

DIN EN 14253



ICS 13.160

Ersatz für
DIN 45671-2:2001-12

**Mechanische Schwingungen –
Messung und rechnerische Ermittlung der Einwirkung von
Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen am Arbeitsplatz im
Hinblick auf seine Gesundheit –
Praxisgerechte Anleitung;
Deutsche Fassung EN 14253:2003**

Mechanical vibration –
Measurement and calculation of occupational exposure to whole-body vibration with
reference to health –
Practical guidance;
German version EN 14253:2003

Vibrations mécaniques –
Mesurage et calcul de l'effet sur la santé de l'exposition professionnelle aux vibrations
transmises à l'ensemble du corps –
Guide pratique; version allemande EN 14253:2003

Gesamtumfang 24 Seiten

Die Europäische Norm EN 14253:2003 hat den Status einer Deutschen Norm.

Nationales Vorwort

Die Europäische Norm EN 14253 ist vom CEN/TC 231 „Mechanische Schwingungen und Stöße“ erarbeitet worden. Die Deutsche Fassung wurde im Gemeinschaftsausschuss NALS/VDI C 7 „Schwingungseinwirkung auf den Menschen“ ausgearbeitet.

Bei einer Beurteilungsdauer (Bezugsdauer) von $T_0 = 8$ h ist die Tages-Schwingungsbelastung $A(8)$ identisch mit der Beurteilungsbeschleunigung $a_{w(8)}$ nach VDI 2057 Blatt 1.

Zu den im Inhalt genannten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 5348 siehe DIN ISO 5348

ISO 16063-21 siehe DIN ISO 16063-21

Die Deutschen Normen sind in Anhang NA aufgeführt.

Änderungen

Gegenüber DIN 45671-2:2001-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Verwendung der Frequenzbewertungen nach ISO 2631-1:1997;
- b) Einsatz von Schwingungsmesseinrichtungen nach ENV 28041;
- c) Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung $A(8)$ als Beurteilungsgröße.

Frühere Ausgaben

DIN 45671-2: 1987-09, 2001-12

Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 5348, *Mechanische Schwingungen und Stöße — Mechanische Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern (ISO 5348:1998)*

DIN ISO 16063-21, *Verfahren zur Kalibrierung von Schwingungs- und Stoßaufnehmern — Teil 21: Schwingungskalibrierung durch Vergleich mit einem Referenzaufnehmer (ISO 16063-21:2003)*

ICS 13.160

Deutsche Fassung

**Mechanische Schwingungen – Messung und rechnerische
Ermittlung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf
den Menschen am Arbeitsplatz im Hinblick auf seine
Gesundheit – Praxisgerechte Anleitung**

Mechanical vibration – Measurement and calculation of
occupational exposure to whole-body vibration with
reference to health – Practical guidance

Vibrations mécaniques – Mesurage et calcul de l'effet sur
la santé de l'exposition professionnelle aux vibrations
transmises à l'ensemble du corps – Guide pratique

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 1. September 2003 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, der Slowakei, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn und dem Vereinigten Königreich.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
4 Zu ermittelnde Größen	5
5 Vorbereitung der Messdurchführung	5
6 Messung der Schwingungen	9
7 Messunsicherheit	14
8 Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung	15
9 Ergebnisbericht	16
Anhang A (informativ) Beispiele zur Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung	18
Anhang B (informativ) Zahlenbeispiele der Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung	20
Literaturhinweise	22

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14253:2003) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 231 „Mechanische Schwingungen und Stöße“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2004, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2004 zurückgezogen werden.

Die Anhänge A und B sind informativ.

