

## **Praxiseignung von Herstellerangaben am Beispiel der Hand-Arm-Vibrationen von Motorkettensägen**

### **Relevance of manufacturers' data to the field with reference to the example of hand-arm vibration on chainsaws**

Dipl.-Ing. **Uwe Kaulbars**, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung – (IFA), Sankt Augustin

#### **Kurzfassung**

Erfolgt die Gefährdungsbeurteilung auf der Grundlage von Herstellerangaben, ist es abzuwägen, ob die Vibrationsemissionswerte für den zu beurteilenden praktischen Einsatz der Maschinen repräsentativ ist. Abweichungen können nicht nur durch unterschiedliche Betriebs- und Arbeitsbedingungen, sondern auch dadurch entstehen, dass die Maschinen im praktischen Einsatzfall nicht neuwertig sind und nicht immer unter optimalen Betriebsbedingungen benutzt werden.

Für die intensive Nutzung von Motorkettensägen in der Holzernte wird die Vorgehensweise zur Ermittlung der Vibrationseinwirkung in der Praxis aufgezeigt.

Der Vortrag zeigt die Ergebnisse und die Vorgehensweise der Untersuchung der Vibrationseinwirkung von Motorkettensägen bei der intensiven Nutzung in der Holzernte.

Dazu fanden systematisch Praxismessungen bei Baumfällarbeiten an 30 Bäumen unter typischen Arbeits- und Betriebsbedingungen statt. Berücksichtigt wurden die Einflussbedingungen Holzart, Arbeitsvorgänge, Maschinen und Bedienperson. Artefakte, die bei Langzeitmessungen entstehen, wenn beispielsweise eine Hand den Griff nicht berührt, wurden mit einer Videokamera am Arbeitsschutzhelm erfasst und später eliminiert. Die Ergebnisse zeigen bei allen Untersuchungen, dass höhere Belastungen am vorderen Griff (Seitengriff) der Motorkettensäge auftraten. Ebenso lag die durchschnittliche Belastung bei Fichten höher als bei Buchen. Die Herstellerangabe für den Schwingungsgesamtwert des untersuchten Maschinentyps von  $a_{hv} = 3,5 \text{ m/s}^2$  mit der erweiterten Unsicherheit  $K = 2,0 \text{ m/s}^2$  nach DIN EN 12096 deckt einen Überlappungsbereich von 1,5 bis 5,5  $\text{m/s}^2$  ab. Dies bedeutet, dass 90 % aller auftretenden Werte in diesem Bereich liegen. Die gemessenen Durchschnittswerte, die

die systematischen Abweichungen berücksichtigen liegen jedoch im Bereich von 3,4 bis 5,1 m/s<sup>2</sup>. Daher kann nicht ausgeschlossen werden, dass aufgrund der Herstellerangabe - wenn man die erweiterte Unsicherheit nicht berücksichtigt - die Gefährdung unterbewertet wird. Dies zeigt, dass nicht generell darauf verzichtet werden kann, den Vertrauensbereich der Herstellerangabe bei der Gefährdungsbeurteilung zu vernachlässigen, wie es derzeit in der Technischen Regel zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung beschrieben ist. Darüber hinaus wird die bei Praxismessungen auftretende erhöhte Messunsicherheit durch einen festen Messpunkt bei wechselnden Positionen der Hände an den Griffen aufgezeigt.

### **Abstract**

Where risk assessment is based upon manufacturers' data, it should be considered whether the vibration emission values are representative in practical use for the machines under test. Deviations may result not only from differences in the working and operating conditions, but also from the fact that the machines are not necessarily in an as-new condition, and are not always used under ideal operating conditions.

The paper describes the procedure for determining the vibration exposure occurring in practice during intensive use of chainsaws for timber harvesting.

The paper describes the procedure for determining the vibration exposure occurring in practice during intensive use of chainsaws for timber harvesting, and the results.

