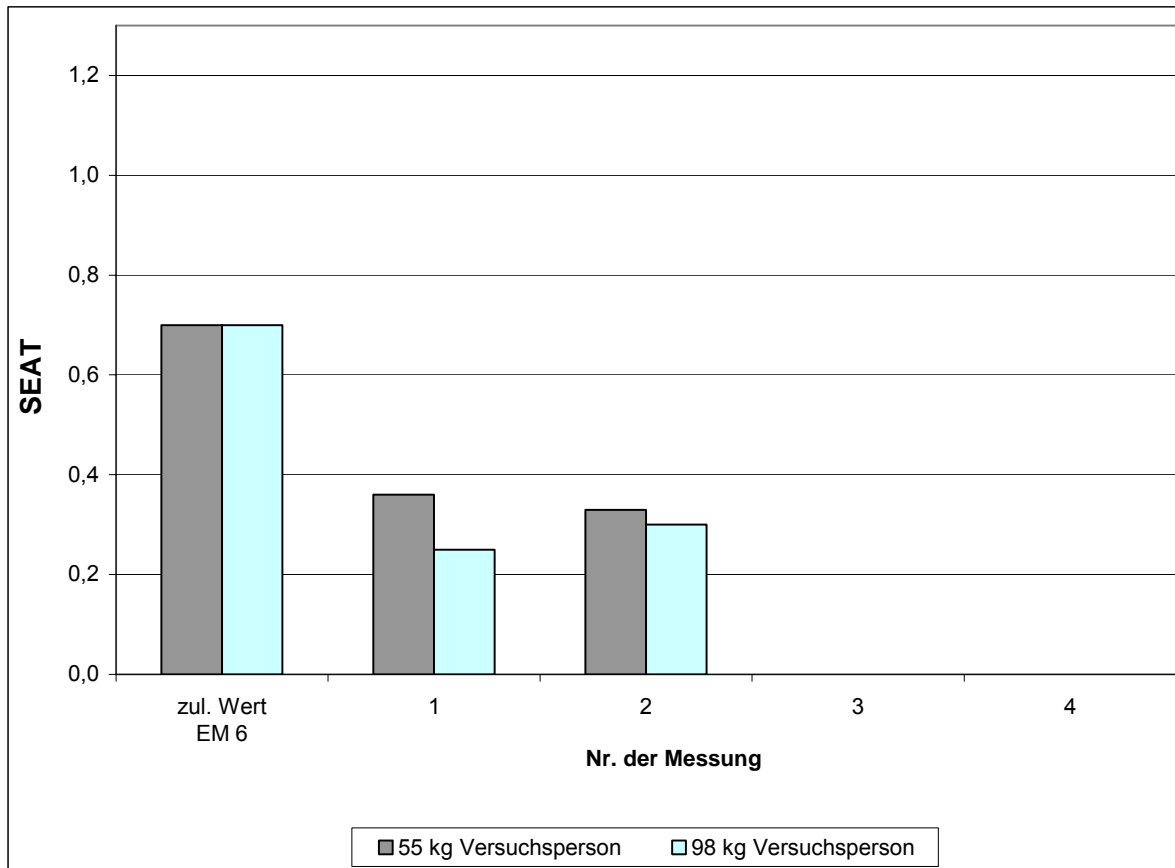


Bild G-14.2: Labormessung nach ISO 7096:2000 Spektralklasse EM 6

Versuchssitz G-14		Spektralklasse EM 6 $a_{wp12} = 1,61 \text{ m/s}^2$				
Nr. der Messung		zul. Wert EM 6	1	2	3	4
Betriebsstunden Versuchssitz			0	2283		
55 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,36	0,33		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,58	0,53		
98 kg Versuchsperson	SEAT	0,7	0,25	0,30		
	$a_{ws12} [\text{m/s}^2]$		0,40	0,48		
Schwingungsübertragung $H(f_r)$ bei Resonanz						

Tabelle G-14.2: Labor-Messergebnisse

Anlage 3

Ergebnisse der Feldmessungen der Tiefbau-Berufsgenossenschaft

Versuchssitz: I 1

Sitztyp: 6500/515
Maschine: Radlader WA 500, Fa. Komatsu (m=26,6 t, P=217 kW)
Spektralklasse: EM 3 (Radlader > 4500 kg Betriebsgewicht)
Einsatzort: Steinbruch



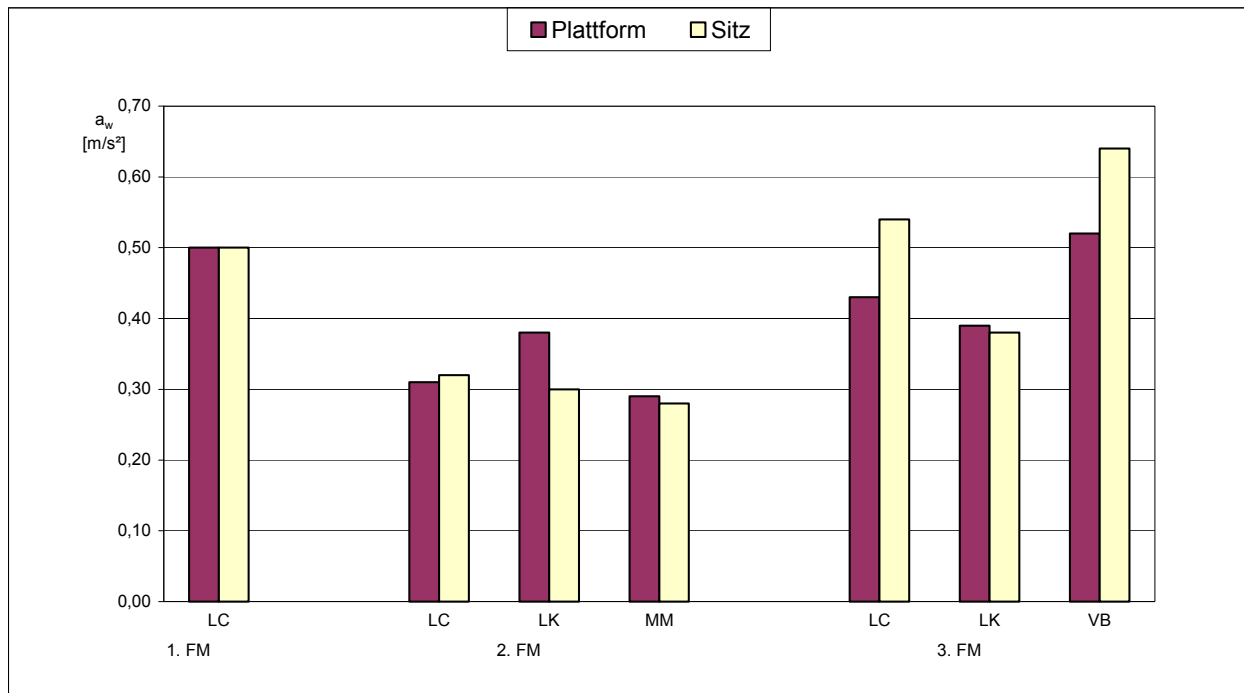


Bild I1.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz I1

Betriebzustände: LC Load & carry
 LK LKW beladen
 MM Material mischen
 VB V-Betrieb

Versuchssitz I1	Feldmessungen (FM)						
	1. FM	2. FM			3. FM		
Nr. der Messung							
Messdatum	12.02.1997	22.10.1997			27.05.1998		
Betriebsstunden des Sitzes [h]	1888	4060			5599		
Fahrername	Schröder	Schröder			Schröder		
Fahrgewicht [kg]	75	75			75		
Betriebzustand	LC	LC	LK	MM	LC	LK	VB
a_{WP} [m/s^2]	0,50	0,31	0,38	0,29	0,43	0,39	0,52
a_{WS} [m/s^2]	0,50	0,32	0,30	0,28	0,54	0,38	0,64
SEAT*	0,98	1,03	0,80	0,96	1,26	0,97	1,23
a_{WP12} [m/s^2]	0,47	0,27	0,33	0,26	0,39	0,37	0,49

Tabelle I1: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz I1

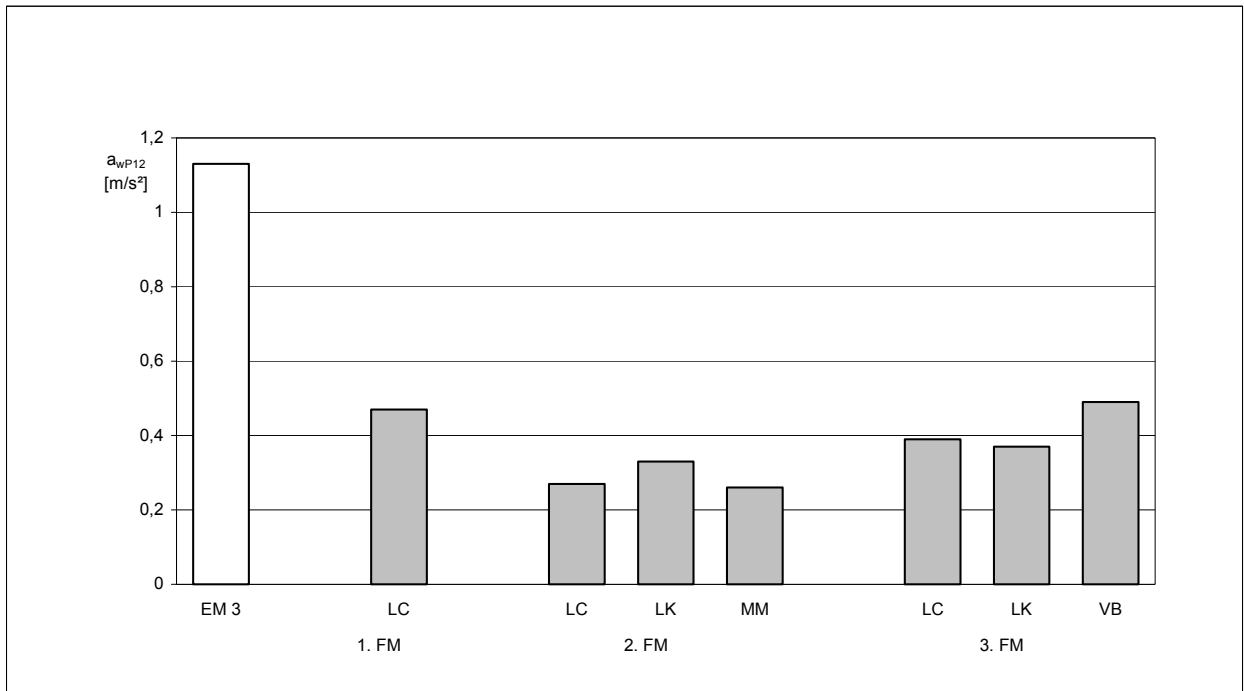


Bild I1.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz I1

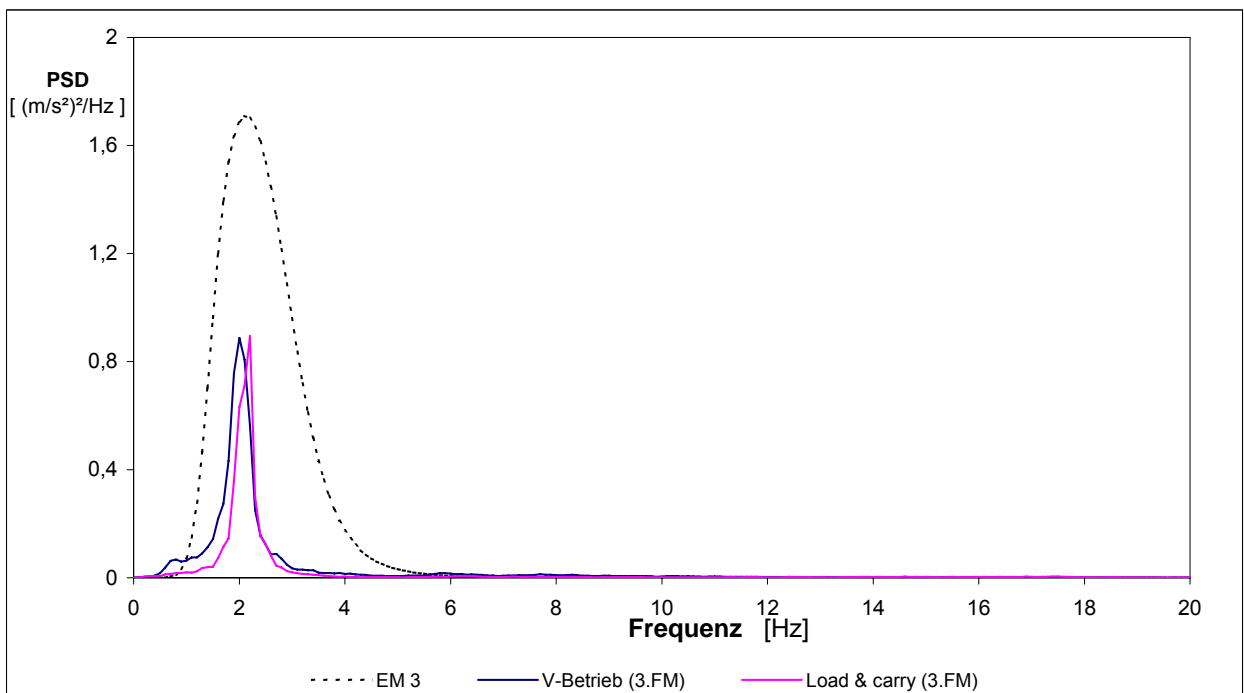


Bild I1.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 3. Feldmessung / Versuchssitz I1

Versuchssitz: I 2

Sitztyp: 6500/575
Spektralklasse: EM 1 (Muldenfahrzeug > 4500 kg Betriebsgewicht)
Einsatzort: Steinbruch

Versuchsträger: I2
Maschine: Dumper HD 465, Fa. Komatsu (m=41 t, P=551 kW)



Versuchsträger: I2a
Maschine: Dumper HD 465, Fa. Komatsu (m=41 t, P=551 kW)



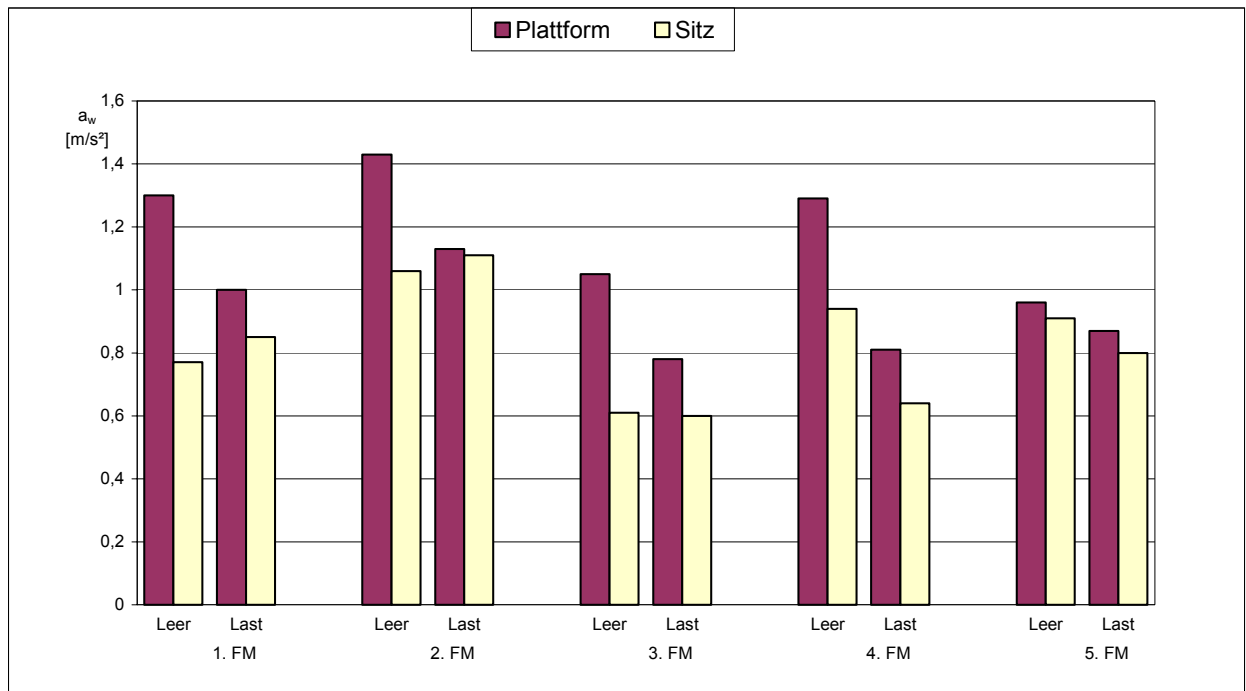


Bild I2.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz I2

Betriebzustände: Leer Leerfahrt
Last Lastfahrt

Versuchssitz I2	Feldmessungen (FM)									
	1. FM		2. FM		3. FM		4. FM		5. FM	
Nr. der Messung	1. FM		2. FM		3. FM		4. FM		5. FM	
Versuchsträger	I2					I2a				
Maschine	Dumper HD 465					Dumper HD 465				
Messdatum	12.02.1997		22.10.1997		27.05.1998		26.05.1999		23.02.2000	
Betriebsstunden des Sitzes [h]	92		1746		2956		4345		6088	
Fahrername	Malcolm		Malcolm		Büker		Büker		Büker	
Fahrgewicht [kg]	85		85		94		94		94	
Betriebszustand	Leer	Last	Leer	Last	Leer	Last	Leer	Last	Leer	Last
a_{WP} [m/s ²]	1,30	1,00	1,43	1,13	1,05	0,78	1,29	0,81	0,96	0,87
a_{WS} [m/s ²]	0,77	0,85	1,06	1,11	0,61	0,60	0,94	0,64	0,91	0,80
SEAT*	0,59	0,85	0,74	0,98	0,59	0,76	0,73	0,79	0,95	0,92
a_{WP12} [m/s ²]	1,12	0,86	1,25	0,99	0,91	0,63	1,11	0,66	0,82	0,72

Tabelle I2: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz I2

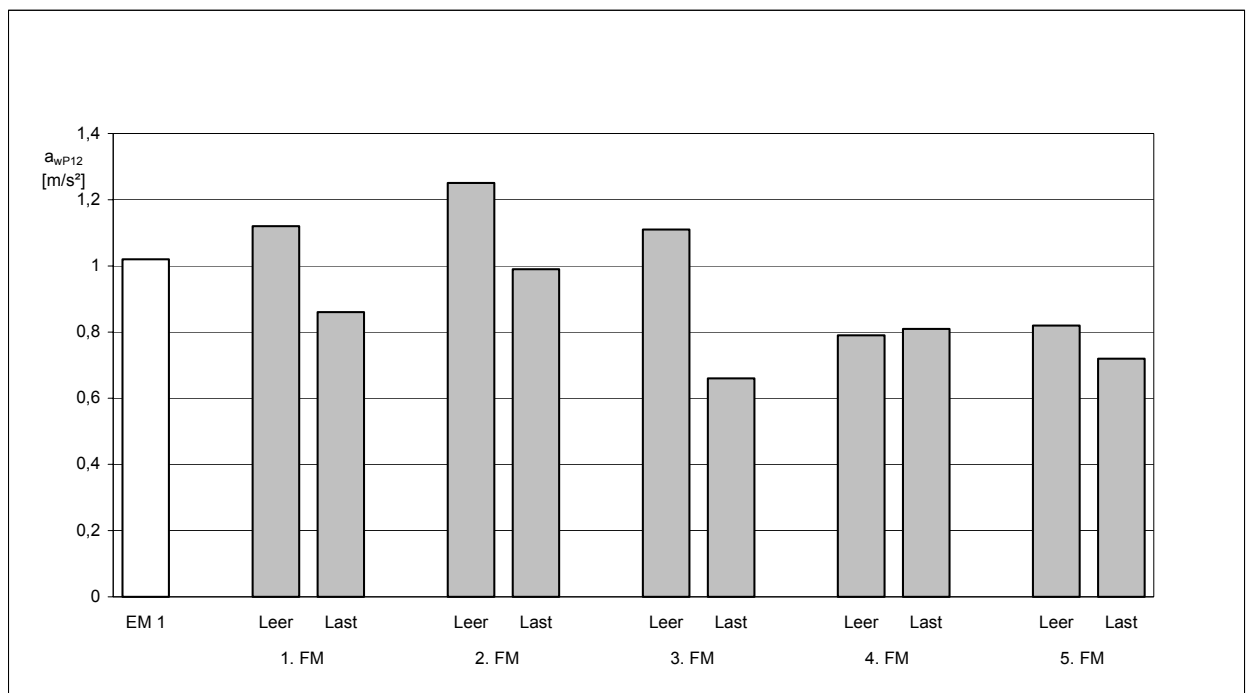


Bild I2.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 1 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz I2

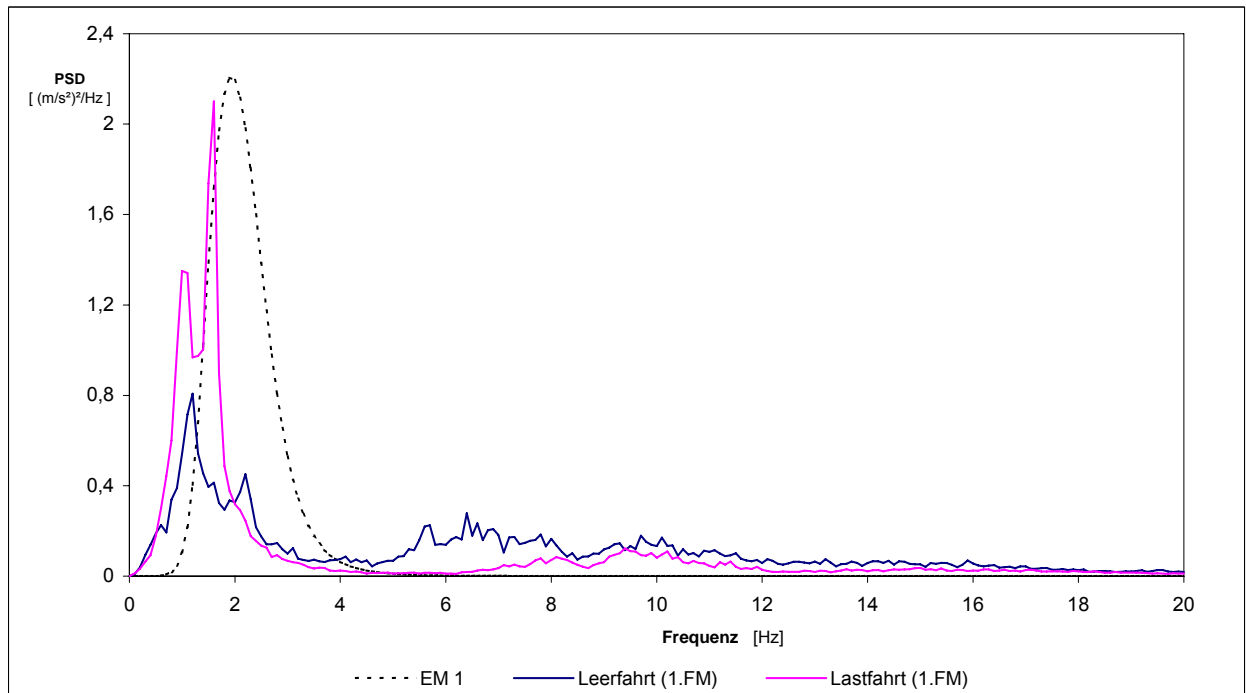


Bild I2.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 1 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 1. Feldmessung / Versuchssitz I2 / Versuchsträger I2

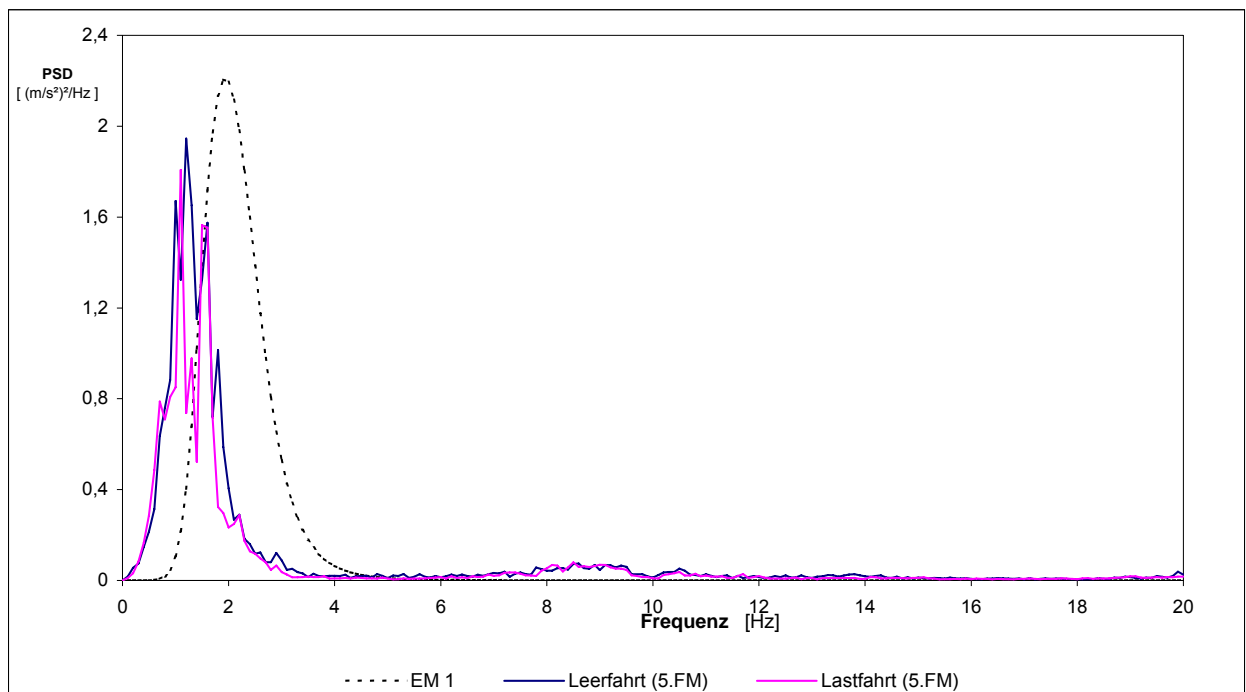


Bild I2.4: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 1 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 5. Feldmessung / Versuchssitz I2 / Versuchsträger I2a

Versuchssitz: I 3

Sitztyp: 6000/575

Spektralklasse: EM 3 (Radlader > 4500 kg Betriebsgewicht)

Einsatzort: Steinbruch

Versuchsträger: I3

Maschine: Radlader 50 E, Fa. Hanomag (m=13,25 t, P=110 kW)



Versuchsträger: I3a

Maschine: Radlader 77 D, Fa. Hanomag (m=23,5 t, P=193 kW)



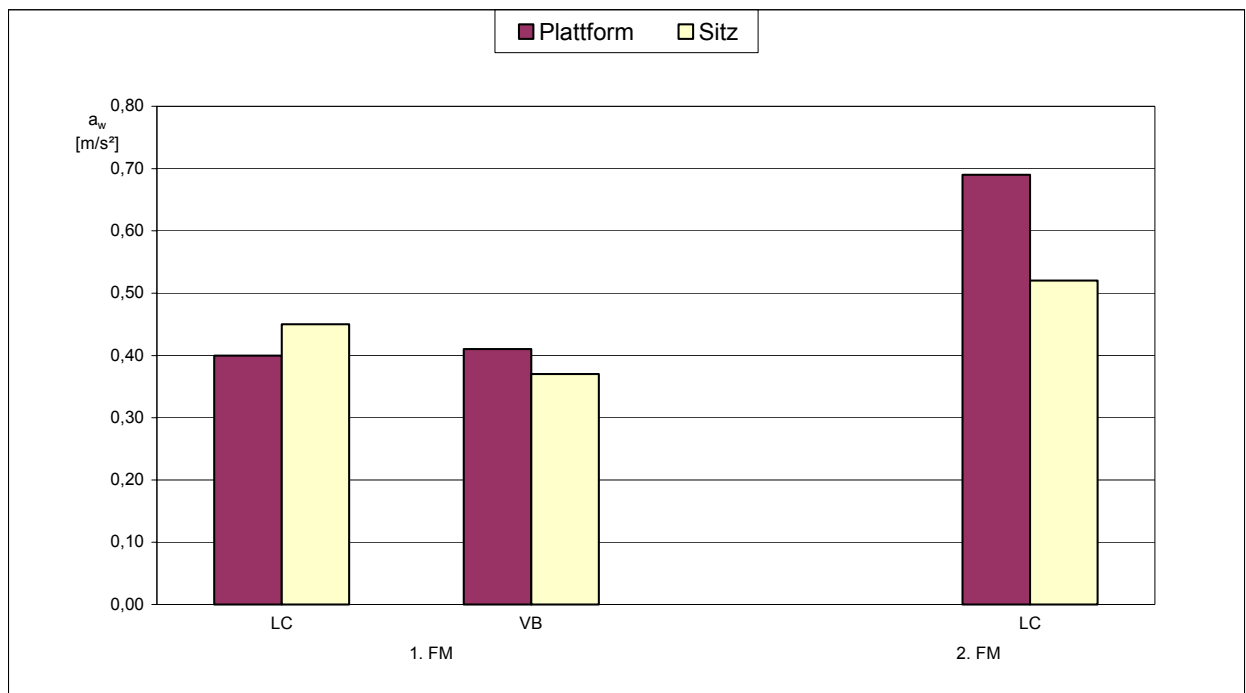


Bild I3.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz I3

Betriebzustände: LC Load & carry
 VB V-Betrieb

Versuchssitz I3	Feldmessungen (FM)		
	1. FM		2. FM
Nr. der Messung	I3		I3a
Versuchsträger	I3		I3a
Maschine	Radlader 50 E		Radlader 77 D
Messdatum	19.02.1997		08.10.1998
Betriebsstunden des Sitzes [h]	9		495
Fahrername	Schäfer		Riegel
Fahrgewicht [kg]	70		105
Betriebszustand	LC	VB	LC
a_{WP} [m/s ²]	0,40	0,41	0,69
a_{WS} [m/s ²]	0,45	0,37	0,52
SEAT*	1,14	0,91	0,75
a_{WP12} [m/s ²]	0,38	0,40	0,65