Anwender dieser im Anwendungsbereich von Artikel 137 (früher 118a) des EG-Vertrags erstellten Europäischen Norm sollten sich der Tatsache bewusst sein, dass kein formaler rechtlicher Zusammenhang zwischen Normen und Richtlinien, die ggf. nach Artikel 137 des EG-Vertrags erlassen wurden, besteht. Außerdem können durch die nationale Rechtsetzung in den Mitgliedstaaten Anforderungen definiert werden, die über die Mindestanforderungen einer nach Artikel 137 erlassenen Richtlinie hinausgehen. Die Beziehung zwischen der nationalen Rechtsetzung in Umsetzung von Richtlinien nach Artikel 137 und der vorliegenden Europäischen Norm kann im nationalen Vorwort der nationalen Norm, mit der die vorliegende Europäische Norm umgesetzt wird, erläutert werden.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, die Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, die Schweiz, die Slowakei, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

Einleitung

Die Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen am Arbeitsplatz kann unter Umständen zu Gesundheitsbeeinträchtigungen beitragen. Die allgemeinen Anforderungen an die Messung und Bewertung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen sind in ISO 2631-1 festgelegt. Das Ziel dieser Europäischen Norm besteht darin, eine praxisgerechte Anleitung zur Entwicklung einer effektiven Vorgehensweise zur Bewertung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen am Arbeitsplatz zur Verfügung zu stellen.

Die Anwendung der in dieser Europäischen Norm beschriebenen Vorgehensweise liefert ein realistisches Abbild der Tagesbelastung einer Bedienperson (Beschäftigter) einschließlich der zugeordneten Unsicherheiten.

Die Ermittlung der Schwingungsbelastung kann in einzelne Schritte aufgeteilt werden:

- Herausfinden der einzelnen Tätigkeiten, die in ihrer Abfolge den gewöhnlichen Arbeitsablauf der Bedienperson ausmachen,
- Auswahl der Tätigkeiten, die zu bewerten sind,
- Ermittlung des Effektivwertes der Beschleunigung jeder ausgewählten Tätigkeit,
- Ermittlung einer typischen täglichen Einwirkungsdauer jeder dieser Tätigkeiten,
- Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm enthält Anleitungen zur Messung und Bewertung von Ganzkörper-Schwingungen am Arbeitsplatz.

Diese Europäische Norm beschreibt die zu treffenden Vorkehrungen, um repräsentative Schwingungsmessungen durchzuführen und die tägliche Einwirkungsdauer jeder Tätigkeit zu ermitteln, um daraus die Tages-Schwingungsbelastung, normiert auf eine Bezugsdauer von 8 h, zu errechnen. Diese Europäische Norm stellt Mittel zur Bestimmung der relevanten Tätigkeiten zur Verfügung, die bei der Ermittlung der Schwingungsbelastung einbezogen werden sollten.

Diese Europäische Norm gilt für Situationen, in denen am Arbeitsplatz Ganzkörper-Schwingungen auf Bedienpersonen beim Sitzen über das Gesäß oder beim Stehen über die Füße übertragen werden.

In dieser Europäischen Norm wird die Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen nur mit solchen Größen beschrieben, die aus dem Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung abgeleitet sind. Der betrachtete Frequenzbereich beträgt 0,5 Hz bis 80 Hz. Wenn die Schwingungseinwirkung stoß- oder impulshaltig ist, liefern die Verfahren nach dieser Europäischen Norm in der Regel einen zu kleinen Wert für die Schwingungsintensität. Es sind dann Verfahren zur Beurteilung der Risiken bei der Einwirkung von Stößen und Ganzkörper-Schwingungen mit hohem Scheitelfaktor notwendig. Solche Verfahren werden aber in dieser Europäischen Norm nicht benutzt.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur dann zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

ENV 28041, *Schwingungseinwirkung auf den Menschen — Messeinrichtung (ISO 8041:1990)*

EN 30326-1, *Mechanische Schwingungen — Laborverfahren zur Bewertung der Schwingungen von Fahrzeugsitzen — Grundlegende Anforderungen (ISO 10326-1:1992)*

ISO 2631-1, *Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements*

ISO 5347 (alle Teile), *Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups*

ISO 5348, *Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers*

ISO 16063 (alle Teile), *Methods for the calibration of vibration and shock transducers*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Tätigkeit

Aktivität, die benannt werden kann und einer repräsentativen Schwingungsmessung unterzogen wird; sie setzt sich aus der eigentlichen Arbeit und den Arbeitsbedingungen zusammen

BEISPIEL Die eigentliche Arbeit kann das Fahren mit einem Lastkraftwagen, Heben mit einem Gabelstapler usw. sein; die Arbeitsbedingungen können eine gute oder schlechte Fahrbahnoberfläche, hartes oder weiches Material, das auszubaggern ist, usw. sein.

