

BGI A-Report 6/2006
Vibrationseinwirkung an Arbeitsplätzen
– Kennwerte der Hand-Arm- und
Ganzkörper-Schwingungsbelastung –



HVBG
Hauptverband der
gewerblichen
Berufsgenossenschaften

Dieser Report ersetzt den BIA-Report 2/88.

Verfasser: Eberhard Christ, Siegfried Fischer,
Uwe Kaulbars, Detlef Sayn
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA,
Sankt Augustin

Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen
Berufsgenossenschaften (HVBG)
Alte Heerstraße 111, D – 53754 Sankt Augustin
Telefon: 0 22 41 / 2 31 - 01
Telefax: 0 22 41 / 2 31 - 13 33
Internet: www.hvbg.de
– September 2006 –

Satz und Layout: HVBG, Kommunikation

Druck: DCM – Druck Center Meckenheim

ISBN: 3-88383-709-1
ISSN: 0173-0387

Kurzfassung

Vibrationseinwirkung an Arbeitsplätzen – Kennwerte der Hand-Arm- und Ganzkörper-Schwingungsbelastung –

Vibrationseinwirkung bei der Arbeit mit handgehaltenen und handgeführten Geräten (Hand-Arm-Vibrationen – HAV) und beim Führen mobiler Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge (Ganzkörper-Vibrationen – GKV) kann die Gesundheit und Sicherheit von Arbeitnehmern gefährden. Knochen- und Gelenkschäden und Durchblutungsstörungen im Hand-Arm-System sowie Bandscheibenschäden der Wirbelsäule durch berufliche Vibrationseinwirkung sind anerkanntsfähige Berufskrankheiten. Seit Inkrafttreten der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie 2002/44/EG im Jahr 2002 besteht europaweit für Unternehmer die Verpflichtung zur Gefährdungsbeurteilung für Arbeitsplätze mit Vibrationseinwirkung. Die gesetzlichen Bestimmungen und ihre Umsetzung in Deutschland werden in diesem BGI-A-Report erläutert. Er unterstützt Betriebe bei der Ermittlung und Bewertung der Risiken und der Auswahl geeigneter

Präventionsmaßnahmen durch Tabellen mit Belastungsdaten. Dazu werden die Kennwerte der EG-Richtlinie beschrieben, die nicht mit den bisher in Deutschland zur Vibrationsbeurteilung angewendeten K-Werten identisch sind. Umrechnungen dieser K-Werte in das neue Kennwertsystem werden anhand praktischer Beispiele erläutert. Im Internet verfügbare Software zur Bestimmung der Beurteilungskennwerte kann auch für die Planung technisch-organisatorischer Präventionsmaßnahmen genutzt werden. Die Anhänge I und II des Reports stellen Kennwertbereiche für zahlreiche vibrationsrelevante Geräte, Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge zusammen. Im Anhang III werden Messergebnisse über die vibrationsmindernde Wirkung der Sitze als Präventionsmaßnahme der Wahl bei GKV auf mobilen Maschinen und Fahrzeugen wiedergegeben.

Abstract

Effects of vibration at workplaces – Characteristic values of hand-arm and whole body vibration –

The effects of vibration when working with handheld and hand-guided devices (Hand-Arm Vibration – HAV) and when driving mobile work machines and vehicles (Whole Body Vibrations – WBV) can endanger the health and safety of employees. Damage to bones and joints and circulatory problems in the hand and arm systems as well as disc damage to the spine as a result of the effects of vibrations are recognised occupational diseases. Since the entry into force of the EC Vibration Protection Directive 2002/44/EC in 2002 there has been an obligation on companies throughout Europe to assess the risks of jobs with vibration. The statutory provisions and their implementation in Germany are explained in this BGI Report. It supports companies in identifying and assessing the

risks and in choosing appropriate preventive measures by providing tables with data. It describes the key data of the EC directive, which are not identical to the key data previously used in Germany to assess vibration. Conversions of these key data into the new key data systems are explained using practical examples. Software available on the internet to identify the assessment key data can also be used to plan technical and organisational preventive measures. Annexes I and II to the Report bring together key data ranges for many devices, work machines and vehicles relevant to vibration. Annex III includes the measurement results for the vibration-reducing effect of seats on mobile machines and vehicles as a preventive measure to aid choice for WBV.

Résumé

Effets des vibrations sur lieux de travail – Paramètres des vibrations transmises au système main-bras et au corps entier –

Les effets des vibrations lors du travail avec des outils à mains (vibrations main-bras) et lors d'utilisation de machines mobiles et véhicules (vibrations au corps entier) peuvent représenter un danger pour la santé et la sécurité de l'employé. Des dommages au niveau des os et des articulations, des problèmes de circulation sanguine dans le système main-bras ainsi que des dommages au niveau du disque intervertébral de la colonne vertébrale causés par des effets de vibrations aux postes de travail sont des maladies pouvant être reconnues comme professionnelles. Depuis la mise en œuvre de la directive européenne 2002/44/CE relative aux vibrations, en 2002, il existe, au niveau européen, une obligation pour les employeurs d'évaluer le risque encouru sur les lieux de travail exposés aux vibrations. Les dispositions légales et leur mise en pratique en Allemagne sont expliquées dans ce rapport du BGIA (Institut pour la sécurité et la santé au travail des BGs). Il aide les entreprises à éta-

blir et évaluer les risques et à choisir les mesures de prévention adéquates grâce à des tableaux de données d'exposition. Y sont aussi décrits les paramètres de la directive européenne qui ne sont pas identiques aux paramètres utilisés jusqu'ici en Allemagne pour l'évaluation des vibrations. Les conversions de ces paramètres dans le nouveau système de paramètres sont expliquées à l'aide d'exemples pratiques. Le logiciel disponible sur Internet, permettant de déterminer les paramètres d'évaluation, peut-être aussi utilisé pour planifier les mesures de prévention au niveau technique et organisationnel. Les annexes I et II de ce rapport regroupent les ensembles de paramètres pour de nombreux appareils, machines de travail et véhicules produisant des vibrations. Les résultats expérimentaux concernant les sièges réduisant les vibrations, utilisés sur les machines mobiles et véhicules, sont présentés dans l'annexe III, comme mesure de prévention en cas de vibrations au corps entier.

Resumen

Efecto de las vibraciones en los puestos de trabajo – Parámetros de vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo y al cuerpo entero –

El efecto de las vibraciones en el trabajo con equipos sujetos y conducidos a mano (vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo – HAV) y en la conducción de máquinas móviles de trabajo y vehículos (vibraciones transmitidas al cuerpo entero – WBV) puede poner en riesgo la salud y seguridad de los trabajadores. Lesiones en los huesos y las articulaciones y problemas vasculares en el sistema mano-brazo, así como lesiones discales y de la columna vertebral debido a la exposición laboral a las vibraciones son enfermedades profesionales susceptibles de reconocimiento. Desde la entrada en vigor de la Directiva 2002/44/CE sobre vibraciones en el año 2002, los empresarios en toda Europa tienen la obligación de evaluar los riesgos en los puestos de trabajo expuestos a vibraciones. Las disposiciones legales y su transposición en Alemania son objeto de este Informe del Instituto para la Protección Laboral de las asociaciones para la prevención y el seguro de accidentes de trabajo (BGIA). El mismo apoya a las empresas en la determinación y evaluación de los

riesgos y en la elección de medidas preventivas adecuadas mediante tablas con datos de exposición. Para ello se describen los criterios de valoración de la directiva CE que no son idénticos con los valores K empleados hasta ahora en Alemania para la evaluación de las vibraciones. La conversión de estos valores K al nuevo sistema de criterios de valoración se explica mediante ejemplos prácticos. El software para la determinación de los criterios de valoración, disponible en la Internet, se puede utilizar también para la planificación de medidas preventivas técnicas y organizativas. Los anexos I y II del Informe recopilan los alcances de los criterios de valoración para numerosos equipos, máquinas de trabajo y vehículos relevantes para las vibraciones. En el anexo III se reproducen, como medida preventiva opcional relativa a las vibraciones transmitidas al cuerpo entero, los resultados de las mediciones con respecto al efecto reductor de las vibraciones de los asientos en máquinas móviles y vehículos.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	9
2 Vibrationskennwerte in gesetzlichen Vorschriften und Normen	13
2.1 Schwingbeschleunigungs-Kennwerte	13
2.2 K-Werte nach VDI-Richtlinie 2057, Blatt 1:1987	15
2.3 Sitzübertragungsfaktor SEAT	17
3 Hand-Arm-Schwingungsbelastung an Arbeitsplätzen	19
4 Ganzkörper-Schwingungsbelastung an Arbeitsplätzen	21
5 Vibrationsminderung durch geeignete Sitze	25
6 Hinweise zur Schwingungsbeurteilung	27
6.1 Begriffe in gesetzlichen Vorschriften und Normen	27
6.2 Messung der Belastungskenngröße	28
6.3 Abschätzung der Belastungskenngröße	28
6.4 Benutzungsdauer, Einwirkungsdauer	29
6.5 Tages-Beurteilungsbeschleunigung	29
6.6 Präventionsmaßnahmen	30
7 Literaturverzeichnis	33
Anhang 1: Hand-Arm-Schwingungen	37
Anhang 2: Ganzkörper-Schwingungen	57
Anhang 3: SEAT-Werte	71

1 Einleitung

Die Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Schulter-Systems bei der Arbeit mit vibrierenden (drehenden oder schlagenden) handgehaltenen oder handgeführten Geräten wird allgemein mit dem Begriff Hand-Arm-Vibrationen (HAV) bezeichnet. Analog dazu gelten alle Schwingungsbelastungen, die bei mobilen Arbeitsmaschinen und Fahrzeugen im Sitzen oder Stehen über Gesäß oder Füße auf den gesamten Körper der dort Tätigen einwirken, als Ganzkörper-Vibrationen (GKV). Neben den Begriffen Vibrationen und Schwingungen wird gleichbedeutend – vorzugsweise bei Bauwerksschwingungen – auch der Begriff Erschütterungen verwendet.

Schwingungsbelastung kann die Gesundheit und die Sicherheit der Arbeitnehmer gefährden. Sie verursacht bei HAV Durchblutungsstörungen, Knochen- und Gelenkschäden, neurologische oder Muskelerkrankungen sowie Rückenschmerzen und Schädigungen der Wirbelsäule bei GKV [1; 2]. In Deutschland wurden bisher drei durch Schwingungseinwirkung verursachte Erkrankungen in die Liste der Berufskrankheiten aufgenommen: BK 2103 im Jahr 1929 (HAV – Knochen- und Gelenkschäden), BK 2104 im Jahr 1975 (HAV – Durchblutungsstörungen) und BK 2110 im Jahr 1993 (GKV – Bandscheibenbedingte Wirbelsäulenerkrankung) [3].

Eine generelle gesetzliche Präventionsvorschrift für Arbeitsplätze mit Gesundheit und Sicherheit gefährdender Schwingungsbelastung existiert erst seit dem Inkraftsetzen der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie [1] im Jahr 2002. Sie sollte in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union innerhalb von drei Jahren in nationales Recht umgesetzt werden. In Deutschland wird sie als Verordnung nach § 18 Arbeitsschutzgesetz [4] umgesetzt. Im Geltungsbereich des Berggesetzes galt bereits seit dem Jahr 1991 eine Präventionsvorschrift für Arbeitsplätze mit Schwingungseinwirkung. Sie wurde im Jahr 2005 an die neuen Vorschriften der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie angepasst [5]. Mit der Umsetzung dieser Richtlinie werden Arbeitgeber mit Beschäftigten unter Schwingungseinwirkung zur Ermittlung und Bewertung der Risiken am Arbeitsplatz verpflichtet. Werden die Expositionsgrenzwerte und Auslösewerte der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie überschritten, sind Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Schwingungsbelastung zu planen und durchzuführen. Ergänzend sollen Vorbeugung und Frühdiagnose durch gezielte Gesundheitsüberwachung sichergestellt werden. Weitergehende praktische Informationen zur betrieblichen Umsetzung der neuen Präventionsvorschriften bei Schwingungseinwirkung an Arbeitsplätzen enthält das berufsgenossenschaftliche Fachausschuss-Informationsblatt 008 [6].

1 Einleitung

Wirksame technische und/oder organisatorische Maßnahmen gegen gefährdende Schwingungseinwirkung setzen gesicherte Kenntnisse über die individuelle Belastungssituation (Gefährdungsanalyse) voraus. Einen wesentlichen Beitrag dazu leistet die EG-Maschinenrichtlinie, die einerseits von den Herstellern die Minimierung der Vibrationen verlangt und andererseits den Benutzern mit der Herstellerpflicht zur Angabe von Schwingungsemissions-Kennwerten die Auswahl von Geräten mit möglichst geringer Vibrationsübertragung auf den menschlichen Körper erleichtert [7]. Allerdings sind den Bemühungen der Hersteller um Schwingungsminderung überall dort Grenzen gesetzt, wo die Geräte zur Arbeitsausführung Vibrationen gezielt erzeugen.

Zur Unterstützung der Betriebe, in denen Geräte, mobile Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge Schwingungsbelastungen der Beschäftigten verursachen, hat das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz – BGIA bereits im Jahr 1988 mit dem BIA-Report 2/88 den damaligen Datenbestand aus zahlreichen Vibrationsmessungen an Arbeitsplätzen in Tabellenform veröffentlicht. Damit sollte eine Information über die mögliche Gefährdung von Gesundheit und Sicherheit mit Blick auf die seinerzeit erwarteten Vibrationsschutzvorschriften gegeben werden. Der im Jahr 1993 von der EG-Kommission veröffentlichte Entwurf einer

Vibrationsschutz-Richtlinie wurde aber erst im Jahr 2002 vom EU-Parlament und -Rat verabschiedet. Inzwischen ist der Datenbestand im BGIA aus einer Vielzahl weiterer messtechnischer Untersuchungen an vibrationsbelasteten Arbeitsplätzen erheblich vergrößert worden. Die früher zugrunde liegenden Messnormen wurden als Ergebnis neuer Erkenntnisse über die Einwirkung auf den menschlichen Körper überarbeitet und wesentlich verändert. Nicht zuletzt erforderte die Anpassung an die EG-Vibrationsschutz-Richtlinie die Übernahme eines neuen Systems der Schwingungsbewertung. Die so genannten K-Werte, ein jahrzehntelang zur Vereinfachung der Schwingungsbewertung in Deutschland verwendetes Umrechnungssystem für die Schwingbeschleunigungsmesswerte, wurden aufgegeben. Die nun unmittelbar bevorstehende betriebliche Umsetzung der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie soll deshalb mit dieser Neufassung des BIA-Reports 2/88, in der alle Veränderungen in der Messtechnik und vor allem viele neue Messergebnisse berücksichtigt wurden, unterstützt werden. Die erweiterten Datentabellen auf der Grundlage von Arbeitsplatzmessungen bieten vor allem kleinen und mittleren Unternehmen, die nicht über eigene Ausrichtungen zur Schwingungsanalyse verfügen, eine gute Orientierung in der Frage, ob die verwendeten Geräte, mobilen Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge eine Gefährdung verursachen können. Messdaten und Einwirkungs-

dauern innerhalb einer Arbeitsschicht erlauben die rechnerische Bestimmung der zeitbezogenen Schwingungsbeurteilungswerte und ihren Vergleich mit den Expositionsgrenzwerten und Auslösewerten der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie.

Ist anzunehmen, dass diese überschritten werden, so ist eine aufwändigere Ermittlung und Bewertung der Risiken entsprechend den Richtlinienvorgaben erforderlich (Hinweise dazu gibt Kapitel 6, Seite 27).

2 Vibrationskennwerte in gesetzlichen Vorschriften und Normen

2.1 Schwingbeschleunigungs-Kennwerte

Die in den Belastungsdatentabellen in den Anhängen 1 und 2 (siehe Seite 37 und 57) grafisch dargestellten Kennwerte sind energieäquivalente Mittelwerte der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung. Sie wurden entsprechend der VDI-Richtlinie 2057 [8] aus der Messung der momentanen Belastung an der Schwingungseinleitungsstelle in den menschlichen Körper über eine durch den Arbeitsablauf (Arbeitsspiel, Wiederholungen) vorgegebene Dauer gemittelt. Die Kennwerte gelten daher als charakteristisch für die jeweils mit dem Gerät, der Arbeitsmaschine oder dem Fahrzeug ausgeführte Arbeit. Sie beschreiben nicht die Gefährdung von Gesundheit und Sicherheit während einer gesamten Arbeitsschicht. Um diese zu ermitteln, muss die Gesamtdauer der individuellen Schwingungsbelastung (Einwirkungsdauer) einbezogen werden.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Kennwerte mit den Expositionsgrenzwerten und Auslösewerten der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie wurden für die Hand-Arm-Vibrationskennwerte und für die der Ganzkörper-Vibrationen unterschiedliche Darstellungen gewählt. Entsprechend den Anhängen der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie soll die Gefährdungsbeurteilung für Vibrationen anhand der Berechnung des auf einen Bezugszeitraum

von acht Stunden normierten Tagesexpositionswertes $A(8)$ vorgenommen werden (siehe Kapitel 6). Ausgangsgröße für die Berechnung der Tagesexposition ist in allen Fällen der Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung a_{wT} , der über eine den Arbeitsablauf charakterisierende Messdauer entsprechend der VDI-Richtlinie 2057, Blatt 1 und 2, [8] zu ermitteln ist. Er ist der quadratische (energieäquivalente) Mittelwert (rms-Wert), der definiert ist als

$$a_{wT} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt}$$

wobei $a_w(t)$ die frequenzbewertete Beschleunigung als Funktion der Zeit und T die Dauer der Messung sind.

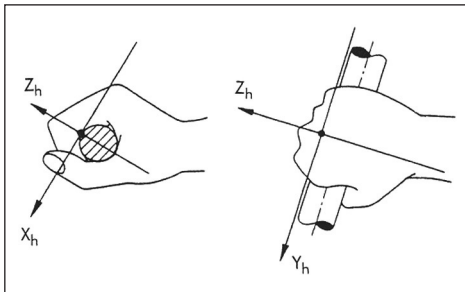
Für die Gefährdungsbeurteilung bei Hand-Arm-Vibrationen ist der Gesamtwert der Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung in den drei orthogonalen Richtungen a_{hwX} , a_{hwY} , a_{hwZ} (Abbildung 1, siehe Seite 14) zu verwenden. Die Richtlinie verweist dazu auf ISO 5349-1:2001 [9].

Dem entspricht der Schwingungsgesamtwert a_{hv} (Vektorbetrag) aus der VDI-Richtlinie 2057, Blatt 2, der nach folgender Formel zu ermitteln ist:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwX}^2 + a_{hwY}^2 + a_{hwZ}^2}$$

2 Vibrationskennwerte in gesetzlichen Vorschriften und Normen

Abbildung 1:
Grifforientiertes Koordinatensystem
für die Messrichtungen x, y und z
bei Hand-Arm-Schwingungseinwirkung



Die Messwerte a_{hv} für Hand-Arm-Vibrationen in den Tabellen im Anhang I (siehe Seite 37 ff.) sind nach dieser Formel errechnete Schwingungsgesamtwerte.

Bei einigen Geräten mit dominierender Schwingungsbelastung in einer einzigen Messrichtung wurde die Messung in der Vergangenheit nur für diese Richtung durchgeführt, z.B. bei schlagenden Geräten wie Schlaghämmer, Bohrhämmer oder Stampfer. Die VDI-Richtlinie 2057, Blatt 2 gibt für diese Fälle eine Formel zur Abschätzung des Schwingungsgesamtwertes an:

$$a_{hv} = k \cdot a_{hw}$$

Der Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung in der dominierenden

Schwingungsrichtung a_{hw} wird mit einem Korrekturfaktor k multipliziert, der nach ISO 5349-1 zwischen 1,0 und 1,7 liegen sollte. Die VDI-Richtlinie 2057, Blatt 2 hat diese Korrekturfaktoren mit einer Tabelle konkretisiert (Tabelle 1).