For this purpose, field measurements were conducted systematically during the felling of 30 trees under typical operating and working conditions. Consideration was given to the following influencing factors: species of wood, working procedures, machinery and operators. Artefacts arising during long-term measurements, for example when a hand is not in contact with the handle, were detected by a video camera mounted on the operator's helmet, and subsequently eliminated. In all studies, higher exposures were seen to occur on the forward handle (side handle) of the chainsaw. The average exposure was also higher for spruce than for beech. The manufacturer's declared total vibration value  $a_{hv}$  of 3.5 m/s<sup>2</sup> with the uncertainty K of 2.0 m/s<sup>2</sup> to EN 12096 for the machine type under test covers an overlap from 1.5 m/s<sup>2</sup> to 5.5 m/s<sup>2</sup>. This means that 90% of all values occurring are within this range. The average values measured, which take account of the systematic deviations, lie however in the range from 3.4 to 5.1 m/s<sup>2</sup>. The possibility cannot therefore be excluded of the manufacturer's figure resulting in the risk being underestimated if the uncertainty is ignored. This shows that the confidence interval of the manufacturer's figure cannot generally be

disregarded during risk assessment, as is currently described in the Technical Rule under the German Ordinance on noise and vibration protection.

The English version you will find [www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa), Webcode m849434

## 1. Einleitung

Gemäß der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [1] kann die Gefährdungsbeurteilung derzeit nach mehreren Verfahren erfolgen, z. B. auf der Grundlage von Messungen oder Schätzungen unter Heranziehung von Herstellerangaben bzw. anderen Datenquellen.

Die Verordnung fordert bei nicht sicherer Ermittlung der Einhaltung der Auslöse- und Expositionsgrenzwerte die Festlegung der Exposition durch Messungen.

Die TRLV Vibration [2] gibt bisher als Qualitätsmerkmal eine Rangfolge für die Auswahl geeigneter Informationsquellen vor. Danach sind vorzugsweise Messwerte von Arbeitsplatzmessungen als genauere Grundlage für die Gefährdungsbeurteilung heranzuziehen. Sie fordert bisher bei der Verwendung der Herstellerangaben nicht die Berücksichtigung der erweiterten Unsicherheit K. Eine Aussage über die Zuverlässigkeit der Schätzung erfolgt daher nicht auf der Grundlage des sich aus K ergebenden Vertrauensniveaus.

Die Messnormen zur Ermittlung der Herstellerangaben wurden zum Vergleich der Maschinen untereinander entwickelt und basieren auf gut reproduzierbaren Labormessverfahren.

Als Hilfe zur Übertragung der Laborwerte für den praktischen Einsatzfall bietet die DIN SPEC 45694 [3] weitere Informationen.

Das Labormessverfahren nach DIN EN ISO 22867 [4] basiert unter anderem auf einer festgelegten Schnittposition mit astreinem Holz, neuen Maschinen und optimal geschärften Ketten. Eine Besonderheit bei Motorkettensägen ist, dass sich die Herstellerangabe aus Vibrationswerten von unterschiedlichen Betriebszuständen zusammensetzt. Die Zusammensetzung der zeitlichen Anteile ist für den typischen Einsatzfall repräsentativ, diese kann jedoch bei anderen Anwendungen abweichen.

In der nachfolgend beschriebenen Untersuchung wurde unter repräsentativen Praxisbedingungen die Belastung ermittelt [5].

## 2. Methode – Ermittlung der Gefährdung und Beurteilung

Aufbauend auf den Erfahrungen von Aufsichtspersonen der Unfallkassen sowie von Lehrkräften des Forstwirtschaftlichen Bildungszentrums wurden die Rahmenbedingungen mit der Strategie zur Durchführung der Messungen wie folgt festgelegt:

- Ermittlung der Vibrationsexposition bei der Holzernte von Fichten und Buchen
- Messungen der kompletten Arbeitszyklen
- Bedienung der Motorkettensägen durch erfahrene Personen
- Verwendung der Ketten des üblichen Einsatzes
- keine neuen, aber gut gewartete Motorkettensägen (die Gebrauchsdauer sollte mindestens 500 Betriebsstunden betragen, die jedoch aufgrund der Schätzung sicherlich geringer war).
- Videodokumentation der Messungen
- mindestens drei Probanden mit drei verschiedenen Motorsägen vom gleichen Typ.
- Fällung von 15 Buchen und 15 Fichten

Aus Gründen des Aufwandes wurden die Untersuchungen auf einen Maschinentyp eines Herstellers begrenzt. Ausgewählt wurde eine typische Maschine, die exemplarisch für vergleichbare Maschinen ist.