3.2

Arbeitszyklus

Tätigkeit oder Abfolge unterschiedlicher Tätigkeiten, die sich wiederholt

4 Zu ermittelnde Größen

Für jede Tätigkeit i sind während der Schwingungseinwirkung zwei fundamentale Größen zu ermitteln:

- die frequenzbewertete Beschleunigung in m/s^2 , angegeben als Effektivwert a_{wli} in jeder der drei Messrichtungen an der Unterlage,
- die Gesamtdauer T_i der Schwingungseinwirkung bei der Tätigkeit i an einem Tag (Belastungsabschnitt).

Die Tages-Schwingungsbelastung (Beurteilungsbeschleunigung) $A_l(8)$ in m/s^2 für die jeweilige Messrichtung l ist definiert als

$$A_l(8) = k_l \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_i a_{wli}^2 T_i} \quad (1)$$

Dabei ist

a_{wli} Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung, ermittelt für den Belastungsabschnitt T_i

$k_x = k_y = 1,4$ für die x- und die y-Richtung; $k_z = 1$ für die z-Richtung

$l = x, y, z$

T_0 Bezugsdauer (Beurteilungsdauer) von 8 h (28800 s)

ANMERKUNG 1 Die Richtlinie 2002/44/EG über physikalische Einwirkungen lässt neben $A(8)$ auch den über 8 h gebildeten Schwingungsdosiswert (VDV) zu. Wenn der Schwingungsdosiswert verwendet wird, sollte der Wert $A_l(8)$ nach dieser Europäischen Norm durch den Wert der Tages-Schwingungsdosis in der l -Richtung ersetzt werden. Wird der Schwingungsdosiswert VDV an Stelle von $A(8)$ verwendet, führt das im Allgemeinen zu einer abweichenden Beurteilung des Gesundheitsrisikos.

ANMERKUNG 2 Die Werte von k_l in der x- und der y-Richtung basieren auf der Empfindlichkeit des Menschen im Sitzen. Aber auch bei anderen Haltungen, z. B. Stehen, sollten diese Werte verwendet werden.

ANMERKUNG 3 Wenn nachgewiesen werden kann, dass eindeutig eine dominierende Schwingungsrichtung vorliegt, reicht es aus, nur in dieser Richtung zu messen.

Der Beitrag einer einzelnen Tätigkeit i oder eines einzelnen Arbeitszyklus i zur Tages-Schwingungsbelastung kann wie folgt errechnet werden:

$$A_{li}(8) = k_l a_{wli} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} \quad (2)$$

5 Vorbereitung der Messdurchführung

5.1 Allgemeines

Die Schwingungsbelastung einer Bedienperson an einem Arbeitstag kann eine Reihe unterschiedlicher Tätigkeiten enthalten, von denen sich einige wiederholen können. Die Schwingungsbelastung kann von Tätigkeit zu Tätigkeit erheblich variieren, z. B. wegen der Verhaltensweise der Bedienperson, dem Einsatz unterschiedlicher Maschinen oder Unterschieden in den Tätigkeiten selbst sowie aufgrund der Jahreszeit.

Bevor die Messungen ausgeführt werden, ist es zunächst notwendig, diejenigen Tätigkeiten herauszufinden, die wahrscheinlich einen wesentlichen Beitrag zur Gesamt-Schwingungsbelastung liefern. Dazu sollte der Arbeitsort und die Natur der Tätigkeit genau festgestellt und die Gesamtdauer, während der die Bedienperson an diesem einen Tag damit befasst ist, quantitativ ermittelt werden. Man sollte sich also einen Überblick verschaffen, um ein „Expositionsprofil“ zu erstellen. Es dient dazu, die wahrscheinliche relative Bedeutung jeder Tätigkeitsart für den A(8)-Wert zu bestimmen, diejenigen Tätigkeiten herauszufinden, die eine Messung erforderlich machen, und eine Hilfe bei der Planung von notwendigen Schwingungsschutzmaßnahmen zur Verfügung zu haben.