Die Schwingungsgesamtwerte in den Tabellen im Anhang I wurden für Geräte, für die nur der Messwert der dominierenden Schwingungsrichtung vorlag, unter Verwendung der entsprechenden Korrekturfaktoren aus Tabelle 1 errechnet.

Für die Gefährdungsbeurteilung bei Ganzkörper-Vibrationen ist der Tagesexpositionswert $A(8)$ unter Zugrundelegung des höchsten Wertes der Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigungen in den drei orthogonalen Richtungen $1,4 a_{wx}$, $1,4 a_{wy}$, a_{wz} für sitzende oder stehende Arbeitshaltung zu ermitteln (Abbildung 2, siehe Seite 16). Die Richtlinie verweist dazu auf ISO 2631-1 [10].

Die auf der Sitzoberfläche gemessenen Werte a_w für Ganzkörper-Vibrationen in den Tabellen im Anhang II (siehe Seite 57 ff.) werden deshalb für die drei Messrichtungen x, y und z getrennt angegeben (Sitzoberfläche). Die Messwerte a_{wx} und a_{wy} wurden nach den Vorgaben der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie mit dem Faktor 1,4 multipliziert. Da zum Schutz vor Schwingungsübertragung in

Tabelle 1:
 Korrekturfaktoren zur Abschätzung des Schwingungsgesamtwertes bei Vorliegen der Beschleunigung
 in der dominierenden Schwingungsrichtung [8]

	Beispiele	Korrekturfaktor k
Schlagende Maschinen	Meißelhämmer Aufbruchhämmer Abbauhämmer Nadelentroster	1,2
Rotierende und oszillierende Maschinen	Bohrhämmer Schlagbohrmaschinen Winkelschleifmaschinen Geradschleifmaschinen Vertikalschleifmaschinen Schwingerschleifmaschinen Pneumatische Bohrmaschinen Stichsägen Kreissägen	1,4

den menschlichen Körper bei Ganzkörper-Vibrationen in der Regel nur der Sitz genutzt werden kann, sind zusätzlich die Messwerte für die drei Richtungen am Sitzmontagepunkt des Arbeitsmaschinen- oder Fahrzeugchassis eingetragen. Sie geben Aufschluss über den derzeitigen Stand des Vibrationsschutzes durch eine gezielt auf die Schwingungscharakteristik orientierte Sitzauswahl.

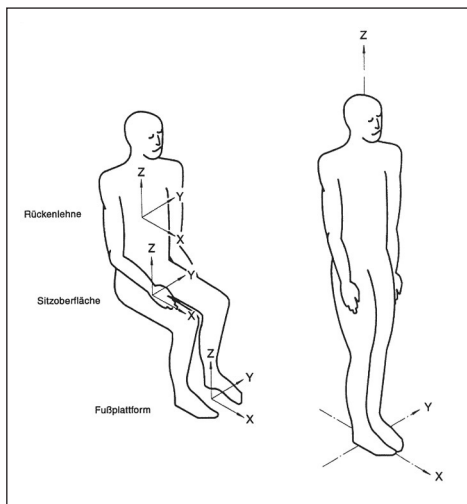
2.2 K-Werte nach VDI-Richtlinie 2057, Blatt 1:1987

Bis zur Neufassung der VDI-Richtlinie 2057 im Jahr 2002 wurden die Schwingbeschleunigungsmesswerte an Arbeitsplätzen in dimensionslose K-Werte umgerechnet.

Das hatte den Vorteil, dass für die Beurteilung aller Arten von Schwingungsbelastung nur ein einziger Richtwert angewendet werden musste. Von den anderen Mitgliedstaaten der EU, aber auch international, wird dagegen die direkte Angabe der Messwerte als Beschleunigungswerte a in m/s^2 bevorzugt. Aus diesem Grund wurde das bewährte K-Wert-System bei der Überarbeitung der VDI-Richtlinie 2057 im Jahr 2002 aufgegeben. Damit werden aber vorhandene K-Werte aus früheren Messungen nicht unbrauchbar; sie können auf einfache Weise in die ursprünglichen

2 Vibrationskennwerte in gesetzlichen Vorschriften und Normen

Abbildung 2:
Koordinatensystem für die Messrichtungen x, y und z bei Ganzkörper-Schwingungseinwirkung im Sitzen und im Stehen



Hand-Arm-Vibrationen (Abb. 1): $\frac{6,3}{m/s^2}$
für alle drei Messrichtungen

Ganzkörper-Vibrationen (Abb. 2): $\frac{28}{m/s^2}$
für x- und y-Richtung

für z-Richtung $\frac{20}{m/s^2}$

Unter Anwendung dieser Faktoren, nun als Quotienten, ist es möglich, vorhandene K-Werte in Effektivwerte der Schwingbeschleunigungen a_w umzurechnen. Bei Ganzkörper-Vibrationen ist dies wegen der verschiedenen Quotienten nur für K-Werte der Einzelschwingungsrichtungen möglich. Bei Hand-Arm-Vibrationen ist der Umrechnungsquotient für alle drei Messrichtungen gleich, sodass sowohl Einzelwerte der Messrichtungen als auch Schwingungsgesamtwerte, die durch vektorielle Addition der Einzelmessrichtungen gebildet wurden, umgerechnet werden können.

Beschleunigungswerte umgerechnet werden [8; 11].

Die K-Werte wurden durch Multiplikation der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigungs-Effektivwerte a_w in m/s^2 mit spezifischen, die Einwirkungsart und Messrichtung berücksichtigenden Faktoren berechnet. Entsprechend den drei orthogonalen Messrichtungen wurden dazu die folgenden Faktoren verwendet.

Beispiel für die Umrechnung von K-Werten in frequenzbewertete Beschleunigung bei Hand-Arm-Vibrationen:

Schwerer Aufreißhammer (Abbrucharbeiten):
 $K_{Zh} = 66$ (z-Richtung mit der größten bewerteten Schwingstärke K)

Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung in z-Richtung:

$$a_{hwz} = \frac{K_{zh}}{6,3} = \frac{66}{6,3} \text{ m/s}^2 = 10,5 \text{ m/s}^2$$

Schwingungsgesamtwert a_{hw}
(siehe Abschnitt 2.1):

$$a_{hww} = k \cdot a_{hw} = 1,2 \cdot 10,5 \text{ m/s}^2 = 12,6 \text{ m/s}^2$$

mit $k = 1,2$ (aus Tabelle 1)

Beispiel für die Umrechnung von K-Werten
in frequenzbewertete Beschleunigung bei
Ganzkörper-Vibrationen:

Fahrer eines Gabelstaplers in der Baustelle:
KZ = 28 (stark unebenes Gelände, ungünsti-
ger Sitz mit Schwingungsverstärkung)

Effektivwert der frequenzbewerteten
Beschleunigung in z-Richtung:

$$a_{wz} = \frac{KZ}{20} = \frac{28}{20} \text{ m/s}^2 = 1,4 \text{ m/s}^2$$

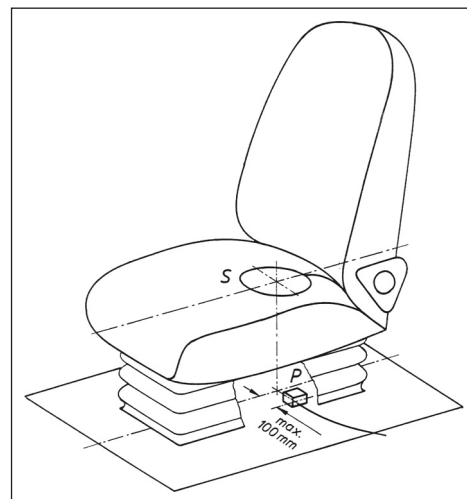
Da der Messwert in z-Richtung der höchste
Effektivwert der frequenzbewerteten
Beschleunigung war, ist er bei der Berech-
nung der Beurteilungsbeschleunigung zu ver-
wenden. Der Faktor 1,4, der für die
horizontalen Messrichtungen anzuwenden
ist, entfällt in diesem Fall.

Da für eine Übergangszeit davon auszu-
gehen ist, dass Beschleunigungswerte a in
 m/s^2 und K-Werte nebeneinander existieren,
wurden zu Vergleichszwecken auch K-Wert-
Skalen in die Abszisse der Belastungsdaten-
tabellen (Anhänge I und II) eingetragen.

2.3 Sitzübertragungsfaktor SEAT

Die gleichzeitige Messung der Schwing-
beschleunigungen sowohl am Arbeitsmaschi-
nen- oder Fahrzeugchassis als auch auf dem
Sitz (Abbildung 3) ermöglicht die Berech-
nung des Sitzübertragungsfaktors SEAT (**S**eat
Effective **A**mplitude **T**ransmissibility).

Abbildung 3:
Anbringung der Beschleunigungsaufnehmer
am Sitzmontagepunkt (P) und auf der Sitzfläche (S)



2 Vibrationskennwerte in gesetzlichen Vorschriften und Normen

Er wird als Quotient aus dem Beschleunigungswert a_{wS} auf dem Sitz und dem Beschleunigungswert a_{wC} am Sitzmontagepunkt des Chassis berechnet. Die mittleren SEAT-Werte im Anhang III (siehe Seite 71)

für die Sitze auf mobilen Arbeitsmaschinen und Fahrzeugen (Anhang II) wurden aus den Schwingbeschleunigungs-Messwerten für die vertikale z-Schwingungsrichtung ermittelt.

3 Hand-Arm-Schwingungsbelastung an Arbeitsplätzen

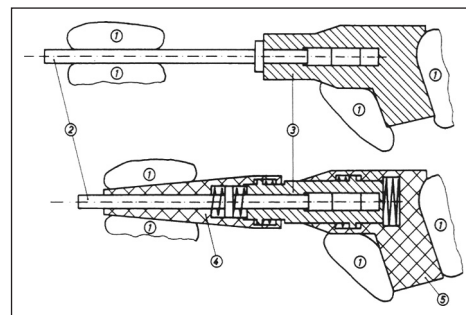
Im Anhang I sind die Messergebnisse für die Schwingungsbelastung bei der Arbeit mit vibrierenden handgehaltenen und handgeführten Geräte dargestellt. Sie sind nach ihrer überwiegenden Verwendung in die Bereiche

- Bauwesen
- Holzbearbeitung
- Metallbearbeitung
- Landschafts- und Gartenbau

eingeorordnet. Das schließt keinesfalls aus, dass diese Geräte auch in anderen Wirtschaftszweigen mit vergleichbaren Messergebnissen eingesetzt werden. Wenn Gerätemasse und Antriebsart bzw. die Leistungsklasse des Antriebs die Schwingungsbelastung entscheidend beeinflussen, z.B. bei Schlag- und Bohrhämmern, Naglern und Schleifern, wurden die Geräte in entsprechende Gruppen eingeteilt. Geräte mit Antivibrationssystemen (AVS) wurden zum Vergleich in eigenen Gruppen erfasst, z.B. Aufreißhämmer, Vibrationsplatten, Schriftenhämmer (Abbildung 4) und Winkelschleifer [12].

Es ist bekannt, dass auch die Schwingungseinwirkung über das von Hand gehaltene Werkstück gesundheitsgefährdend sein kann. Deshalb wurden zusätzlich Messergebnisse an fest montierten Maschinen aufgenommen (Luft- und Federhammer, Standbohr-

Abbildung 4:
Schriftenmeißel in herkömmlicher (oben)
und in vibrationsgeminderter (unten)
Ausführung (Prinzipskizze aus [13])



- | | |
|-------------------|-----------------|
| 1 Führungshand | 4 Führungshülse |
| 2 Meißeleinsatz | 5 Griff |
| 3 Arbeitszylinder | |

maschine). Obwohl für einige Geräte bisher weniger als fünf Datensätze vorliegen, wurden diese, da sie zumindest eine erste Orientierung bieten, im Anhang I mit aufgeführt.

Die auf den K-Wert-Skalen eingetragene Bezeichnung „KHV“ soll zum Ausdruck bringen, dass dieser K-Wert der vektoriellen Addition aller drei Messrichtungen entspricht. Einen derartigen Summen-K-Wert „KHV“ gab es in der vor 2002 angewendeten VDI-Richtlinie 2057 aus dem Jahr 1987 nicht, da seinerzeit die Schwingungsbeurteilung nach dem größten Wert einer Einzelmessrichtung vorgenommen wurde.

3 Hand-Arm-Schwingungsbelastung an Arbeitsplätzen

Geht man ohne Berücksichtigung der täglichen Einwirkungsdauer vom Expositionsgrenzwert 5 m/s^2 und vom Auslösewert $2,5 \text{ m/s}^2$ der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie aus, so muss man bis auf wenige Ausnahmen feststellen, dass selbst unter den günstigsten Arbeitsbedingungen – untere Grenze des Messwertfeldes – eine Überschreitung vorliegt. Häufig sind die Messwertfelder aufgrund einer großen Streuung der Werte sehr breit, was die starke Abhängigkeit der Schwingungsbelastung von der jeweiligen Arbeitsweise beweist. Dies spielt vor allem bei der Gefährdungsbeurteilung auf der Grundlage der vom Hersteller angegebenen Vibrationskennwerte eine wichtige Rolle (siehe Kapitel 6). Andererseits liegt darin auch

ein wichtiger Präventionsansatz: Veränderungen in der Arbeitsweise können eine ursprünglich hohe Belastung in den unteren Bereich des Messwertfeldes absenken.

Die Grenzwerte der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie gelten für eine täglich achtstündige Schwingungsbelastung. Da die Einwirkungsdauer als Teil der Benutzungsdauer in der Praxis stets wesentlich kürzer ist als acht Stunden, werden hohe Messwerte bei der Arbeitsausführung nach Umrechnung entsprechend der individuellen Einwirkungsdauer niedrigere Beurteilungswerte, ggf. unterhalb der Grenzwerte, ergeben (siehe Kapitel 6). Weiterführende Informationen finden sich in [14].

4 Ganzkörper-Schwingungsbelastungen an Arbeitsplätzen

Im Anhang II (siehe Seite 57 ff.) sind die Messergebnisse für die Schwingungsbelastung beim Führen mobiler Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge dargestellt. Mobile Arbeitsmaschinen im Bauwesen, die vor allem beim Einsatz auf unbefestigtem Untergrund starke Schwingungsbelastungen verursachen, bilden die umfangreichste Gruppe (Abbildung 5).

In nahezu allen Wirtschaftszweigen werden Gabelstapler in verschiedenen Ausführungsvarianten eingesetzt. Im Transportwesen bilden Lkw und Kraftomnibusse, häufig mit langen Einwirkzeiten [15], und in der Land- und Forstwirtschaft die Schlepper die größte Gruppe. Bei allen dargestellten mobilen Arbeitsmaschinen und Fahrzeugen wirken die Schwingungen auf sitzende

Bedienpersonen ein. Da die EG-Vibrationschutz-Richtlinie hier für die Risikobeurteilung in Anhang B den höchsten Wert der frequenzbewerteten Beschleunigung in den drei orthogonalen Messrichtungen verwendet, wurden im Unterschied zu den Hand-Arm-Vibrationen für die Ganzkörperschwingungen die Messergebnisse der drei Richtungen x, y und z (siehe Abbildung 2) getrennt dargestellt. Häufig überwiegt die Belastung in vertikaler z-Richtung (Richtung der Wirbelsäule im Sitzen) gegenüber den beiden horizontalen x- und y-Richtungen. Letztere wurden in den grafischen Darstellungen entsprechend EG-Vibrationschutz-Richtlinie, Anhang B, zum direkten Vergleich mit der frequenzbewerteten Beschleunigung in z-Richtung mit dem Faktor 1,4 multipliziert.



Abbildung 5:
Planierdrape im Einsatz
auf unbefestigtem Gelände

4 Ganzkörper-Schwingungsbelastungen an Arbeitsplätzen

Die Neufassung der VDI-Richtlinie 2057 im Jahr 2002 war auch mit einer Änderung der Frequenzbewertung für Ganzkörperschwingungen verbunden. Als Folge hat sich für bestimmte mobile Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge der Messwert gegenüber früheren Messungen, die mit der Frequenzbewertung nach VDI-Richtlinie 2057, Fassung 1987,

durchgeführt wurden, verändert. Das BGIA hat in einer Untersuchung Faktoren bestimmt, die zur näherungsweisen Umrechnung der Messwerte nach VDI 2057:1987 in solche, die unter Anwendung der neuen Frequenzbewertung nach VDI 2057:2002 zu erwarten wären, genutzt werden können (Tabelle 2).

Tabelle 2:
Faktoren zur Umrechnung von Messwerten, die mit der Frequenzbewertung nach VDI 2057:1987 ermittelt wurden, in Messwerte ermittelt mit der neuen Frequenzbewertung nach VDI 2057-1:2002

Mobile Arbeitsmaschine, Fahrzeug	Faktor zur Umrechnung von alter zu neuer Frequenzbewertung, Messrichtung (Sitz)		
	x	y	z
Fahrbare Arbeitsmaschinen			
Radlader	1,15	1,12	0,95
Kompaktlader	1,20	1,10	1,02
Radplanierer	–	–	0,95
Erd- und Müllverdichter	1,18	1,13	0,94
Kettenplanierer, Kettenlader	1,11	1,10	1,20
Hydraulikbagger (Raupen- und Mobilbagger)	1,05	1,05	1,15
Seilbagger	1,10	1,10	1,10
Baggerlader	1,08	1,09	1,02
Grader	1,20	1,08	0,95
Schürfkübelraupe	1,07	1,16	1,16
Scraper	1,12	1,24	0,95
Muldenkipper, Dumper	1,14	1,18	0,95
Straßenwalzen (Führer sitzend)	1,14	1,23	1,00
Straßenfräsen, Straßenfertiger	1,06	1,07	1,25

Mobile Arbeitsmaschine, Fahrzeug	Faktor zur Umrechnung von alter zu neuer Frequenzbewertung Messrichtung (Sitz)		
	x	y	z
Flurförderzeuge, Krane, fahrbare Arbeitsmittel			
Portalstapler (VanCarrier, CoilCarrier)	1,15	1,20	0,95
Gabelstapler, Geländegabelstapler, Querstapler	1,15	1,10	1,00
Schubmast, Regal, Vierwegestapler, Niederhubwagen, Elektroameise	1,20	1,20	1,15
Brückenkrane, Portalkrane, Turmkrane	1,10	1,10	1,10
Autokrane	1,10	1,20	0,95
Querverschiebewagen	1,12	1,03	1,50
Straßenfahrzeuge im öffentlichen Verkehr, Schienenfahrzeuge			
Lkw im öffentlichen Verkehr	1,15	1,15	1,00
Klein-Lkw im öffentlichen Verkehr	1,26	1,28	0,96
Lkw im Baustelleneinsatz	1,05	1,09	0,95
Sattelkraftfahrzeuge im öffentlichen Verkehr	1,10	1,15	0,95
Sattelkraftfahrzeuge im Baustelleneinsatz	1,10	1,15	0,95
Unimog	1,16	1,20	1,00
Kehrmaschinen	1,23	1,13	0,93
Land- und forstwirtschaftliche Schlepper,	1,05	1,15	0,90
Schmalspurschlepper, Walzen- und Sichelmäher	1,05	1,15	0,90
Busse im öffentlichen Verkehr	1,30	1,25	1,00
Lokomotiven, Triebwagen, gleisgebundene Arbeitsmaschinen	1,20	1,05	1,05
Straßen- und U-Bahnen	1,40	1,16	0,97
Pkw	1,53	1,45	1,03
Sonstige			
Schiffe	1,10	1,04	1,30

4 Ganzkörper-Schwingungsbelastungen an Arbeitsplätzen

Um die Schwingbeschleunigungs-Messwerte mit den früheren K-Werten vergleichen zu können, enthalten auch im Anhang 2 alle Diagramme zusätzlich eine K-Wert-Abszisse. Dort ist eine Unterscheidung der K-Werte für die einzelnen Messrichtungen nicht erforderlich, da der Faktor 1,4 bei den horizontalen Messrichtungen x und y im Beschleunigungswert a_{we} bereits berücksichtigt wurde.