Die Messungen wurden nach den in DIN EN ISO 5349-2 [6] festgelegten Messverfahren mit einer Messkette, die die Anforderungen der DIN EN ISO 8041 [7] erfüllt, durchgeführt.

Die Beschleunigungsaufnehmer wurden am vorderen Griff, der auch als Hilfsgriff oder Seitengriff bezeichnet wird, und am hinteren Griff (Hauptgriff), angebracht (Bild 1).



Bild 1: Lage der Messpunkte

Zur Vermeidung von Abweichungen zu den Labormessverfahren (Emissionsnormen) entsprechen die Messpunkte den Festlegungen in DIN EN ISO 22867 [4].

In der Neufassung des informativen Anhangs A der DIN EN ISO 5349 wird dieser Messpunkt am vorderen Griff für den Anwendungsfall, dass mit der Kettensäge seitlich gearbeitet wird, als ungeeignet bezeichnet. Es wird empfohlen, den Beschleunigungsaufnehmer an die jeweilige Greifstelle umzusetzen.

Im praktischen Einsatzfall ist dies jedoch nicht möglich. Die Anbringung mehrerer Beschleunigungsaufnehmer, die ein Umgreifen erforderlich macht, kann aus Sicherheitsgründen nicht erfolgen.

Durch die Abweichungen von der Idealforderung, den Beschleunigungsaufnehmer an dem Messpunkt anzubringen, an dem die Schwingungseinwirkung am repräsentativsten ist, entsteht ein erhöhter Messunsicherheitsanteil, auf den in der Auswertung noch eingegangen wird.

### **3. Ergebnisse – Auswertung der Messungen**

Die Aufzeichnungen der Messungen wurden mithilfe der Videoaufnahmen von Artefakten bereinigt. Typische Artefakte entstanden dadurch, dass die Hand nicht an der Einleitungsstelle Griff war, durch das Absetzen der Maschine oder durch die vom Benutzer selbst eingeleiteten Stöße.

Die Auswertung erfolgte für jeden Baum getrennt nach den Messpunkten sowie getrennt in den Messrichtungen x, y, z und dem Schwingungsgesamtwert für die unterschiedlichen Arbeitsvorgänge „Fällen“, „Zuschneiden“ und „Entasten“.

Der Arbeitsvorgang „Fällen“ enthält die Expositionen bis zu dem Zeitpunkt, an dem der Baum fällt.

Der Arbeitsvorgang „Zuschneiden“ enthält die Expositionen beim „Gesundschneiden“ und für die Nadelbäume auch beim „Zuschneiden“ nach Abmaß. Je nach Baum variiert die Anzahl der Zuschneidevorgänge.

Der Arbeitsvorgang „Entasten“ enthält die Exposition, die beim Entfernen aller Äste auftritt.

Da durch die unterschiedliche Beschaffenheit der einzelnen Bäume die jeweiligen Arbeitsanteile, aber auch die Schwingungshöhe stark variierten, wurde die jeweilige Teiltagesdosis zur besseren Vergleichbarkeit aus den energieäquivalenten Mittelwerten und den dazugehörigen Expositionszeitanteilen bestimmt.

Die Einzelbelastungen der unterschiedlichen Arbeitsvorgänge wurden dann zu einer „Baumtagesdosis“ zusammengefasst.

Diese bisher nicht übliche Betrachtung erleichtert den Vergleich des unterschiedlichen Belastungsaufwandes für jeden einzelnen Baum.

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse des Wertebereiches und des Mittelwertes mit der Standardabweichung  $\delta$  der Baumtagesdosis getrennt nach Baumart und Einleitungsstelle zusammengefasst.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Baumtagesdosis

Baumart	Baumtagesdosis $A_1(8)$ in $m/s^2$ an den Handgriffen					
	Hauptgriff			Seitengriff		
	Minimalwert	Mittelwert $\pm \delta$	Maximalwert	Minimalwert	Mittelwert $\pm \delta$	Maximalwert
Fichten	0,42	0,49 $\pm$ 0,07	0,6	0,48	0,61 $\pm$ 0,12	0,84
Buchen	0,19	0,29 $\pm$ 0,06	0,41	0,28	0,39 $\pm$ 0,07	0,54

Deutlich ist für beide Baumarten die höhere Belastung am Seitengriff (vorderer Handgriff) erkennbar. Da die höhere Belastung zur Beurteilung der Gefährdung heranzuziehen ist, beziehen sich die weiteren Betrachtungen auf diese Einleitungsstelle.