Die Tages-Schwingungsbelastung A(8) kann für eine bestimmte Bedienperson an einem bestimmten Tag ermittelt werden. In einigen Situationen kann es auch von Nutzen sein, A(8) aus sorgfältig ausgewählten repräsentativen Schwingungsmesswerten und Werten der Einwirkungsdauer für eine fiktive „typische“ Tagesbelastung zu berechnen. Es gibt jedoch kein Verfahren zur Ermittlung einer Schwingungsbelastung, die sich aus mehr als einem Tag zusammensetzt. Es wird daher empfohlen, die Streuung der Tages-Schwingungsbelastung A(8) über mehrere Tage zu ermitteln, um darüber Kenntnis zu erhalten, was für einen Tag typisch ist, wenn die Schwingungen von Tag zu Tag variieren. Es ist jedoch unzulässig, einen A(8)-Wert durch Mittelung über mehrere Tage zu bestimmen, an denen unterschiedlich starke Schwingungsbelastungen auftreten.

Wenn die Auswertung den Zweck der Beurteilung des Risikos eines Einzelnen hat, müssen die der Messung zugrunde liegenden repräsentativen Tage sorgfältig gewählt werden. Dabei muss insbesondere die Streuung der Schwingungsbelastung aufgrund der verwendeten Maschinen, der Arbeitsbedingungen oder der Arbeitsumgebung untersucht werden.

5.2 Expositionsprofil

Das Expositionsprofil dient dazu, diejenigen Tätigkeiten herauszufinden, die einen wesentlichen Beitrag zum A(8)-Wert liefern, sowie die Bedingungen festzustellen, unter denen die Messungen durchzuführen sind. Es ist wichtig, all die Maschinen und Tätigkeiten einer Messung zu unterziehen, die einen signifikanten Beitrag zur Tages-Schwingungsbelastung liefern können. Für jede einzelne Tätigkeit sollte Folgendes notiert werden:

- die benutzte Maschine,
- eine vollständige Beschreibung der Tätigkeit (z. B. bei einem Gabelstapler: Fahren, Heben oder Leerlauf; bei einem Bagger: Baggern oder Fahren; oder Kombinationen davon),
- Betriebsbedingungen,
- Art des Untergrunds,
- Zustand und Einstellung des Sitzes,
- wie oft die Tätigkeit an diesem Tag ausgeführt wird,
- die mittlere Dauer der Tätigkeit,
- sofern möglich die Art der Schwingungen (z. B. kontinuierlich, impulshaltig, Einzelstöße, Haupt-Schwingungsrichtung, Schwingungsquelle).

Änderungen der Betriebsbedingungen sind zu notieren, wenn sie Auswirkungen auf die Schwingungsbelastung haben können.

BEISPIEL

- Fahrgeschwindigkeit beweglicher Maschinen,
- ein Gabelstapler kann in einem Gebäude auf glatter Fahrbahn fahren, über Unebenheiten (Vertiefungen, Schwellen, Kabel/Schlauchleitungen, Schutt usw.) oder auf ungleichförmigem Untergrund im Freien,
- ein Muldenkipper kann leer oder beladen fahren,
- Anbaugeräte, die Auswirkungen auf die Schwingungsbelastung haben können, z. B. kann ein Ackerschlepper mit einem Flüssigdünger-Tank oder mit einem Pflug ausgerüstet sein.

Zusätzlich kann es nützlich sein,

- von Bedienpersonen und ihren Vorgesetzten Auskunft darüber einzuholen, welche Tätigkeiten ihrer Meinung nach die höchsten Schwingungswerte liefern,
- für jede Tätigkeit eine Abschätzung der möglichen Gefährdung durch Schwingungen vorzunehmen, indem entweder die Angaben des Herstellers über die Schwingungsemissionswerte (Schwingungskennwerte) oder veröffentlichte Ergebnisse früherer Messungen an ähnlichen Maschinen herangezogen werden,
- von den Herstellern Angaben über Schwingungswerte und die Fahrzustände einzuholen, unter denen sie gemessen wurden,
- die Haltung der Bedienperson, Anschlagen der Sitzfederung oben oder unten, Gebrauch der Rückenlehne zu dokumentieren.