Geht man von dem in der Vergangenheit als Beurteilungsrichtwert nach VDI-Richtlinie 2057 angewendeten K-Wert = 16 aus (in der Gesundheitsschutz-Bergverordnung seit 1991 als Grenzwert gesetzlich vorgeschrieben), so ist dem als Expositionsgrenzwert (Bezugszeitraum täglich acht Stunden) künftig eine Tages-Beurteilungsbeschleunigung von $0,8 \text{ m/s}^2$ für die z-Richtung gleichzusetzen. Für die horizontalen x- und y-Schwingungsrichtungen wurde der Wert $1,15 \text{ m/s}^2$ aus der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie übernommen. Diese Grenzwerte wurden in der am 11. August 2005 in Kraft

gesetzten Änderung der Gesundheitsschutz-Bergverordnung [5] bereits gesetzlich verankert. Für zahlreiche mobile Arbeitsmaschinen im Baustelleneinsatz, für Flurförderzeuge, aber auch für Fahrzeuge im Straßenverkehr überschreiten die Messwertfelder im Anhang II im oberen Bereich diese Grenzen. Zugleich liegen die Werte an den unteren Messwertfeld-Grenzen häufig deutlich unterhalb der Grenzwerte. Darin drückt sich in erster Linie eine hohe Abhängigkeit der Schwingungsbelastung von der Art der ausgeführten Arbeit, aber auch von der Qualität des befahrenen Untergrundes und von der Fahrweise der Bedienpersonen aus. Es ist wichtig festzustellen, dass die hier dargestellten Schwingungsbelastungen als kennzeichnend für die jeweilige Arbeitsausführung, d.h. für relativ kurzzeitige Einwirkungen gelten. Ob die Grenzwerte im konkreten Anwendungsfall tatsächlich überschritten werden, hängt von der Einwirkungsdauer während einer Arbeitsschicht ab (siehe Kapitel 6). Weiterführende Informationen siehe [16].

5 Vibrationsminderung durch geeignete Sitze

Da die Dämpfungseigenschaften der Sitze auf mobilen Arbeitsmaschinen und auf Fahrzeugen die Größe der Schwingungsbelastung für die Bedienpersonen entscheidend beeinflussen, wurden zusätzlich Messergebnisse vom Sitzmontagepunkt des Chassis in die Diagramme aufgenommen. Der Vergleich der durch die Mobilität verursachten Vibrationen am Sitzmontagepunkt mit der Schwingungseinleitung über die Sitzoberfläche in den Körper zeigt, ob es gelungen ist, durch die Wahl des Sitzes die Belastung zu verringern. Vor allem ist die z-Richtung zu betrachten, weil die Sitze in der Regel nur in dieser Richtung schwingungsmindernd wirken. Da bei einigen mobilen Arbeitsmaschinen, z.B. Radlader, Bagger oder Gabelstapler, erhebliche Schwingungsanteile in den horizontalen Richtungen ermittelt wurden, die zudem oft stoßhaltig sind, wird es nötig sein, auch Sitze mit horizontalen Dämpfungseigenschaften zur Verfügung zu stellen. Eine Orientierung über den bisherigen Stand der Sitzdämpfung gibt die Tabelle der mittleren SEAT-Werte (siehe Abschnitt 2.3) in Anhang III. Da nicht bei allen Belastungsmessungen zugleich Werte am Sitzmontagepunkt ermittelt wurden, liegt den Diagrammen im Anhang II für den Sitzmontagepunkt fast immer eine andere

Anzahl n zugrunde als bei den Messwerten auf der Sitzfläche. Die erstgenannte Anzahl n entspricht der Zahl der Messwerte am Sitzmontagepunkt und die an zweiter Stelle genannte Anzahl n der Zahl der Messwerte auf der Sitzfläche. Weil die Zahl der Messwerte für die jeweiligen Messrichtungen nicht immer gleich ist, ergibt sich häufig ein Wertebereich anstelle je eines Wertes für den Sitzmontagepunkt und für die Sitzfläche. Da bei der Berechnung nur diejenigen Messungen berücksichtigt werden konnten, für die entsprechende Messwertpaare vorlagen, können Abweichungen der SEAT-Werte von der grafischen Darstellung der Wertefelder für die z-Messrichtung auftreten.

Werte $> 1,00$ zeigen, dass die Sitze durch die Frequenzen der Chassisschwingungen in Resonanz geraten. Die Schwingungseinleitung in den Körper der Bedienpersonen ist dadurch größer als die Anregungsschwingung am Sitzmontagepunkt. Werte $< 1,00$ beschreiben eine Schwingungsminderung durch den Sitz. Nur in wenigen Fällen wurden Werte $< 0,70$ erhalten, die bei guter Anpassung der Dämpfungscharakteristik der Sitze an die Schwingfrequenzen am Sitzmontagepunkt erreichbar sind.

6 Hinweise zur Schwingungsbeurteilung

6.1 Begriffe in gesetzlichen Vorschriften und Normen

Die in den Anhängen I und II grafisch dargestellten Kennwerte sind energieäquivalente Mittelwerte der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung, gemessen über einen kurzen, für die jeweilige Arbeitsausführung charakteristischen Zeitraum (Belastungsabschnitt entsprechend VDI-Richtlinie 2057, Blatt 1 und 2 [8]). Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung für schwingungsbelastete Arbeitsplätze entsprechend Arbeitsschutzgesetz ist aus den Kennwerten aller Belastungsabschnitte eines Arbeitstages unter Berücksichtigung der individuellen Einwirkungsdauer die Beurteilungsbeschleunigung zu errechnen. Nach den Vorgaben der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie wird dabei eine Beurteilungsdauer von acht Stunden

zugrunde gelegt. Die Benennung der auf täglich achtstündige Einwirkung bezogenen Beurteilungskenngröße der Schwingungseinwirkung (Exposition) ist in den gesetzlichen Regelungen und der VDI-Richtlinie 2057 zum Teil unterschiedlich (Tabelle 3).

Die Gesundheitsschutz-Bergverordnung, bislang die einzige gesetzliche Umsetzung der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie in Deutschland, verwendet dafür die Bezeichnung „Tages-Beurteilungsbeschleunigung“, die Lärm- und Vibrationsverordnung verwendet den Begriff „Tagesexposition A (8)“. In Ausnahmefällen, z.B. bei erheblichen Schwankungen der Tagesexpositionswerte, kann die Beurteilungsbeschleunigung auch für einen Zeitraum von 40 Stunden für fünf Arbeitstage einer Woche bestimmt werden.

Tabelle 3:
Benennung der Belastungskenngrößen in der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie und in der VDI-Richtlinie 2057

	EG-Vibrationsschutz-Richtlinie	VDI-Richtlinie 2057
Charakteristischer Belastungsabschnitt	Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung für HAV: $a_{hwx}, a_{hwy}, a_{hwz}$ GKV: $1,4 a_{wx}, 1,4 a_{wy}, a_{wz}$	Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung für HAV: $a_{hwx}, a_{hwy}, a_{hwz}$ GKV: $1,4 a_{wx}, 1,4 a_{wy}, a_{wz}$
Bewertungskenngröße der Exposition	HAV: Tagesexpositionswert GKV: Tagesexposition	HAV: Tages-Schwingungsbelastung GKV: Beurteilungsbeschleunigung
	A(8) A(8)	$a_{hv(8)}$ $a_w(8)$

6 Hinweise zur Schwingungsbeurteilung

6.2 Messung der Belastungskenngröße

Die EG-Vibrationsschutz-Richtlinie verweist für die Messung der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung auf die Normen ISO 5349-2 [9] für Hand-Arm-Vibrationen sowie ISO 2631-1 [10] für Ganzkörper-Vibrationen. Diese internationalen Normen wurden in Deutschland umgesetzt in der VDI-Richtlinie 2057 [8] und in der Norm DIN EN 14253 [17]. Die Messergebnisse in den Anhängen I und II wurden nach diesen Normen ermittelt oder aus früher gemessenen K-Werten in vergleichbare Werte umgerechnet.

6.3 Abschätzung der Belastungskenngröße

Für die Ermittlung der Kennwerte der Einzelbelastungen verlangt die EG-Vibrationsschutz-Richtlinie nicht grundsätzlich die Durchführung von Messungen. Sie lässt ein Schätzverfahren anhand von Herstellerangaben und der Beobachtung der spezifischen Arbeitsweisen zu.

Die Hersteller sind entsprechend den Vorschriften der EG-Maschinen-Richtlinie [7] verpflichtet, für handgehaltene und/oder handgeführte Maschinen sowie für die Steuereinrichtungen mobiler Maschinen in der Benutzerinformation Angaben über die

Hand-Arm-Schwingungsbelastung (Vibrationsemission) zu machen, wenn der Wert der frequenzbewerteten Beschleunigung $2,5 \text{ m/s}^2$ übersteigt. Wird dieser Wert nicht erreicht, so ist dies ebenfalls in der Benutzerinformation zu vermerken. Bei mobilen Maschinen ist in der Benutzerinformation eine zahlenmäßige Angabe über die Ganzkörper-Schwingungsbelastung (Vibrationsemission) zu machen, wenn die frequenzbewertete Beschleunigung den Wert $0,5 \text{ m/s}^2$ überschreitet. Wird dieser Wert nicht erreicht, so ist dies ebenfalls zu vermerken. Bevorzugt sollen bei der Messung der Vibrationsemission durch den Hersteller europäische Normen angewendet werden, die einheitliche Mess- und Betriebsbedingungen festlegen, damit der Käufer die Maschinen in der zu erwartenden Schwingungsbelastung vergleichen kann. Beispiele für derartige Normen sind DIN EN 1032 [18] als Rahmenprüfnorm für bewegliche Maschinen zum Zwecke der Bestimmung des Schwingungsemissionswertes und DIN EN 13059 [19] als Anwendung dieser Rahmennorm für das Verfahren zur Schwingungsmessung bei Flurförderzeugen. Für die Messung der Vibrationsemission bei handgehaltenen und handgeführten Maschinen entsprechen dem DIN EN ISO 20643 [20] mit einem Rahmenmessverfahren und diverse Einzelprüfnormen für eine große Zahl von Maschinen wie Hämmer, Bohrmaschinen, Schleifmaschinen, Schrauber, Stampfer, Eintreibgeräte usw.

Hersteller und Käufer können aber auch individuelle Betriebsbedingungen für die Messung der Vibrationsemission vereinbaren, wenn dies dem betriebstypischen Einsatz besser entspricht.

Damit ist zugleich die besondere Problematik der Verwendung von Herstellerangaben bei der Gefährdungsbeurteilung anstelle unmittelbarer Messungen erkennbar. Die breiten Messwertfelder in den Anhängen I und II dokumentieren die starke Abhängigkeit der im Einzelfall bestehenden Schwingungsbelastung von der Art der ausgeführten Arbeiten, den eingesetzten Werkzeugen, der persönlichen Arbeitsweise usw. So wird z.B. bei der Messung der Vibrationsemission an Aufreißhämmern nach der Europäischen Norm aus Gründen der Reproduzierbarkeit im Messlabor ein Kugelabsorber verwendet. Bei der praktischen Anwendung dieser Geräte entsteht jedoch mit Sicherheit eine höhere Schwingungsbelastung. Eine falsche Gefährdungsbeurteilung ist zu befürchten, wenn die realen Einsatzbedingungen am Arbeitsplatz von den Normeinsatzbedingungen im Messlabor abweichen. Um die Schwingungsbelastung dennoch durch eine Abschätzung der Belastungskenngrößen unter Zuhilfenahme der Herstellerangaben beurteilen zu können, wurde vom Europäischen Normenkomitee CEN eine Technische Regel für Hand-Arm-Schwingungsbelastung erarbeitet, die die wichtigsten

zu beachtenden Randbedingungen erläutert und Anwendungshilfen gibt [21].

6.4 Benutzungsdauer, Einwirkungsdauer

Bei der Ermittlung der Tagesexpositionswerte spielt die tägliche Einwirkungsdauer eine entscheidende Rolle. Sie ist stets nur ein Teil der Benutzungsdauer eines Gerätes oder einer mobilen Arbeitsmaschine oder eines Fahrzeuges. In der Regel treten während der Benutzungsdauer arbeitsbedingte Unterbrechungen und Pausen ohne Schwingungsbelastung auf. Die Einwirkungsdauer ist deshalb nur die Zeit, in der tatsächlich Schwingungen in die Hände oder den ganzen Körper eingeleitet werden. Zur Problematik der tatsächlichen Einwirkungsdauer, aber auch zu praktischen Aspekten der Nutzung von Herstellerangaben hat der Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau (FA MFS) im Internet das Fachausschuss-Informationsblatt 017 bereitgestellt [22].

6.5 Tages-Beurteilungsbeschleunigung

Mit dem zunächst aus der bisher einzigen gesetzlichen Umsetzung der EG-Vibrationsschutz-Richtlinie in Deutschland [5] verfügbaren Begriff „Tages-Beurteilungsbeschleunigung“ wird der Kennwert bezeichnet, der eine Bewertung der gesamten täglichen

6 Hinweise zur Schwingungsbeurteilung

Schwingungsbelastung bei der Arbeit anhand der Expositionsgrenzwerte erlaubt (siehe Abschnitt 6.1). Die Tages-Beurteilungsbeschleunigung wird für Hand-Arm-Vibrationen und Ganzkörper-Vibrationen auf der Grundlage verschiedener Belastungskennwerte, normiert auf täglich achtstündige Einwirkung, nach VDI-Richtlinie 2057 errechnet.

Eine leicht handhabbare Software-Hilfestellung zur Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung $a_{hv(8)}$ bei Hand-Arm-Vibrationseinwirkung stellt das BGIA zur Verfügung. Der „Hand-Arm-Vibrations-Kennwertrechner“ benötigt als Eingaben die Schwingungsgesamtwerte a_{hv} aller Belastungsabschnitte eines Tages und die zugehörigen Einwirkungsdauern (www.hvbg.de/bgia, Webcode: 1763327).

Zur Berechnung der Beurteilungsbeschleunigung $a_{w(8)}$ bei Ganzkörper-Vibrationsbelastung stellt der berufsgenossenschaftliche Fachausschuss MFS im Internet den „Ganzkörper-Schwingungs-Belastungs-Rechner“ zur Verfügung (http://www.bgmetsued.de/fachausschuss/SG_Vibration.php). Einzugeben sind die Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung (jeweils größter Wert einer Messrichtung) aller während eines Tages benutzten mobilen Maschinen und/oder Fahrzeuge und die zugehörigen Einwirkungsdauern. Der dort zur Orientierung

angegebene Expositionsgrenzwert $A(8) = 1,15 \text{ m/s}^2$ für alle drei Messrichtungen wird im Rahmen der deutschen gesetzlichen Umsetzung geändert. In der bereits 2005 erfolgten Umsetzung in der Gesundheitsschutz-Bergverordnung [5] wurde der Expositionsgrenzwert (dort als „Tages-Beurteilungsbeschleunigung“ bezeichnet) für die x- und y-Richtungen zu $A(8) = 1,15 \text{ m/s}^2$ und für die z-Richtung zu $A(8) = 0,8 \text{ m/s}^2$ festgelegt.

6.6 Präventionsmaßnahmen

Bei der Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung spielt die tägliche Einwirkungsdauer sowohl bei Hand-Arm- als auch bei Ganzkörper-Vibrationen eine bedeutende Rolle. Hier bietet sich durch technologische oder arbeitsorganisatorische Umstellungen mit dem Ziel einer Verkürzung der Einwirkungsdauer gegebenenfalls eine Möglichkeit zur Einhaltung der Grenzwerte. Der „Hand-Arm-Vibrations-Kennwertrechner“ des BGIA und der „Ganzkörper-Schwingungs-Belastungs-Rechner“ des berufsgenossenschaftlichen Fachausschusses MFS (siehe Abschnitt 6.5) ermöglichen es, die täglichen Einwirkungsdauern bei der Eingabe zu verändern und somit verschiedene Varianten fiktiv zu berechnen und hinsichtlich der betrieblichen Umsetzungsmöglichkeiten zu bewerten.

Weitere Informationsquellen für die Prävention gegenüber Hand-Arm- und

Ganzkörper-Vibrationen finden sich in [11; 12; 22 bis 27].

7 Literaturverzeichnis

- [1] 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) (16. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). ABl. EG Nr. L 177 vom 6. Juli 2002, S. 1
- [2] CEN Report CR 12349: Mechanische Schwingungen – Leitfaden über die Wirkung von Schwingungen auf die Gesundheit des Menschen. Beuth, Berlin 1996
- [3] Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) vom 31. Oktober 1997. BGBl. I S. 2623, zul. geänd. durch Artikel 1 der Verordnung vom 5. September 2002. BGBl. I S. 3541
- [4] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG) vom 7. August 1996. BGBl. I, S. 1246. Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibration (Arbeitsschutz – Lärm- und Vibrationsverordnung – ArbSchLärmVibrationsV), in Vorbereitung
- [5] Zweite Verordnung zur Änderung bergrechtlicher Verordnungen vom 10. August 2005. BGBl. I, S. 2452. Darin: Artikel 1: Änderung der Allgemeinen Bundesbergverordnung vom 23. Oktober 1995. BGBl. I, S. 1466; Artikel 2: Änderung der Gesundheitsschutz-Bergverordnung vom 31. Juli 1991. BGBl. I, S. 1751
- [6] Fachausschuss-Informationsblatt 008: Betriebliche Umsetzung der EG-Richtlinie „Vibrationen“, Ausgabe 04/04. http://www.bgmetallsued.de/fachausschuss/SG_Vibration.php
- [7] Richtlinie 98/37/EC des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen. ABl. EG Nr. L 207 vom 23. Juli 1998, S. 1. In Deutschland umgesetzt als: Neunte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung – 9. GPSGV). BGBl. I, S. 704; geänd. durch Art. 6 der Verordnung vom 28. September 1995, BGBl. I, S. 1213; zul. geänd. durch Art. 16 des Gesetzes zur Neuordnung der Sicherheit von technischen Arbeitsmitteln und Verbraucherprodukten vom 6. Januar 2004, BGBl. I, S. 2
- [8] VDI-Richtlinie 2057: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen; Blatt 1: Ganzkörper-Schwingungen, Blatt 2: Hand-Arm-Schwingungen. Ausg. 9/2002. Beuth, Berlin 2002