Tabelle I3: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz I3

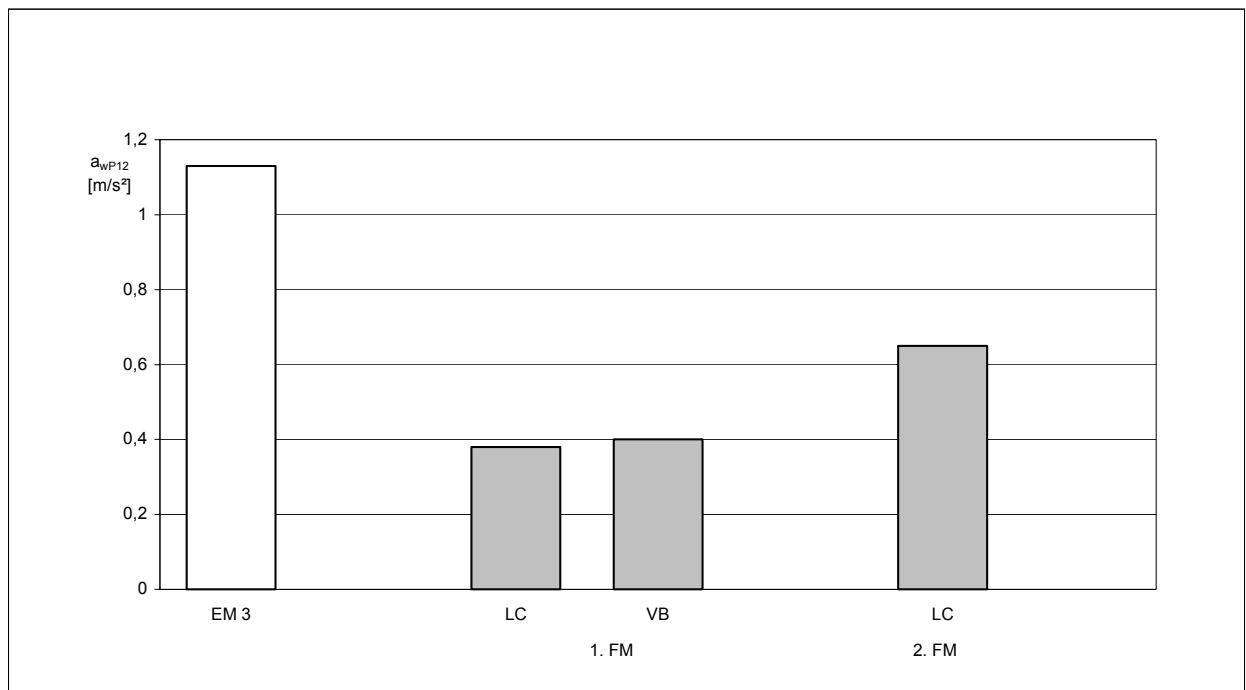


Bild I3.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz I3

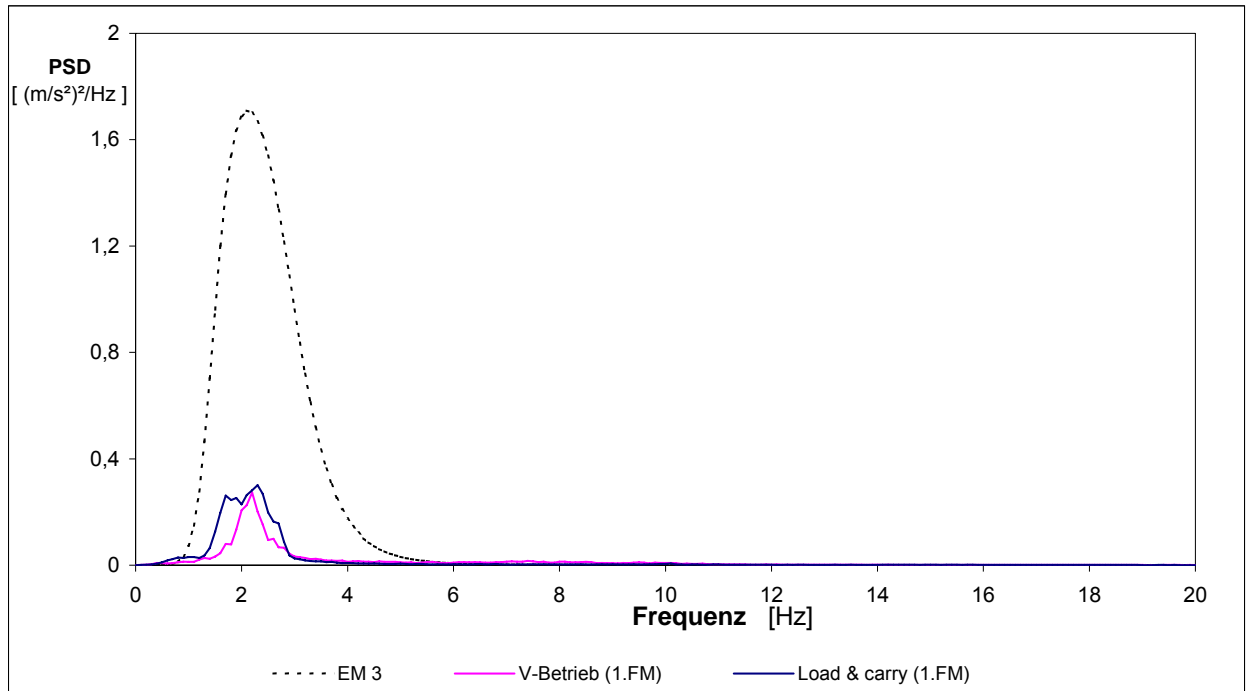


Bild I3.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 1. Feldmessung / Versuchssitz I3 / Versuchsträger I3

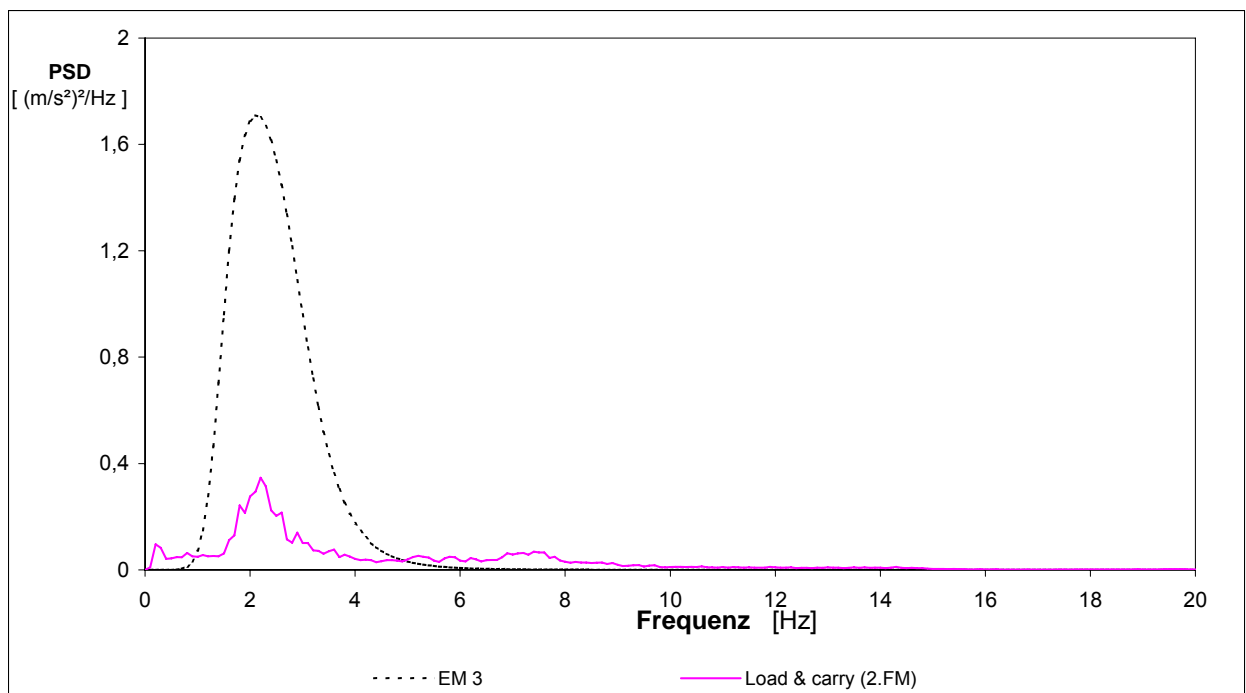


Bild I3.4: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 2. Feldmessung / Versuchssitz I3 / Versuchsträger I3a

Versuchssitz: I 4

Sitztyp: 6000/516
Maschine: Kompakt-Radlader 312 SL, Fa. Kramer (m=4,23 t, P=40 kW)
Spektralklasse: EM 8 (Kompakt-Radlader \leq 4500 kg Betriebsgewicht)
Einsatzort: Kiesgrube



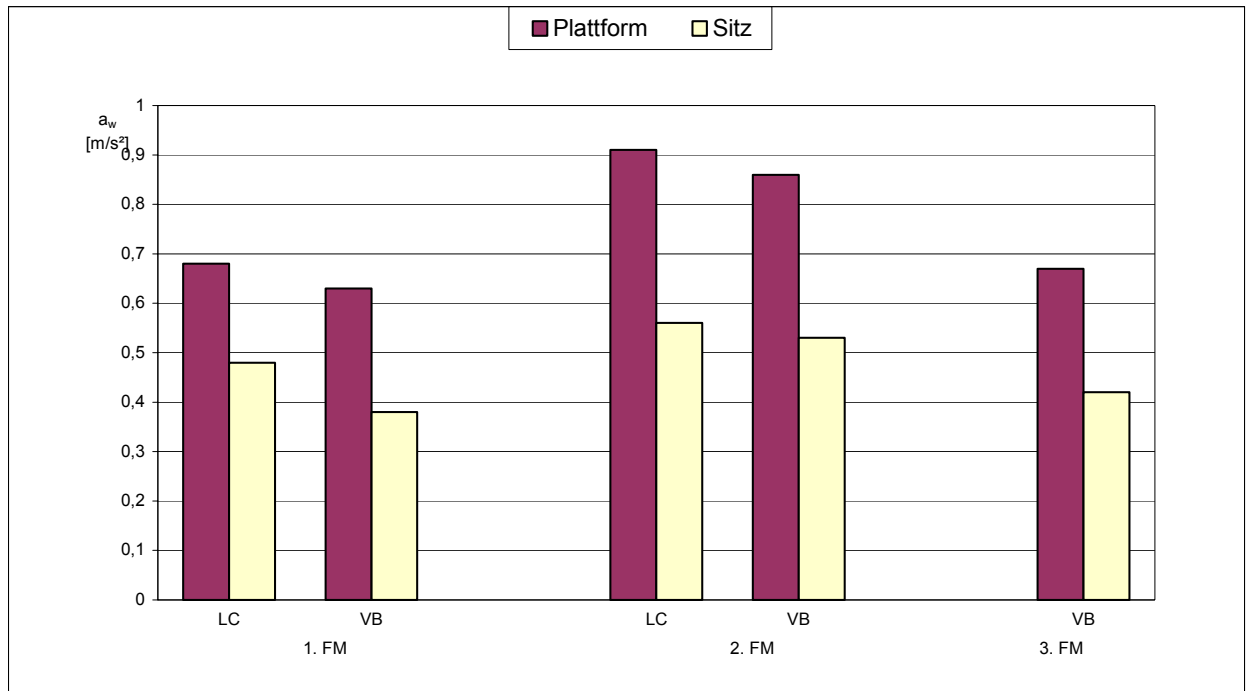


Bild I4.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz I4

Betriebszustände: LC Load & carry
VB V-Betrieb

Versuchssitz I4	Feldmessungen (FM)				
	1. FM		2. FM		3. FM
Nr. der Messung	19.02.1997		31.05.1999		26.10.2000
Messdatum	3		855		1356
Betriebsstunden des Sitzes [h]	Schäfer		Schäfer		Schäfer
Fahrername	70		88		87
Fahrgewicht [kg]	LC	VB	LC	VB	VB
Betriebszustand	0,68	0,63	0,91	0,86	0,67
a_{WP} [m/s^2]	0,48	0,38	0,56	0,53	0,42
a_{WS} [m/s^2]	0,72	0,60	0,62	0,62	0,63
SEAT*	0,66	0,60	0,89	0,84	0,65
a_{WP12} [m/s^2]					

Tabelle I4: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz I4

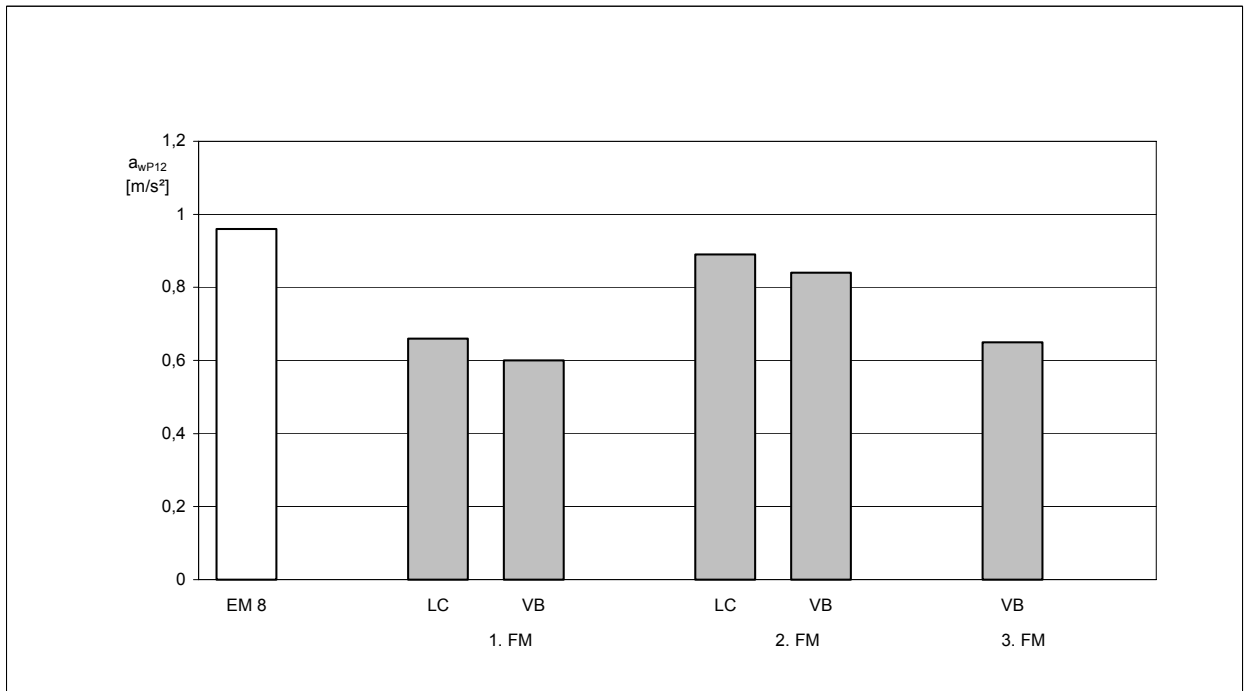


Bild I4.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 8 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz I4

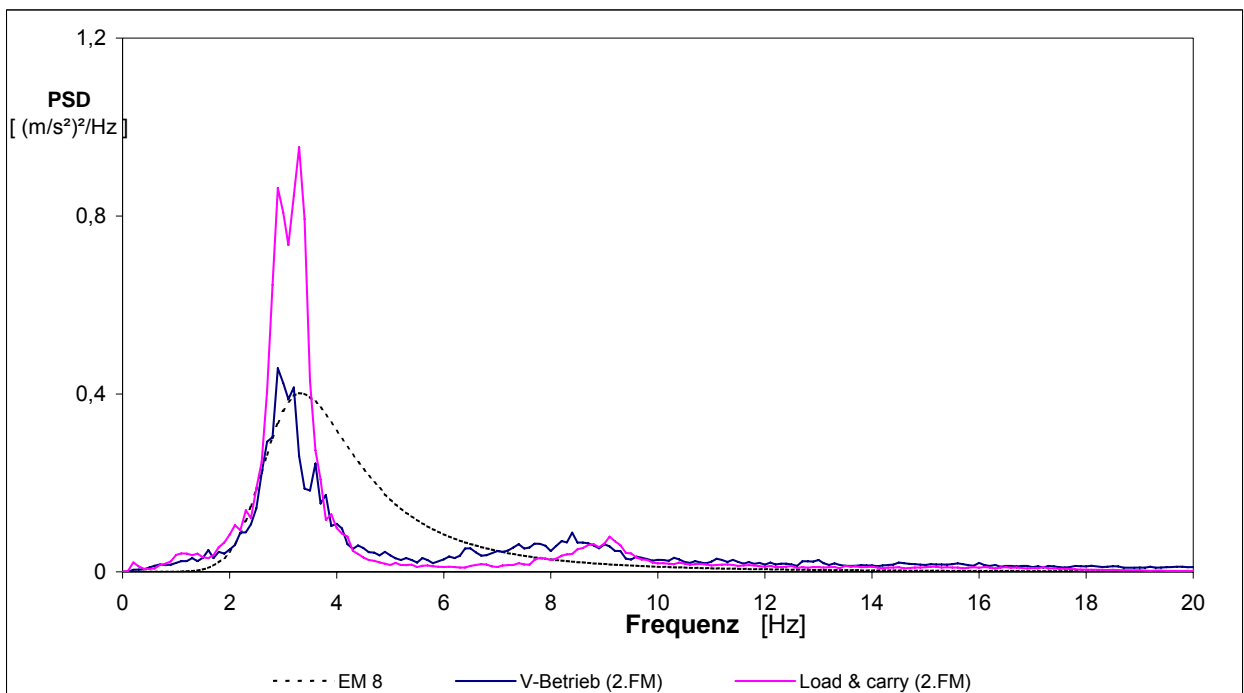


Bild I4.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 8 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 2. Feldmessung / Versuchssitz I4

Versuchssitz: I 5

Sitztyp: 6500/575
Maschine: Radlader 77 D, Fa. Hanomag (m=23,5 t, P=193 kW)
Spektralklasse: EM 3 (Radlader > 4500 kg Betriebsgewicht)
Einsatzort: Steinbruch



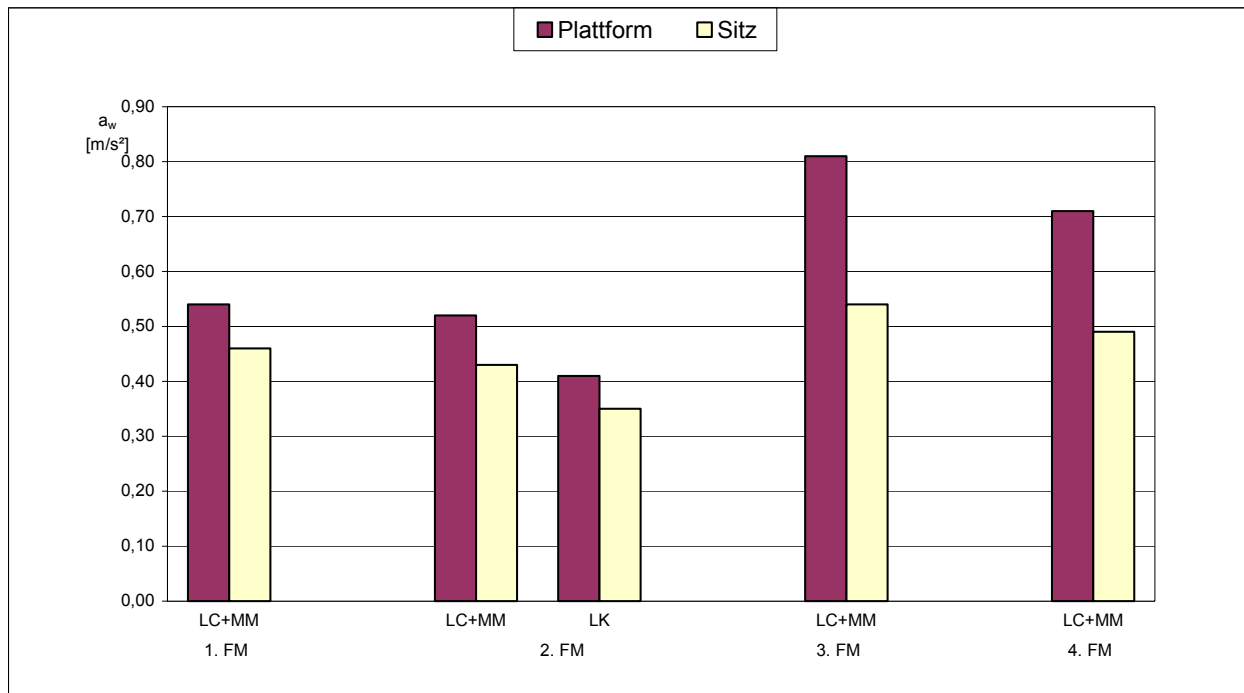


Bild I5.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz I5

Betriebzustände: LC+MM Load & carry, Material mischen
 LK LKW beladen

Versuchssitz I5	Feldmessungen (FM)				
	1. FM	2. FM	3. FM	4. FM	
Nr. der Messung	1. FM	2. FM	3. FM	4. FM	
Messdatum	19.02.1997	28.05.1998	26.10.1999	26.10.2000	
Betriebsstunden des Sitzes [h]	21	1102	2249	2935	
Fahrername	Pape	Schiewe	Rieger	Rieger	
Fahrgewicht [kg]	107	80	105	105	
Betriebszustand	LC+MM	LC+MM	LK	LC+MM	LC+MM
a_{wP} [m/s²]	0,54	0,52	0,41	0,81	0,71
a_{wS} [m/s²]	0,46	0,43	0,35	0,54	0,49
SEAT*	0,85	0,82	0,86	0,67	0,70
a_{wP12} [m/s²]	0,51	0,49	0,40	0,77	0,67

Tabelle I5: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz I5

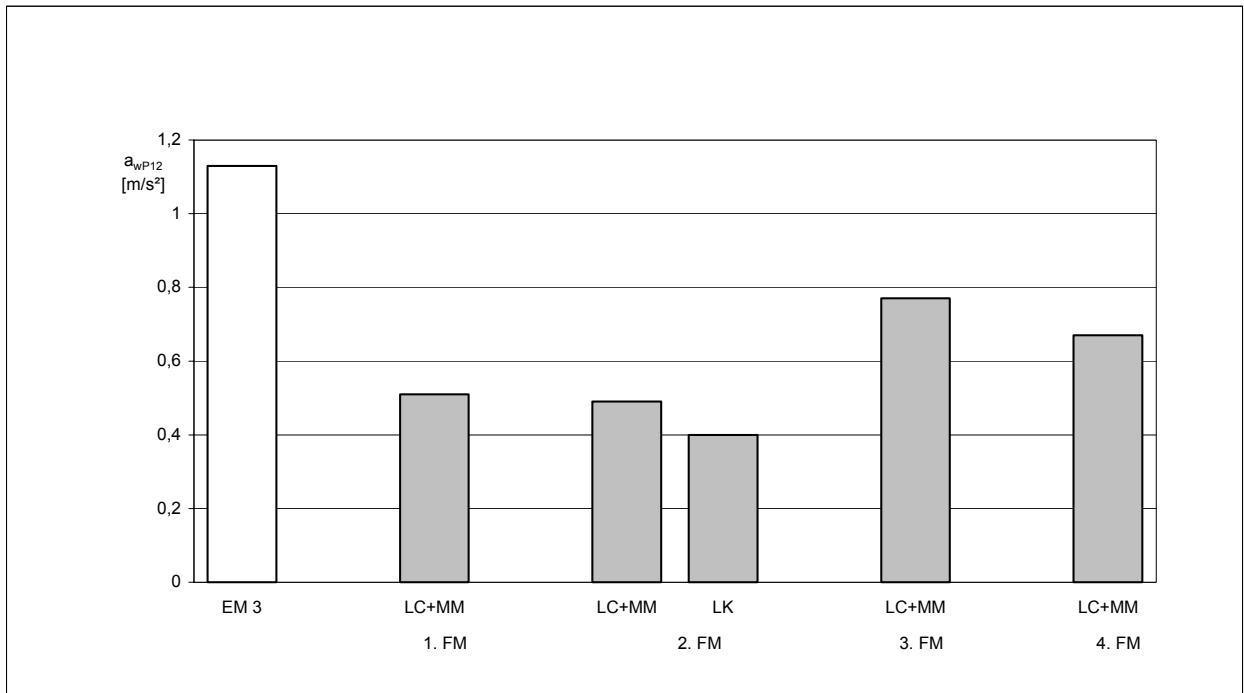


Bild I5.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz I5

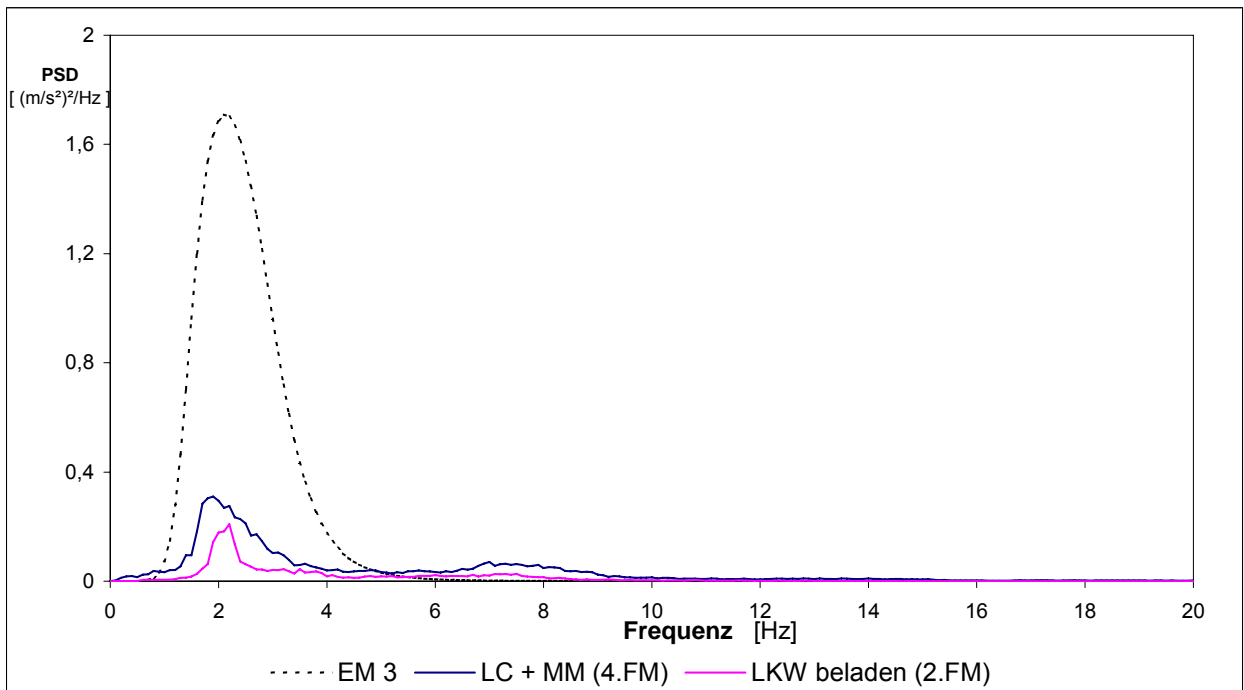


Bild I5.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 2. und 4. Feldmessung / Versuchssitz I5

Versuchssitz: I 6

Sitztyp: 6000/575
Spektralklasse: EM 6 (Planiertrauben)
Einsatzort: Erddeponie

Versuchsträger: I6
Maschine: Planiertraube D 600 DS, Fa. Hanomag (m=14 t, P=112 kW)



Versuchsträger: I6a
Maschine: Planiertraube D6R LGP, Fa. Caterpillar (m=25,5 t, P=138 kW)



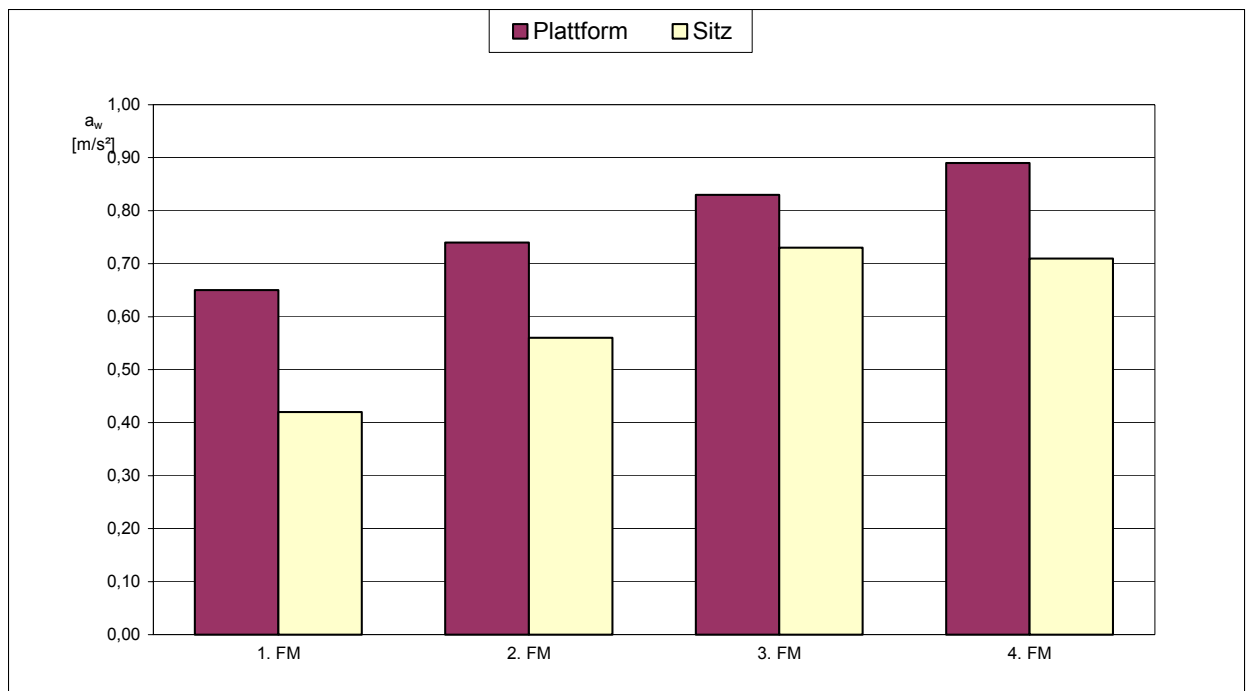


Bild I6.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz I6

Versuchssitz I6	Feldmessungen (FM)			
	1. FM	2. FM	3. FM	4. FM
Nr. der Messung	1. FM	2. FM	3. FM	4. FM
Versuchsträger	I6		I6a	
Maschine	Planierraupe D 600 DS		Planierraupe D6R LGP	
Messdatum	23.10.1997	07.10.1998	26.10.1999	30.10.2000
Betriebsstunden des Sitzes [h]	643	1681	2975	4105
Fahrername	Schulz	Schulz	Wulf	Wulf
Fahrgewicht [kg]	88	88	100	110
Betriebszustand	Schieben von Bodenaushub			
a_{WP} [m/s ²]	0,65	0,74	0,83	0,89
a_{WS} [m/s ²]	0,42	0,56	0,73	0,71
SEAT*	0,66	0,76	0,88	0,80
a_{WP12} [m/s ²]	0,55	0,63	0,80	0,84