Bei den kurzen, genau definierten Einwirkungen kann jede der einzelnen Tätigkeiten andere Schwingungsamplituden aufweisen (z. B. bei einem Radlader Laden und Fahren auf ungleichförmigem Untergrund, bei einem Gabelstapler Fahren und Heben). In diesem Fall sollten für jede im Expositionsprofil ausgewiesene Tätigkeit so viele Messungen wie praktisch möglich durchgeführt und dann nach Gleichung (3) gemittelt werden. Bei der Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung nach Gleichung (1) sollte die jeweilige Gesamtdauer jeder Tätigkeit an diesem Tag verwendet werden.

Bei langen, ununterbrochenen Tätigkeiten (z. B. Fahren eines Reisebusses oder Lieferwagens über große Entfernungen) können im Prinzip zwei Situationen vorliegen. In der einen sind die Schwingungswerte im Wesentlichen stationär und haben unveränderte statistische Kennwerte; das trifft z. B. für eine Langstreckenfahrt mit konstanter Geschwindigkeit auf der Autobahn zu. Die Messung sollte lang genug sein, um einen möglichst genauen mittleren Schwingungswert zu ermitteln (siehe 5.4).

Die andere mögliche Situation liegt vor, wenn die Tätigkeit zwar ohne Unterbrechungen erfolgt, die Schwingungen aber nicht stationär sind, sich die statistischen Kennwerte also über der Zeit ändern. Näherungsweise lässt sich ein Expositionsprofil dadurch erstellen, dass nach Perioden mit substantiell unterschiedlichen Schwingungen klassiert wird, die jedoch statistisch stationär sind. Gängige Beispiele für die Einteilung der Messungen in Klassen sind die Einteilung nach dem Straßentyp (z. B. Stadtstraßen, Landstraßen, Autobahnen) oder nach dem Betriebszustand des Fahrzeugs (z. B. Fahren, andere Betriebszustände). Um eine statistische Aussage über die Schwingungen zu erhalten, sollten innerhalb jeder Klasse so viele Messungen wie möglich durchgeführt werden.

5.3 Organisation der Messungen

Im Idealfall wird die Tages-Schwingungsbelastung kontinuierlich über den Arbeitstag gemessen, was mit einigen modernen Messgeräten auch möglich ist. Andererseits ist eine solche Messung häufig nicht durchführbar, sodass es notwendig ist, geeignete Zeitabschnitte zur Erfassung der Schwingungsbelastung festzulegen.

Die Organisation der Messungen hängt von der Art der Schwingungseinwirkung bei den ausgewählten relevanten Tätigkeiten ab.

Für die Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung können zwei Arten von Arbeitsabläufen unterschieden werden:

- a) Die Arbeit des Tages besteht aus langen, ununterbrochenen Tätigkeiten (z. B. Fahren eines Reisebusses oder Lieferwagens über große Entfernungen). In diesem Fall werden die Schwingungen während eines Abschnitts oder während der gesamten Dauer der Tätigkeit gemessen, die kurze Unterbrechungen enthalten darf, wenn sie zur regulären Ausführung der Tätigkeit gehören (z. B. Halt an Ampeln).

Zusätzlich zur Angabe der Schwingungen erfordert die Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung die Bestimmung der Dauer der Schwingungseinwirkung an einem Tag.

- b) Die Arbeit des Tages besteht aus Tätigkeiten mit unterschiedlichen Schwingungen während kurzer Perioden (kurz im Verhältnis zur täglichen Arbeitszeit), z. B. bei einem Radlader Laden und Fahren auf ungleichförmigem Untergrund, bei einem Gabelstapler Fahren und Heben. In diesem Fall werden Messungen entweder für jede einzelne dieser unterschiedlichen Tätigkeiten während der gesamten Arbeitszeit durchgeführt und die Ergebnisse zusammengefasst oder, sofern die zeitliche Abfolge und Dauer der Tätigkeiten bekannt ist, nur für diese Tätigkeitsabfolge durchgeführt.