7 Literaturverzeichnis

- [9] ISO 5349-1: Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration. Part 1: General requirements. Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace. Beuth, Berlin 2001
- [10] ISO 2631-1: Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements. Beuth, Berlin 1997
- [11] *Christ, E.*: EU-Vibrationsschutzrichtlinie in Kraft – Gefährdungsbeurteilung und Prävention. Sicherheitsingenieur (2003) Nr. 5, S. 22-28
- [12] *Kaulbars, U.*: Technischer Vibrationschutz bei Hand-Arm-Schwingungseinwirkung. Kennzahl 230 302. In: BGI-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. 34. Lfg. VI/1999. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGI. Erich Schmidt, Berlin – Losebl.-Ausg., 2. Aufl. 2003. <http://www.bgia-handbuchdigital.de/230302>
- [13] VDI-Richtlinie 3831: Schutzmaßnahmen gegen die Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Ausg. 1/2006. Beuth, Berlin 2006
- [14] *Kaulbars, U.*: Messung, Bewertung und Beurteilung der Hand-Arm-Vibrationsbelastung an Arbeitsplätzen. Kennzahl 210 520. In: BGI-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. 48. Lfg. V/2006. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGI. Erich Schmidt, Berlin – Losebl.-Ausg., 2. Aufl. 2003. <http://www.bgia-handbuchdigital.de/210520>
- [15] *Fischer, S.; Göres, B.; Gondek, K.-H.; Sayn, D.*: Vibrationseinwirkung an Kraftfahrer-Arbeitsplätzen auf Nutzfahrzeugen und Kraftomnibussen im öffentlichen Straßenverkehr. Kennzahl 220 220. In: BGI-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. 39. Lfg. VII/2001. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGI. Erich Schmidt, Berlin – Losebl.-Ausg., 2. Aufl. 2003. <http://www.bgia-handbuchdigital.de/220220>
- [16] *Fischer, S.*: Messung, Bewertung und Beurteilung der Ganzkörpervibrationsbelastung an Arbeitsplätzen. Kennzahl 210 510. In: BGI-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. 49. Lfg. 2006. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGI. Erich Schmidt, Berlin – Losebl.-Ausg., 2. Aufl. 2003. <http://www.bgia-handbuchdigital.de/210510>
- [17] DIN EN 14253: Mechanische Schwingungen; Messung und rechnerische Ermitt-

lung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen am Arbeitsplatz im Hinblick auf seine Gesundheit – Praxisgerechte Anleitung. Ausg. 2/2004. Beuth, Berlin 2004

[18] DIN EN 1032: Mechanische Schwingungen; Prüfverfahren für bewegliche Maschinen zum Zwecke der Bestimmung des Schwingungsemissionswertes. Ausg. 9/2003. Beuth, Berlin 2003

[19] DIN EN 13059: Sicherheit von Flurförderzeugen; Verfahren zur Schwingungsmessung. Ausg. 10/2002. Beuth, Berlin 2002

[20] DIN EN ISO 20643: Mechanische Schwingungen; Handgehaltene und handgeführte Maschinen – Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Ermittlung der Schwingungsemission. Ausg. 3/2005. Beuth, Berlin 2005

[21] DIN V 45694: Mechanische Schwingungen; Anleitung zur Beurteilung der Belastung durch Hand-Arm-Schwingungen unter Heranziehung von Angaben der Maschinenhersteller. Deutsche Fassung des CR 15350:2006. Beuth, Berlin 2006 (in Vorbereitung)

[22] Fachausschuss-Informationsblatt 017: Gefährdungsbeurteilung „Vibrationen“

bei handgeführten und -gehaltenen Arbeitsmaschinen: Hinweise zur Nutzung von Herstellerangaben aus Bedienungsanleitungen. Ausg. 11/2005. http://www.bgmetallsued.de/fachausschuss/SG_Vibration.php

[23] *Christ, E.*: Technischer Vibrationschutz – Allgemeiner Überblick. Kennzahl 230 300. In: BGIA-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. 44. Lfg. XII/2003. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA. Erich Schmidt, Berlin – Losebl.-Ausg., 2. Aufl. 2003. <http://www.bgia-handbuchdigital.de/230300>

[24] *Fischer, S.*: Technischer Vibrationschutz bei Ganzkörper-Schwingungseinwirkung. Kennzahl 230 301. In: BGIA-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. 31. Lfg. I/1998. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA. Erich Schmidt, Berlin – Losebl.-Ausg., 2. Aufl. 2003. <http://www.bgia-handbuchdigital.de/230301>

[25] *Christ, E.; Fischer, S.*: Vibrationsgefährdung an Arbeitsplätzen auf mobilen Arbeitsmitteln und Fahrzeugen – Präventionsschwerpunkte. Kennzahl 230 303. In: BGIA-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. 40. Lfg. XII/2001. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz

7 Literaturverzeichnis

schutz – BGIA. Erich Schmidt, Berlin – Losebl.-Ausg., 2. Aufl. 2003. <http://www.bgia-handbuchdigital.de/230303>

[26] DIN V 45695:1996: Hand-Arm-Schwingungen; Leitfaden zur Verringerung der Gefährdung durch Schwingungen – Technische und organisatorische Maßnah-

men. Ausg. 4/1996. Beuth, Berlin 1996

[27] EU-Handbuch „Hand-Arm-Schwingungen“ und EU-Handbuch „Ganzkörper-Schwingungen“; Leitfäden zur Umsetzung der Richtlinie 2002/44/EG. <http://www.humanvibration.com/EU/VIBGUIDE.htm>

Anhang 1: Hand-Arm-Schwingungen

Handgehaltene und handgeführte Geräte in alphabetischer Reihenfolge,
nach ihrer Verwendung gruppiert in die Bereiche Bauwesen, Holzbearbeitung,
Metallbearbeitung und Landschafts- und Gartenbau

Inhalt	Seite
1 Geräte mit überwiegender Verwendung im Bauwesen	40
1.1 Abbruch- und Befestigungstechnik	40
Bohrhämmer.....	41
Bolzensetzer.....	41
Schlagbohrmaschinen.....	41
Schlaghämmer.....	40, 41
1.2 Bodenverdichtung	42
Stampfer zur Bodenverdichtung.....	42
Stampframmen.....	43
Vibrationsplatten.....	42
Vibrationswalzen.....	42
1.3 Stein- und Mauerwerksbearbeitung	43
Betonschleifmaschinen.....	45
Fugenschneider.....	45
Gelenkarmschleifmaschinen.....	46
Hochdruckreiniger.....	44, 45
Innenrüttler/Stockrüttler.....	44
Kernbohrmaschinen.....	43
Mauernutfräsen.....	44
Oberflächenabzieher.....	45
Rührwerke.....	44
Schlaghämmer.....	43
Trennschleifer.....	44
	37

Anhang 1: Hand-Arm-Schwingungen

Handgehaltene und handgeführte Geräte in alphabetischer Reihenfolge,
nach ihrer Verwendung gruppiert in die Bereiche Bauwesen, Holzbearbeitung,
Metallbearbeitung und Landschafts- und Gartenbau

Inhalt	Seite
2 Geräte mit überwiegender Verwendung in der Holzbearbeitung	46
Eintreibgeräte Nagler	46, 47
Eintreibgeräte Tacker	47
Elektrohobel	48
Handbohrmaschinen.....	49
Handkreissägen.....	47
Säbelsägen.....	48
Schwingschleifer	48
Stichsägen.....	48
3 Geräte mit überwiegender Verwendung in der Metallbearbeitung	49
Blechscheren	54
Drehschrauber	54
Geradschleifer.....	51, 52
Geradschleifer (mit Biegewelle).....	52
Hobel/Schaber.....	49
Luft- und Federhämmer.....	53
Nadelklopfer/Entroster.....	53
Nietgegenhalter.....	50
Niethämmer.....	49, 50
Pendelschleifer.....	53
Schlagschrauber	52
Schweißkantenformer	49
Schwingschleifer	54
Stampfer.....	53
Standbohrmaschinen.....	54
Vertikalschleifer	51
Winkelschleifer	50, 51

Inhalt	Seite
4 Geräte mit überwiegender Verwendung im Landschafts- und Gartenbau ...	55
Balkenmotormäher	55
Erdbohrgeräte	56
Hoch-Entaster	56
Kettensägen	56
Motorsensen	55

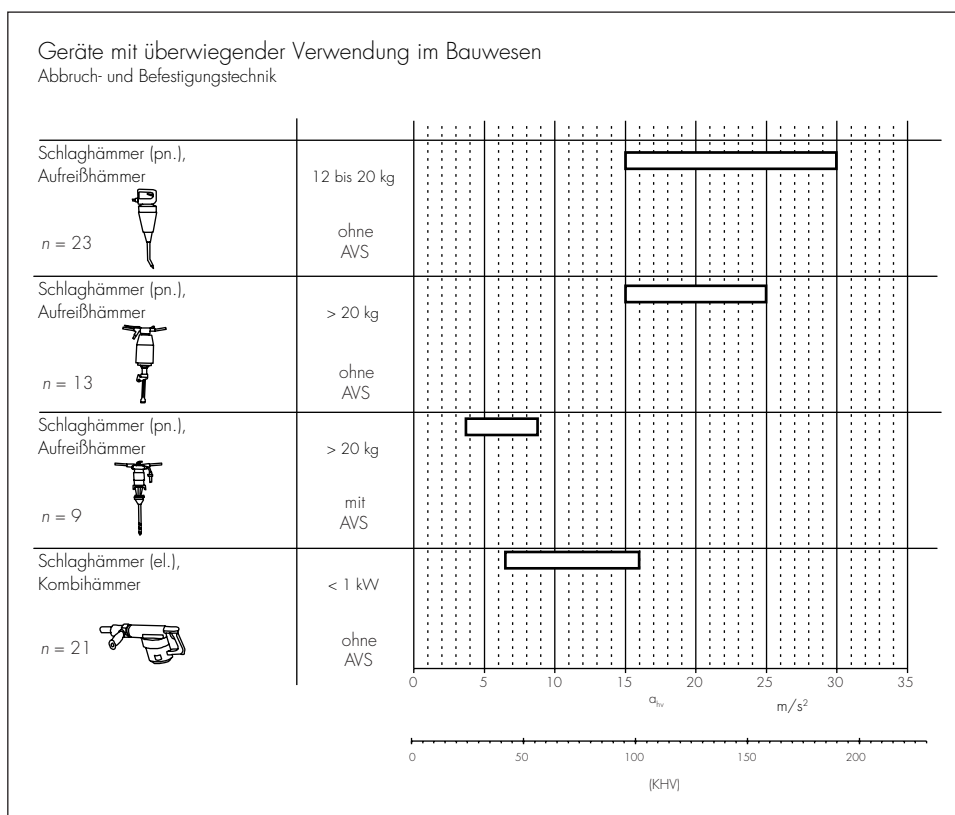
Verwendete Abkürzungen in den Diagrammen:

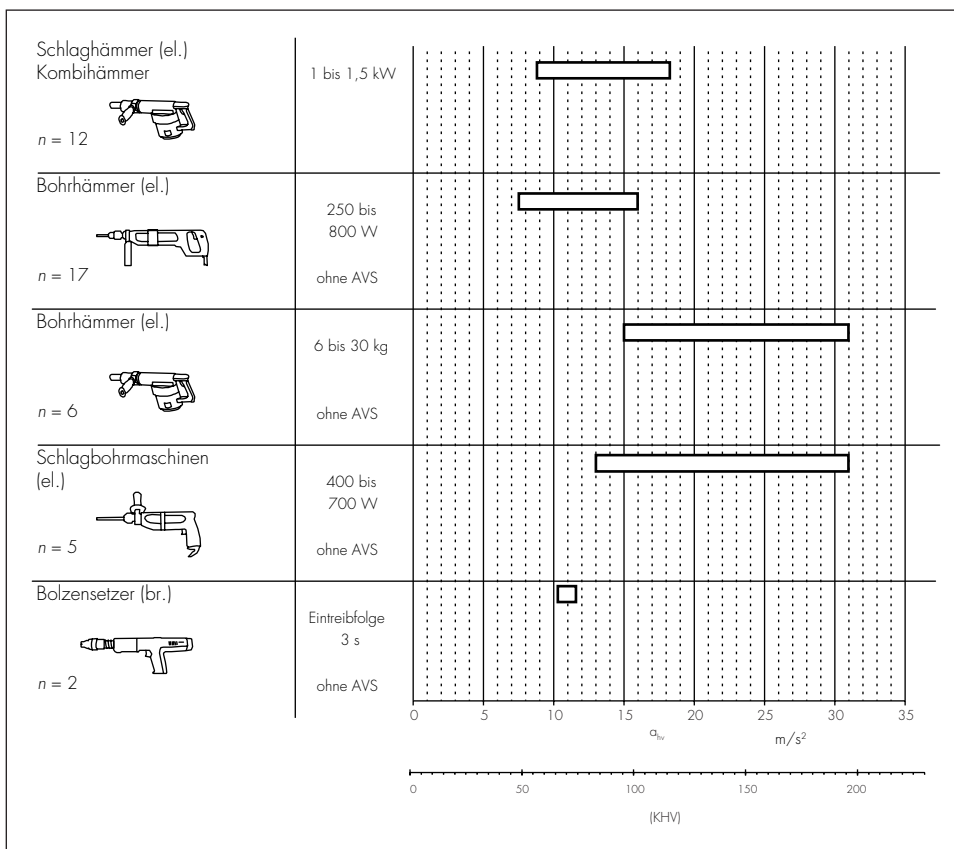
- el. = elektrisch
- pn. = pneumatisch
- hy. = hydraulisch
- br. = Brennkraftantrieb
- AVS = Antivibrationssystem
- a_{hv} = Schwingungsgesamtwert
- KHV = K-Wert der vektoriellen Addition der drei Messrichtungen x, y und z

Erläuterungen zu den Diagrammen siehe Kapitel 3, Seite 19

Anhang 1: Hand-Arm-Schwingungen

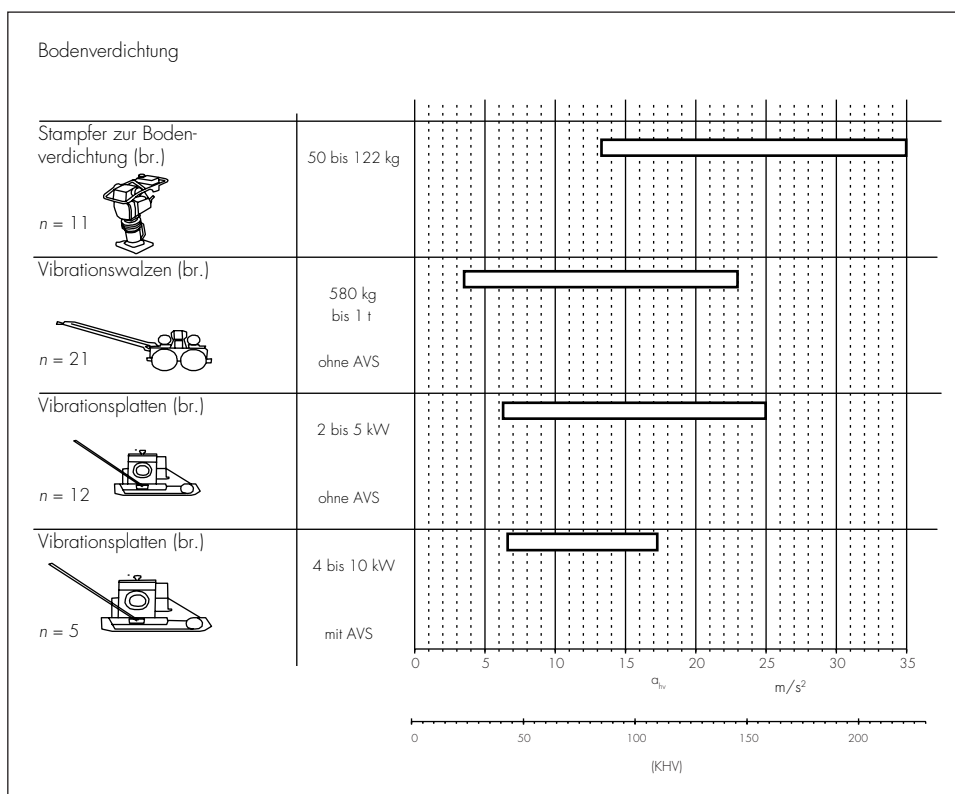
Handgehaltene und handgeführte Geräte in alphabetischer Reihenfolge,
nach ihrer Verwendung gruppiert in die Bereiche Bauwesen, Holzbearbeitung,
Metallbearbeitung und Landschafts- und Gartenbau

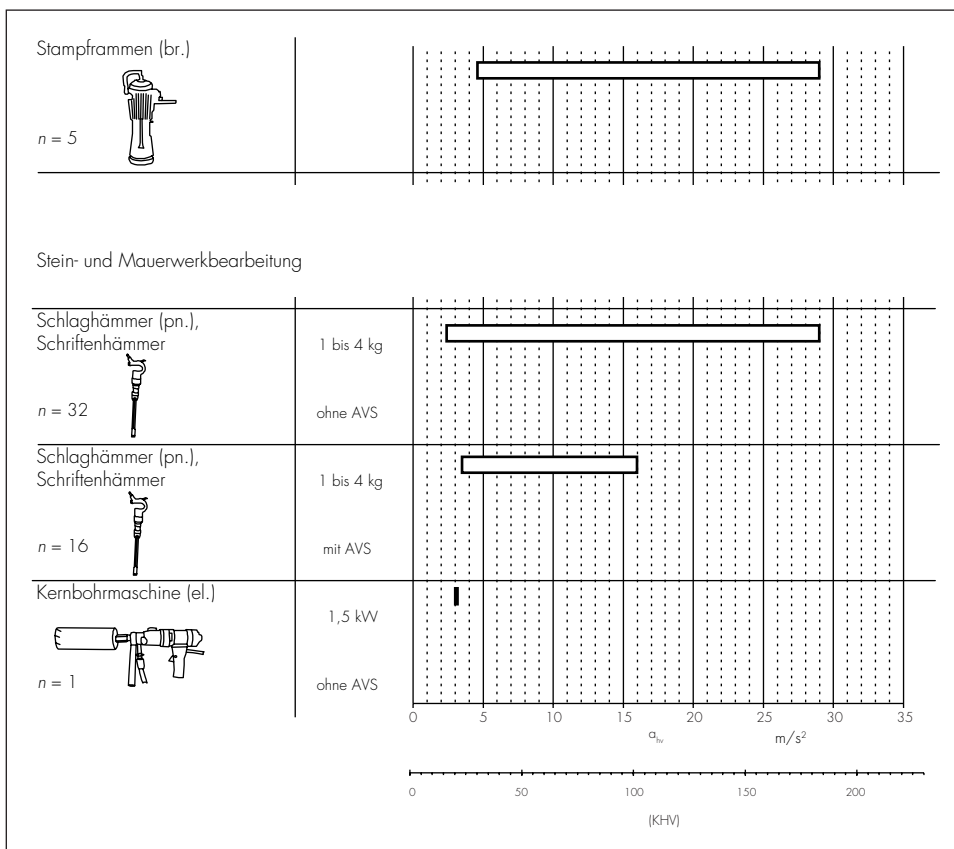




Anhang 1: Hand-Arm-Schwingungen

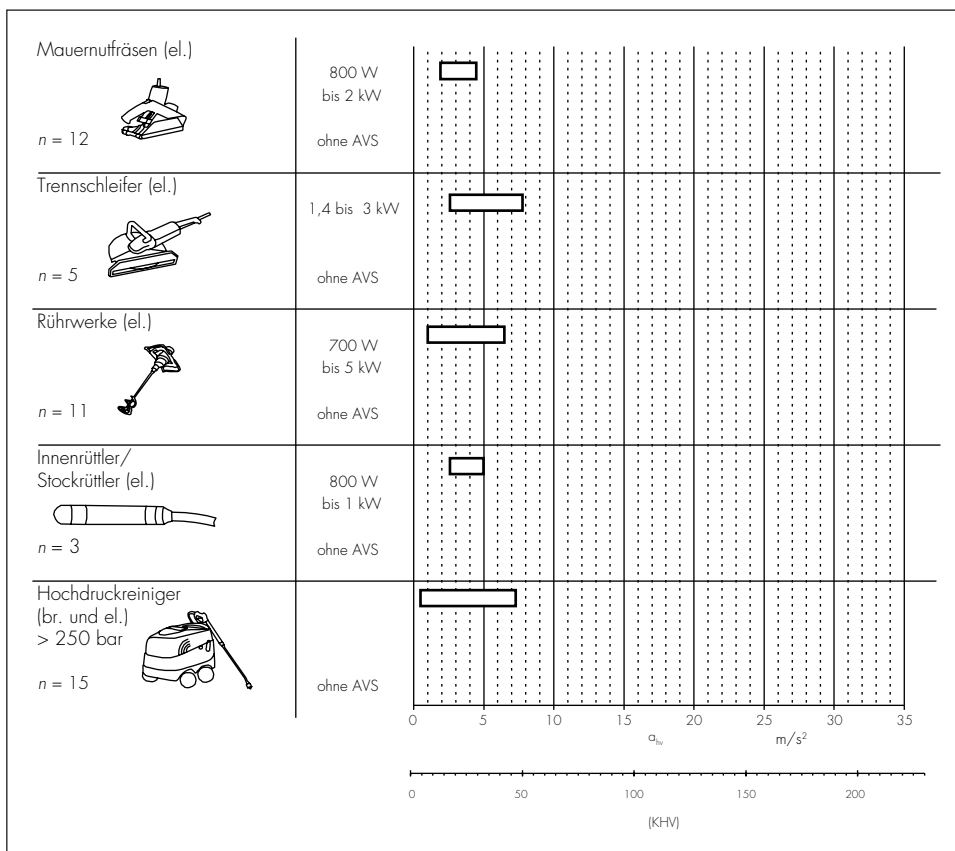
Handgehaltene und handgeführte Geräte in alphabetischer Reihenfolge,
nach ihrer Verwendung gruppiert in die Bereiche Bauwesen, Holzbearbeitung,
Metallbearbeitung und Landschafts- und Gartenbau