Tabelle I6: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz I6

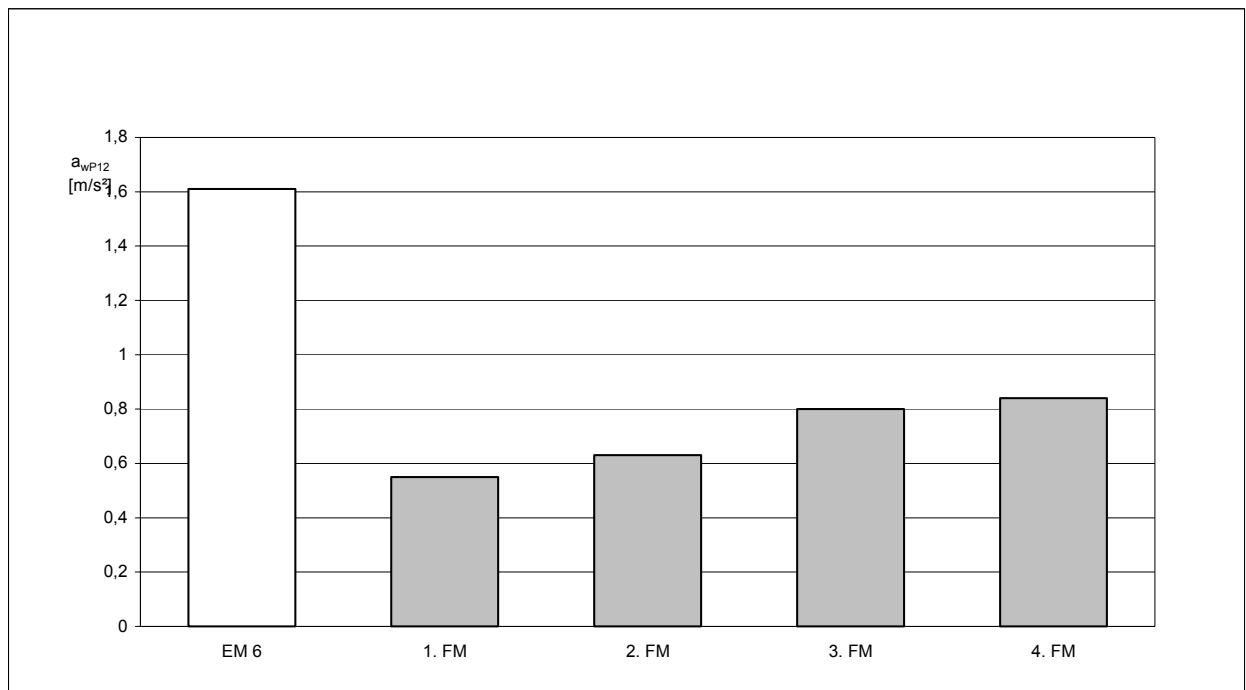


Bild I6.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 6 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz I6

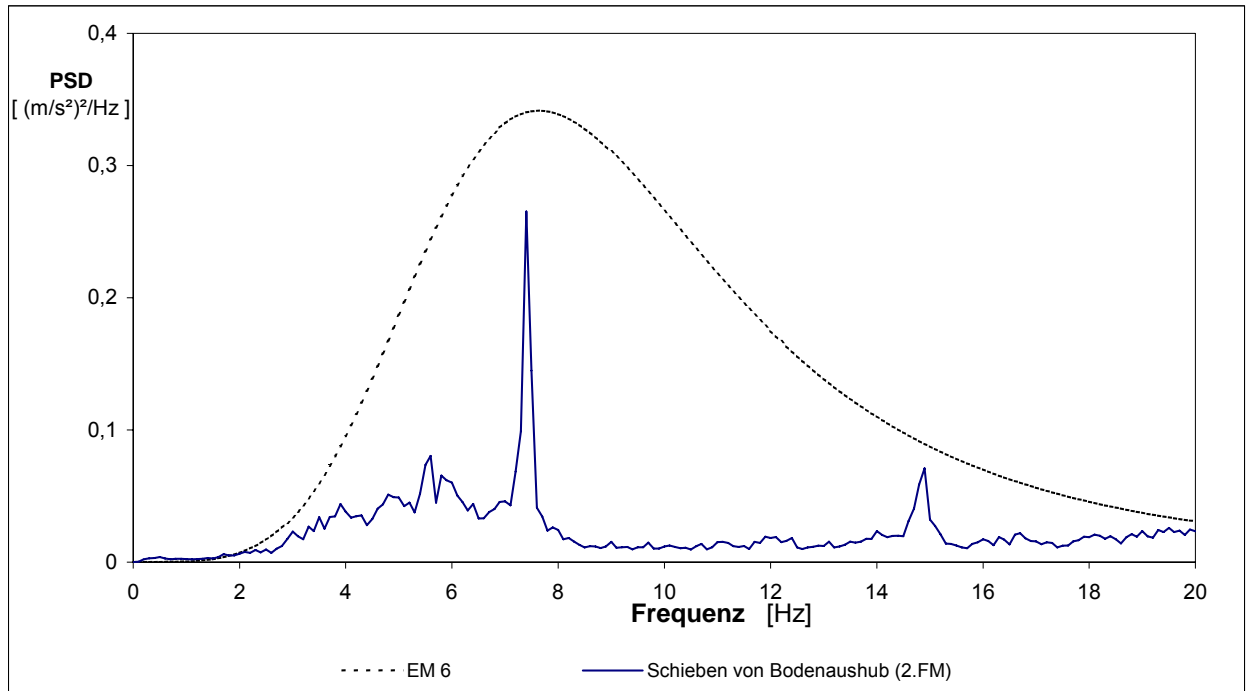


Bild I6.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 6 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 2. Feldmessung / Versuchssitz I6 / Versuchsträger I6

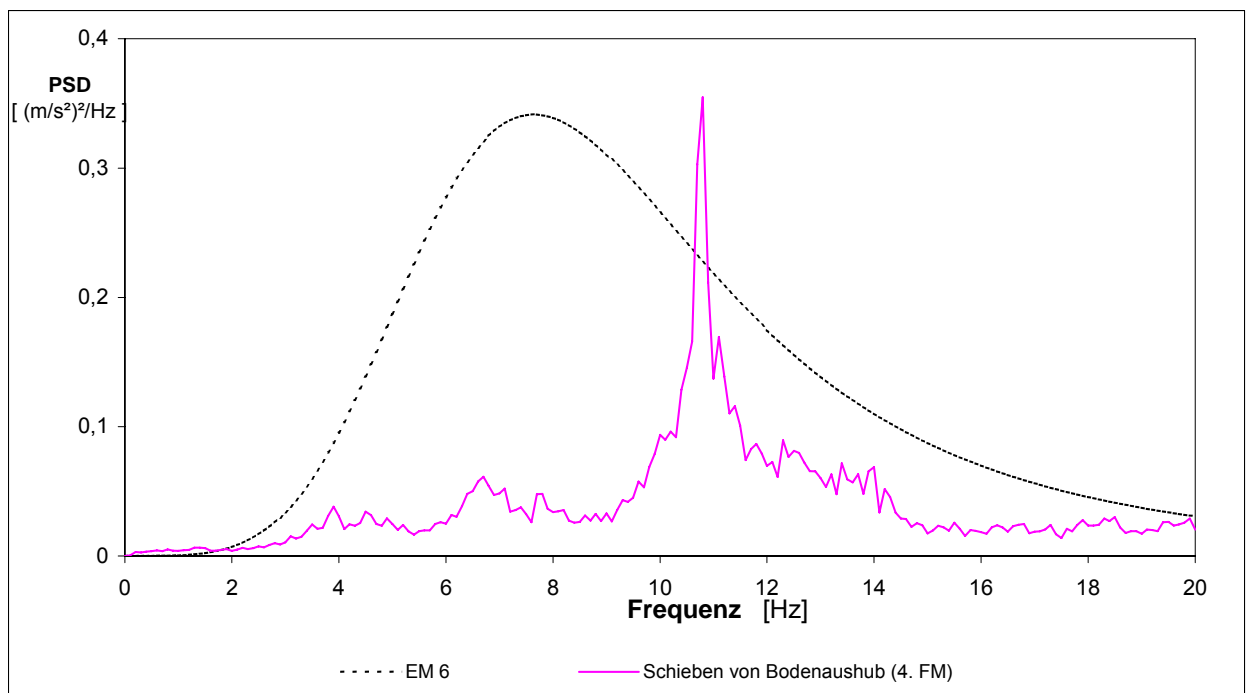


Bild I6.4: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 6 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 4. Feldmessung / Versuchssitz I6 / Versuchsträger I6a

Versuchssitz: I 7

Sitztyp: 6500KM/575

Spektralklasse: EM 1 (Muldenfahrzeug > 4500 kg Betriebsgewicht)

Einsatzort: Erddeponie

Versuchsträger: I7

Maschine: Dumper A 25C, Fa. Volvo (m=18 t, P=190 kW)



Versuchsträger: I7a

Maschine: Dumper A 25C, Fa. Volvo (m=18 t, P=190 kW)



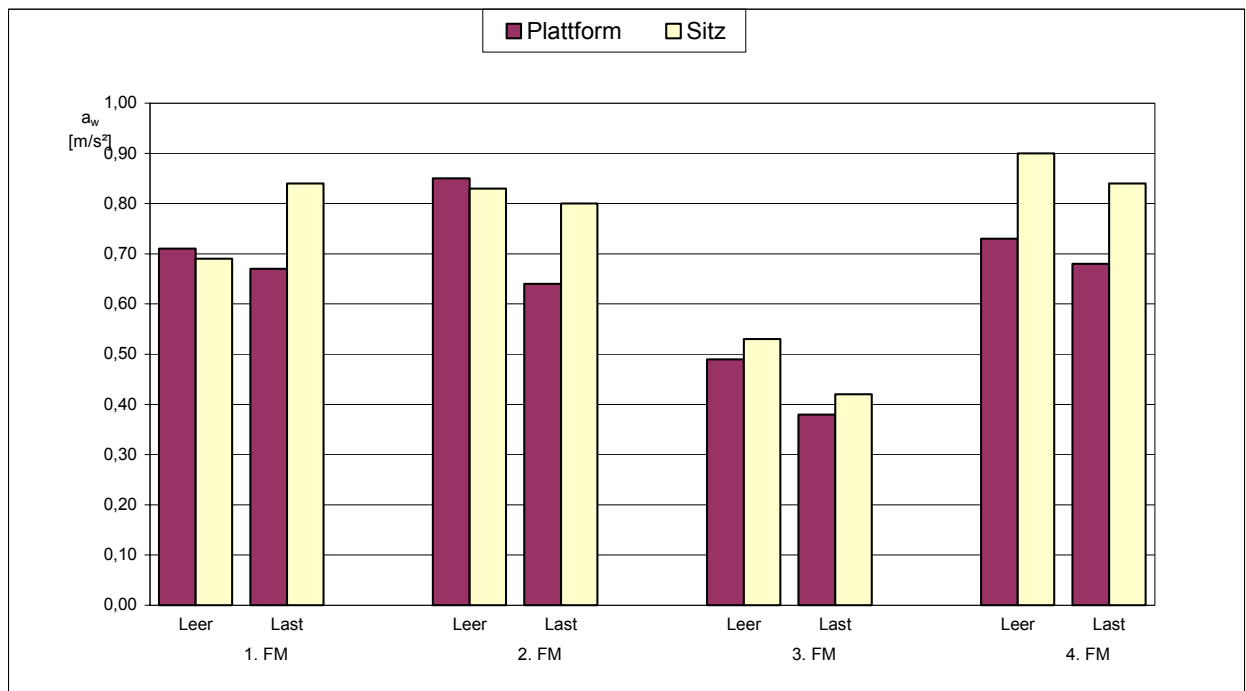


Bild I7.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz I7

Betriebzustände: Leer Leerfahrt
Last Lastfahrt

Versuchssitz I7	Feldmessungen (FM)							
Nr. der Messung	1. FM		2. FM		3. FM		4. FM	
Versuchsträger	I7				I7a			
Maschine	Dumper A 25C				Dumper A 25C			
Messdatum	12.03.1997		15.01.1998		27.04.1999		24.02.2000	
Betriebsstunden des Sitzes [h]	91		1724		3717		5340	
Fahrername	Glatzel		Glatzel		Kwast		Strobel	
Fahrgewicht [kg]	115		115		65		100	
Betriebszustand	Leer	Last	Leer	Last	Leer	Last	Leer	Last
a_{WP} [m/s ²]	0,71	0,67	0,85	0,64	0,49	0,38	0,73	0,68
a_{WS} [m/s ²]	0,69	0,84	0,83	0,80	0,53	0,42	0,90	0,84
SEAT*	0,97	1,24	0,98	1,24	1,09	1,09	1,23	1,23
a_{WP12} [m/s ²]	0,65	0,62	0,82	0,61	0,45	0,35	0,71	0,66

Tabelle I7: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz I7

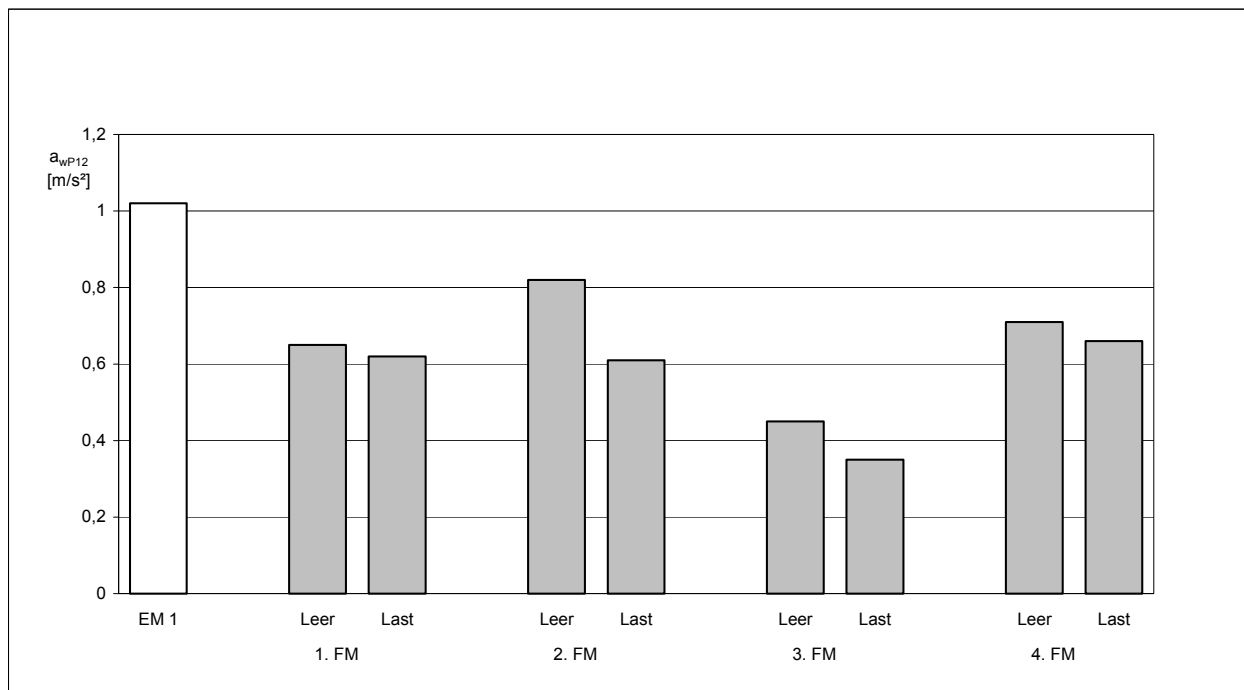


Bild 17.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 1 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz I7

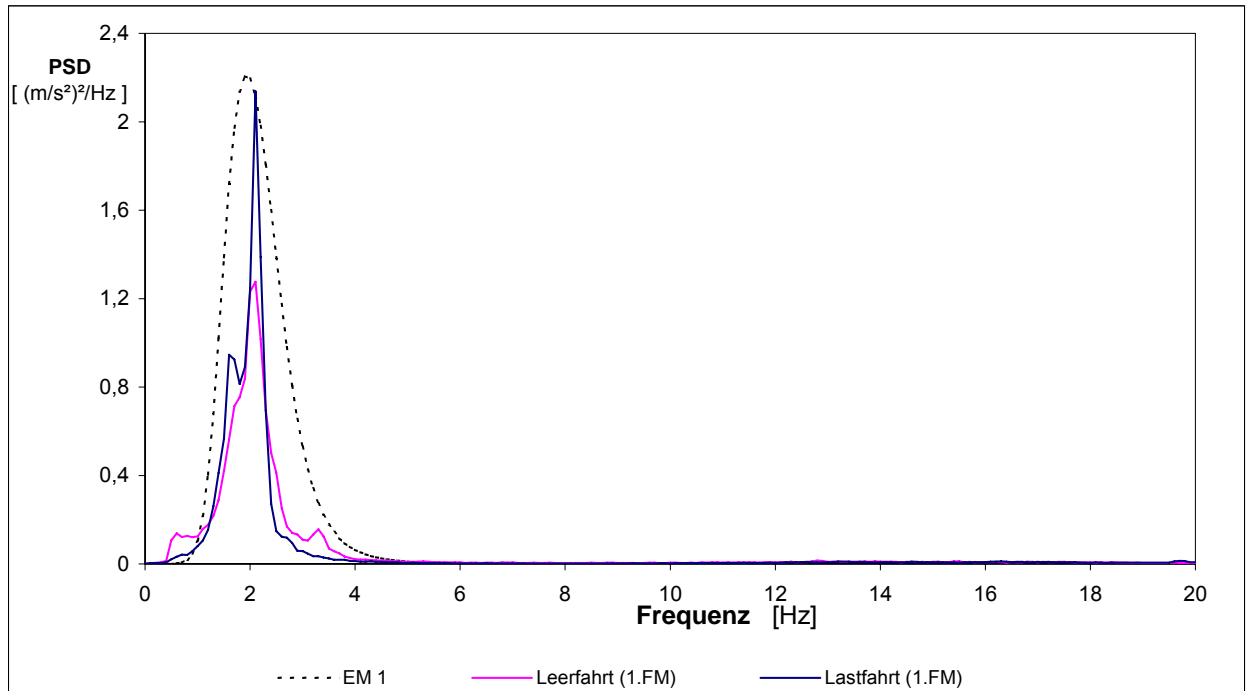


Bild I7.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 1 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 1. Feldmessung / Versuchssitz I7 / Versuchsträger I7

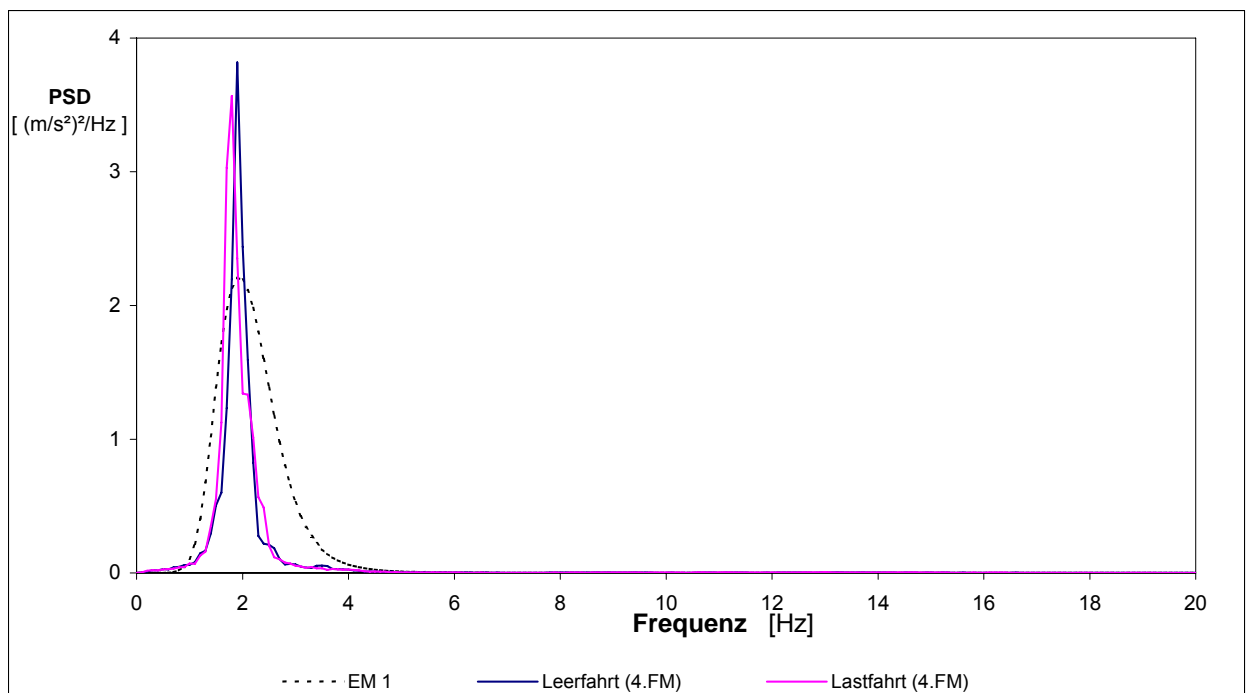


Bild I7.4: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 1 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 4. Feldmessung / Versuchssitz I7 / Versuchsträger I7a

Versuchssitz: I 8

Sitztyp: 6500K/575
Maschine: Laderaupe L 600 D, Fa. Hanomag (m=15 t, P=107 kW)
Spektralklasse: EM 6
Einsatzort: Deponie



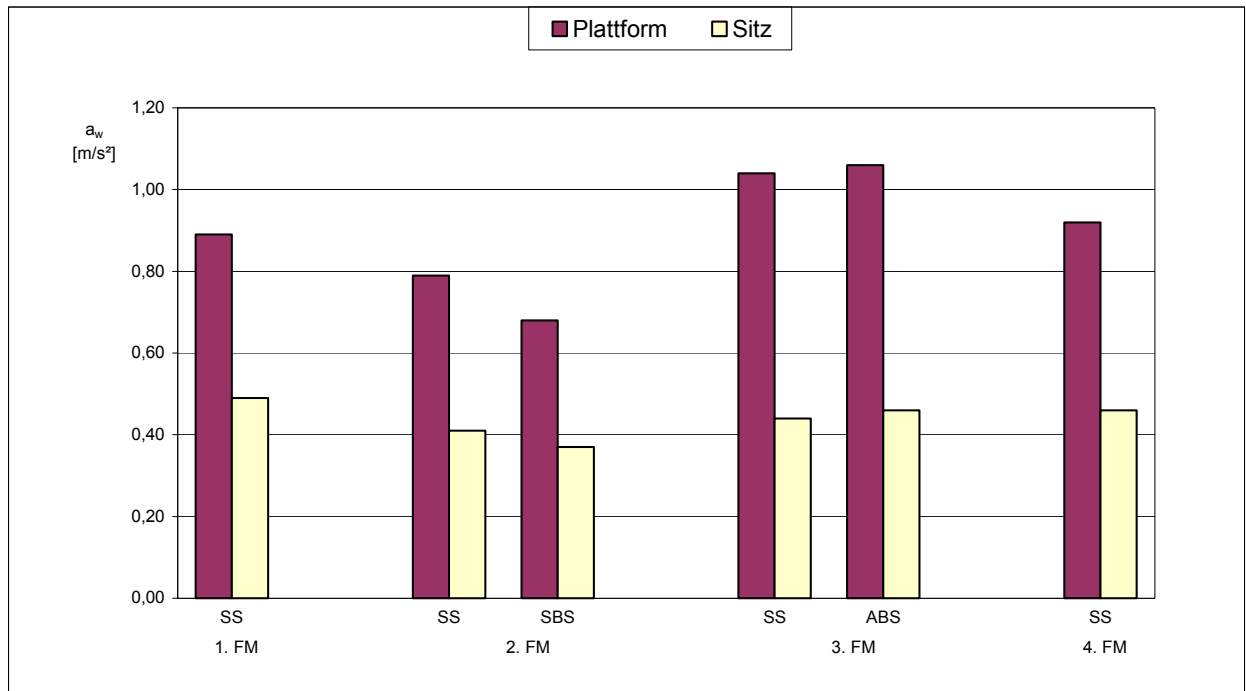


Bild I8.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz I8

Betriebzustände: SS Schieben von Bauschutt
 ABS Aufhalden von Bauschutt
 SBS Schieben von Baumschnitt

Versuchssitz I8	Feldmessungen (FM)					
	1. FM	2. FM		3. FM		4. FM
Nr. der Messung						
Messdatum	20.02.1997	07.10.1998		05.10.1999		01.11.2000
Betriebsstunden des Sitzes [h]	9	486		769		943
Fahrername	Buhr	Buhr		Buhr		Schneider
Fahrgewicht [kg]	90	90		90		95
Betriebzustand	SS	SS	SBS	SS	ABS	SS
a_{WP} [m/s²]	0,89	0,79	0,68	1,04	1,06	0,92
a_{WS} [m/s²]	0,49	0,41	0,37	0,44	0,46	0,46
SEAT*	0,55	0,52	0,55	0,42	0,44	0,50
a_{WP12} [m/s²]	0,86	0,76	0,66	1,02	1,02	0,90

Tabelle I8: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz I8

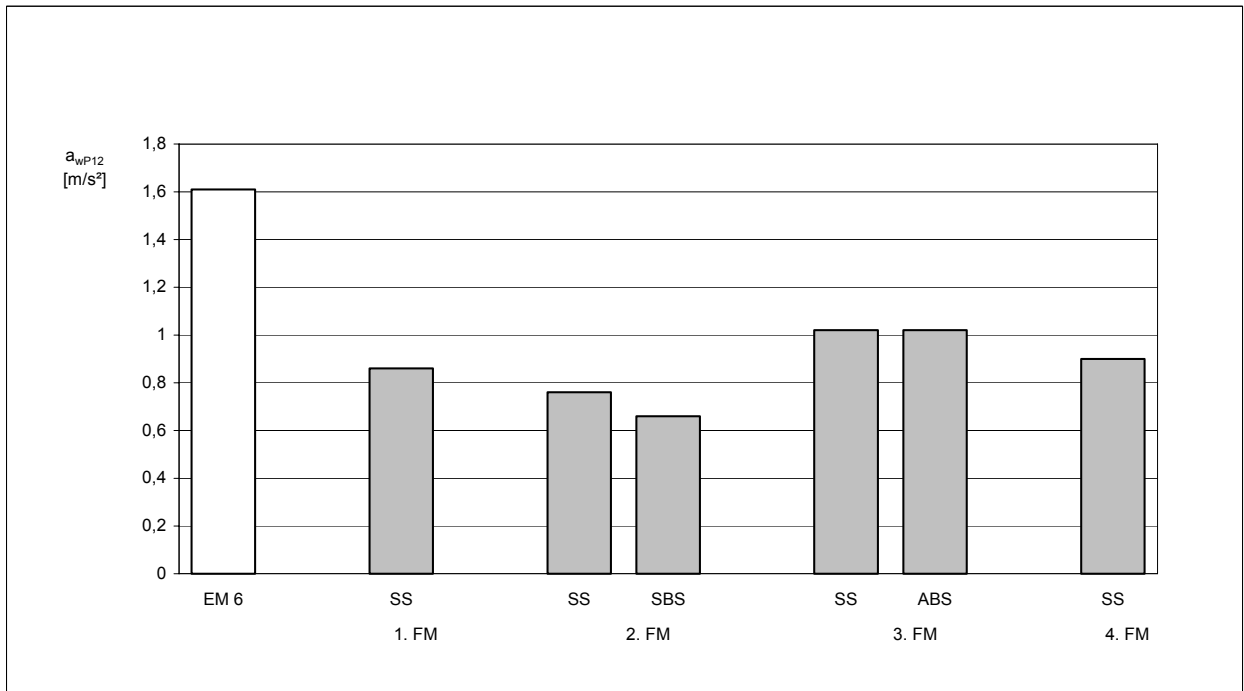


Bild I8.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 6 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz I8

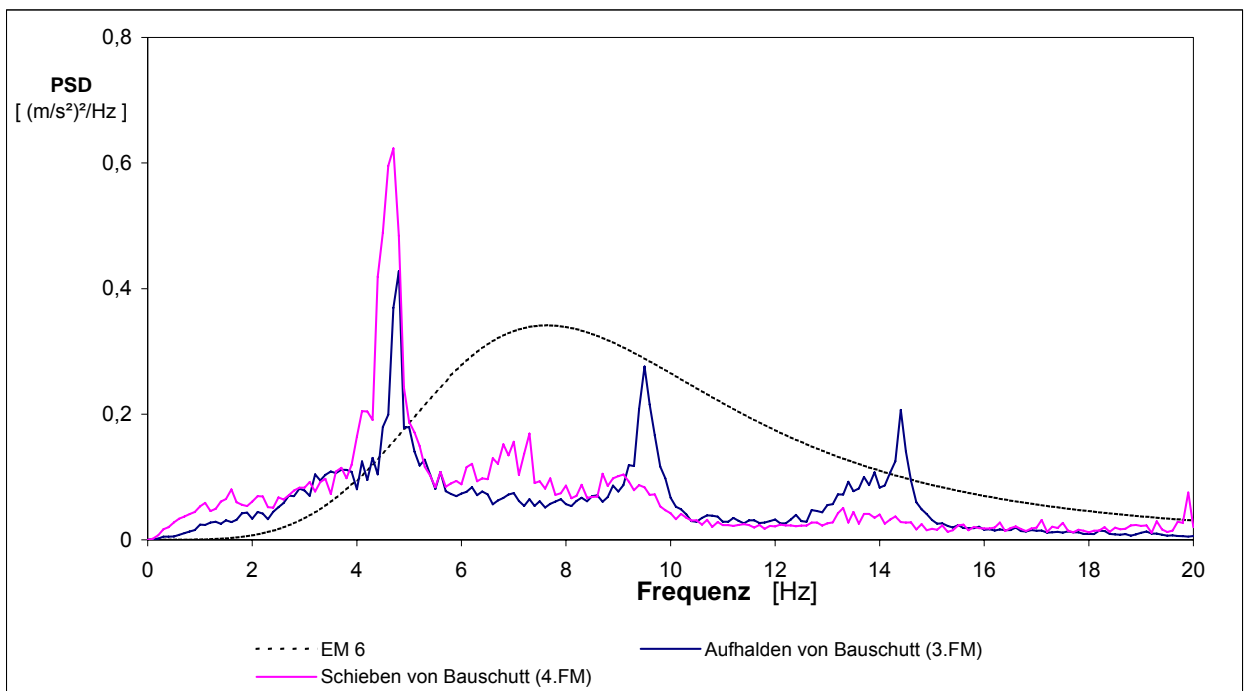


Bild I8.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 6 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 3. und 4. Feldmessung / Versuchssitz I6