Als Parameter für die Unterschiedlichkeit des jeweiligen Baumes steht nur der Durchmesser – gemessen in Brusthöhe – zur Verfügung, Brusthöhendurchmesser genannt.

Die Bilder 2 und 3 zeigen die Höhe der Baumtagesdosis in Abhängigkeit vom Baumdurchmesser. Für die untersuchten Bäume, deren Brusthöhendurchmesser in einem engen Bereich von 32 bis 44 cm für die Fichten und von 23 bis 33 cm für die Buchen liegt, ist keine Tendenz erkennbar. Durchschnittlich ist jedoch die Belastungsdosis für einen Baum bei den Buchen geringer als bei den Fichten.

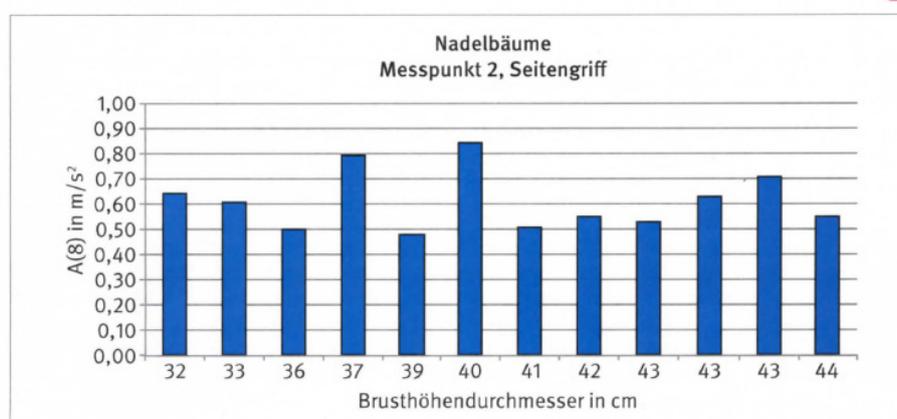


Bild 2: Baumtagesdosis und Baumdurchmesser der Fichten

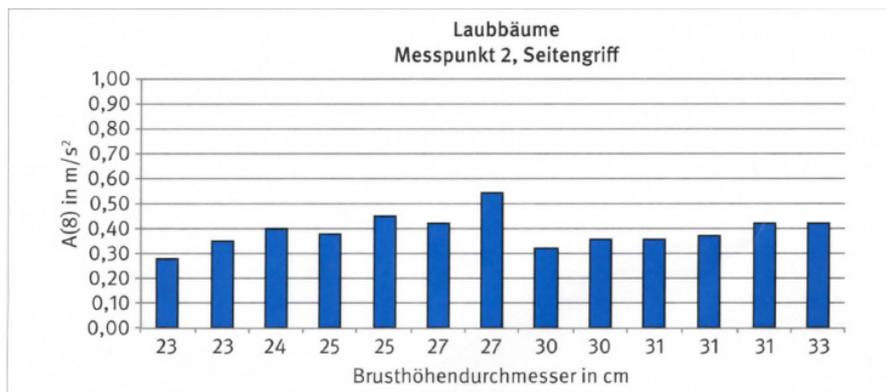


Bild 3: Baumtagesdosis und Baumdurchmesser der Buchen

#### 4. Diskussion – Vergleich der Praxiswerte mit den Herstellerangaben

Zur Verwendung der Herstellerangaben für die Gefährdungsbeurteilung ist die Interpretation dieser Werte erforderlich. Dazu gibt die Norm DIN SPEC 45694 [3] Hinweise zu den folgenden wesentlichen Einflüssen:

- Betriebsbedingungen der Maschine
- Messrichtung und Messort
- Alter und Zustand der Maschine
- Schwingungsdämpfungssystem
- Einsatzwerkzeug

In den Praxismessungen wurden diese Einflüsse im Einzelnen nicht untersucht, sondern die typischen Arbeitsbedingungen für eine repräsentative mittlere Schwingungsbelastung der Arbeitsplatz in der Holzernte.