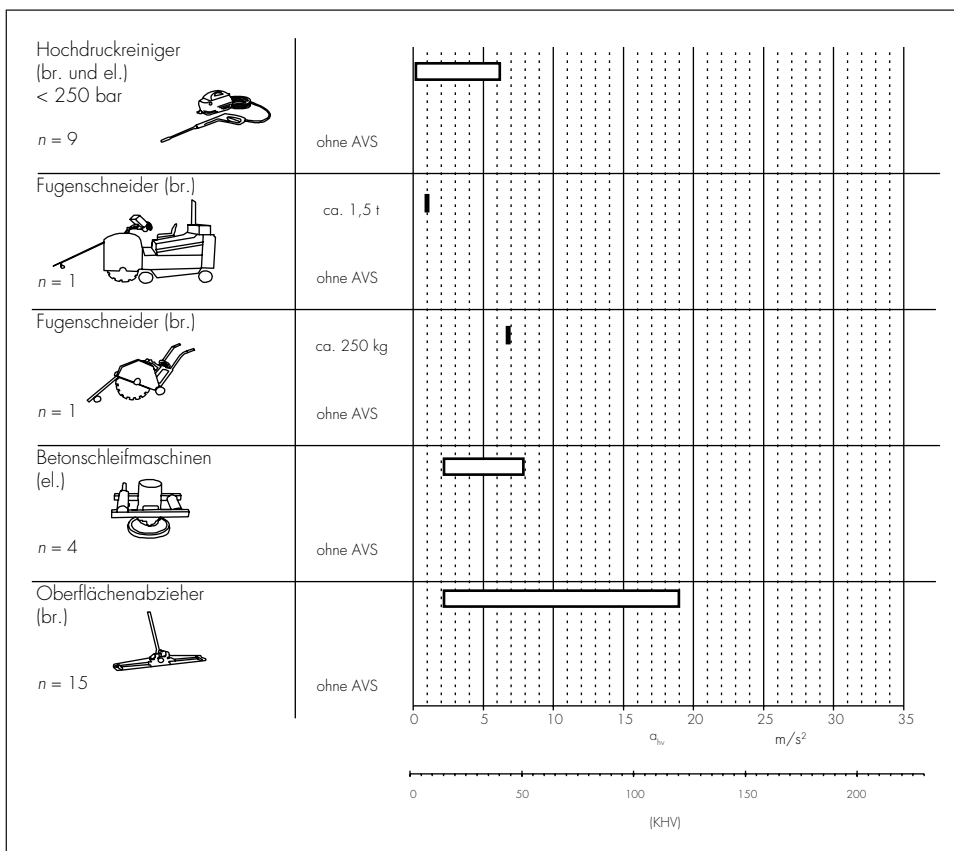




Anhang 1: Hand-Arm-Schwingungen

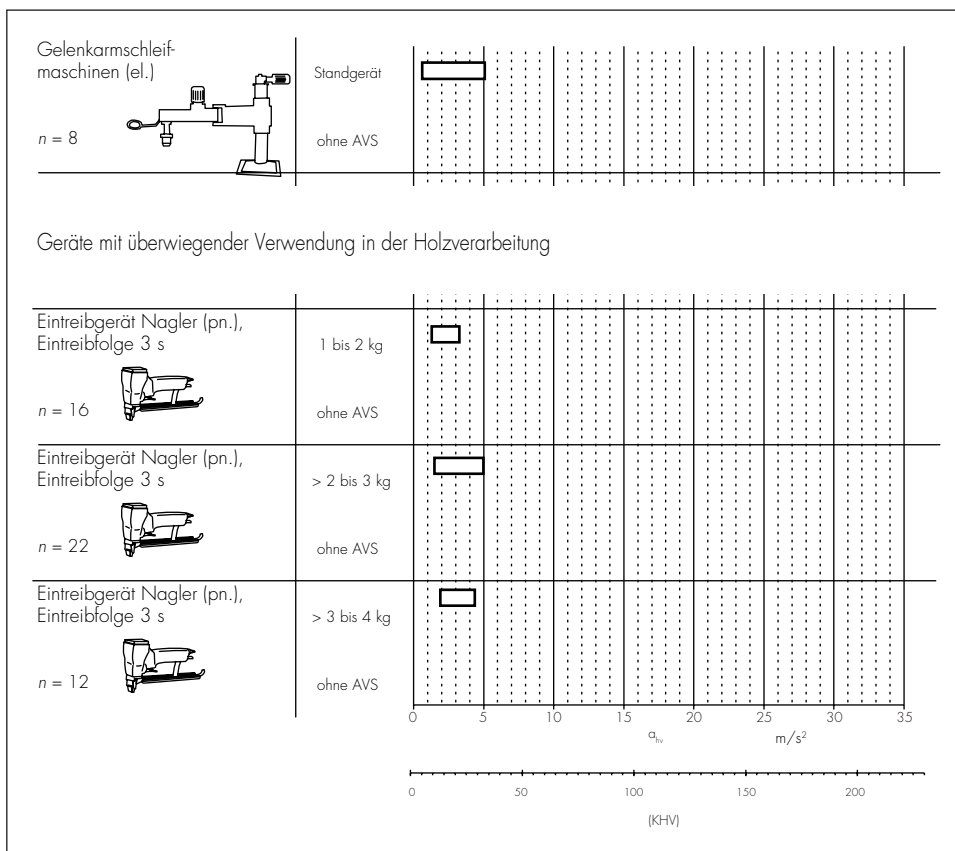
Handgehaltene und handgeführte Geräte in alphabetischer Reihenfolge,
nach ihrer Verwendung gruppiert in die Bereiche Bauwesen, Holzbearbeitung,
Metallbearbeitung und Landschafts- und Gartenbau

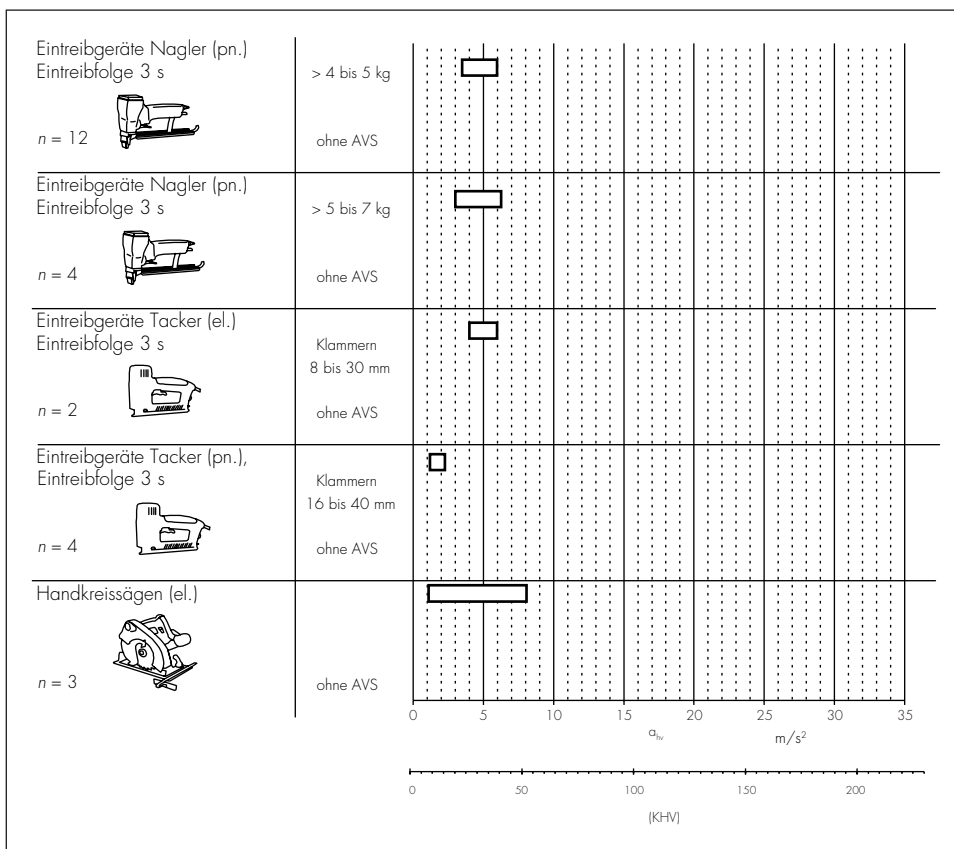




Anhang 1: Hand-Arm-Schwingungen

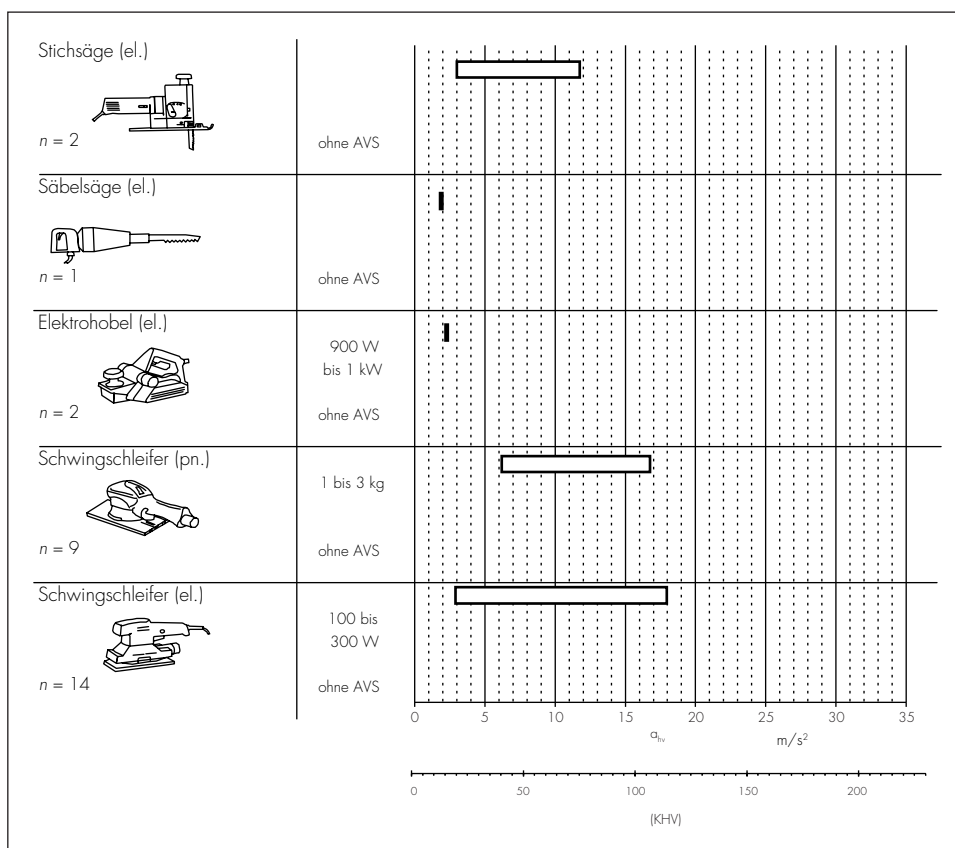
Handgehaltene und handgeführte Geräte in alphabetischer Reihenfolge,
nach ihrer Verwendung gruppiert in die Bereiche Bauwesen, Holzbearbeitung,
Metallbearbeitung und Landschafts- und Gartenbau

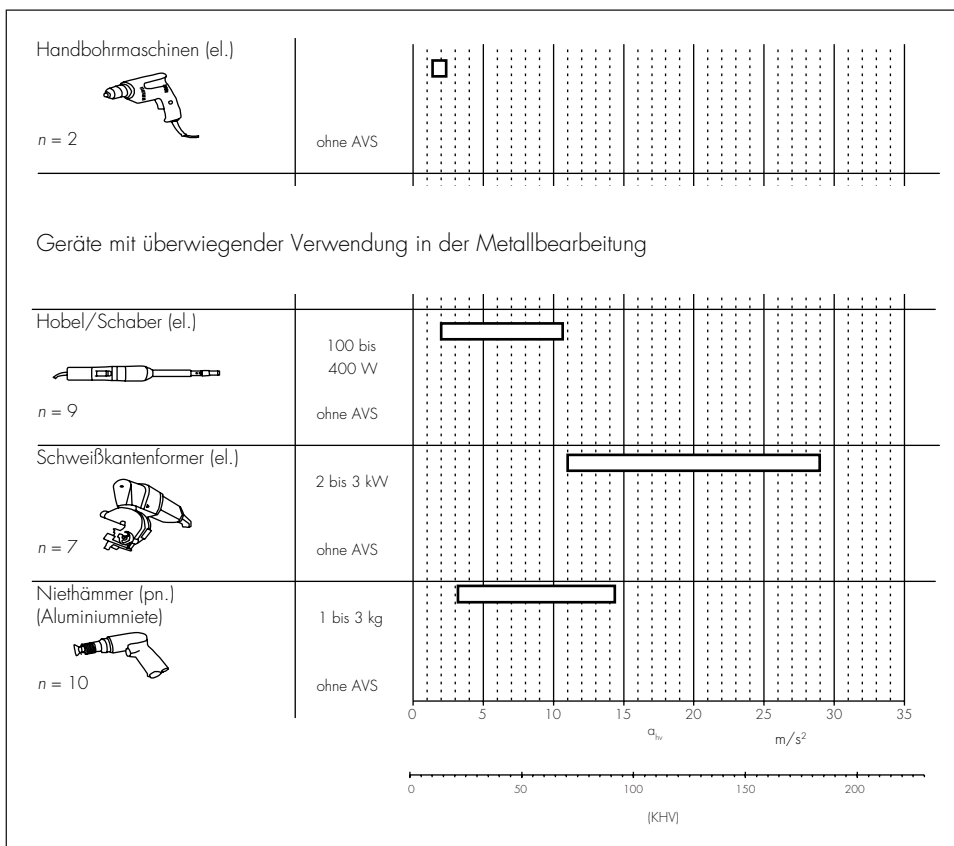




Anhang 1: Hand-Arm-Schwingungen

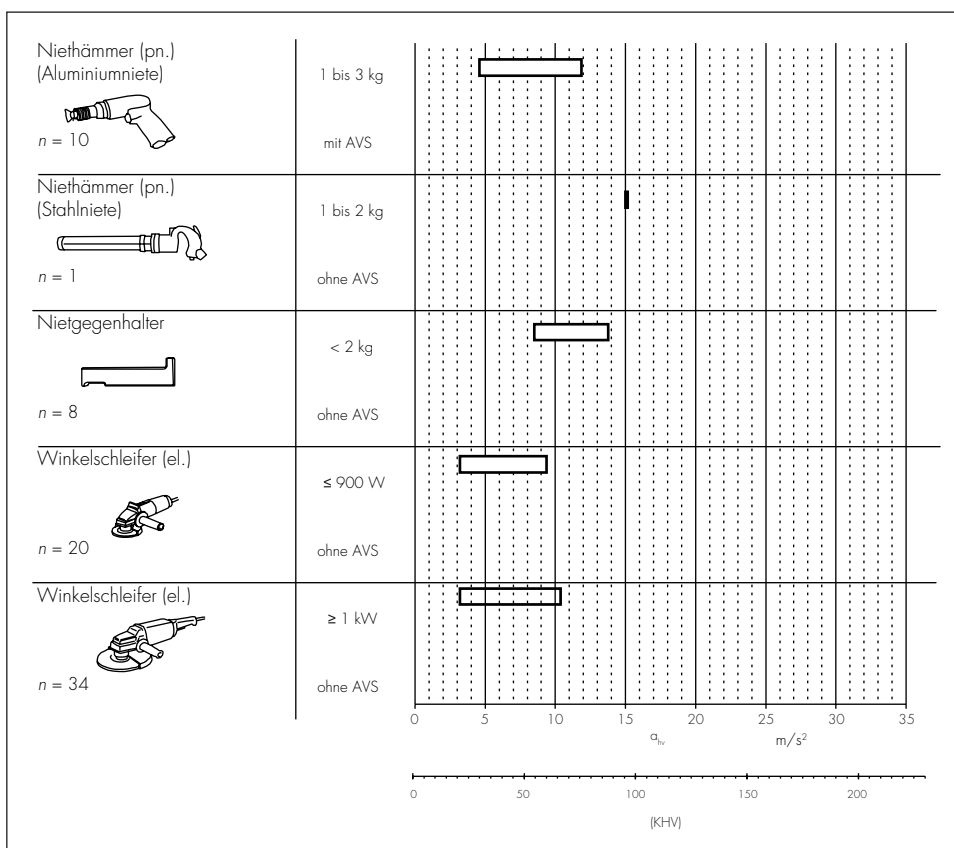
Handgehaltene und handgeführte Geräte in alphabetischer Reihenfolge,
nach ihrer Verwendung gruppiert in die Bereiche Bauwesen, Holzbearbeitung,
Metallbearbeitung und Landschafts- und Gartenbau