Versuchssitz: I 9

Sitztyp: 6500KM/575

Spektralklasse: EM 3 (Radlader > 4500 kg Betriebsgewicht)

Einsatzort: Steinbruch

Versuchsträger: I9

Maschine: Radlader L 551, Fa. Liebherr (m=21,1 t, P=169 kW)



Versuchsträger: I9a

Maschine: Radlader WA 500, Fa. Komatsu (m=26,6 t, P=217 kW)



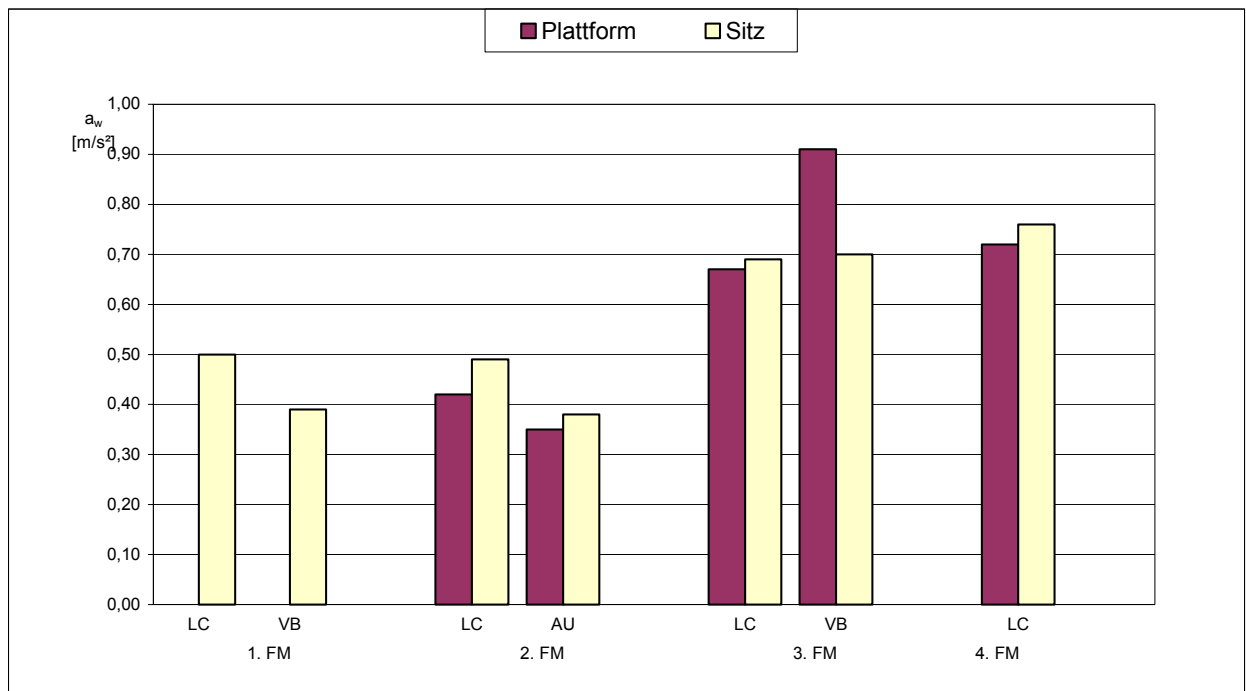


Bild I9.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz I9

Betriebzustände: LC Load & carry
 VB V-Betrieb
 AU Aufhalten

Versuchssitz I9	Feldmessungen (FM)							
Nr. der Messung	1. FM		2. FM		3. FM		4. FM	
Versuchsträger	I9				I9a			
Maschine	Radlader L 551				Radlader WA 500			
Messdatum	13.03.1997		23.10.1997		26.05.1999		23.02.2000	
Betriebsstunden des Sitzes [h]	0		1063		3040		5462	
Fahrername	Redeker		Redeker		Nürnberger		Nürnberger	
Fahrgewicht [kg]	72		72		100		100	
Betriebszustand	LC	VB	LC	AU	LC	VB	LC	
a_{WP} [m/s ²]			0,42	0,35	0,67	0,91	0,72	
a_{WS} [m/s ²]	0,50	0,39	0,49	0,38	0,69	0,70	0,76	
SEAT*	Fehlmessung Plattform		1,15	1,09	1,03	0,76	1,06	
a_{WP12} [m/s ²]			0,39	0,31	0,62	0,86	0,68	

Tabelle I9: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz I9

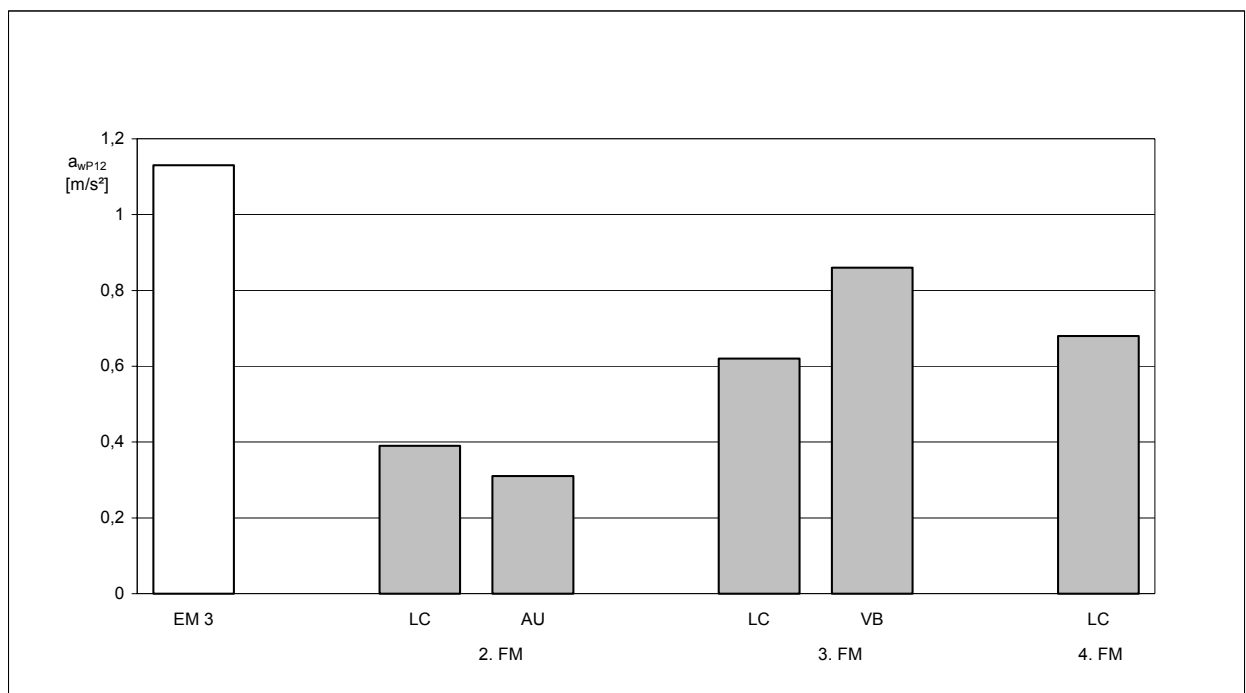


Bild I9.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz I9

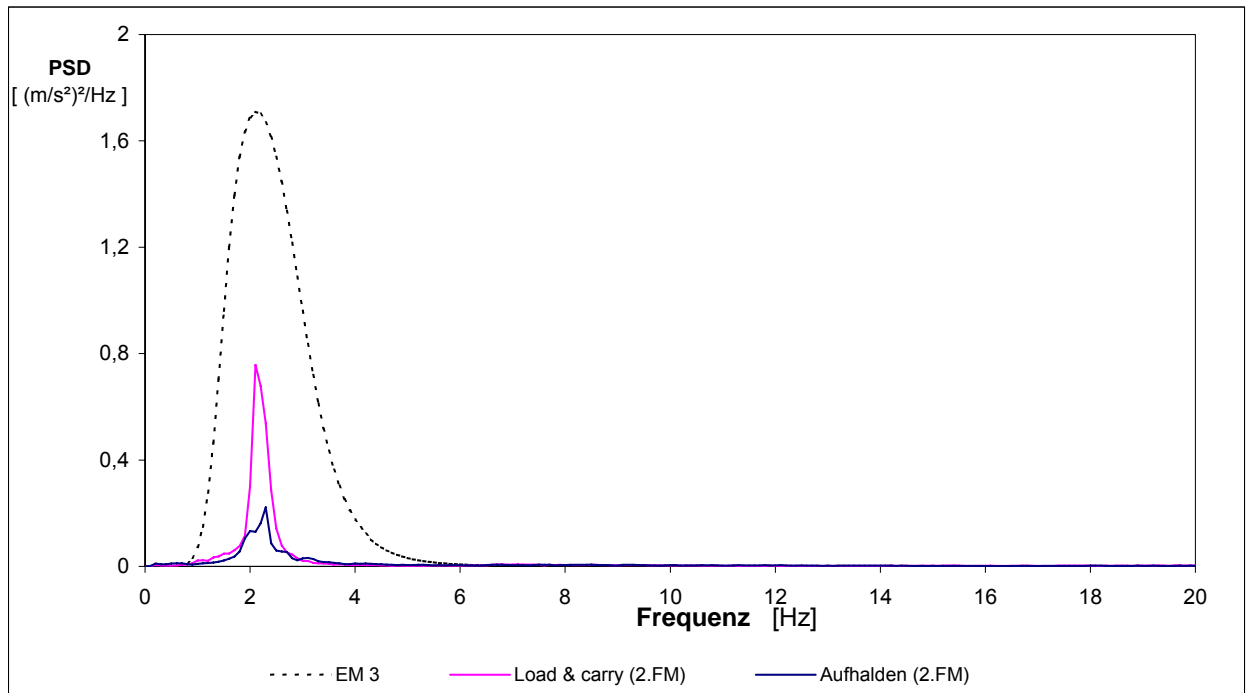


Bild I9.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 2. Feldmessung / Versuchssitz I9 / Versuchsträger I9

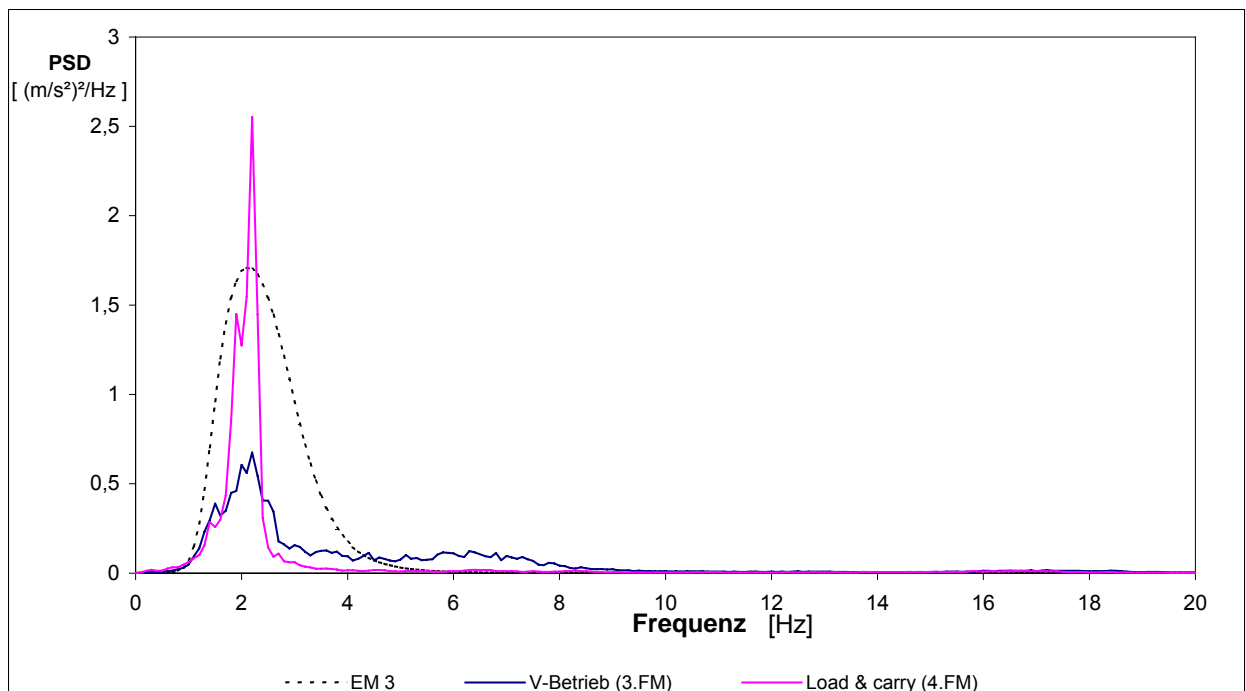


Bild I9.4: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 3. u. 4. Feldmessung / Versuchssitz I9 / Versuchsträger I9a

Versuchssitz: G 1

Sitztyp: MSG 95A
Maschine: Radlader 992 C, Fa. Caterpillar (m=86 t, P=515 kW)
Spektralklasse: EM 3 (Radlader > 4500 kg Betriebsgewicht)
Einsatzort: Steinbruch



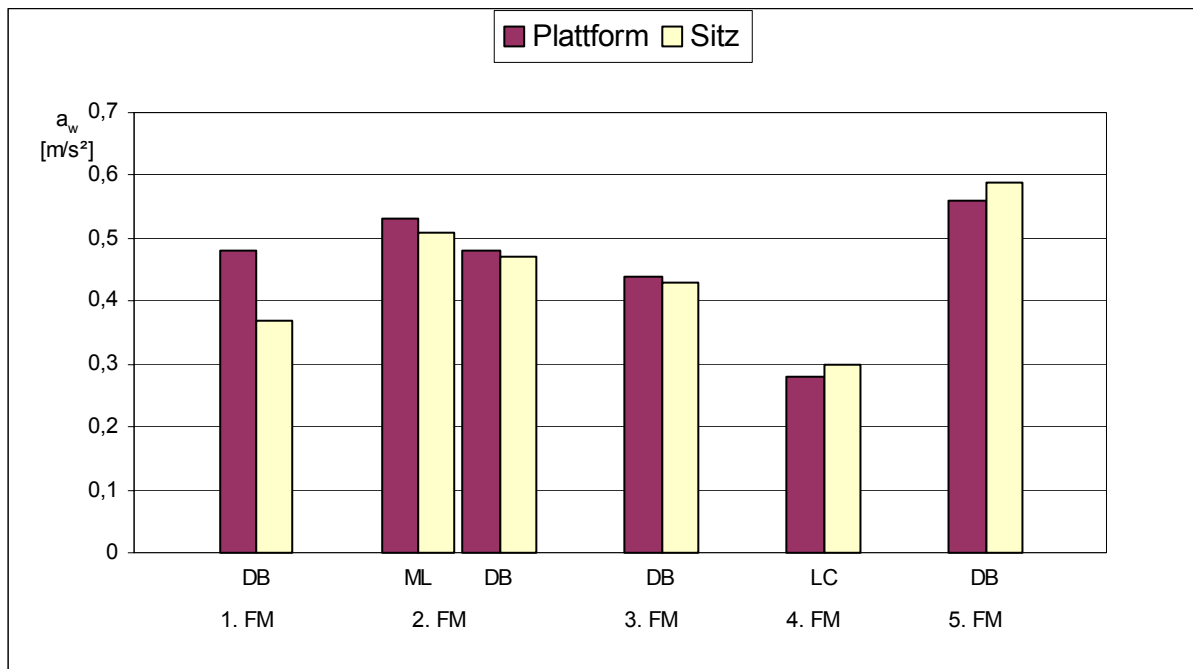


Bild G1.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G1

Betriebzustände: DB Dumper beladen
ML Material aus der Wand lösen
LC Load & carry

Versuchssitz G1	Feldmessungen (FM)					
	1. FM	2. FM	3. FM	4. FM	5. FM	
Nr. der Messung	1. FM	2. FM	3. FM	4. FM	5. FM	
Messdatum	30.05.1996	07.08.1997	13.05.1998	15.06.1999	13.09.2000	
Betriebsstunden des Sitzes [h]	184	1789	2687	4509	6550	
Fahrername	Unger	Baierl	Hofrichter	Hendel	Baierl	
Fahrgewicht [kg]	110	80	80	80	86	
Betriebzustand	DB	DB ML	DB	LC	DB	
a_{WP} [m/s²]	0,48	0,48 0,52	0,44	0,28	0,56	
a_{WS} [m/s²]	0,37	0,47 0,51	0,43	0,30	0,59	
SEAT*	0,76	0,97 0,97	0,98	1,09	1,05	
a_{WP12} [m/s²]	0,43	0,45 0,47	0,41	0,26	0,48	

Tabelle G1: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G1

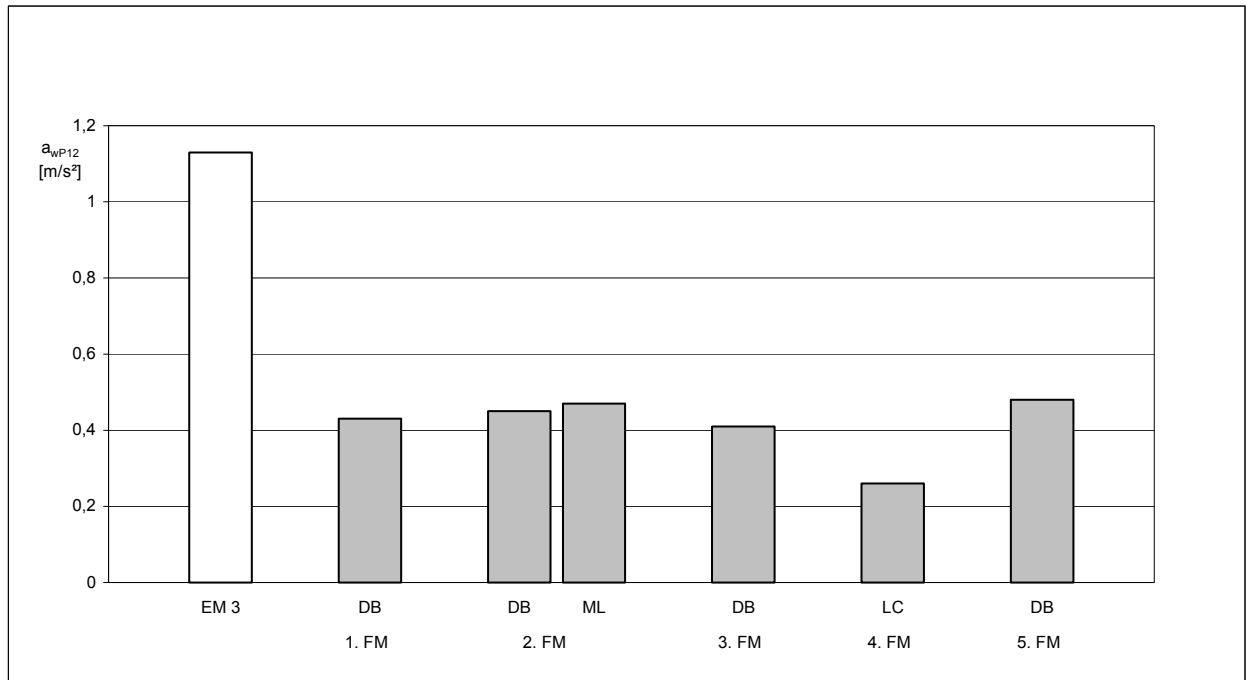


Bild G1.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G1

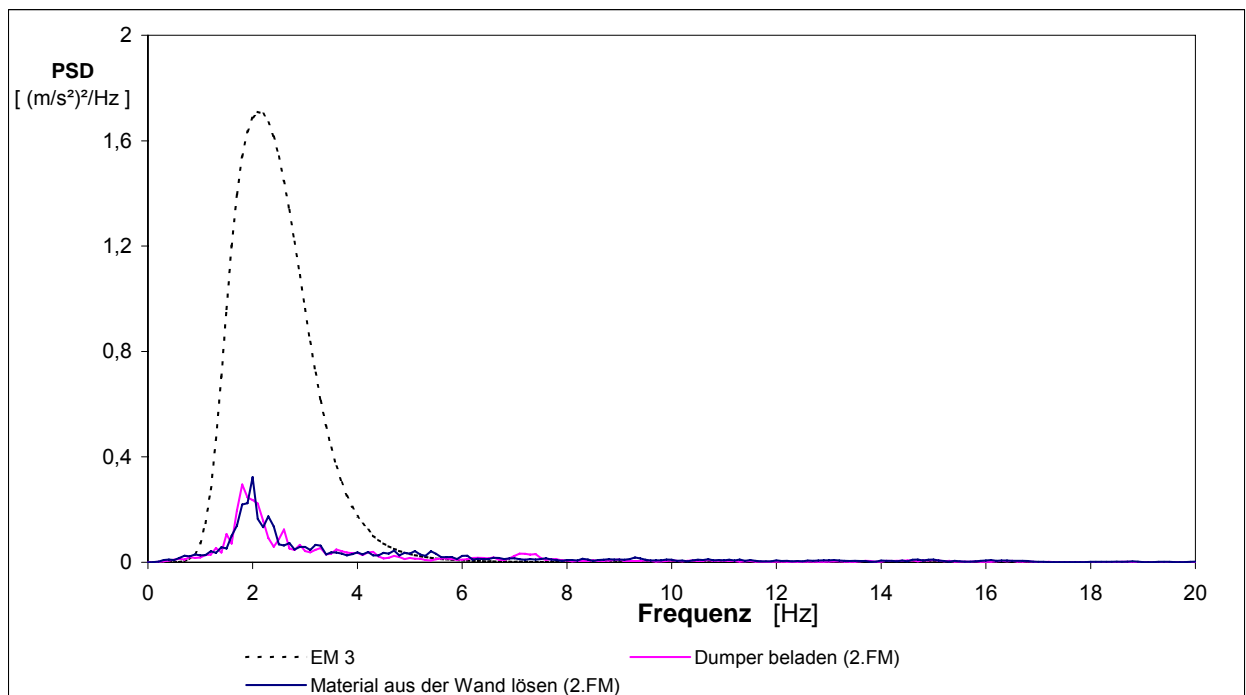


Bild G1.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 2. Feldmessung / Versuchssitz G1

Versuchssitz: G 2

Sitztyp: MSG 95A
Maschine: Dumper K 85.8, Fa. Faun (m=55 t, P=596 kW)
Spektralklasse: EM 1 (Muldenfahrzeug > 4500 kg Betriebsgewicht)
Einsatzort: Steinbruch



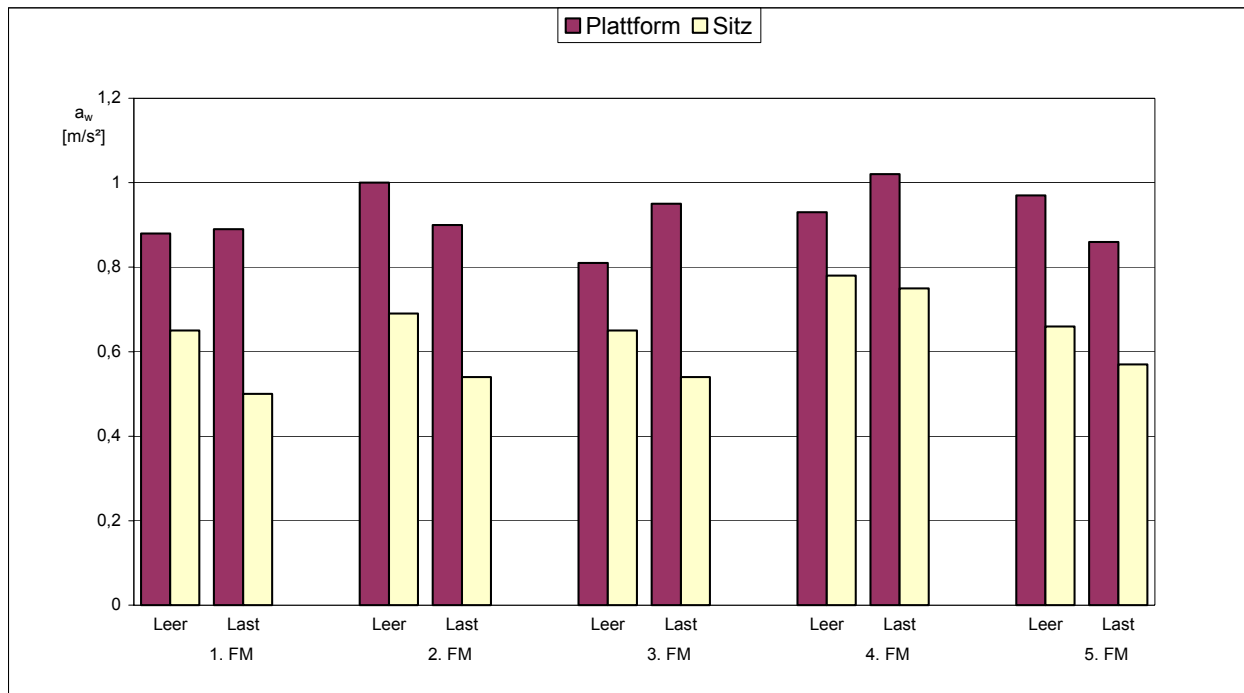


Bild G2.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G2

Betriebzustände: Leer Leerfahrt
Last Lastfahrt

Versuchssitz G2	Feldmessungen (FM)									
	1. FM		2. FM		3. FM		4. FM		5. FM	
Nr. der Messung	1. FM		2. FM		3. FM		4. FM		5. FM	
Messdatum	02.07.1996		07.08.1997		13.05.1998		15.06.1999		29.08.2000	
Betriebsstunden des Sitzes [h]	163		1642		2501		4416		6213	
Fahrername	Birner		Birner		Hochmuth		Plaumann		Hochmuth	
Fahrgewicht [kg]	90		90		83		90		83	
Betriebzustand	Leer	Last	Leer	Last	Leer	Last	Leer	Last	Leer	Last
a_{WP} [m/s²]	0,88	0,89	1,00	0,90	0,81	0,95	0,93	1,02	0,97	0,86
a_{WS} [m/s²]	0,65	0,50	0,69	0,54	0,65	0,54	0,78	0,75	0,66	0,57
SEAT*	0,74	0,57	0,69	0,60	0,80	0,57	0,84	0,74	0,67	0,67
a_{WP12} [m/s²]	0,75	0,73	0,70	0,67	0,62	0,61	0,79	0,81	0,80	0,64

Tabelle G2: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G2

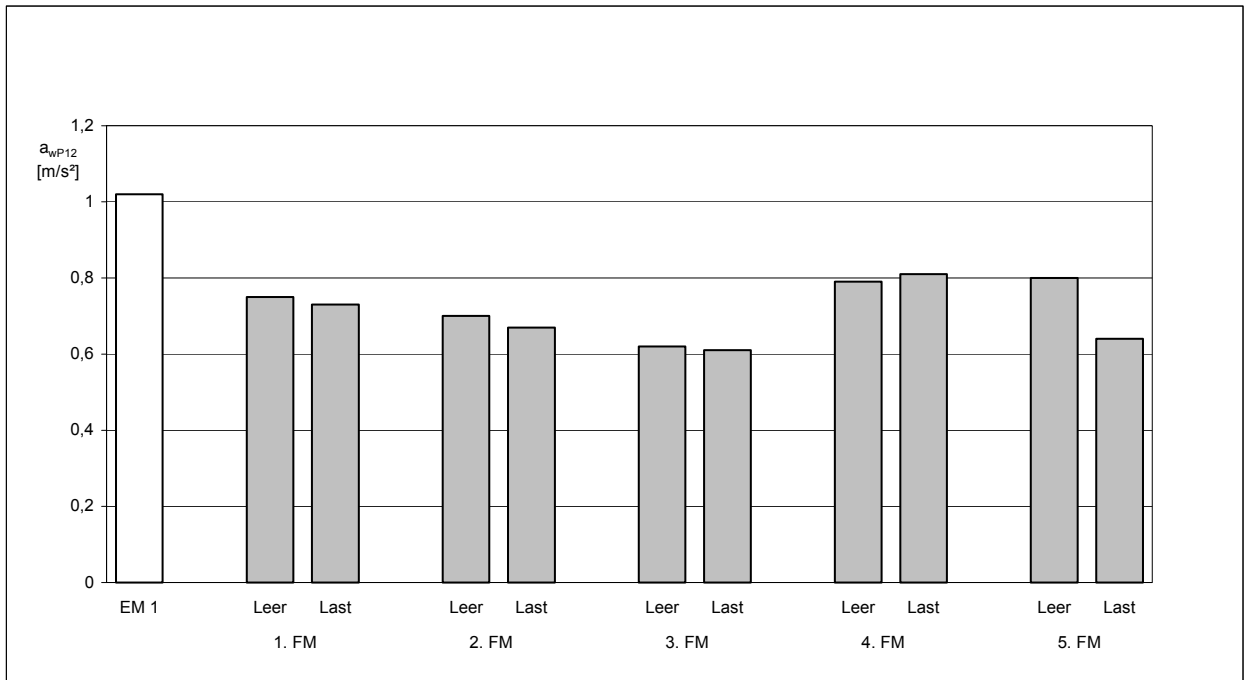


Bild G2.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 1 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G2