Tabelle 2 gibt die Schwingungsgesamtwert für alle Messungen zusammengefasst wieder.

Tabelle 2: Zusammenstellung der durchschnittlichen Schwingungsgesamtwerte

Baumart	Schwingungsgesamtwert $a_{hv}$ in $m/s^2$		
	Minimalwert	Mittelwert $\pm \delta$	Maximalwert
Fichte	4,07 (3,4)	4,97 $\pm$ 0,73 (4,2)	6,06 (5,1)
Buche	4,70 (3,9)	5,11 $\pm$ 0,31 (4,3)	5,56 (4,7)

Zu beachten ist, dass die in der Tabelle angegebenen Werte, also auch die Minimal- und Maximalwerte, Durchschnittswerte sind und sich aus mehreren Wiederholungsmessungen sowie Messbedingungen (wie z. B. Betriebszustände, Bedienpersonen, Maschinen) zusammensetzen. Die in Klammern angegebenen Werte berücksichtigen die systematischen Abweichungen, die aufgrund des Abstandes vom Messpunkt und von der Hand beim Umgreifen entstanden.

Die Herstellerangabe des untersuchten Maschinentyps von  $a_{hv} = 3,5 \text{ m/s}^2$  und mit der Ungenauigkeit  $K = 2,0 \text{ m/s}^2$  nach DIN EN 12096 [8] deckt den Überlappungsbereich von 1,5 bis  $5,5 \text{ m/s}^2$  ab. Dies bedeutet, dass 95 % aller Werte unterhalb des Wertes von  $5,5 \text{ m/s}^2$  liegen. Alle durchschnittlichen Schwingungsgesamtwerte liegen innerhalb des Überlappungsbereiches, jedoch liegen bis auf den unteren Wert der Fichten ( $3,4 \text{ m/s}^2$ ) alle Werte oberhalb der Herstellerangabe. Die Messungen unter realen Arbeitsbedingungen sind jedoch auch mit einer Messunsicherheit behaftet [9].

Sollen Messwerte, die an einem Arbeitsplatz an einer Maschine und mit einer Bedienperson unter bestimmten Arbeitsbedingungen ermittelt werden, für einen vergleichbaren Arbeitsplatz herangezogen werden, so müssen die Abweichungen, die zum Beispiel durch die Bedienperson und der Produktstreuung entstehen, berücksichtigt werden.

Insbesondere, wenn der Arbeitsgang wie bei gewachsenen Bäumen sehr unterschiedlich ist, sind stichprobenartige Arbeitsplatzmessungen nicht genauer als repräsentative Belastungsdaten.

Bild 4 zeigt die Häufigkeitsverteilung von 162 Herstellerangaben verschiedener Motorsägen unterschiedlicher Hersteller mit und ohne die Unsicherheit  $K$ . Der Mittelwert der Häufigkeitsverteilung beträgt  $a_{hv} = 4,6 \pm 1,4 \text{ m/s}^2$  und einschließlich den  $K$ -Wert  $a_{hv} + K = 6,3 \pm 1,6 \text{ m/s}^2$ .