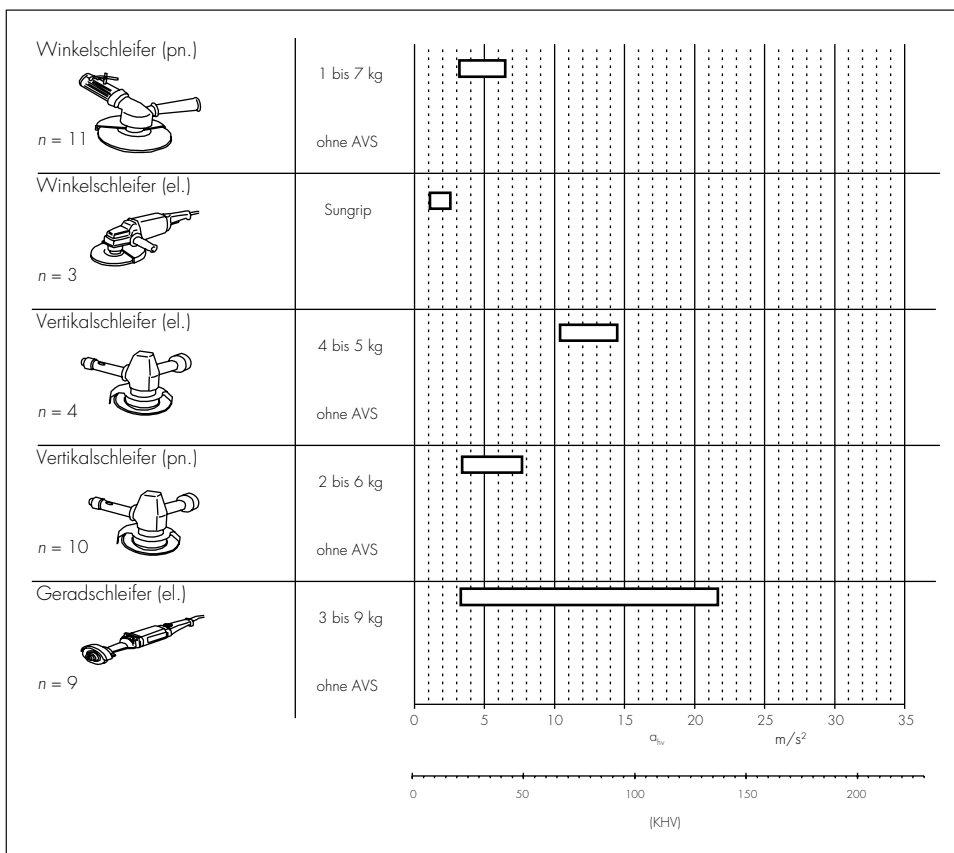




Anhang 1: Hand-Arm-Schwingungen

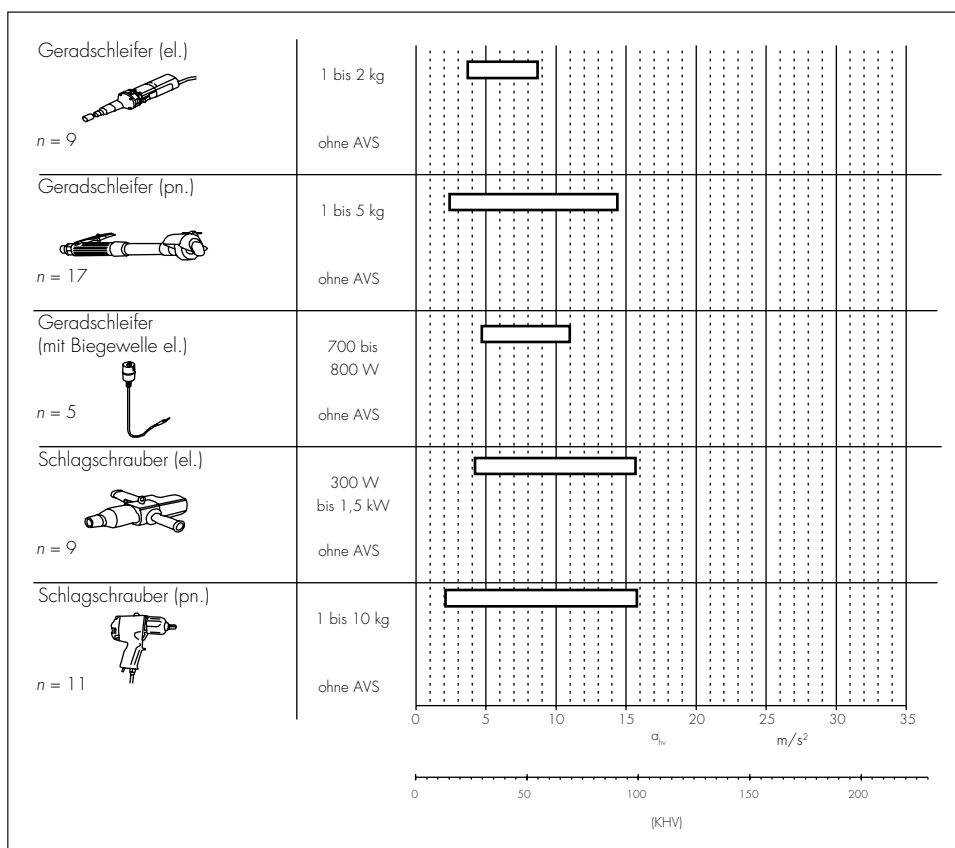
Handgehaltene und handgeführte Geräte in alphabetischer Reihenfolge,
nach ihrer Verwendung gruppiert in die Bereiche Bauwesen, Holzbearbeitung,
Metallbearbeitung und Landschafts- und Gartenbau

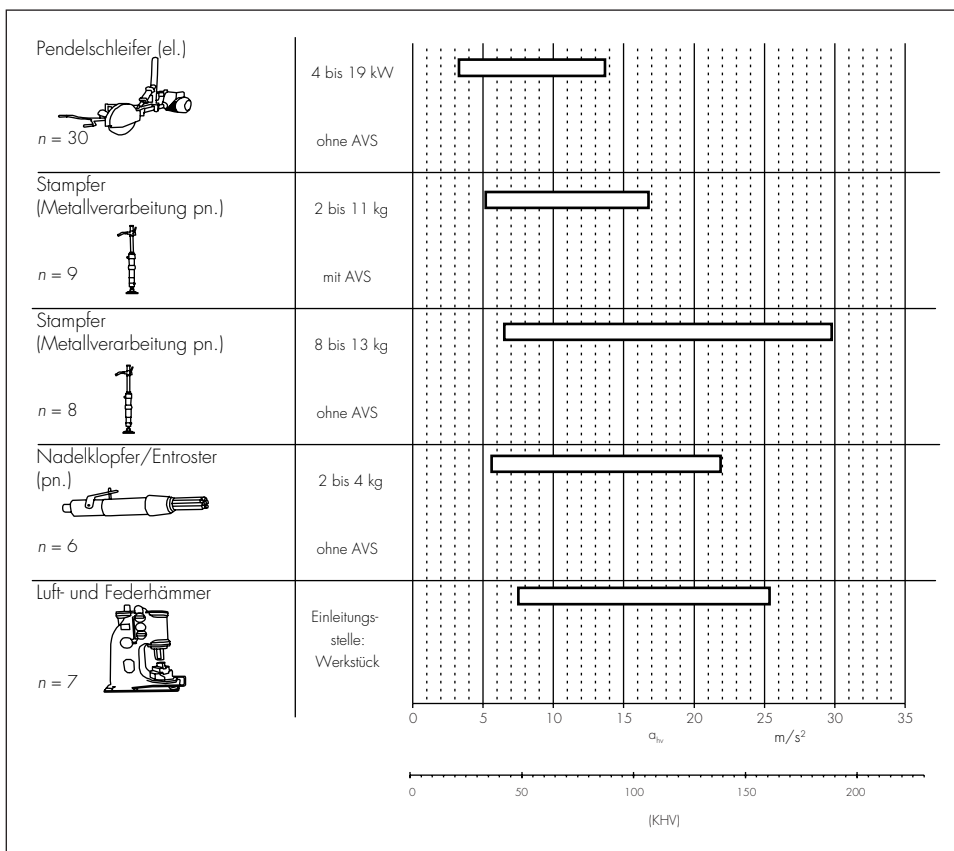




Anhang 1: Hand-Arm-Schwingungen

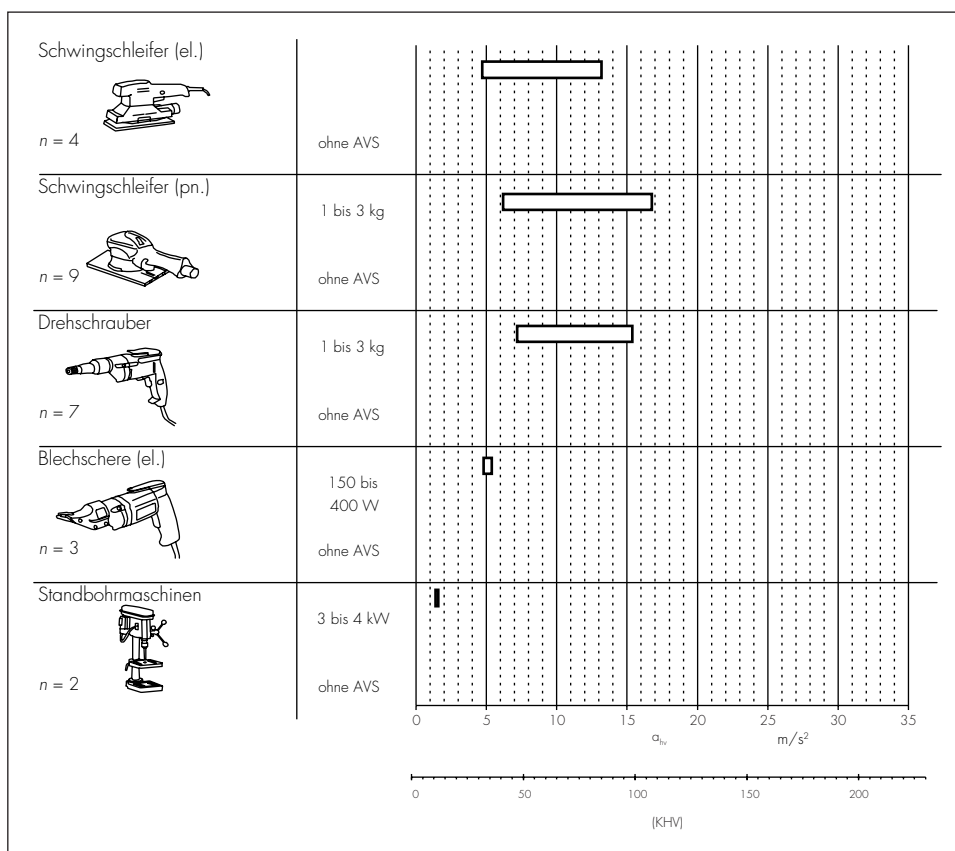
Handgehaltene und handgeführte Geräte in alphabetischer Reihenfolge,
nach ihrer Verwendung gruppiert in die Bereiche Bauwesen, Holzbearbeitung,
Metallbearbeitung und Landschafts- und Gartenbau



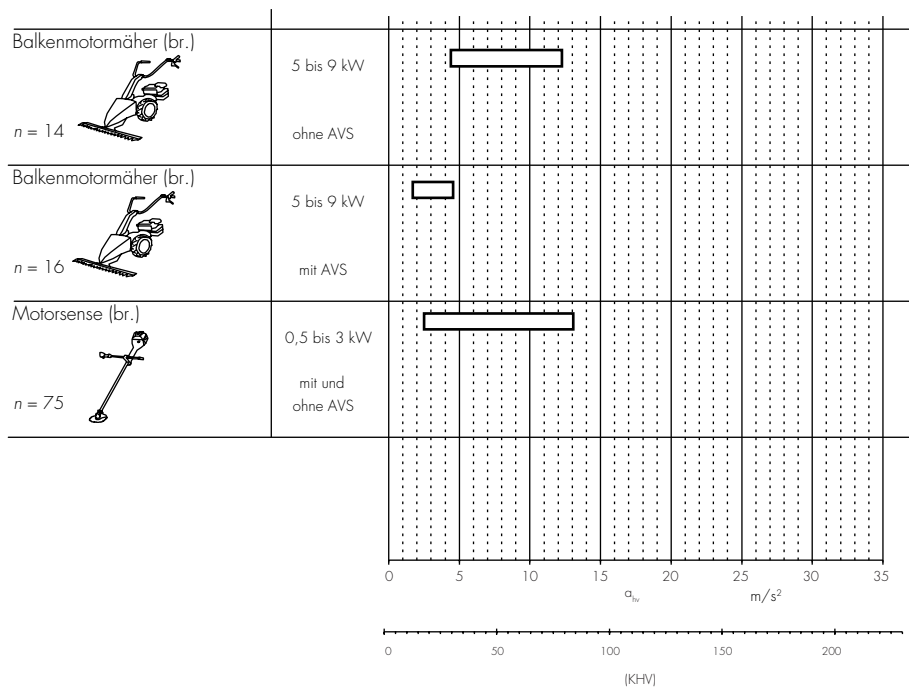


Anhang 1: Hand-Arm-Schwingungen

Handgehaltene und handgeführte Geräte in alphabetischer Reihenfolge,
nach ihrer Verwendung gruppiert in die Bereiche Bauwesen, Holzbearbeitung,
Metallbearbeitung und Landschafts- und Gartenbau

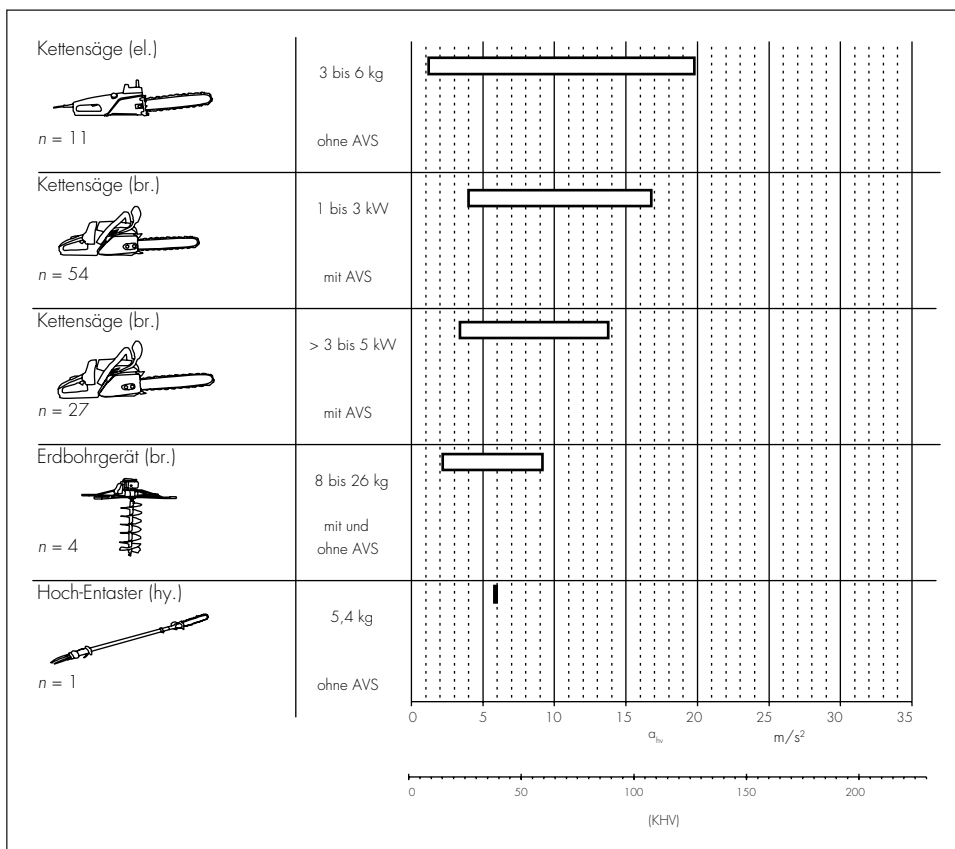


Geräte mit überwiegender Verwendung im Landschafts- und Gartenbau



Anhang 1: Hand-Arm-Schwingungen

Handgehaltene und handgeführte Geräte in alphabetischer Reihenfolge,
nach ihrer Verwendung gruppiert in die Bereiche Bauwesen, Holzbearbeitung,
Metallbearbeitung und Landschafts- und Gartenbau



Anhang 2: Ganzkörper-Schwingungen

Mobile Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge in alphabetischer Reihenfolge

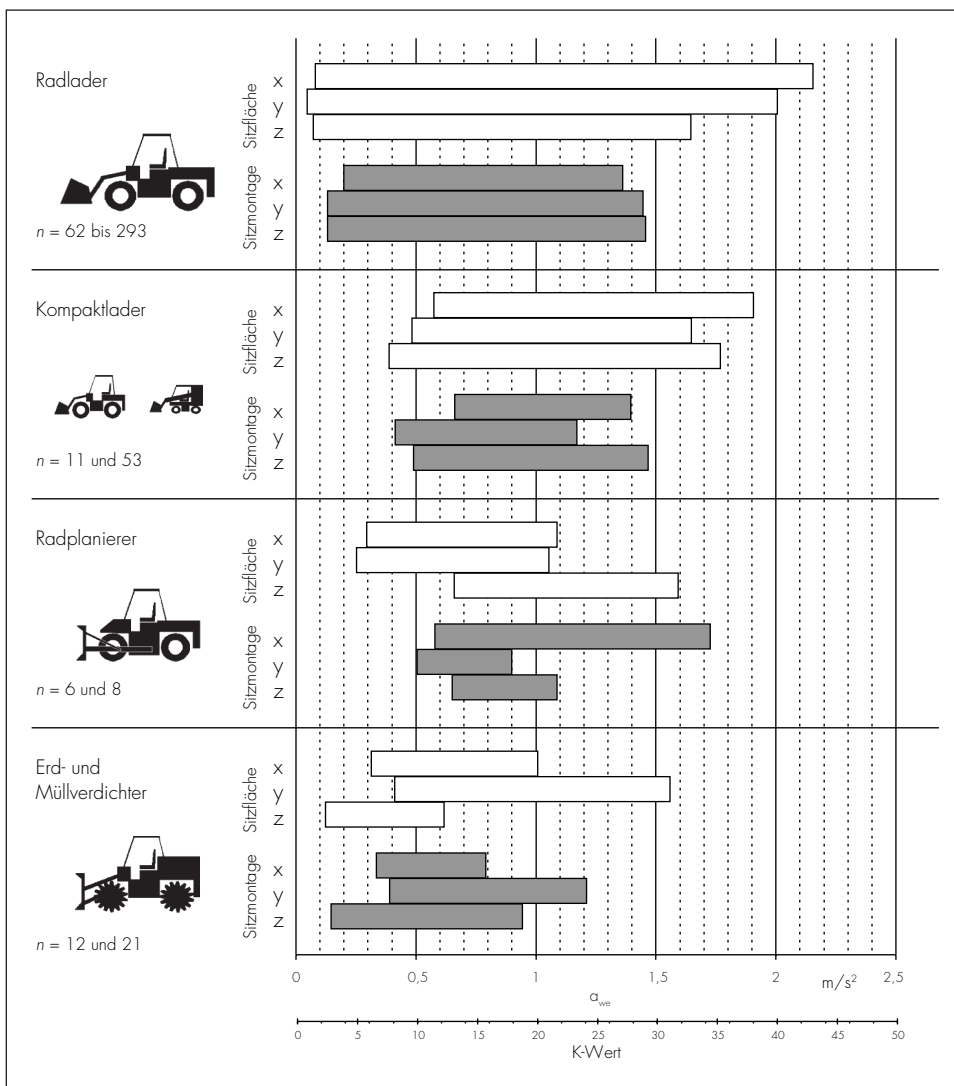
Inhalt	Seite
Autokrane	64
Baggerlader	60
Brücken-, Portal-, Turmkrane	64
Busse im öffentlichen Verkehr	68
Erd- und Müllverdichter	59
Flugzeugschlepper	67
Gabel-, Gelände-, Querstapler	63
Geländewagen	69
Gleisgebundene Fahrzeuge (Gleisstopfmaschinen)	68
Grader	61
Hubschrauber	70
Hydraulikbagger	60
Kehrmaschinen	66
Kettenplanierer, Laderaupen	60
Klein-Lkw im öffentlichen Verkehr	66
Kompaktlader	59
Land- und forstwirtschaftliche Schlepper	67
Lkw im Baustelleneinsatz	65
Lkw im öffentlichen Verkehr	65
Lokomotiven, Triebwagen	68
Mäher	67
Motorräder	69
Muldenkipper, Dumper	61
	57

Anhang 2: Ganzkörper-Schwingungen

Mobile Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge in alphabetischer Reihenfolge