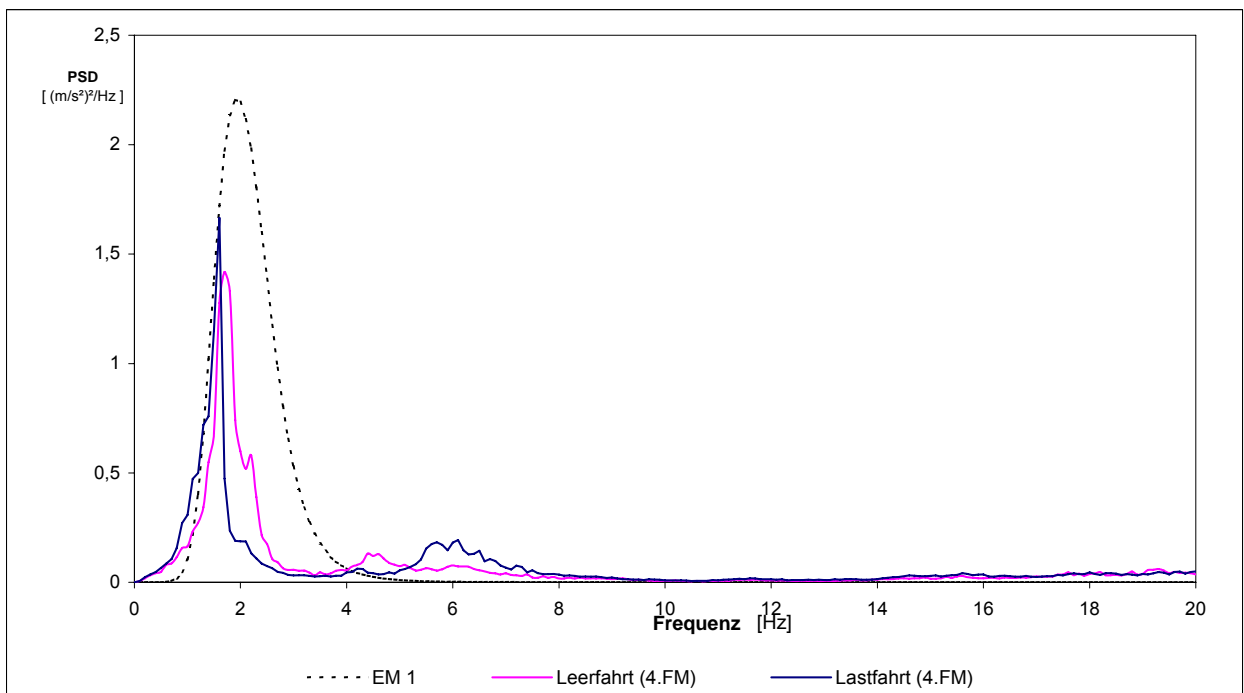


Bild G2.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 1 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 4. Feldmessung / Versuchssitz G2

Versuchssitz: G 3

Sitztyp: MSG 95A
Maschine: Dumper K 85.8, Fa. Faun (m=55 t, P=596 kW)
Spektralklasse: EM 1 (Muldenfahrzeug > 4500 kg Betriebsgewicht)
Einsatzort: Steinbruch



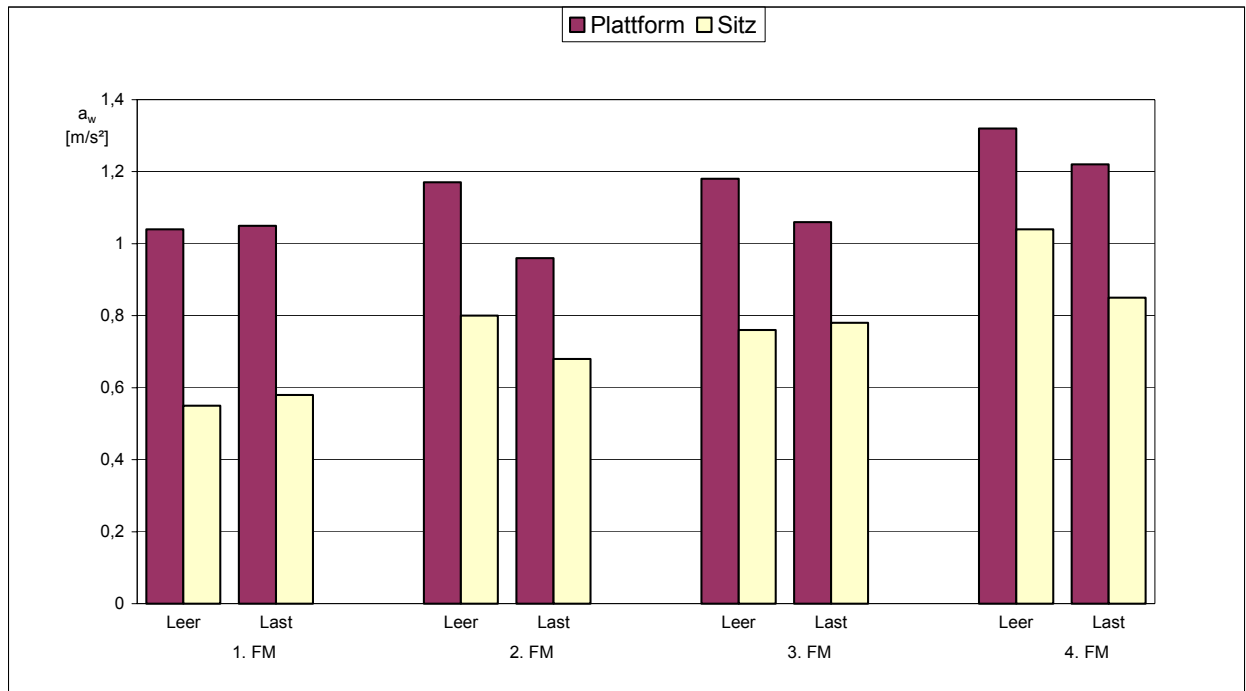


Bild G3.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G3

Betriebszustände: Leer Leerfahrt
Last Lastfahrt

Versuchssitz G3	Feldmessungen (FM)							
	1. FM		2. FM		3. FM		4. FM	
Nr. der Messung	1. FM		2. FM		3. FM		4. FM	
Messdatum	02.07.1996		07.08.1997		13.05.1998		15.06.1999	
Betriebsstunden des Sitzes [h]	17		1138		2128		3742	
Fahrername	Pulner		Mink		Mink		Mink	
Fahrgewicht [kg]	90		75		70		70	
Betriebszustand	Leer	Last	Leer	Last	Leer	Last	Leer	Last
a_{WP} [m/s²]	1,04	1,05	1,17	0,96	1,18	1,06	1,32	1,22
a_{WS} [m/s²]	0,55	0,58	0,80	0,68	0,76	0,78	1,04	0,85
SEAT*	0,53	0,55	0,68	0,71	0,65	0,74	0,79	0,70
a_{WP12} [m/s²]	0,68	0,71	0,95	0,74	0,92	0,80	1,13	0,95

Tabelle G3: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G3

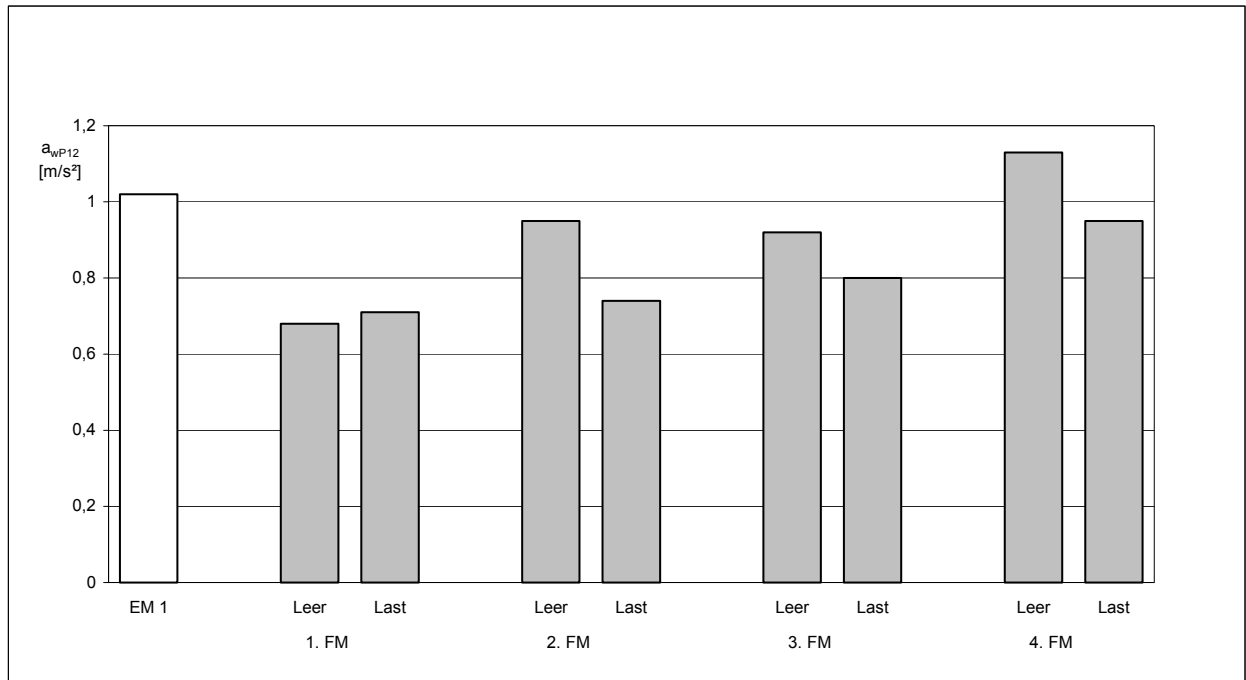


Bild G3.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 1 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G3

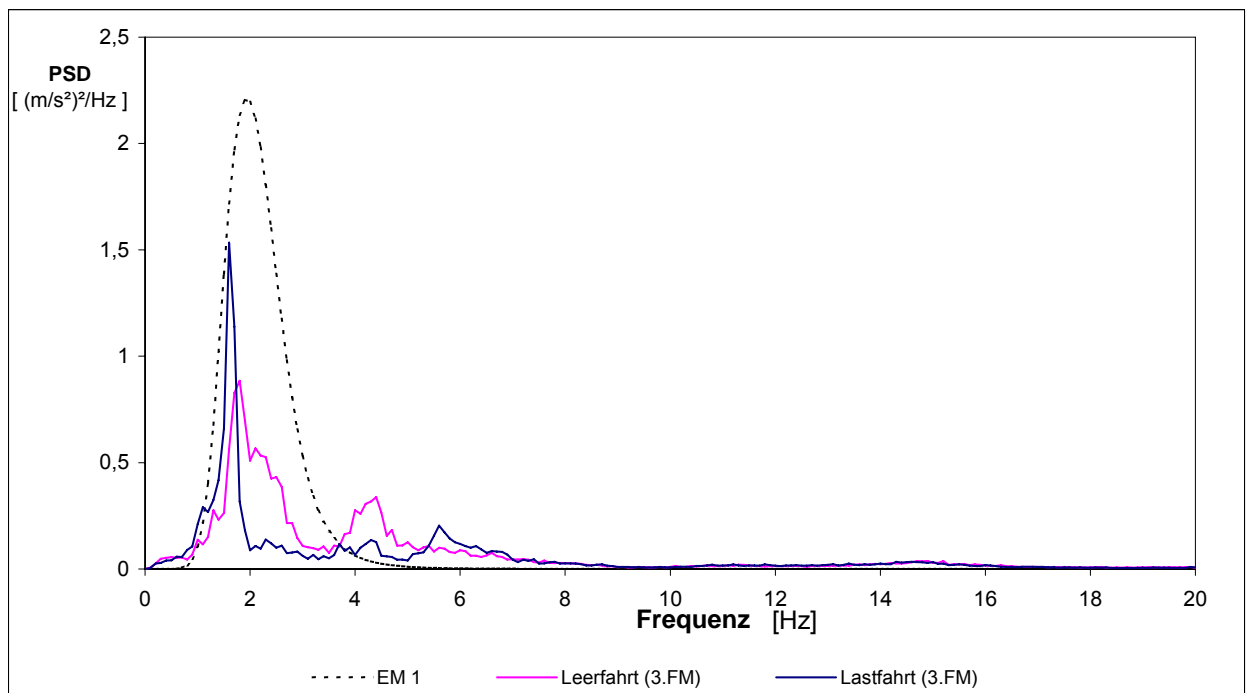


Bild G3.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 1 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 3. Feldmessung / Versuchssitz G3

Versuchssitz: G 4

Sitztyp: DS 85 H/L
Maschine: Grader F 156 A, Fa. O & K (m=15,8 t, P=112 kW)
Spektralklasse: EM 4 (Grader)
Einsatzort: Steinbruch



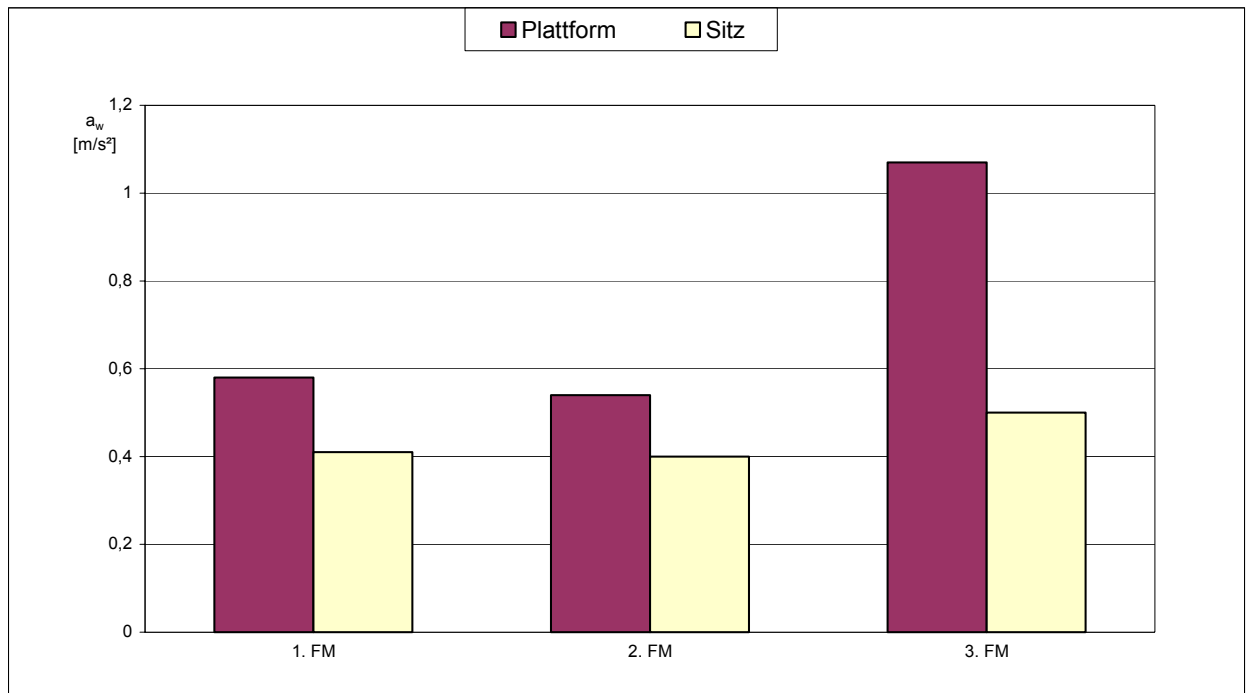


Bild G4.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G4

Versuchssitz G4	Feldmessungen (FM)		
	1. FM	2. FM	3. FM
Nr. der Messung			
Messdatum	02.07.1996	13.05.1998	13.09.2000
Betriebsstunden des Sitzes [h]	23	409	864
Fahrername	Plaumann	Plaumann	Williamson
Fahrgewicht [kg]	100	100	75
Betriebszustand	Wegebau		
a_{WP} [m/s²]	0,58	0,54	1,07
a_{WS} [m/s²]	0,41	0,40	0,50
SEAT*	0,71	0,74	0,46
a_{WP12} [m/s²]	0,44	0,40	0,81

Tabelle G4: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G4

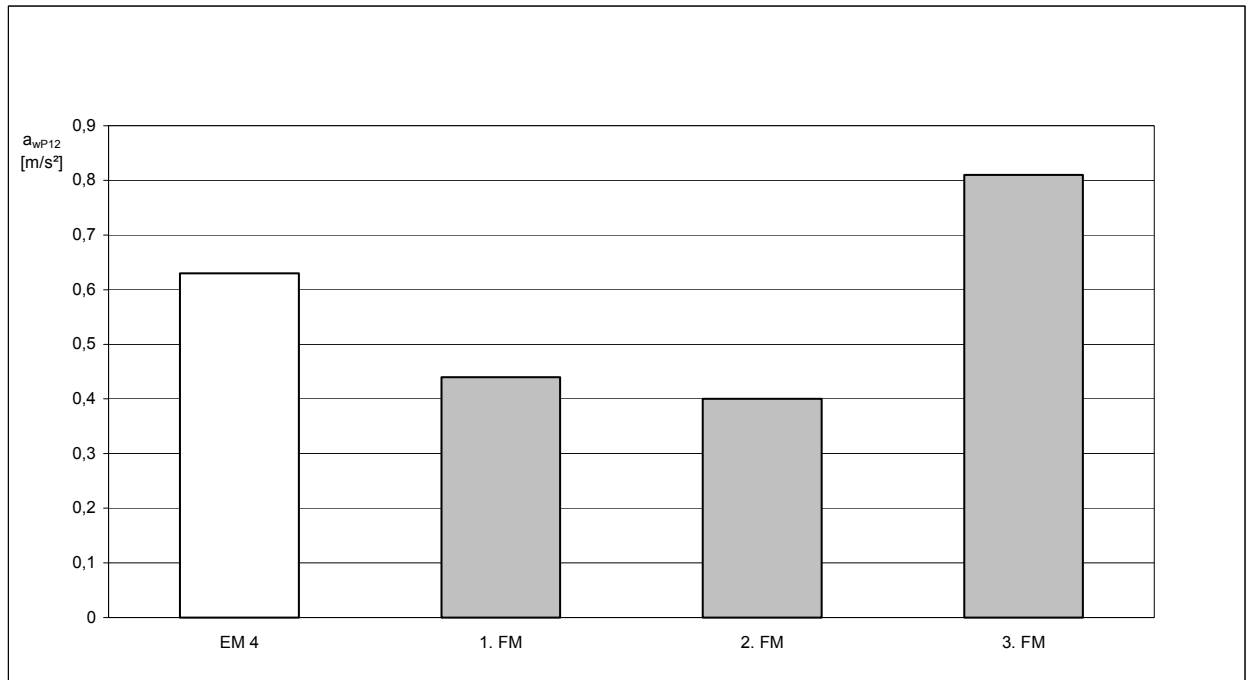


Bild G4.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 4 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G4

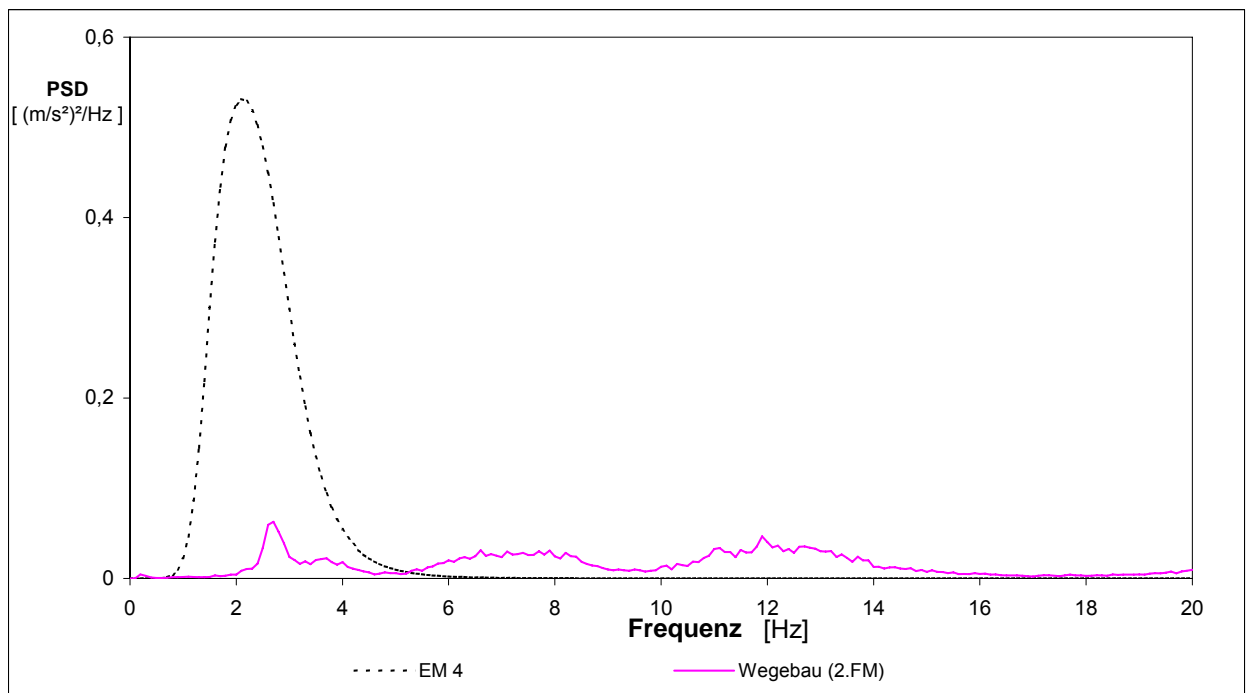


Bild G4.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 4 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 2. Feldmessung / Versuchssitz G4

Versuchssitz: G 5

Sitztyp: MSG 95A
Maschine: Radlader 966 D, Fa. Caterpillar (m=19,5 t, P=149 kW)
Spektralklasse: EM 3 (Radlader > 4500 kg Betriebsgewicht)
Einsatzort: Steinbruch



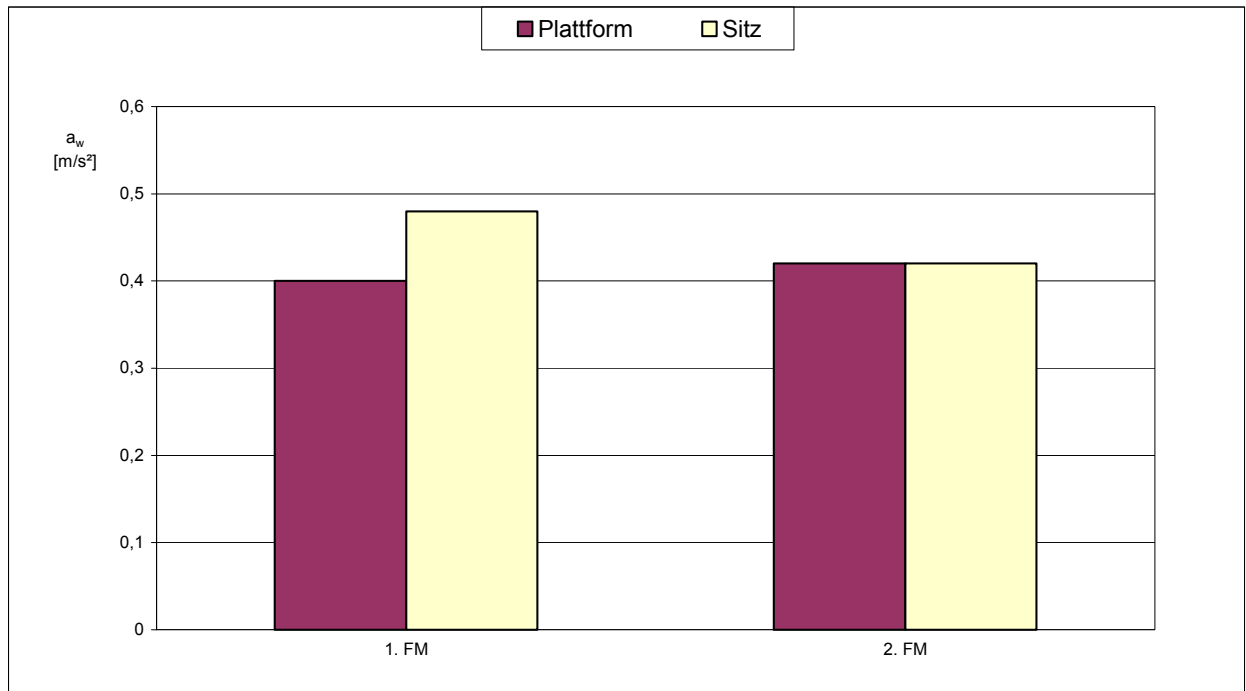


Bild G5.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G5

Versuchssitz G5	Feldmessungen (FM)	
	1. FM	2. FM
Nr. der Messung	1. FM	2. FM
Messdatum	03.07.1996	06.08.1997
Betriebsstunden des Sitzes [h]	145	1385
Fahrername	Metger	Schöpf
Fahrgewicht [kg]	100	75
Betriebszustand	Wegebau	
a_{WP} [m/s²]	0,40	0,42
a_{WS} [m/s²]	0,48	0,42
SEAT*	1,19	0,99
a_{WP12} [m/s²]	0,37	0,35

Tabelle G5: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G5

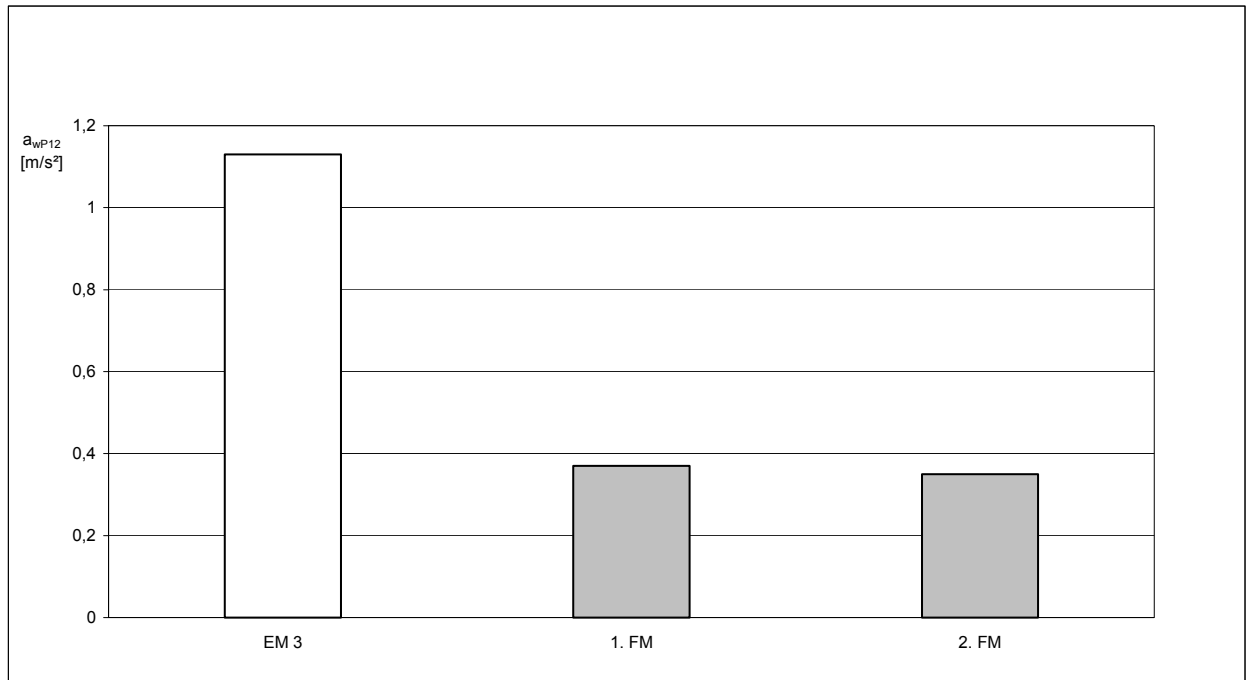


Bild G5.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G5

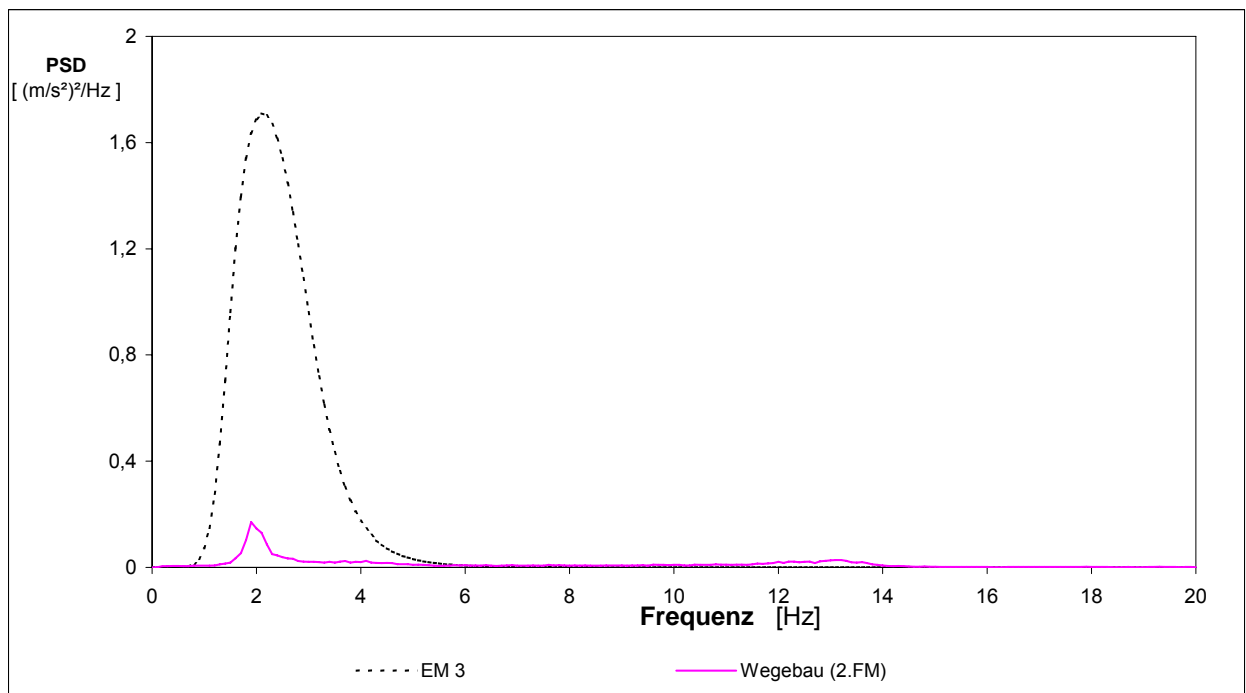


Bild G5.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 2. Feldmessung / Versuchssitz G5

Versuchssitz: G 6

Sitztyp: MSG 95A

Versuchsträger: G6

Maschine: Radlader L 45, Fa. O & K (m=21,5 t, P=177 kW)

Spektralklasse: EM 3 (Radlader > 4500 kg Betriebsgewicht)

Einsatzort: Verladehof



Versuchsträger: G6a

Maschine: Radlader 966 D, Fa. Caterpillar (m=19,5 t, P=149 kW)

Spektralklasse: EM 3 (Radlader > 4500 kg Betriebsgewicht)