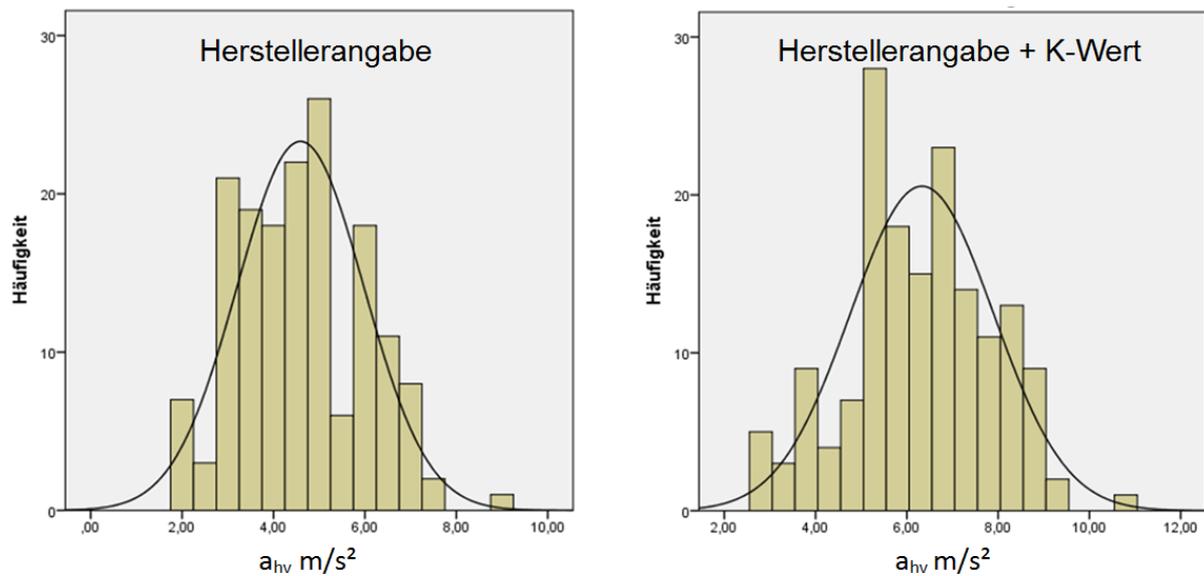


Bild 4: Vergleich der Herstellerangaben mit und ohne Berücksichtigung der Unsicherheit K

## 5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Für Arbeitsplätze mit Motorkettensägen bei der Holzernte wurde eine Methode zur Ermittlung der Vibrationsbelastung vorgestellt. Die unterschiedlichen Probleme und Einflüsse bei Praxis- und Labormessungen wurden aufgezeigt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Verwendung der Herstellerangabe ohne Berücksichtigung der Ungenauigkeit eine Unterbewertung der Gefährdung nicht ausgeschlossen werden kann. Ebenso können die Abweichungen, die bei der Gefährdungsbeurteilung von den unterschiedlichen Datenquellen stammen, erheblich sein. Es ist daher notwendig, künftig den Vertrauensbereich in Bezug auf die Ungenauigkeit der Daten zu berücksichtigen. Die bisherigen Festlegungen der Rangfolge in der TRLV „Vibrationen“ sind dafür nicht ausreichend. Genauere Festlegungen sind daher zur Gleichbehandlung und zur Vermeidung einer Unterbewertung der Gefährdung erforderlich.

## Literaturangaben

- [1] Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I (2007), S. 261
- [2] Technische Regel Vibration (TRLV Vibrationen) vom 10. März 2010. GMBI. (2010), Nr. 14 – 15, S. 271 ff.
- [3] DIN SPEC 45694; DIN CEN/TR 15350: 2013-12, Mechanische Schwingungen - Anleitung zur Beurteilung der Belastung durch Hand-Arm-Schwingungen aus Angaben zu den benutzten Maschinen einschließlich Angaben von den Maschinenherstellern; Deutsche Fassung CEN/TR 15350:2013
- [4] DIN EN ISO 22867: Forst- und Gartenmaschinen - Schwingungsmessnorm für handgehaltene Maschinen mit Verbrennungsmotor - Schwingungen an den Handgriffen (ISO 22867:2011 ); Deutsche Fassung EN ISO 22867:2011
- [5] Kaulbars, U.: Gefährdungsbeurteilung der Hand-Arm-Vibration bei der Waldarbeit mit Motorkettensägen IFA Report 5/2015. 33 S., 17 Lit., 9 Tab., 13 Abb. und 4 Anhänge. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2015. ISBN: 978-3-86423-155-1 (Sprache: D)
- [6] DIN EN ISO 5349: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (ISO 5349-1:2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-1:2001. Berlin: Beuth 2001, Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz (ISO 5349-2:2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-2:2001
- [7] DIN EN ISO 8041: Schwingungseinwirkung auf den Menschen - Messeinrichtung (ISO 8041:2005); Deutsche Fassung EN ISO 8041: 2005 Beuth, Berlin 6/2006
- [8] DIN EN 12096: Mechanische Schwingungen – Angabe und Nachprüfung von Schwingungskennwerten, Beuth, Berlin 1997
- [9] DIN SPEC 45660-2: Leitfaden zum Umgang mit der Unsicherheit in der Akustik und Schwingungstechnik – Teil 2: Unsicherheit schwingungstechnischer Größen, Ausg. 12/2014. Berlin: Beuth 2014