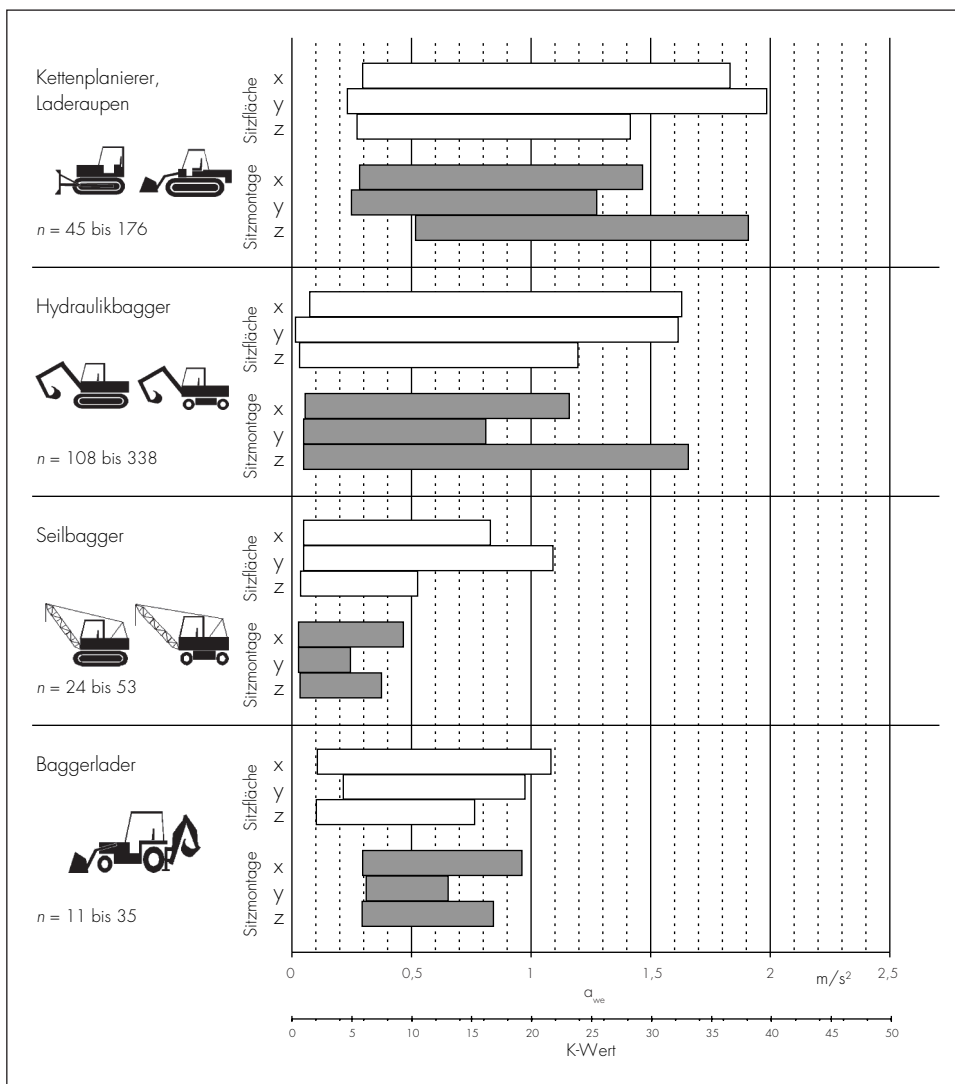
Inhalt	Seite
Niederhubwagen-Toplader	63
Pistenraupen.....	62
Pkw	69
Portalstapler	63
Radlader	59
Radplanierer	59
Sägegatterspannwagen	70
Sattel-Kfz im Baustelleneinsatz.....	65
Sattel-Kfz im öffentlichen Verkehr	65
Schiffe	70
Schmalspurschlepper	67
Schmiedemanipulatoren	64
Schubmast-, Regal- und Vierwegestapler	63
Schürfkübelraupen	61
Scraper.....	61
Seilbagger.....	60
Straßenbahnen, U-Bahnen	68
Straßenfertiger	62
Straßenfräsen	62
Unimog.....	66
Walzen	62
Zug- und Schubschlepper.....	66

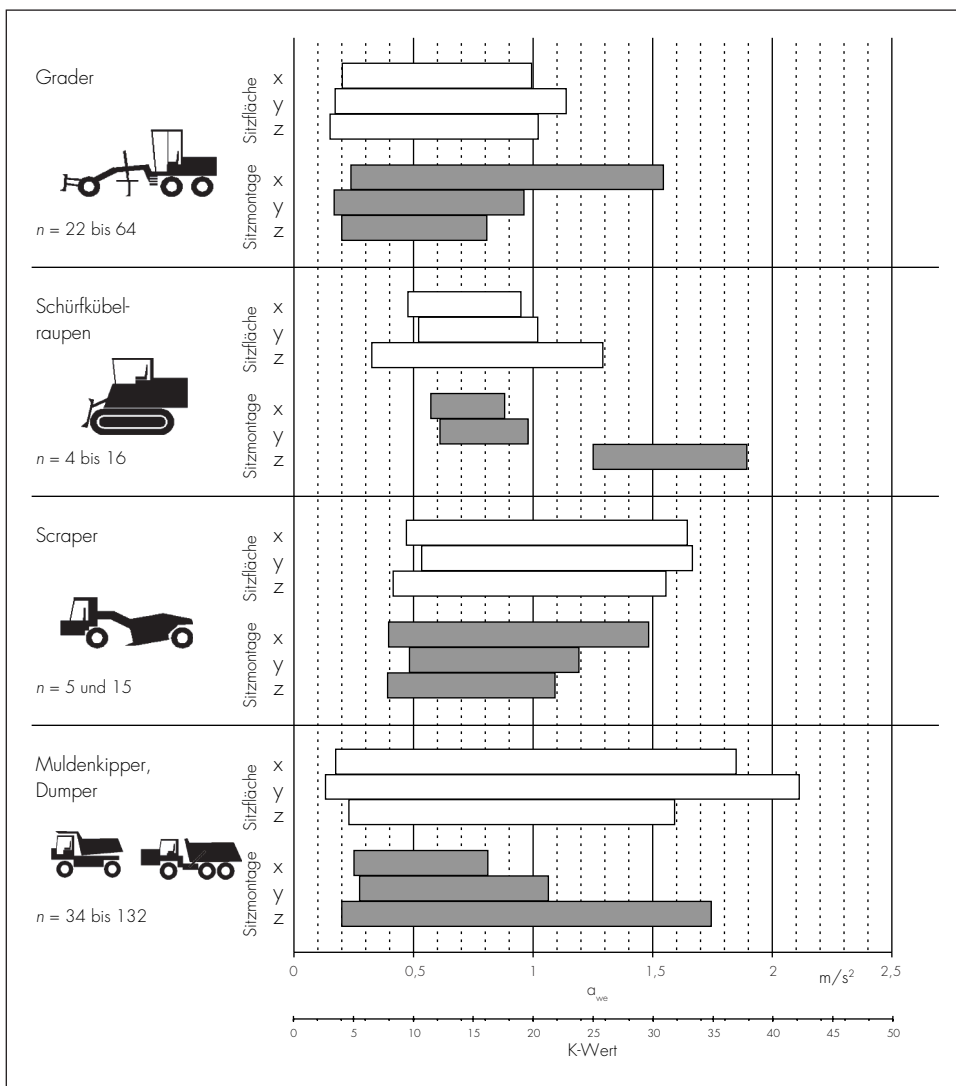
Erläuterungen zu den Diagrammen siehe Kapitel 4, Seite 21



Anhang 2: Ganzkörper-Schwingungen

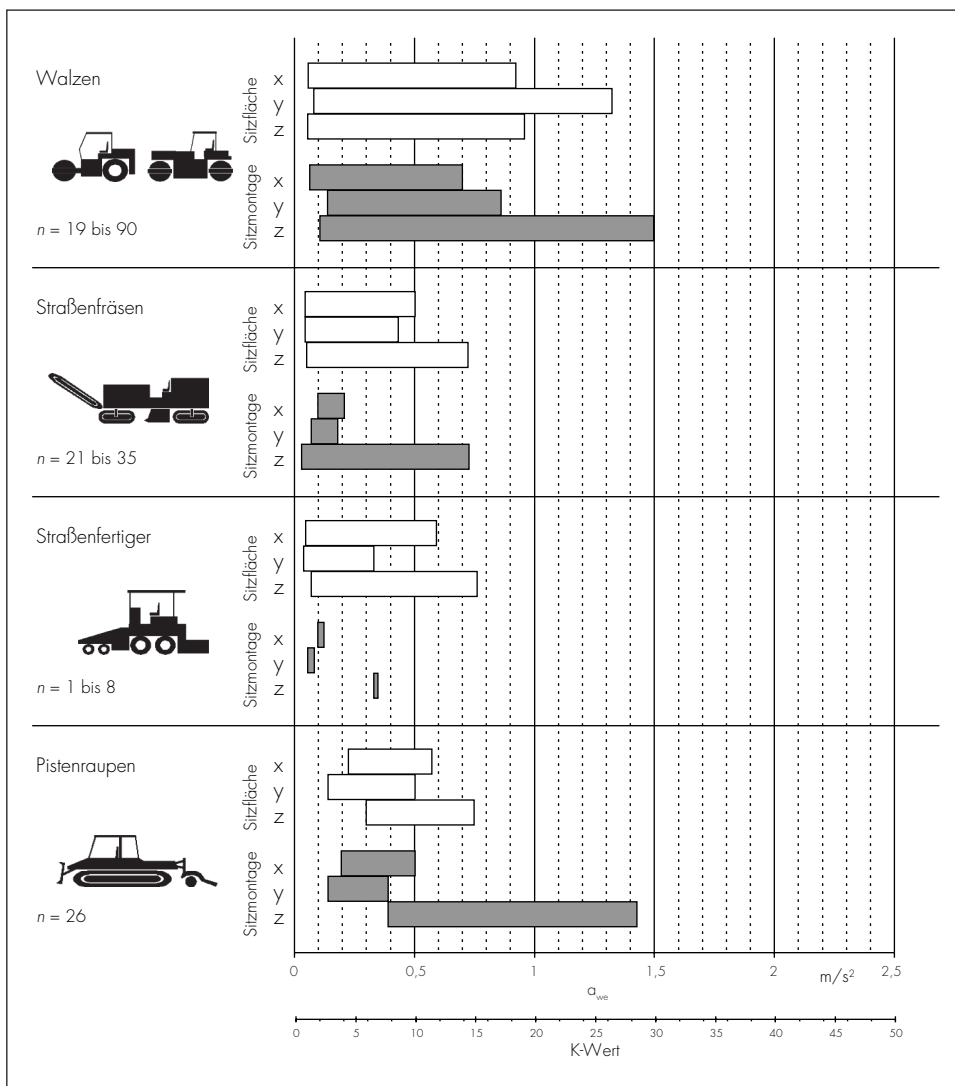
Mobile Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge in alphabetischer Reihenfolge

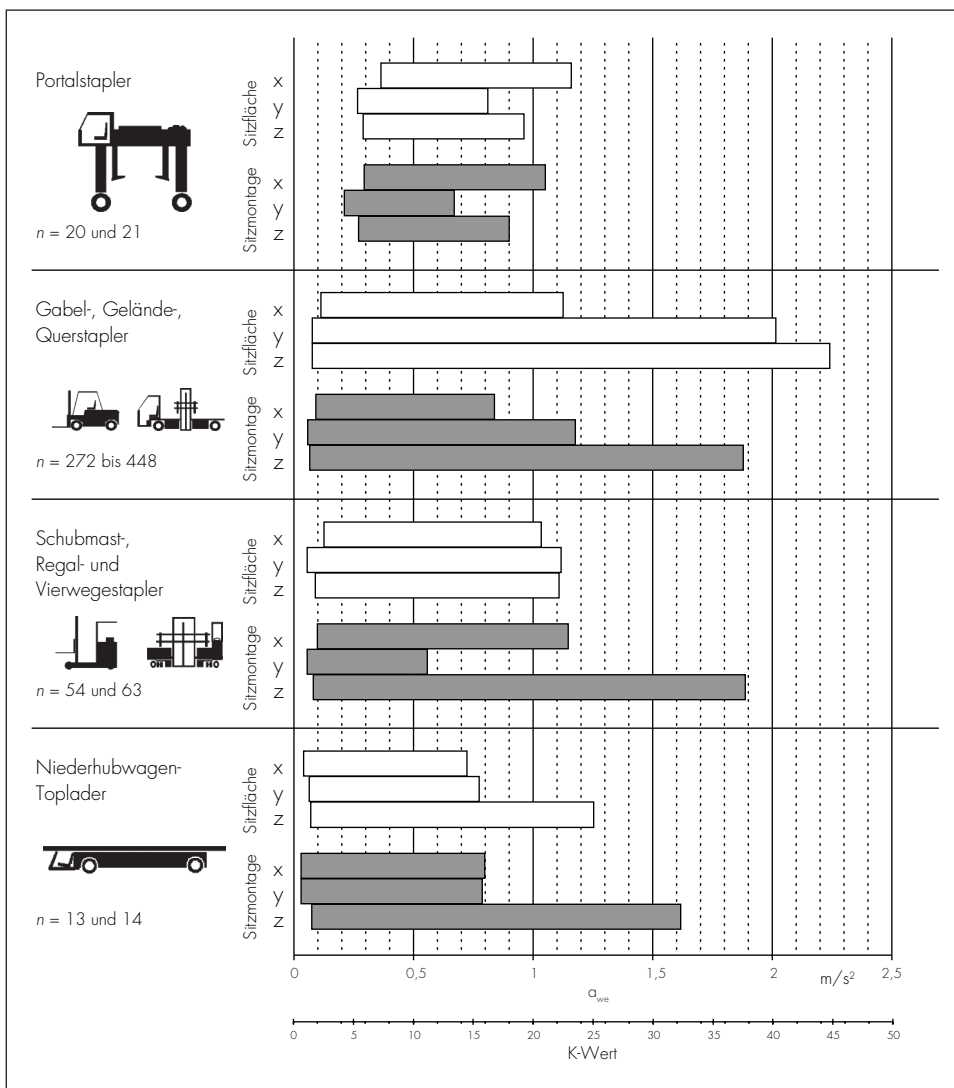




Anhang 2: Ganzkörper-Schwingungen

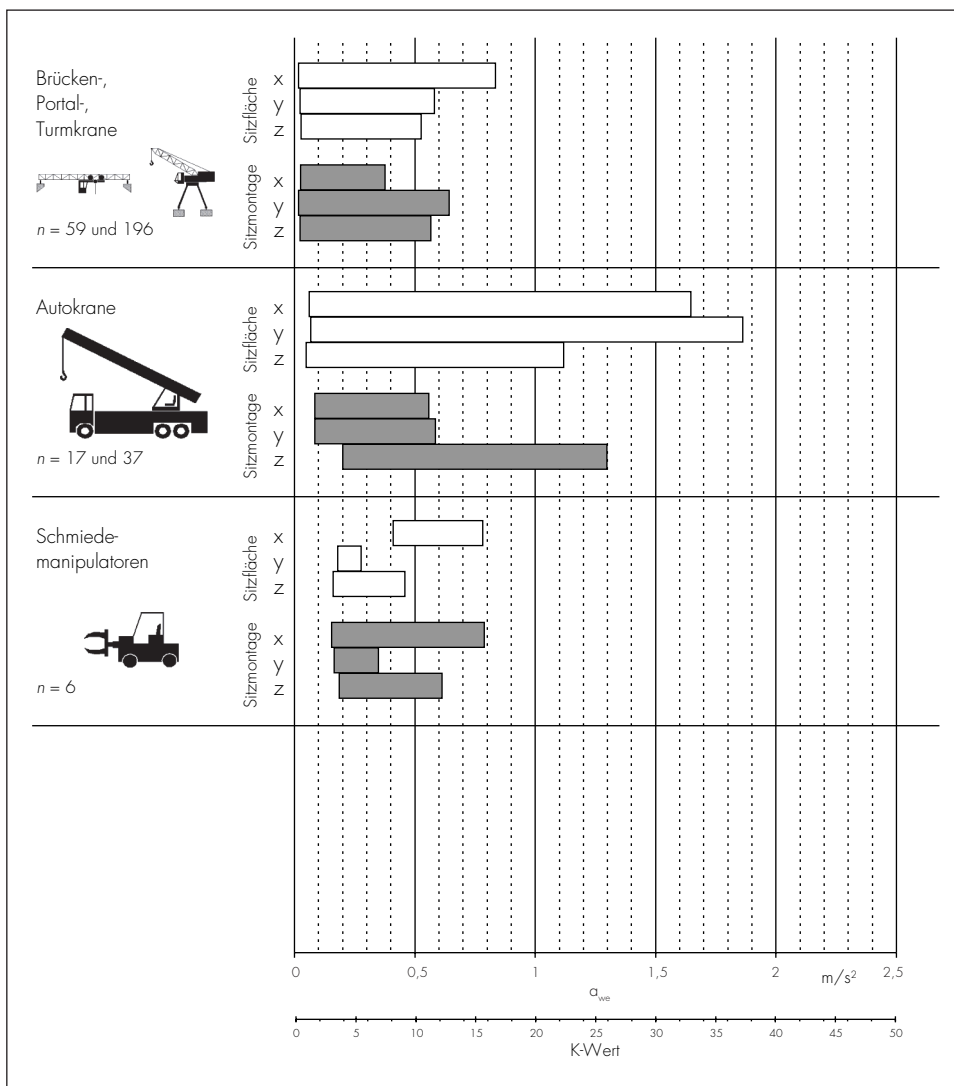
Mobile Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge in alphabetischer Reihenfolge