Einsatzort: Verladehof, Kaolinwerk



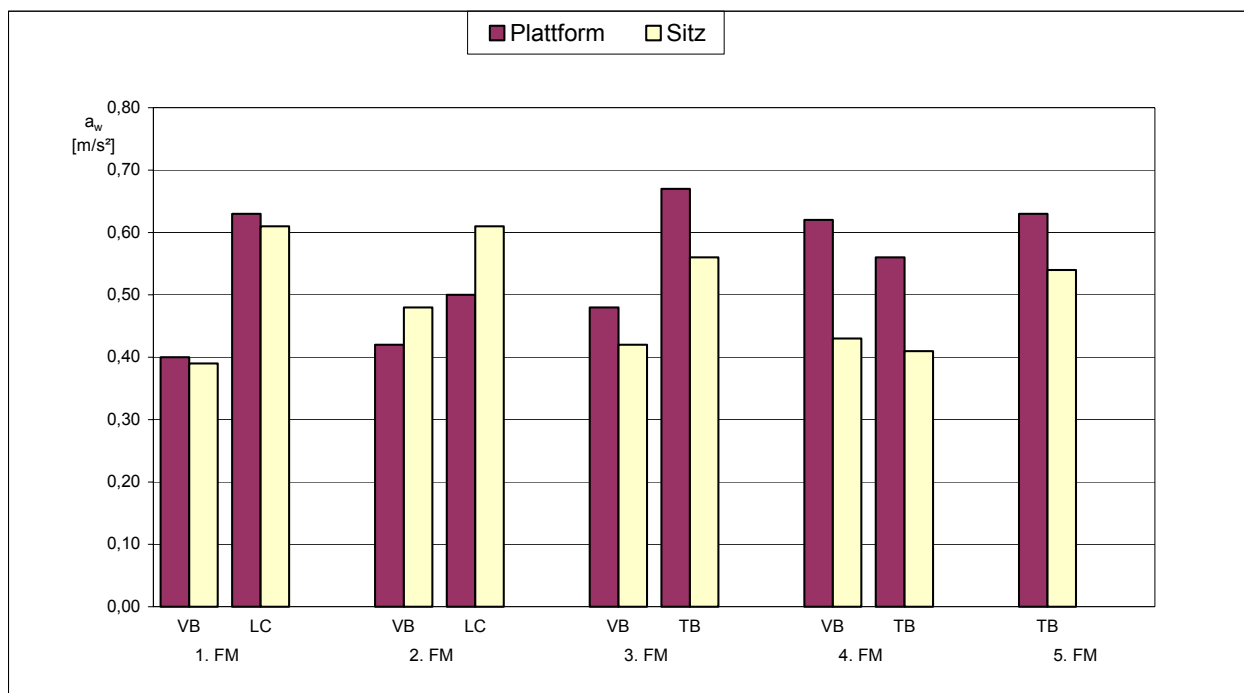


Bild G6.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G6

Betriebzustände: VB V-Betrieb
 LC Load & carry
 TB Trichter beschicken, Aufhalten

Versuchssitz G6	Feldmessungen (FM)									
Nr. der Messung	1. FM		2. FM		3. FM		4. FM		5. FM	
Versuchsträger	G6					G6a				
Maschine	Radlader L 45					Radlader CAT 966 D				
Messdatum	03.07.1996		06.08.1997		14.05.1998		16.06.1999		30.08.2000	
Betriebsstunden des Sitzes [h]	56		1670		2809		3794		5080	
Fahrername	Bauer		Bauer		Piehler		Hass		Birzer	
Fahrgewicht [kg]	100		100		95		82		117	
Betriebszustand	VB	LC	VB	LC	VB	TB	VB	TB	TB	
a_{WP} [m/s ²]	0,40	0,63	0,42	0,50	0,48	0,67	0,62	0,56	0,63	
a_{WS} [m/s ²]	0,39	0,61	0,48	0,61	0,42	0,56	0,43	0,41	0,54	
SEAT*	0,97	0,96	1,14	1,22	0,88	0,83	0,69	0,74	0,85	
a_{WP12} [m/s ²]	0,39	0,62	0,40	0,48	0,40	0,55	0,51	0,45	0,51	

Tabelle G6: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G6

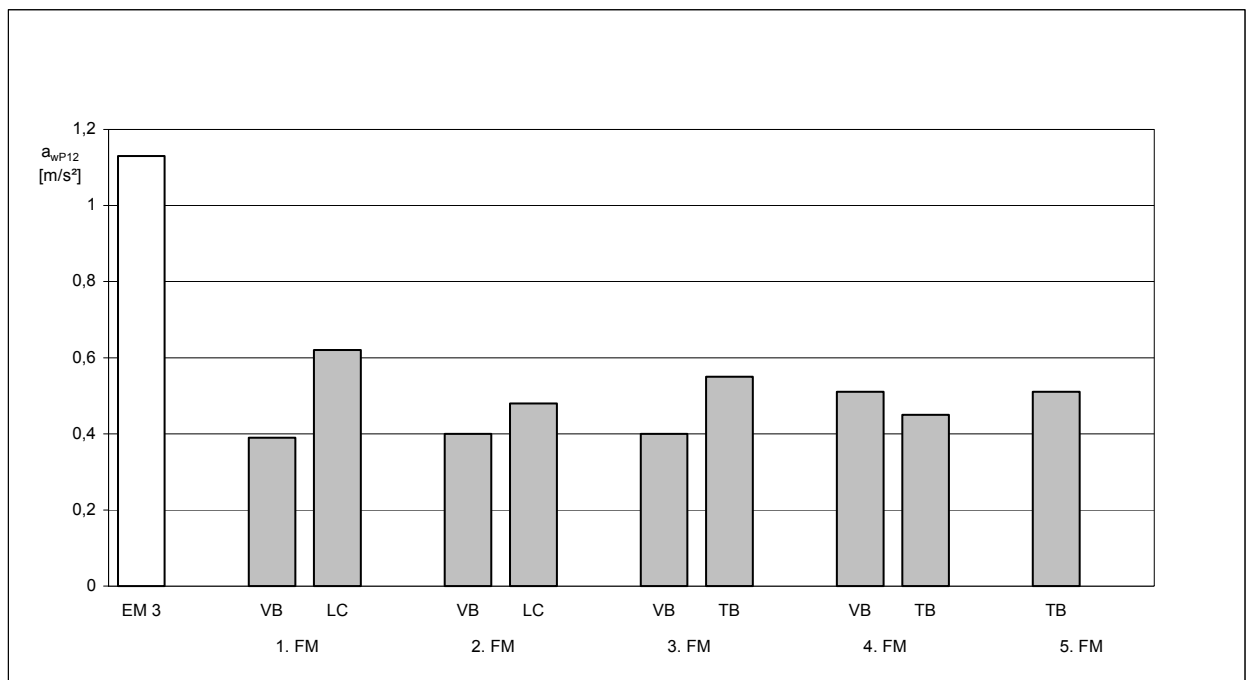


Bild G6.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G6

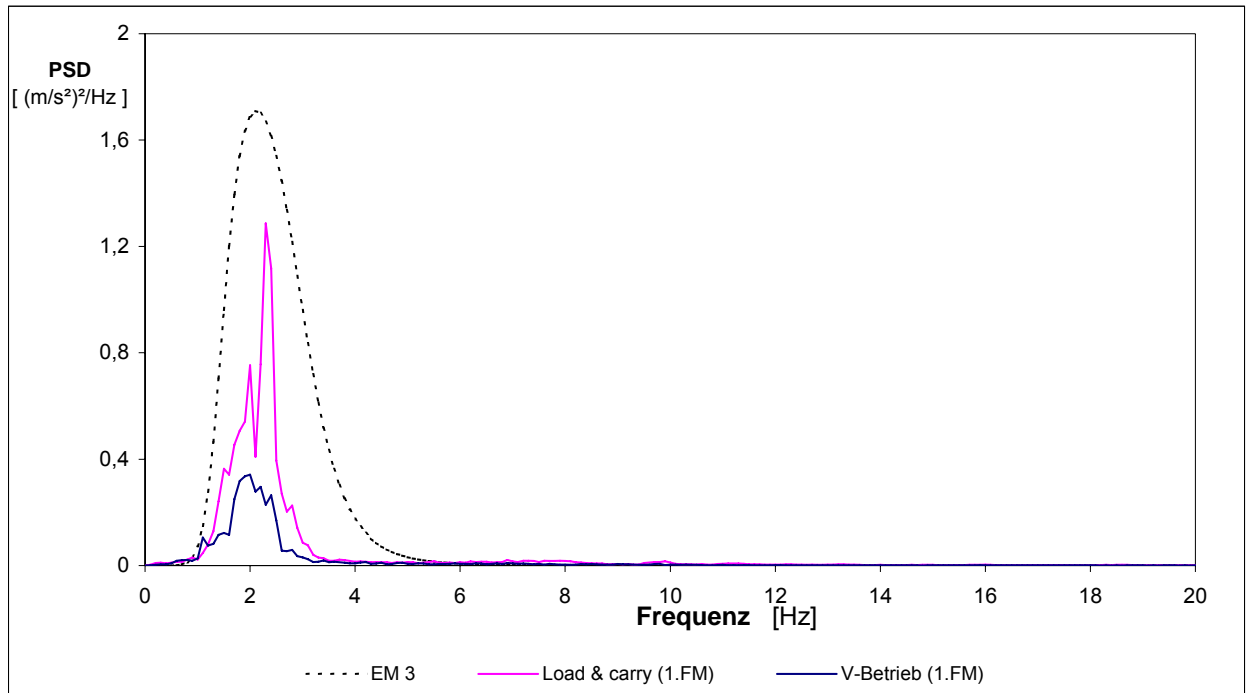


Bild G6.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 1. Feldmessung / Versuchssitz G6

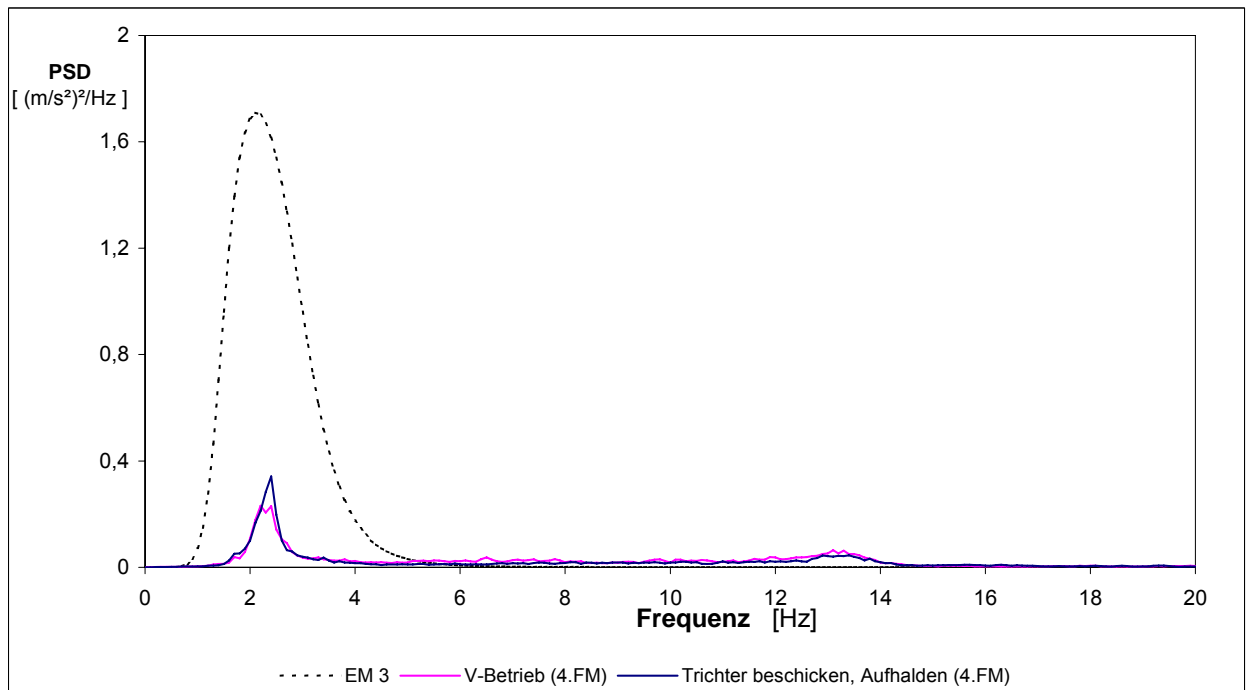


Bild G6.4: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 4. Feldmessung / Versuchssitz G6a

Versuchssitz: G 7.1

Sitztyp: DS 85 H/L
Maschine: Radlader 980C, Fa. Caterpillar (m=19,5 t, P=149 kW)
Spektralklasse: EM 3 (Radlader > 4500 kg Betriebsgewicht)
Einsatzort: Steinbruch



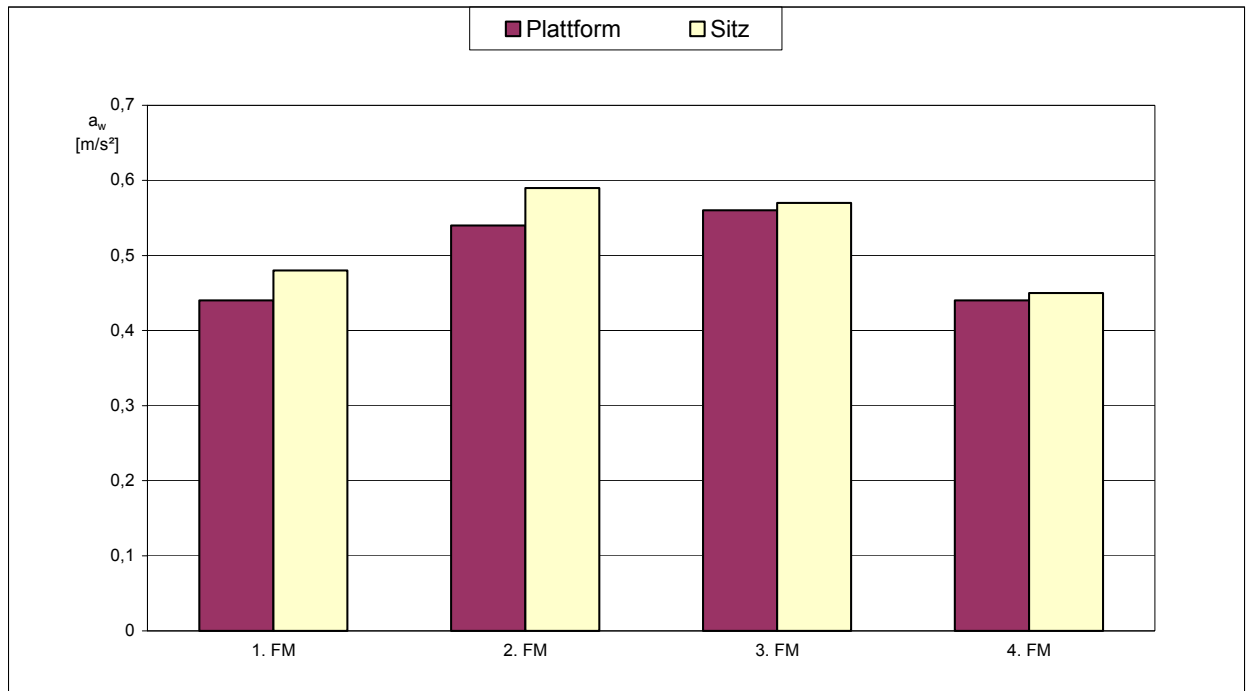


Bild G7.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G7.1

Versuchssitz G7.1	Feldmessungen (FM)			
	1. FM	2. FM	3. FM	4. FM
Nr. der Messung				
Messdatum	06.08.1997	14.05.1998	16.06.1999	30.08.2000
Betriebsstunden des Sitzes [h]	425	1000	1799	2805
Fahrername	Kräuter	Dolles	Bauer	Ott
Fahrgewicht [kg]	80	80	72	70
Betriebszustand	Bunker beschicken			
a_{WP} [m/s²]	0,44	0,54	0,56	0,44
a_{WS} [m/s²]	0,48	0,59	0,57	0,45
SEAT*	1,08	1,10	1,01	1,01
a_{WP12} [m/s²]	0,40	0,50	0,51	0,41

Tabelle G7: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G7.1

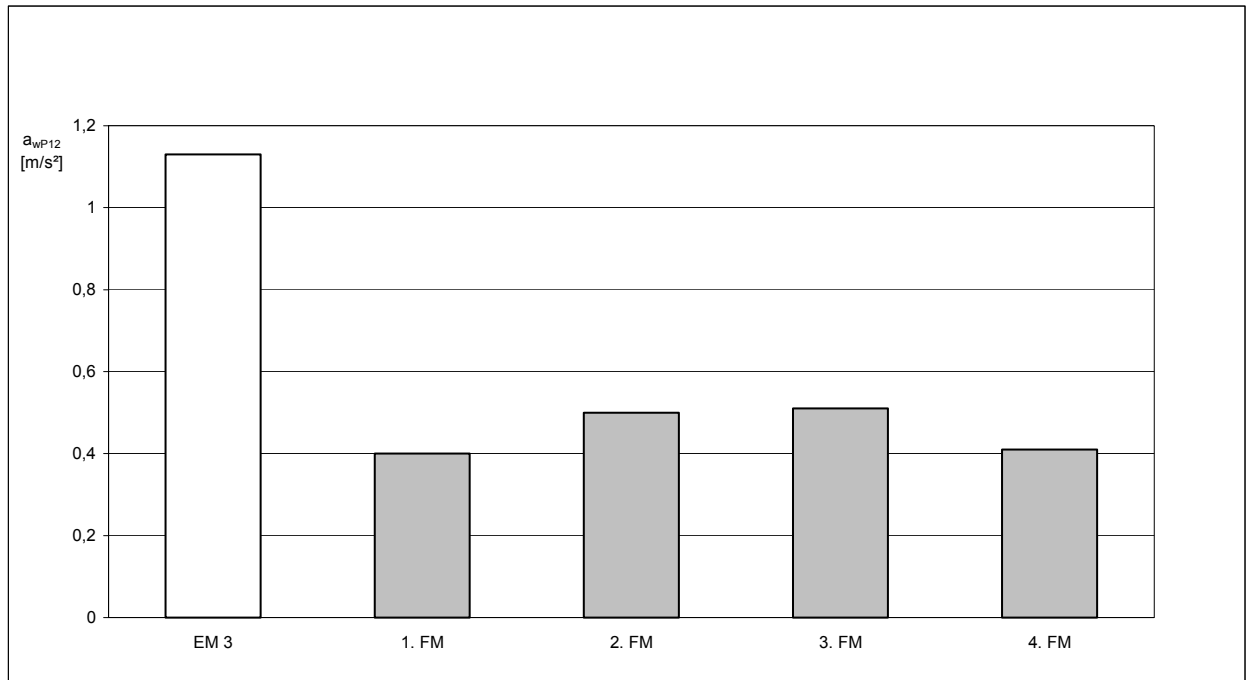


Bild G7.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G7.1

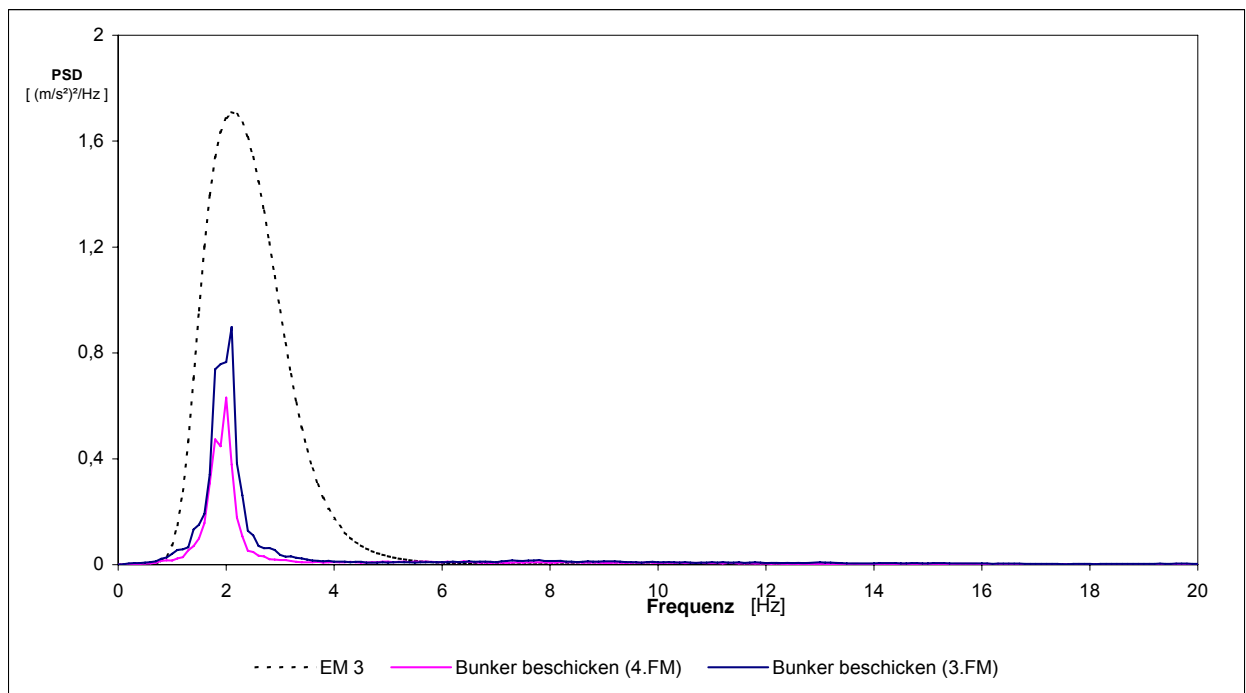


Bild G7.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 3. Feldmessung / Versuchssitz G7.1

Versuchssitz: G 8

Sitztyp: MSG 95A
Maschine: Dumper A 35, Fa. Volvo (m=24,4 t, P=243 kW)
Spektralklasse: EM 1 (Muldenfahrzeug > 4500 kg Betriebsgewicht)
Einsatzort: Steinbruch



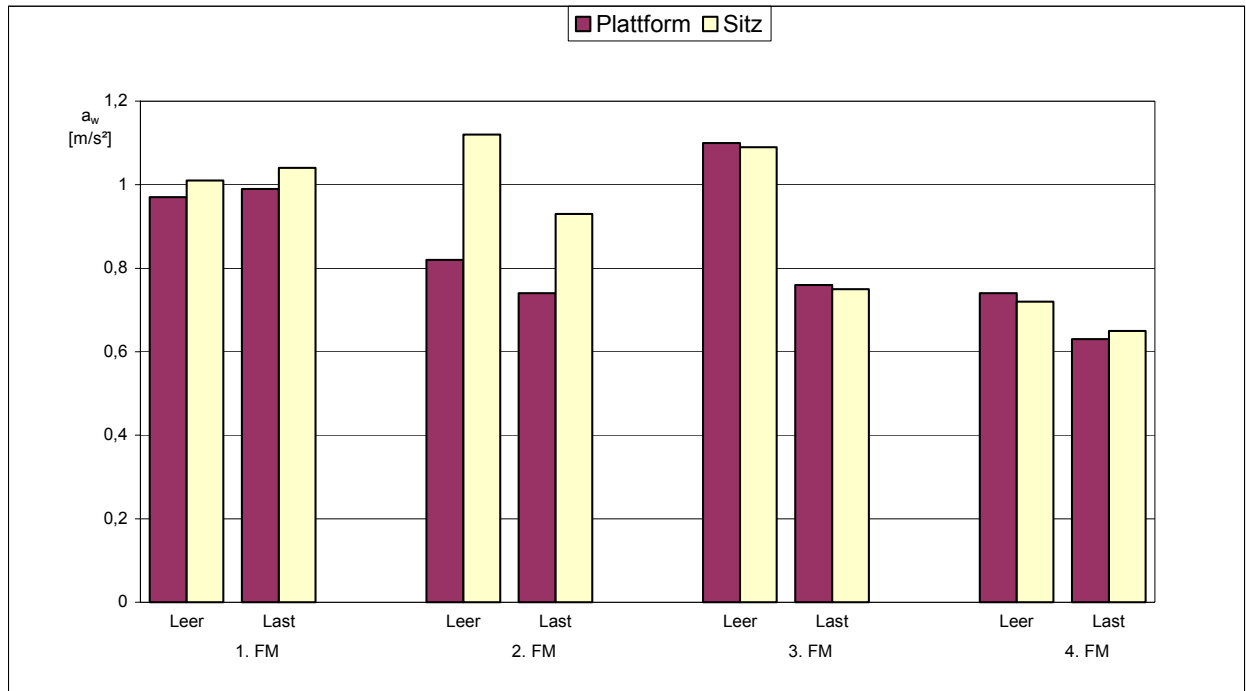


Bild G8.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G8

Betriebzustände: Leer Leerfahrt
Last Lastfahrt

Versuchssitz G8	Feldmessungen (FM)							
	1. FM		2. FM		3. FM		4. FM	
Nr. der Messung	03.07.1996		06.08.1997		14.05.1998		20.07.1999	
Messdatum	94		3837		5053		7141	
Betriebsstunden des Sitzes [h]	Mayer		Wendl		Braun		Krös	
Fahrername	80		65		113		104	
Fahrgewicht [kg]	Leer	Last	Leer	Last	Leer	Last	Leer	Last
Betriebszustand	0,97	0,99	0,82	0,74	1,10	0,76	0,74	0,63
a_{WP} [m/s²]	1,01	1,04	1,12	0,93	1,09	0,75	0,72	0,65
a_{WS} [m/s²]	1,03	1,05	1,37	1,25	0,99	0,98	0,98	1,03
SEAT*	0,93	0,96	0,77	0,66	1,00	0,67	0,66	0,57
a_{WP12} [m/s²]								

Tabelle G8: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G8

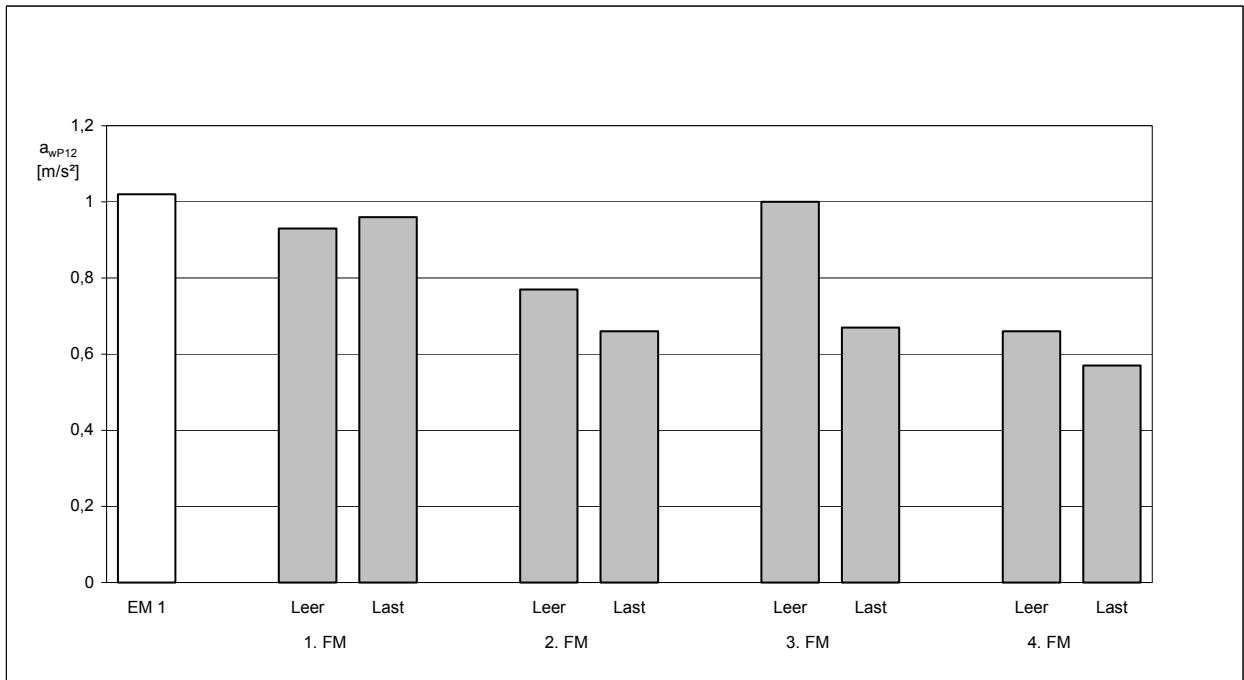


Bild G8.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 1 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G8

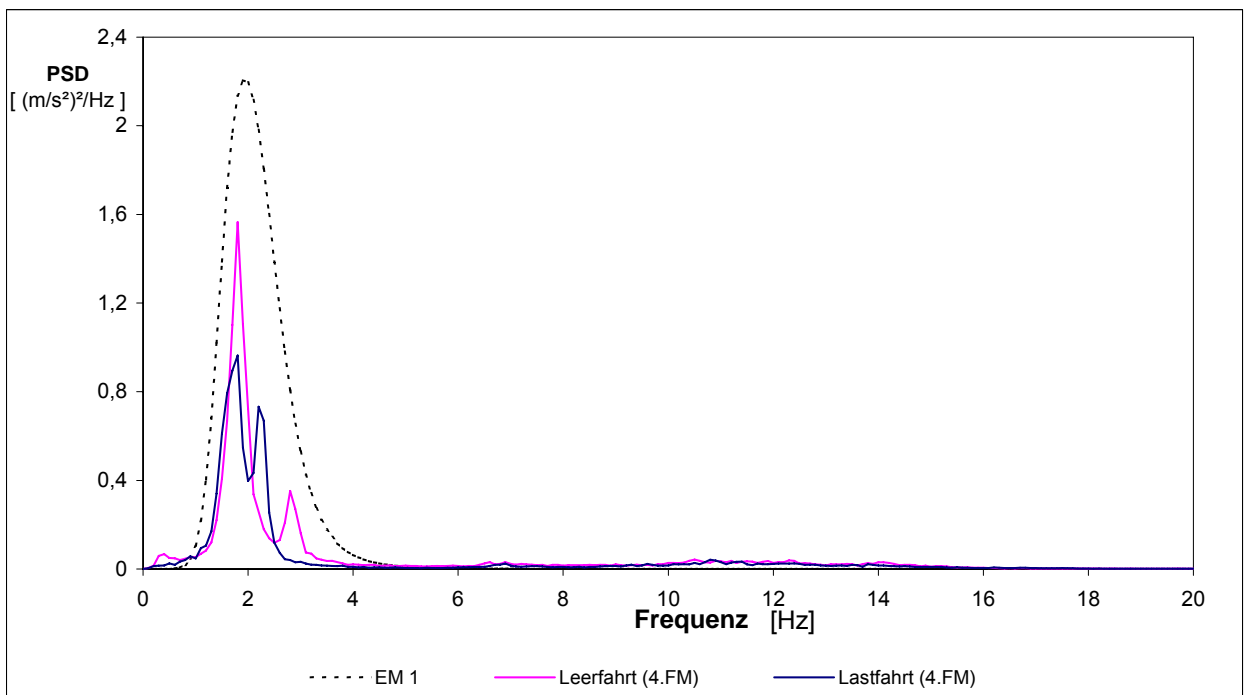


Bild G8.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 1 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 4. Feldmessung / Versuchssitz G8

Versuchssitz: G 9

Sitztyp: DS 85 H/L

Versuchsträger: G9

Maschine: Dumper K 40, Fa. Faun (m= t, P=353 kW)

Spektralklasse: EM 1 (Muldenfahrzeug > 4500 kg Betriebsgewicht)

Einsatzort: Steinbruch



Versuchsträger: G9a

Maschine: Radlader 950 B, Fa. Caterpillar (m=16 t, P=110 kW)

Spektralklasse: EM 3 (Radlader > 4500 kg Betriebsgewicht)

Einsatzort: Sandgrube



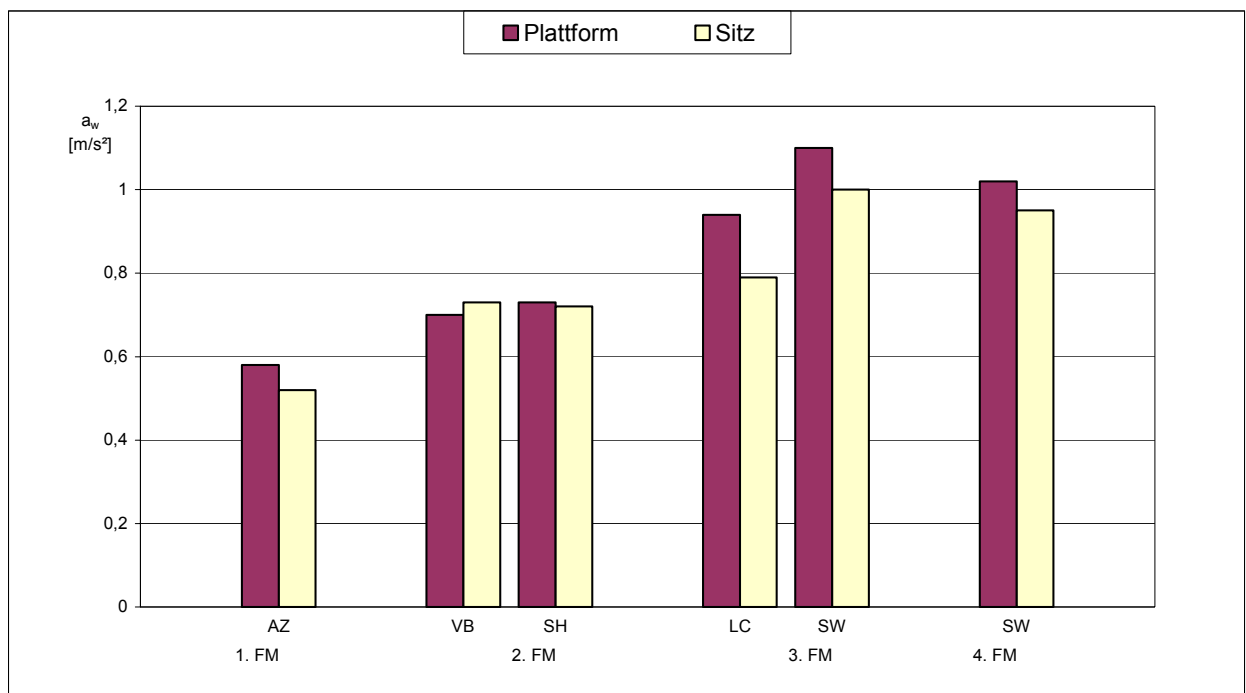


Bild G9.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G9

Betriebzustände:

AZ	Arbeitszyklus, Leer- und Lastfahrt
VB	V-Betrieb
SH	Schieben auf Halde
LC	Load & carry
SW	Sandgewinnung aus der Wand

Versuchssitz G9	Feldmessungen (FM)					
Nr. der Messung	1. FM	2. FM		3. FM	4. FM	
Versuchsträger	G9	G9a				
Maschine	Dumper K 40	Radlader CAT 950 B				
Messdatum	03.07.1996	08.07.1998		20.07.1999		30.08.2000
Betriebsstunden des Sitzes [h]	20	1208		1950		2361
Fahrername	Schmidt	Hoffmann		Müller		Müller
Fahrgewicht [kg]	80	90		86		86
Betriebszustand	AZ	VB	SH	LC	SW	SW
a_{WP} [m/s ²]	0,58	0,70	0,73	0,94	1,10	1,02
a_{WS} [m/s ²]	0,52	0,73	0,72	0,79	1,00	0,95
SEAT*	0,91	1,04	0,98	0,85	0,91	0,93
a_{WP12} [m/s ²]	0,49	0,66	0,67	0,88	1,04	0,95

Tabelle G9: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G9

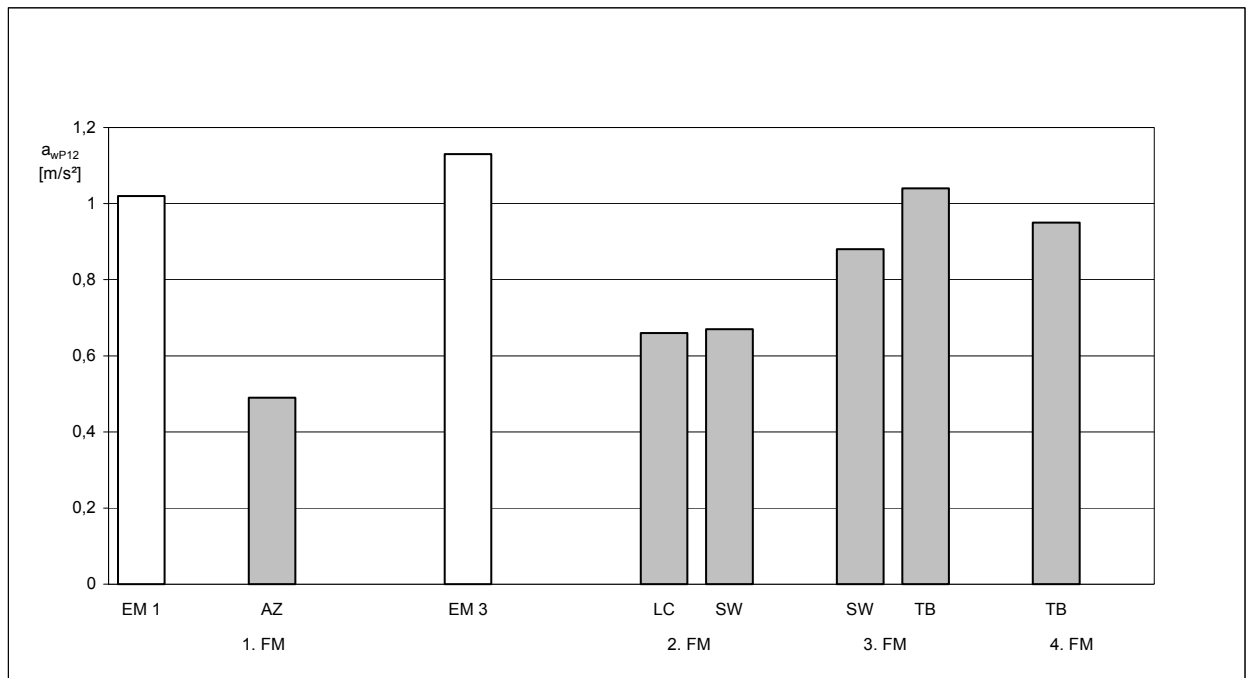


Bild G9.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 1 und EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G9

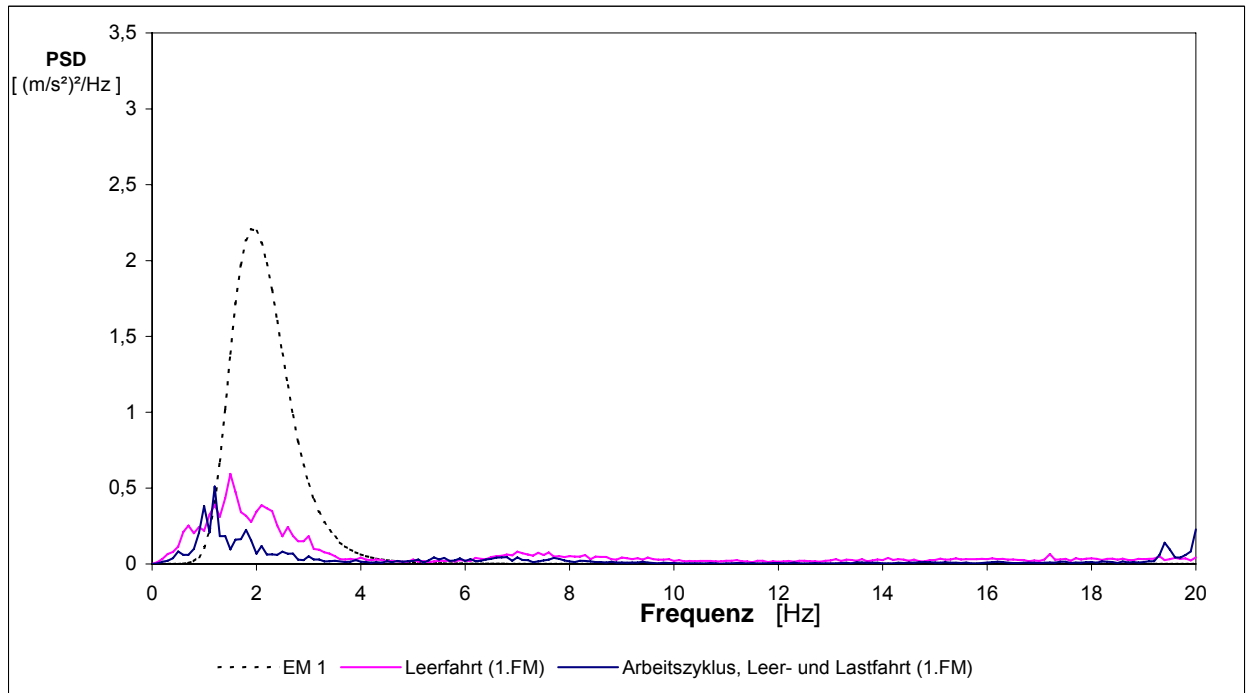


Bild G9.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 1 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 1. Feldmessung / Versuchssitz G9 / Versuchsträger G9

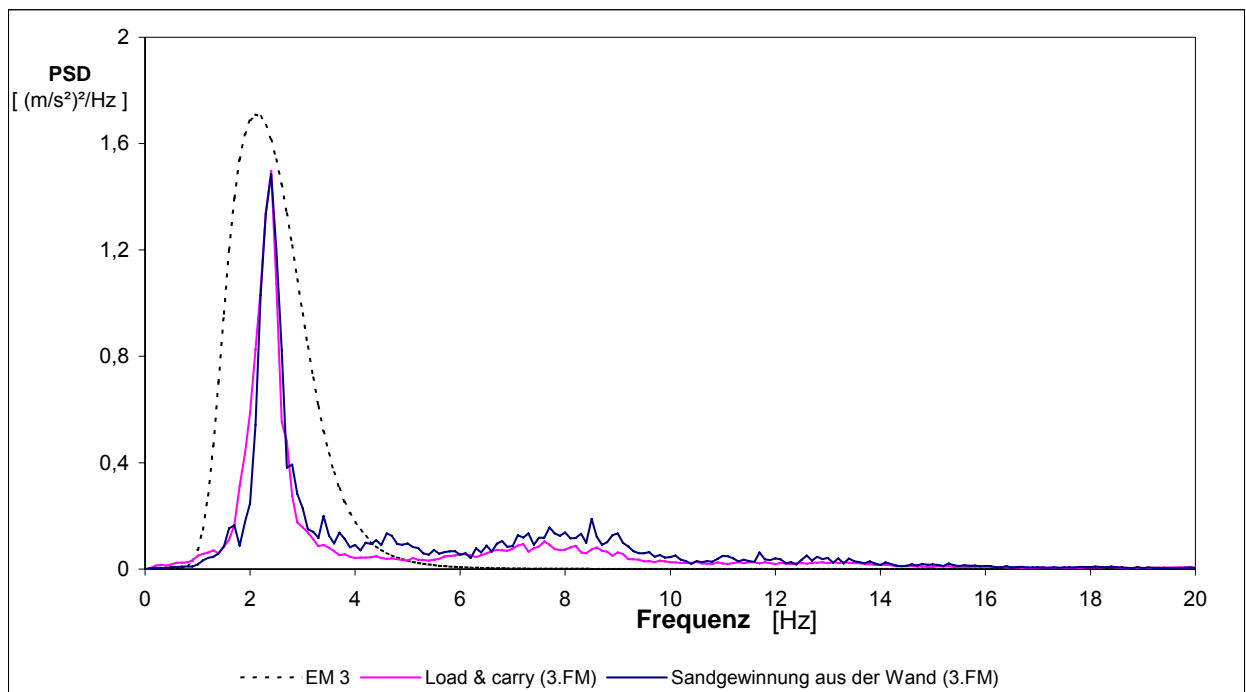


Bild G9.4: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 3. Feldmessung / Versuchssitz G9 / Versuchsträger G9a

Versuchssitz: G 10

Sitztyp: MSG 95A
Maschine: Radlader 992 C, Fa. Caterpillar (m=86 t, P=515 kW)
Spektralklasse: EM 3 (Radlader > 4500 kg Betriebsgewicht)
Einsatzort: Steinbruch



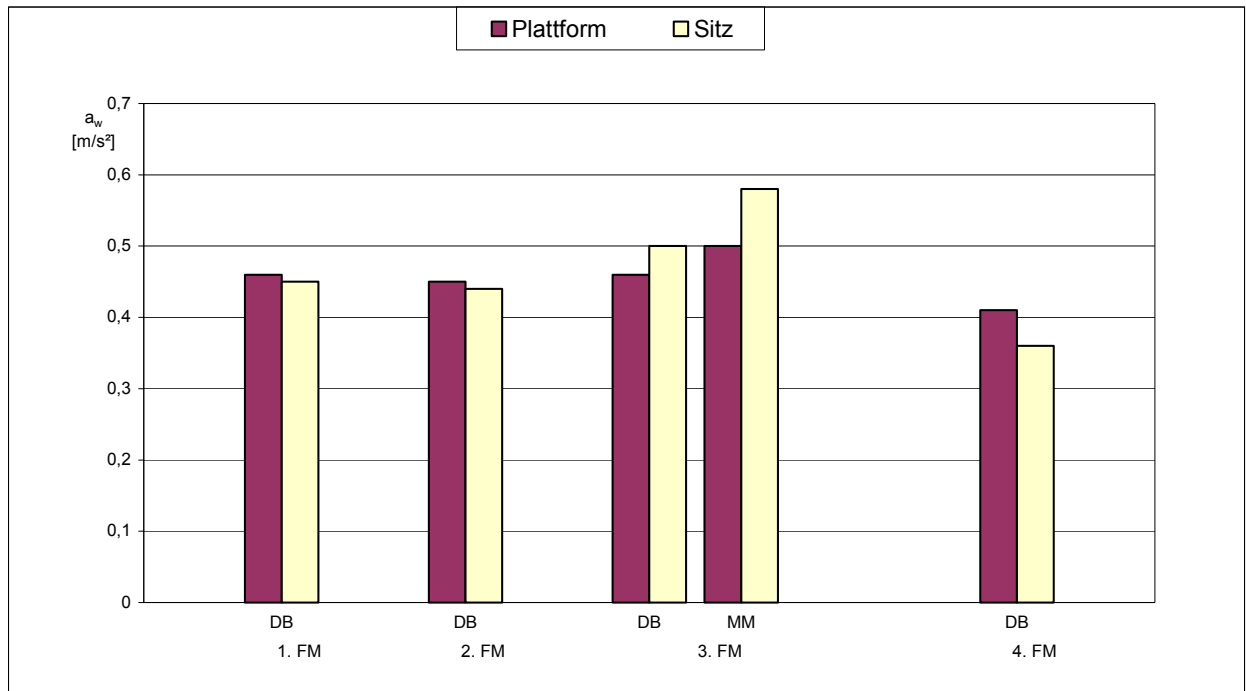


Bild G10.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G10

Betriebzustände: DB Dumper beladen
MM Material mischen

Versuchssitz G10	Feldmessungen (FM)				
	1. FM	2. FM	3. FM	4. FM	
Nr. der Messung	1. FM	2. FM	3. FM	4. FM	
Messdatum	07.08.1997	13.05.1998	15.06.1999	13.09.2000	
Betriebsstunden des Sitzes [h]	216	1408	3252	ca. 5200	
Fahrername	Baierl	Hofrichter	Baierl	Bengerl	
Fahrgewicht [kg]	80	85	80	85	
Betriebzustand	DB	DB	DB	MM	DB
a_{WP} [m/s²]	0,46	0,45	0,46	0,50	0,41
a_{WS} [m/s²]	0,45	0,44	0,50	0,58	0,36
SEAT*	0,99	0,97	1,09	1,16	0,87
a_{WP12} [m/s²]	0,39	0,40	0,41	0,43	0,37

Tabelle G10: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G10

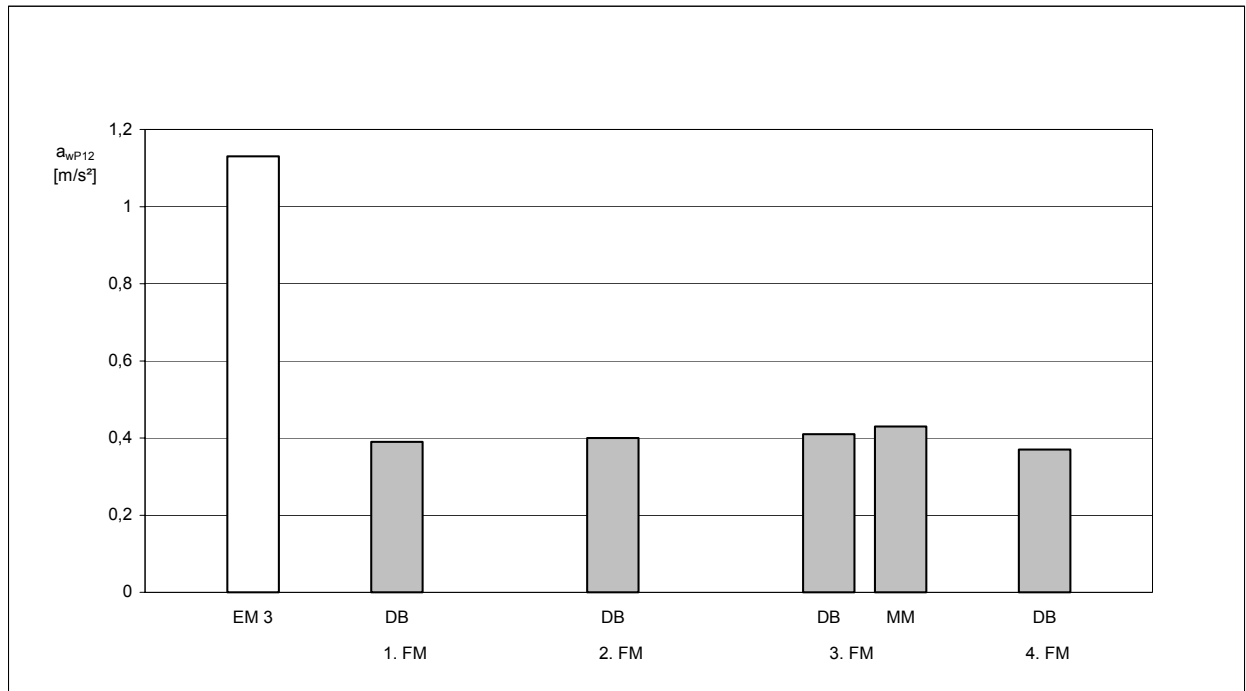


Bild G10.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G10

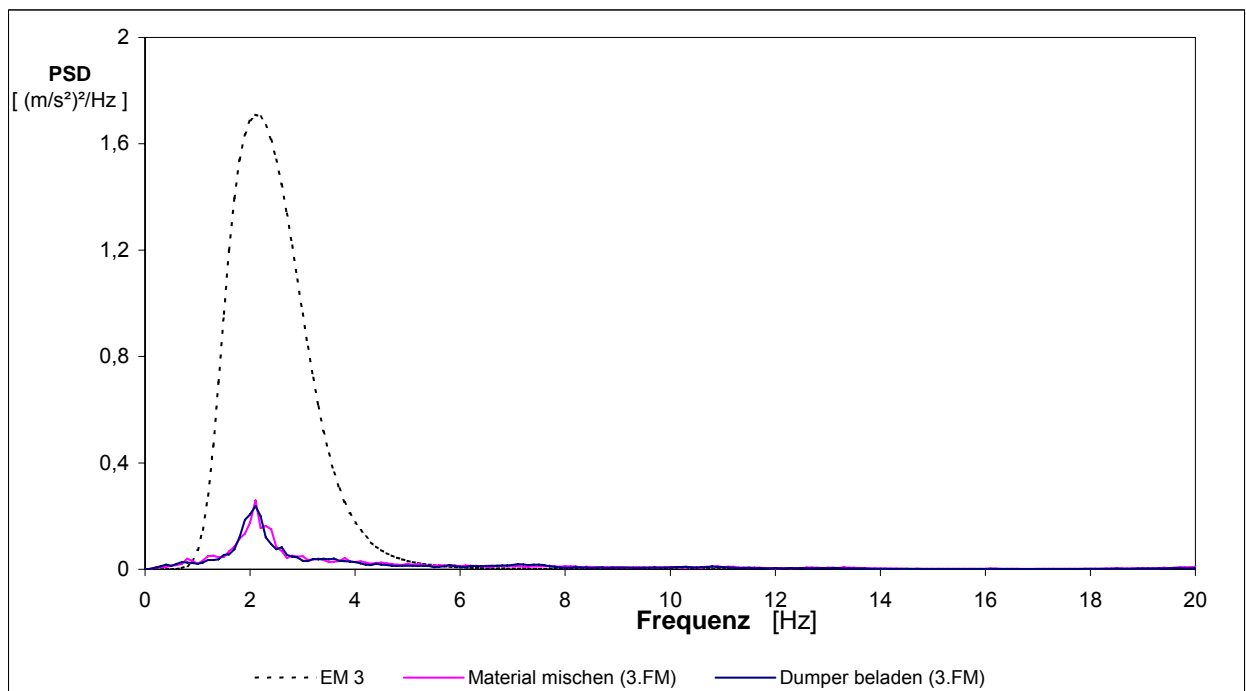


Bild G10.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 3. Feldmessung / Versuchssitz G10

Versuchssitz: G 11

Sitztyp: DS 85 H/L
Maschine: Baggerlader 316 S, Fa. Kramer (m=4,8 t, P=40 kW)
Spektralklasse: EM 5
Einsatzort: Straßenbau



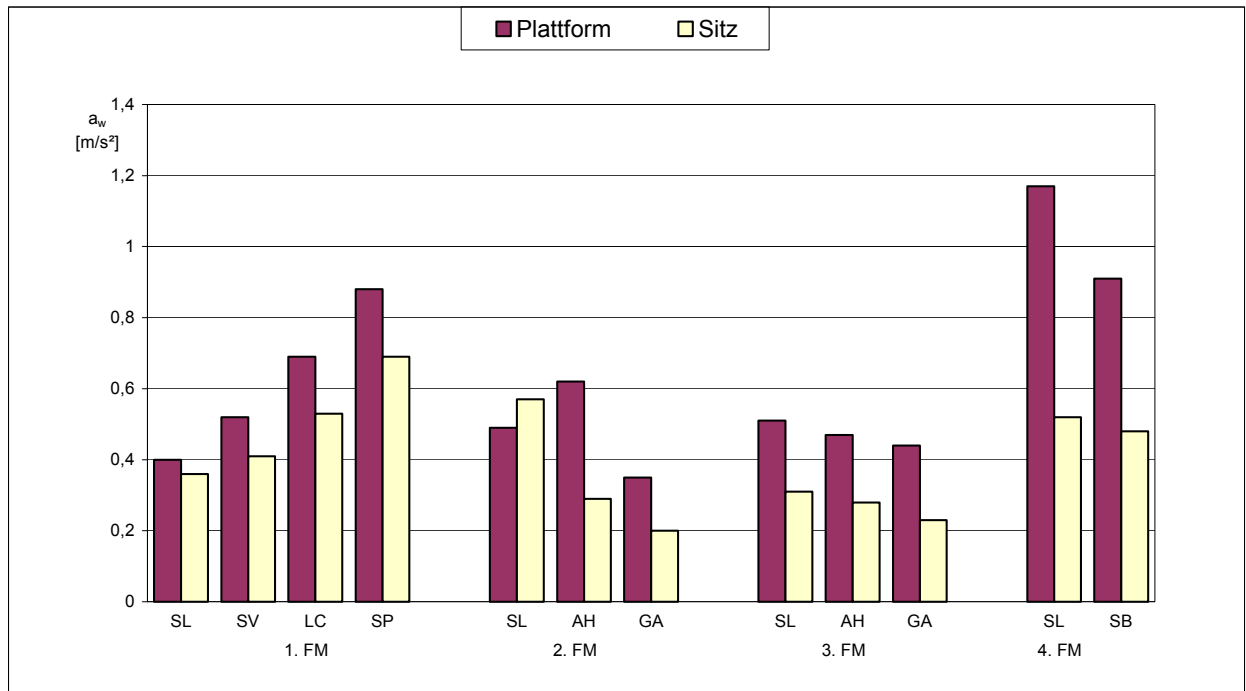


Bild G11.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G11

Betriebszustände:

- SL Straßenfahrt leer
- SV Schotter verteilen
- LC Load & carry
- SP Schieben und planieren
- AH Asphaltaufbruch mit Hydraulikhammer
- GA Graben ausheben (steinig)
- SB Straßenfahrt beladen

Versuchssitz G11	Feldmessungen (FM)											
	1. FM				2. FM			3. FM			4. FM	
Nr. der Messung	02.09.1997				08.07.1998			20.07.1999			25.10.2000	
Messdatum	02.09.1997				08.07.1998			20.07.1999			25.10.2000	
Betriebsstunden des Sitzes [h]	11				360			1103			1823	
Fahrername	Daneck				Pürzel			Pürzel			Wernicke	
Fahrgewicht [kg]	83				102			102			75	
Betriebszustand	SL	SV	LC	SP	SL	AH	GA	SL	AH	GA	SL	SB
a_{wP} [m/s^2]	0,40	0,52	0,69	0,88	0,49	0,62	0,35	0,51	0,47	0,44	1,17	0,91
a_{wS} [m/s^2]	0,36	0,41	0,53	0,69	0,57	0,29	0,20	0,31	0,28	0,23	0,52	0,48
SEAT*	0,89	0,80	0,76	0,79	1,15	0,47	0,57	0,61	0,61	0,53	0,45	0,53
a_{wP12} [m/s^2]	0,38	0,50	0,67	0,85	0,48	0,57	0,32	0,49	0,37	0,41	1,15	0,90

Tabelle G11: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G11

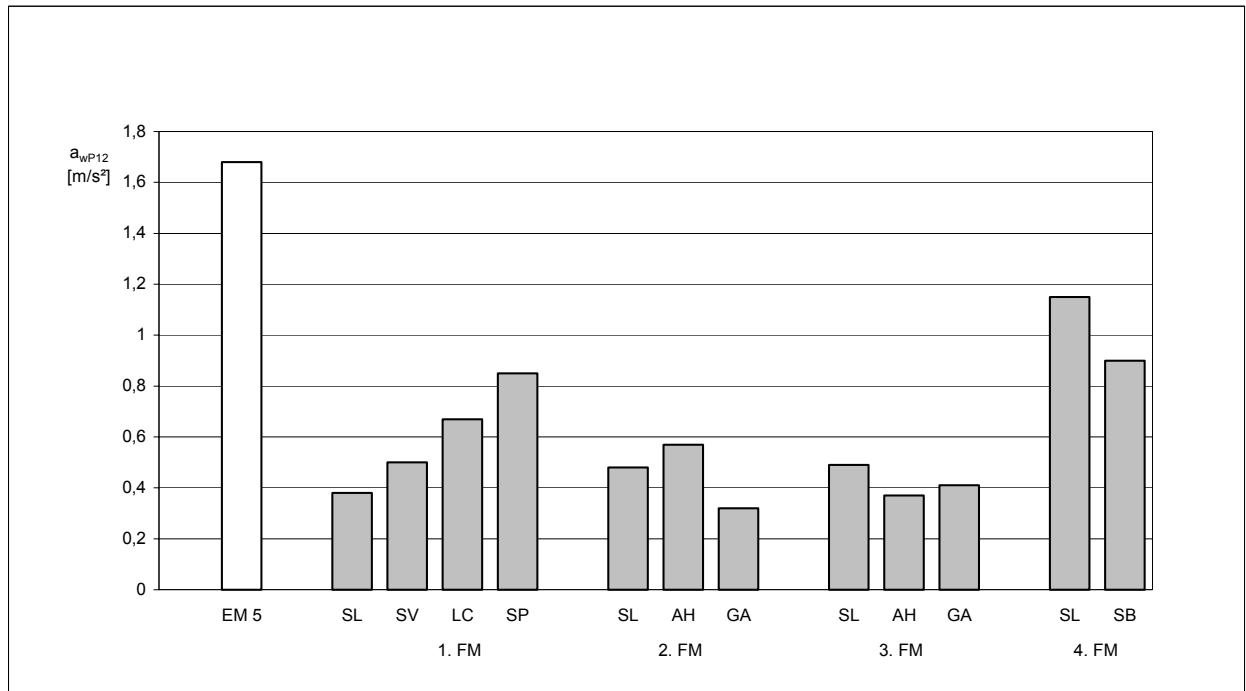


Bild G11.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 5 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G11