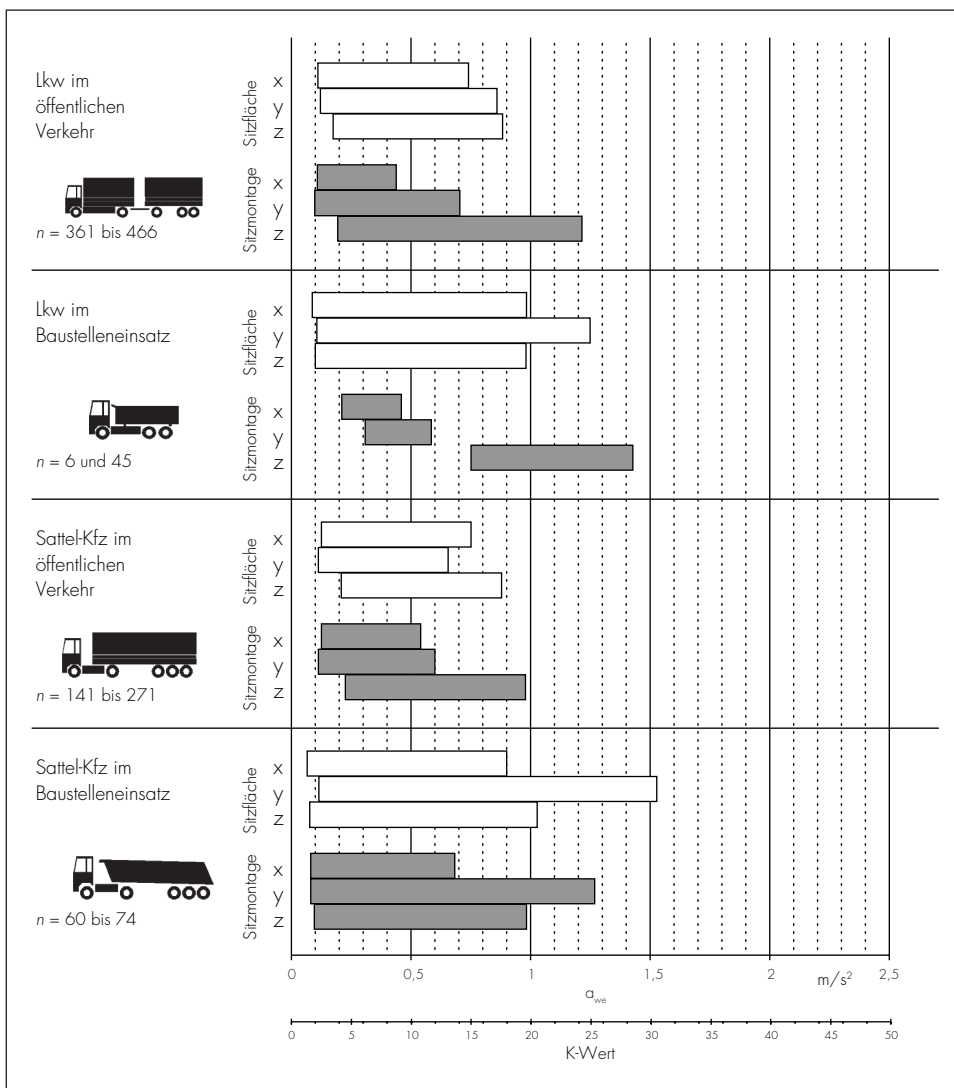




Anhang 2: Ganzkörper-Schwingungen

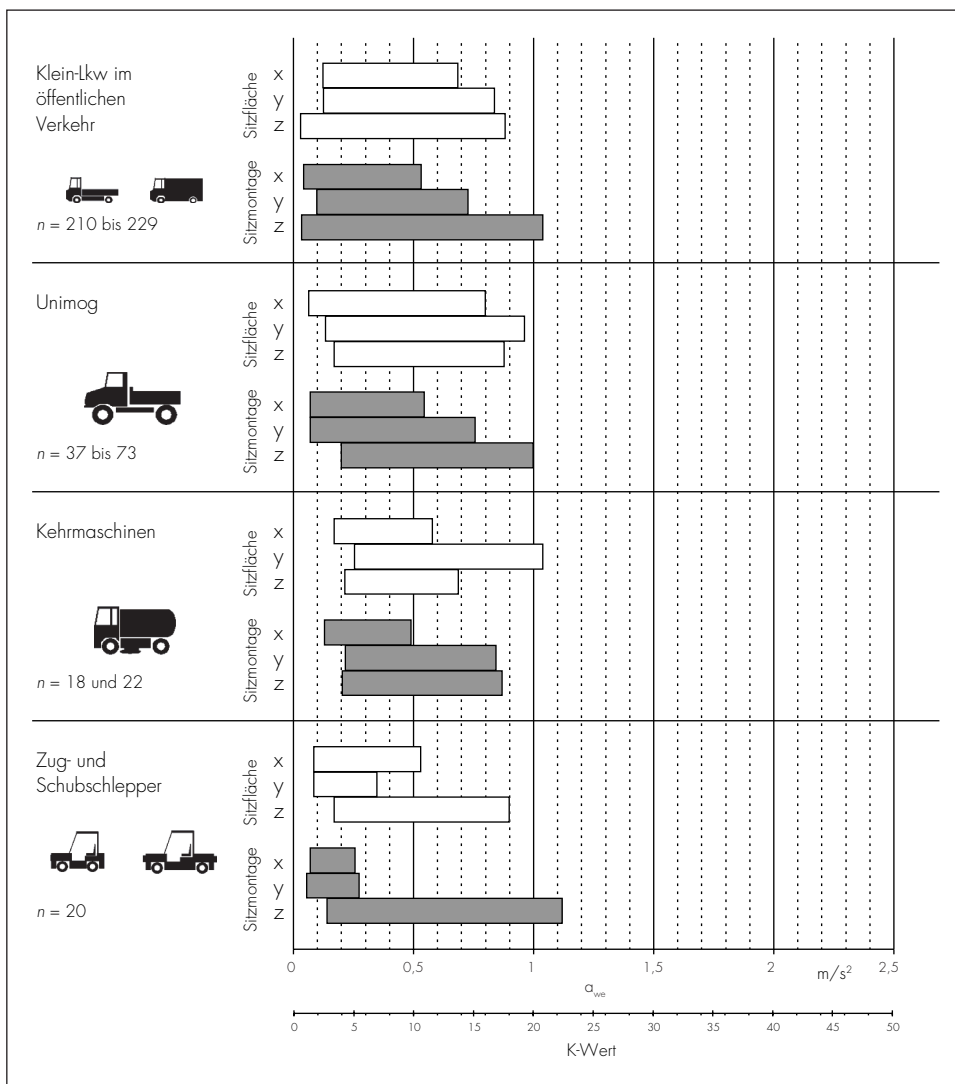
Mobile Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge in alphabetischer Reihenfolge

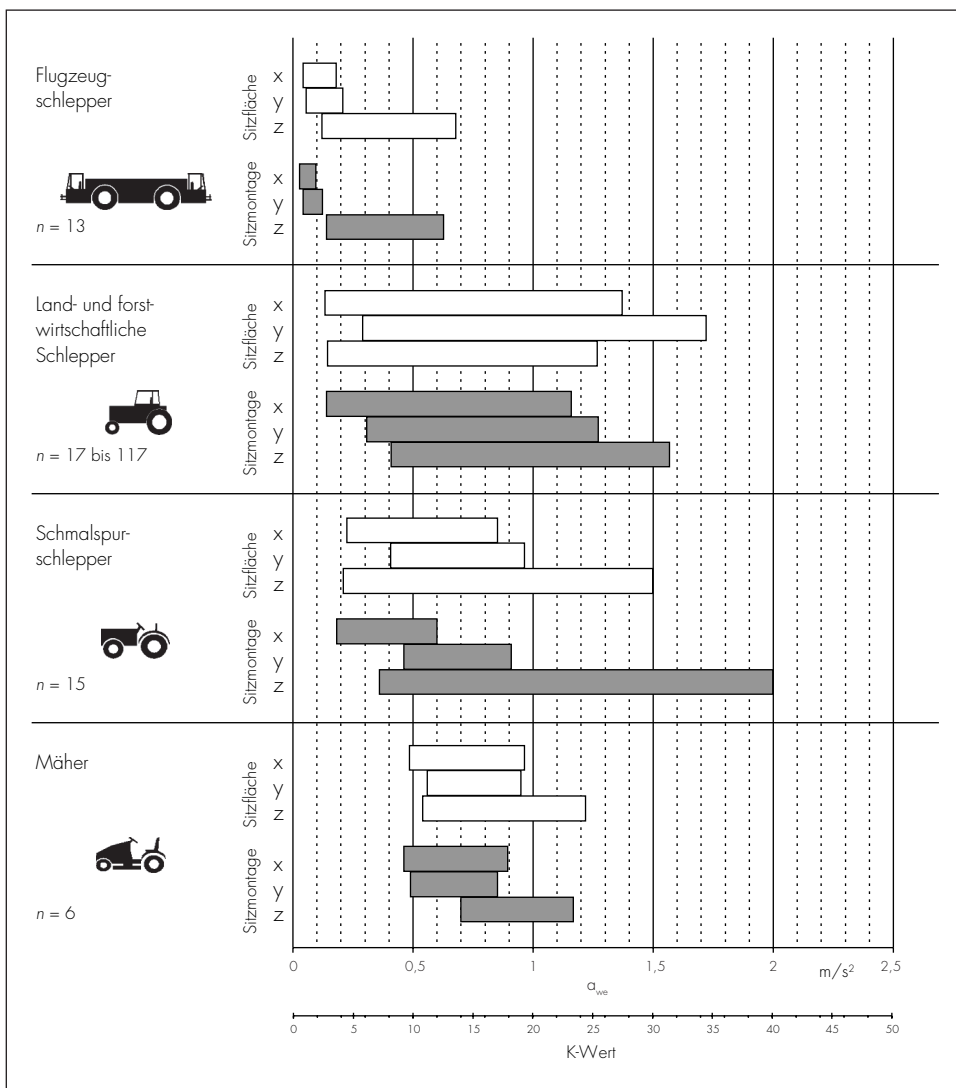




Anhang 2: Ganzkörper-Schwingungen

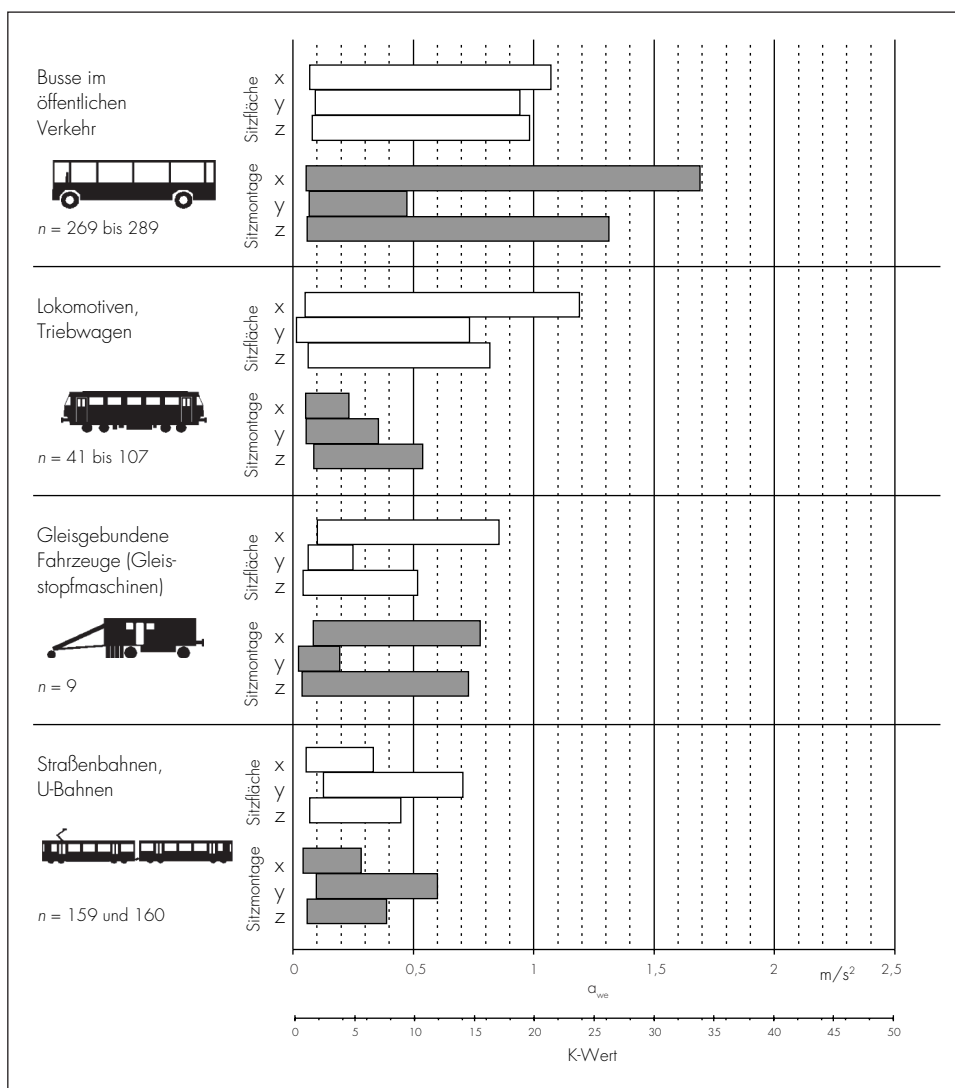
Mobile Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge in alphabetischer Reihenfolge

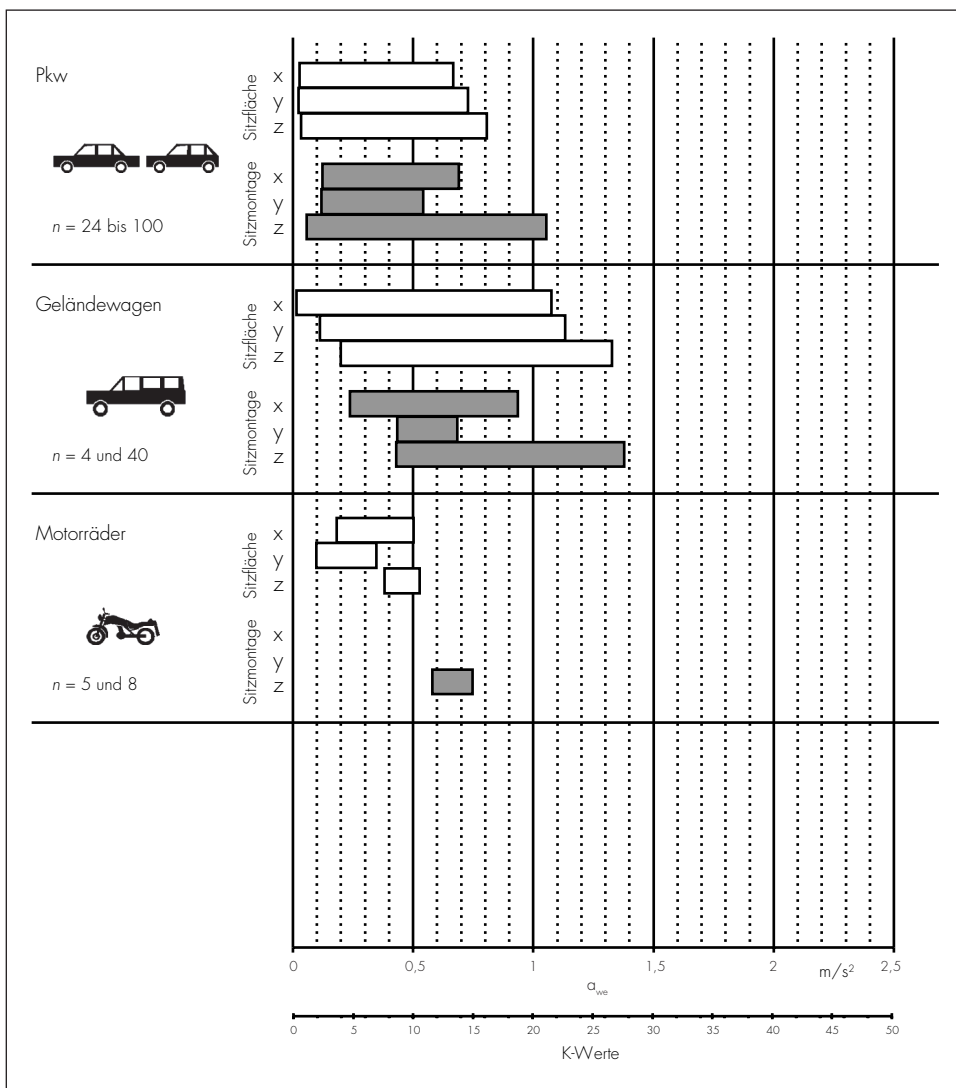




Anhang 2: Ganzkörper-Schwingungen

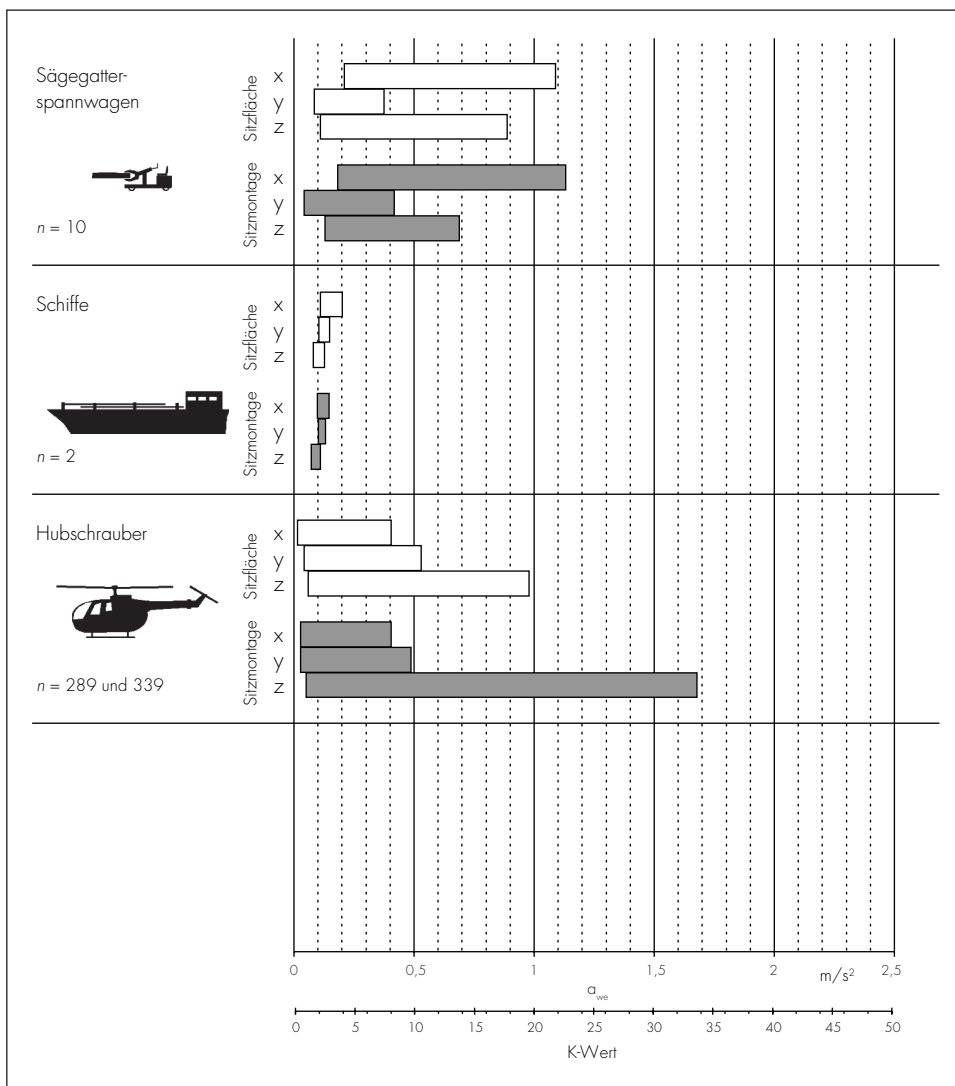
Mobile Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge in alphabetischer Reihenfolge





Anhang 2: Ganzkörper-Schwingungen

Mobile Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge in alphabetischer Reihenfolge



Anhang 3: SEAT-Werte

Fahrzeug	SEAT	<i>n</i>
Autokrane	1,02	17
Baggerlader	0,82	11
Brücken-, Portal-, Turmkrane	0,94	59
Busse im öffentlichen Verkehr	0,84	269
Erd- und Müllverdichter	0,81	12
Flugzeugschlepper	0,99	13
Gabel-, Gelände-, Querstapler	0,86	272
Geländewagen	1,00	4
Gleisgebundene Fahrzeuge	0,74	9
Grader	1,07	22
Hubschrauber	0,78	289
Hydraulikbagger	0,87	108
Kehrmaschinen	0,94	18
Kettenplanierer, Laderaupen	0,72	27
Klein-Lkw im öffentlichen Verkehr	0,90	210
Kompaktlader	0,85	11
Land- und forstwirtschaftliche Schlepper	0,85	17
Lkw im Baustelleneinsatz	0,69	6
Lkw im öffentlichen Verkehr	0,95	361
Lokomotiven, Triebwagen	1,01	41
Mäher	0,91	6

Anhang 3:
SEAT-Werte

Fahrzeug	SEAT	<i>n</i>
Motorräder	0,65	5
Muldenkipper, Dumper	0,98	34
Niederhubwagen-Toplader	1,05	13
Pistenraupen	0,77	26
Pkw	0,89	24
Portalstapler	0,87	20
Radlader	0,87	62
Sägegatterspannwagen	1,06	10
Sattel-Kfz im Baustelleneinsatz	1,03	60
Sattel-Kfz im öffentlichen Verkehr	0,86	141
Schmalspurschlepper	0,69	15
Schubmast-, Regal- und Vierwegestapler	0,74	54
Schürfkübelraupen	0,66	4
Scraper	1,17	5
Seilbagger	1,03	24
Straßenbahnen, U-Bahnen	1,10	159
Straßenfertiger	0,41	1
Straßenfräsen	0,87	21
Unimog	0,88	37
Walzen	0,63	19
Zug- und Schubschlepper	0,98	20