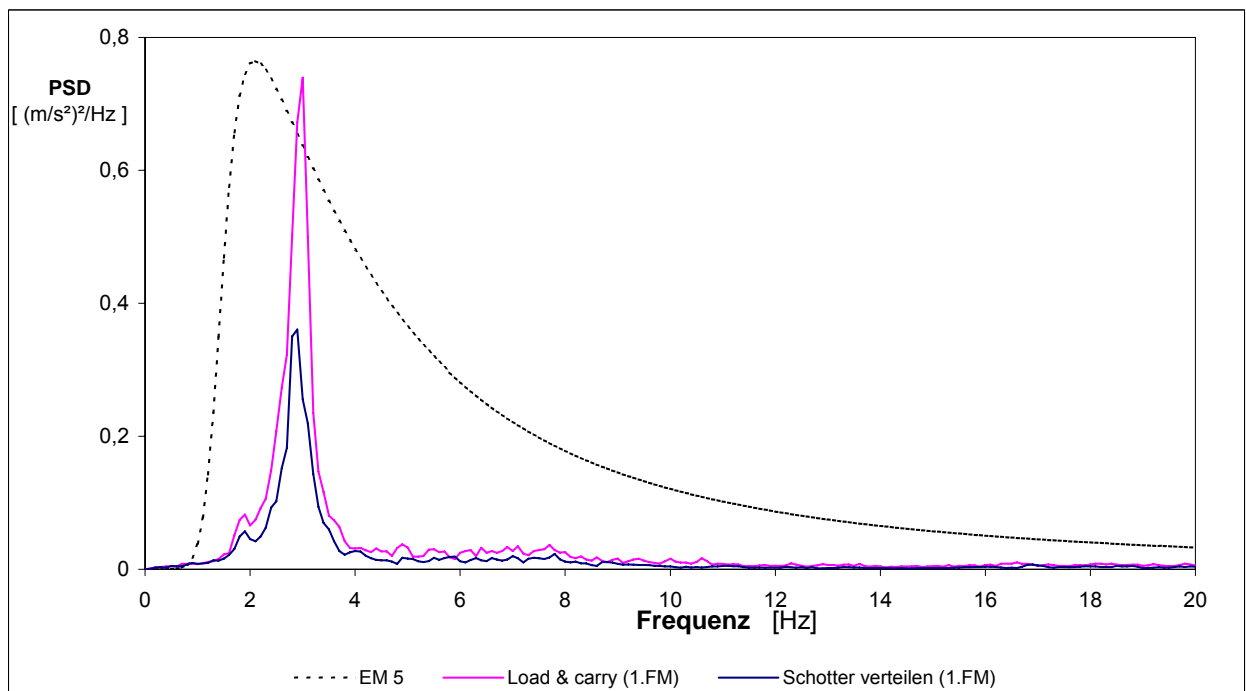


Bild G11.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 5 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 1. Feldmessung / Versuchssitz G11

Versuchssitz: G 12

Sitztyp: DS 85 H/L
Maschine: Kompakt-Radlader 52 C, Fa. Atlas (m=4,35 t, P=35 kW)
Spektralklasse: EM 8 (Radlader \leq 4500 kg Betriebsgewicht)
Einsatzort: Straßenbau



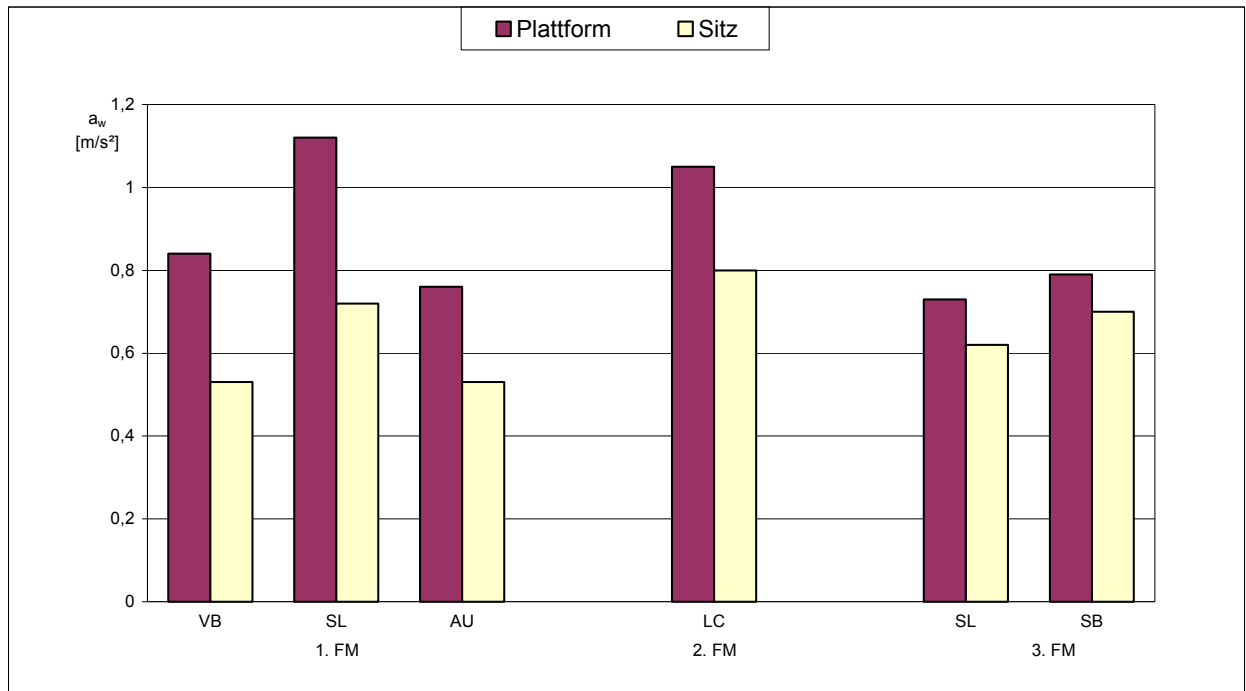


Bild G12.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G12

Betriebszustände: VB V-Betrieb
 SL Straßenfahrt leer
 AU Aufhalten
 LC Load & carry
 SB Straßenfahrt beladen

Versuchssitz G12	Feldmessungen (FM)					
	1. FM			2. FM	3. FM	
Nr. der Messung	07.07.1998			29.09.1999	31.08.2000	
Messdatum	409			995	1319	
Betriebsstunden des Sitzes [h]	Thomalla			Beer	Mendelbauer	
Fahrername	110			76	70	
Fahrgewicht [kg]	VB	SL	AU	LC	SL	SB
Betriebszustand	0,84	1,12	0,76	1,05	0,73	0,79
a_{WP} [m/s^2]	0,53	0,72	0,53	0,80	0,62	0,70
a_{WS} [m/s^2]	0,63	0,64	0,69	0,76	0,85	0,88
SEAT*	0,77	1,08	0,71	1,02	0,71	0,77
a_{WP12} [m/s^2]						

Tabelle G12: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G12

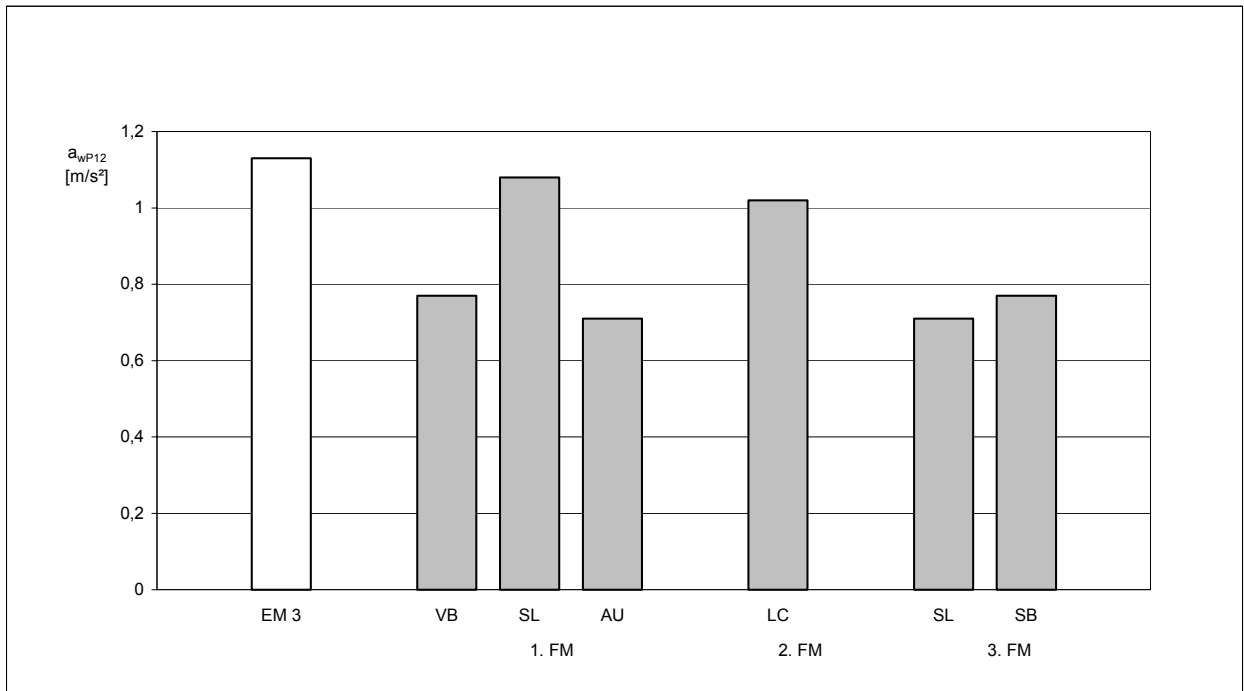


Bild G12.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 8 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G12

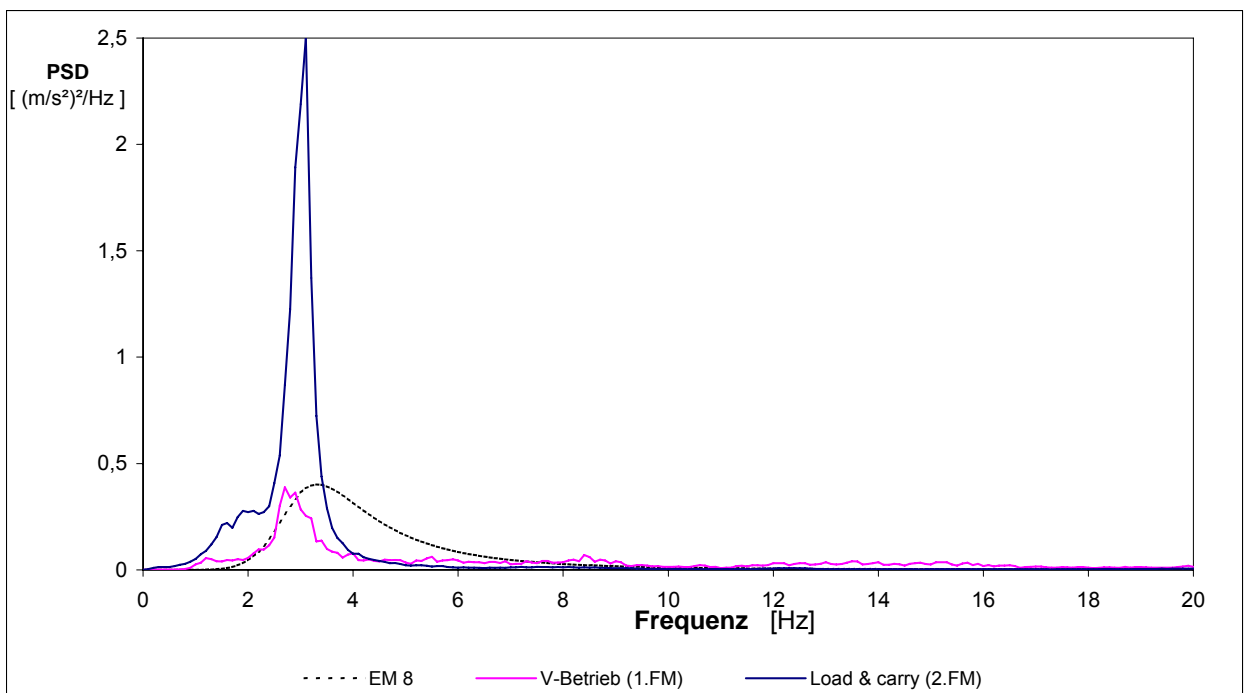


Bild G12.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 8 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 1. und 2. Feldmessung / Versuchssitz G12

Versuchssitz: G 13

Sitztyp: MSG 95A
Maschine: Radlader 950 B, Fa. Caterpillar (m=16 t, P=110 kW)
Spektralklasse: EM 3 (Radlader > 4500 kg Betriebsgewicht)
Einsatzort: Verladehof



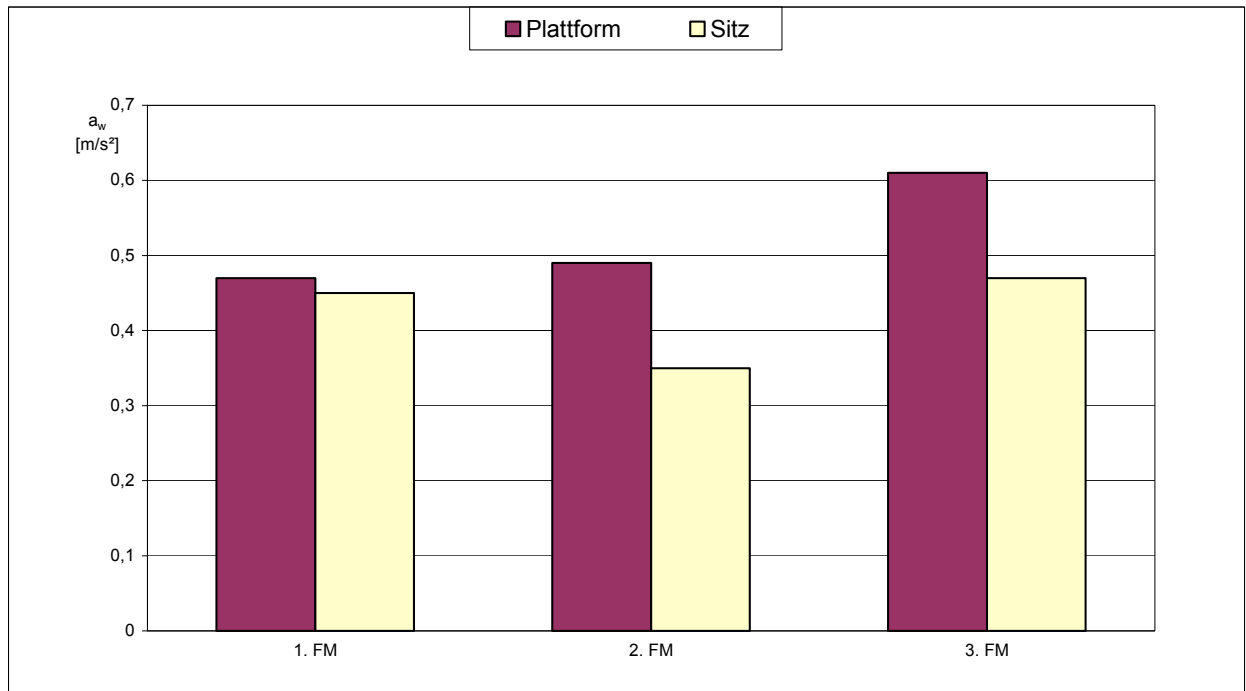


Bild G13.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G13

Versuchssitz G13	Feldmessungen (FM)		
	1. FM	2. FM	3. FM
Nr. der Messung	1. FM	2. FM	3. FM
Messdatum	06.08.1997	07.07.1998	20.07.1999
Betriebsstunden des Sitzes [h]	4	2085	5148
Fahrername	Förster	Kräuter	Kräuter
Fahrgewicht [kg]	68	72	73
Betriebszustand	Trichter beschicken		
a_{WP} [m/s²]	0,47	0,49	0,61
a_{WS} [m/s²]	0,45	0,35	0,47
SEAT*	0,96	0,72	0,78
a_{WP12} [m/s²]	0,39	0,36	0,47

Tabelle G13: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G13

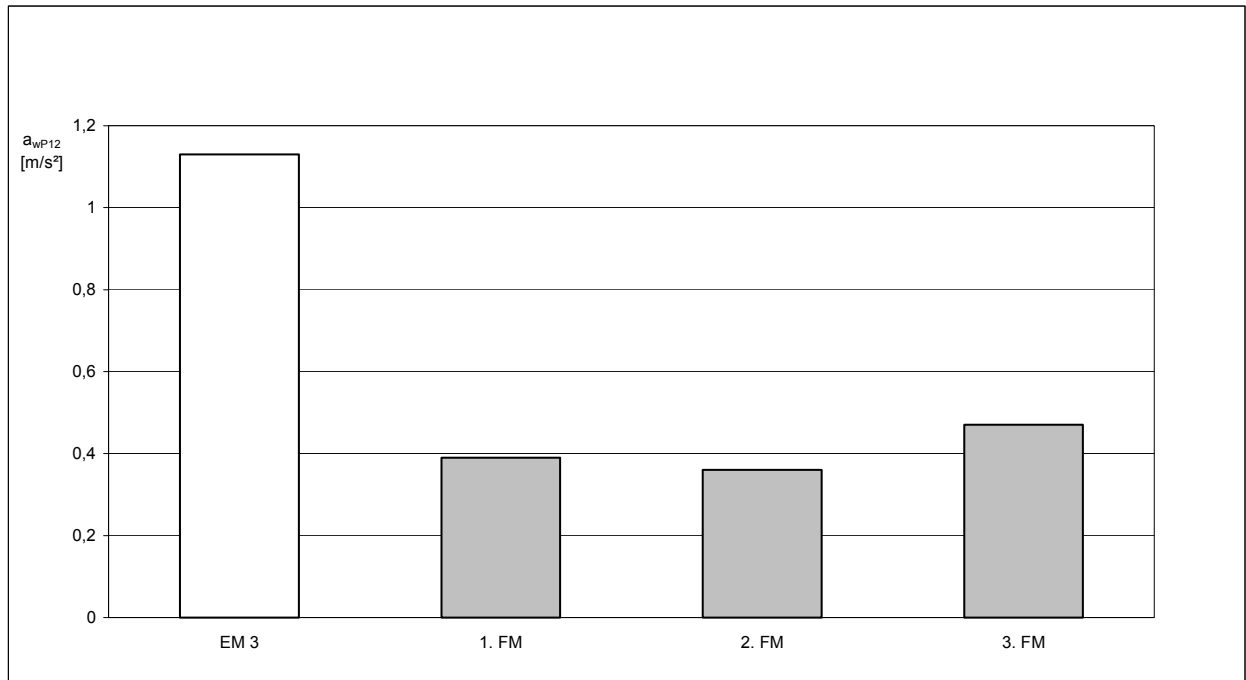


Bild G13.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G13

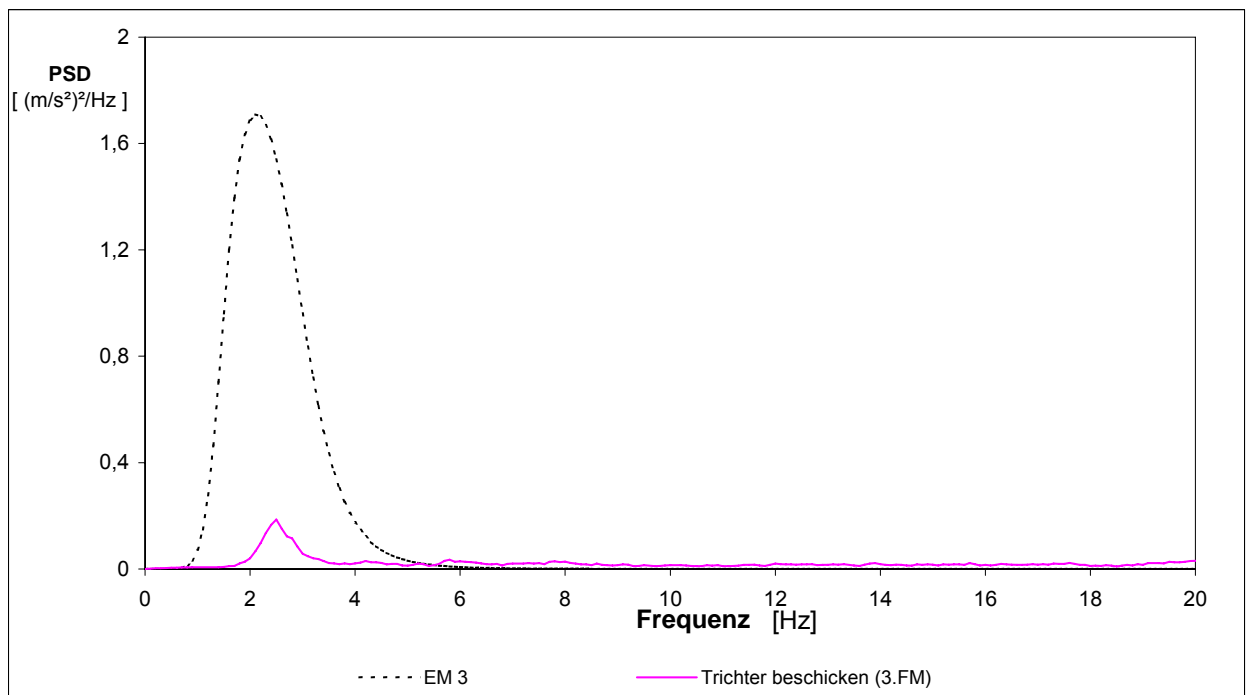


Bild G13.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 3. Feldmessung / Versuchssitz G13

Versuchssitz: G 14

Sitztyp: MSG 95A
Maschine: Planierraupe FD 14 E, Fa. Fiatallis (m=17 t, P=115 kW)
Spektralklasse: EM 6 (Planierraupen)
Einsatzort: Erddeponie



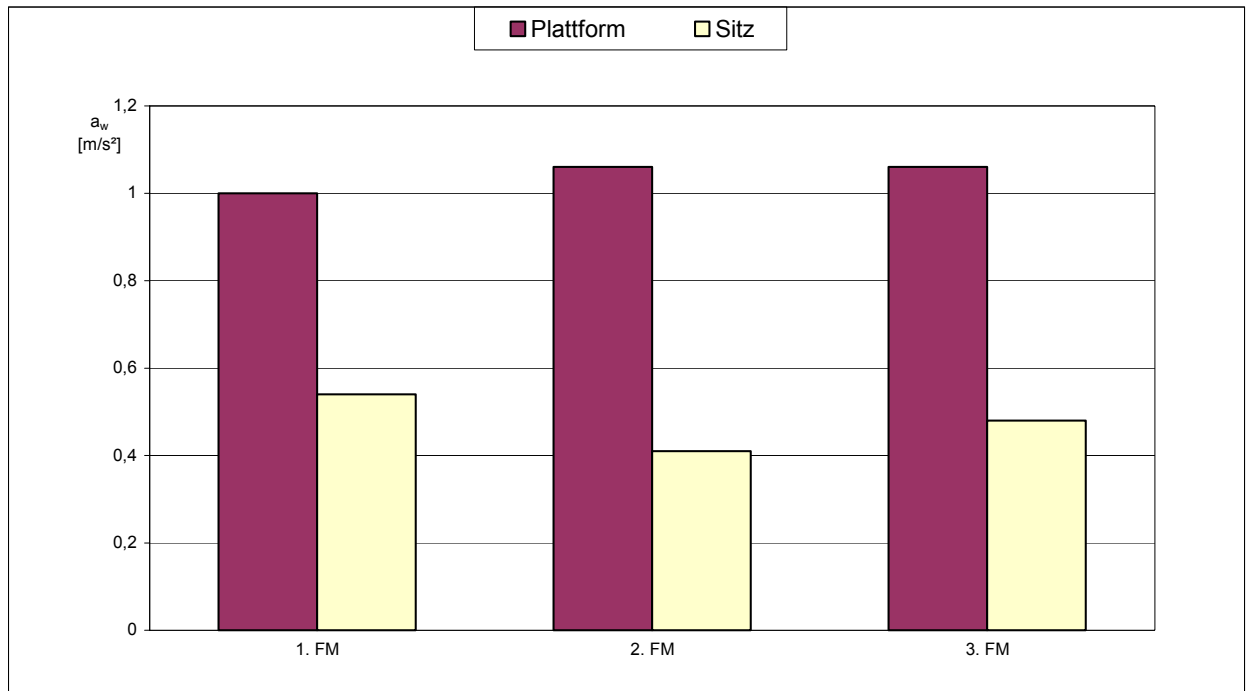


Bild G14.1: Bewertete vertikale Beschleunigung an der Sitzplattform und auf dem Sitz bei den Feldmessungen nach ISO 2631:1997 / Versuchssitz G14

Versuchssitz G14	Feldmessungen (FM)		
	1. FM	2. FM	3. FM
Nr. der Messung			
Messdatum	02.09.1997	08.07.1998	29.09.1999
Betriebsstunden des Sitzes [h]	213	1161	1997
Fahrername	Zangl	Zangl	Zangl
Fahrgewicht [kg]	90	90	90
Betriebszustand	Schieben und planieren		
a_{WP} [m/s²]	1,00	1,06	1,06
a_{WS} [m/s²]	0,54	0,41	0,48
SEAT*	0,54	0,38	0,46
a_{WP12} [m/s²]	0,92	0,99	0,95

Tabelle G14: Ergebnisse der Feldmessungen am Versuchssitz G14

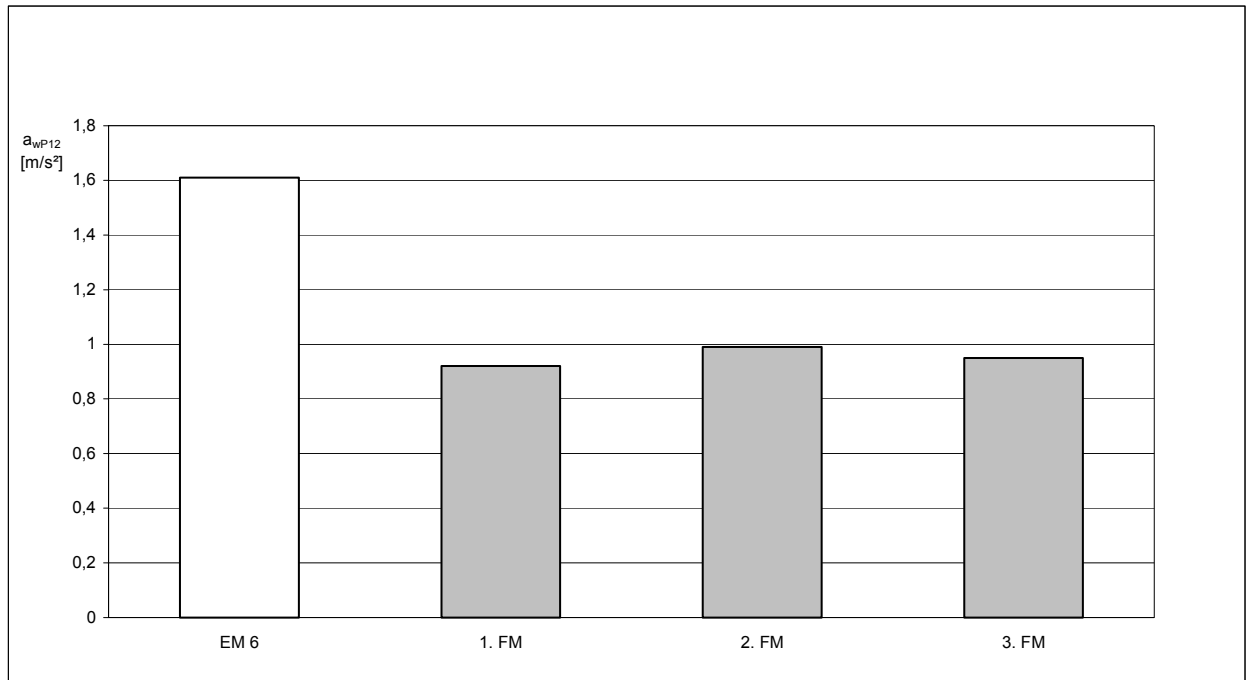


Bild G14.2: Bewertete Beschleunigung der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei den Feldmessungen / Versuchssitz G14

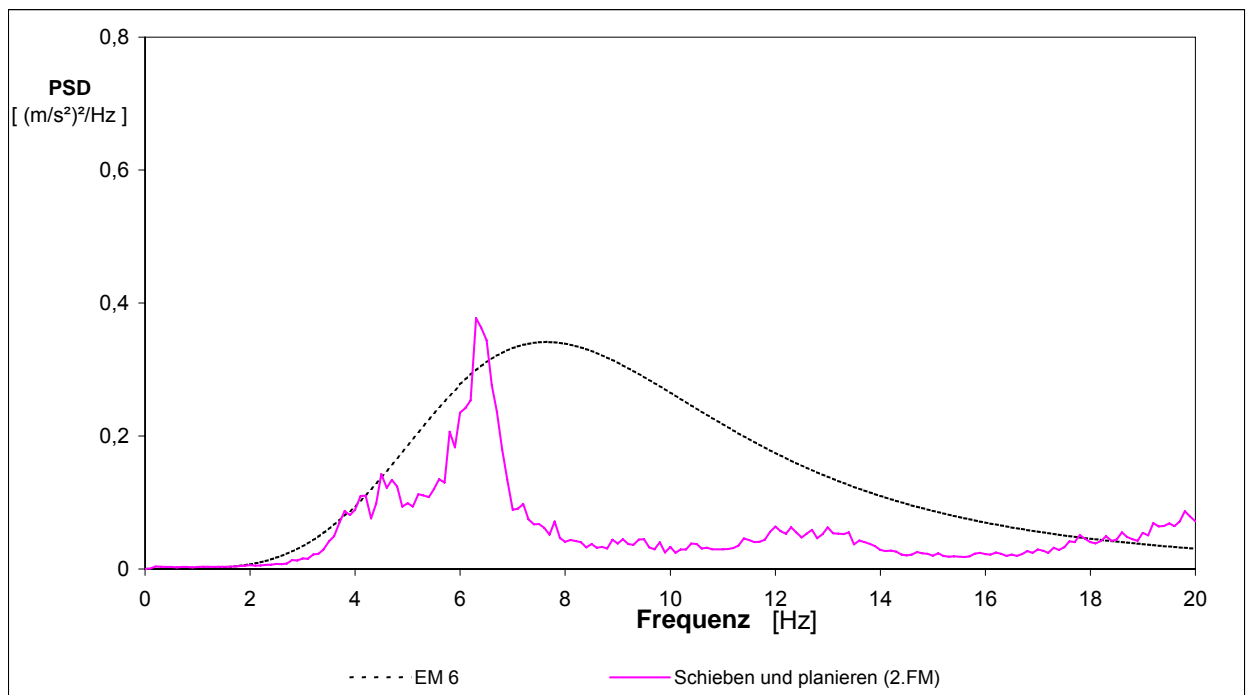


Bild G14.3: PSD-Spektrum der Prüf-Erregerschwingung EM 3 nach EN ISO 7096:2000 und der Schwingungsanregung bei der 2. Feldmessung / Versuchssitz G14