Zusätzlich zur Angabe der Schwingungen erfordert die Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung die Bestimmung der Einwirkungsdauer, mit der jede Tätigkeit verbunden ist.

Getrennte Messungen sind für diejenigen Tätigkeiten durchzuführen, von denen vermutet wird, dass sie die höchsten Schwingungswerte liefern, um auf diese Weise die höchste Kurzzeit-Belastung festzustellen.

Bei der Suche nach den wichtigen Tätigkeiten ist es wesentlich, auch solche Ereignisse zu betrachten, die außerhalb der hauptsächlichen Arbeit liegen. Beispielsweise kann das Fahren eines Traktors auf dem Weg zum Feld zu stärkeren Schwingungen als bei der Arbeit auf dem Feld führen.

5.4 Dauer und Anzahl der Schwingungsmessungen

Dauer und Anzahl der Messungen sind so zu wählen, dass ein repräsentativer frequenzbewerteter 8-h-Schwingungswert ermittelt werden kann. Wenn nicht kontinuierlich über den ganzen Tag gemessen werden kann, wird die Messdauer von der Art der Tätigkeit (siehe 5.2) bestimmt.

- a) Wenn die Arbeit des Tages aus langen, ununterbrochenen Tätigkeiten besteht, sollten mehrere Messungen von jeweils mindestens 3 min Dauer zu verschiedenen Zeiten eines Tages durchgeführt und die Ergebnisse gemittelt werden, um über den Tag verteilte Streuungen der Schwingungswerte zu erfassen. Die Anzahl N der Einzelmessungen muss ausreichend sein, damit der gebildete Mittelwert nachweislich für die an dem Tag aufgetretenen Schwingungen repräsentativ ist.

Der gemittelte Schwingungswert von N einzelnen Schwingungsmessungen ist gegeben durch

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{j=1}^N a_{wj}^2 t_j} \quad (3)$$

Dabei ist

a_{wj} bei der j-ten Messung ermittelter Schwingungswert

t_j Messdauer bei der j-ten Messung

$$T = \sum_{j=1}^N t_j \text{ Gesamtmessdauer}$$

Dieses Vorgehen gilt getrennt für die Schwingungen in einer jeden Messrichtung.

- b) Wenn die Arbeit des Tages aus Tätigkeiten von kürzerer Dauer besteht, die sich mehrmals an einem Arbeitstag wiederholen, können zur Ermittlung des energieäquivalenten 8-h-Schwingungswertes Messungen über vollständige Arbeitszyklen durchgeführt werden. Die Anzahl der Arbeitszyklen, die einer Messung unterzogen werden, muss ausreichend sein, damit der gebildete Mittelwert nachweislich für die sich aus dieser Tätigkeit an dem Tag ergebenden Schwingungen repräsentativ ist.
- c) Wenn sich die Tätigkeiten nicht wiederholen, müssen alle Tätigkeiten einer Schwingungsmessung unterzogen werden.
- d) Wenn sich eine Abfolge von kurzen Tätigkeiten nicht wiederholt und die einzelnen Tätigkeiten kürzer als 3 min sind, können diese Tätigkeiten wiederholt werden, um die Mindestmessdauer von 3 min zu erreichen (siehe das Beispiel in Abschnitt A.3). Alternativ dürfen längere Tätigkeiten simuliert werden, um 3 min messen zu können.

ANMERKUNG Die Festlegung einer Mindestmessdauer von 3 min erfolgte aus statistischen Gründen.

5.5 Ermittlung der Expositionsdauer

Für jede Tätigkeit oder Arbeitszyklus, für die ein Schwingungswert gemessen worden ist, ist die tägliche Gesamteinwirkungsdauer zu ermitteln. Das kann durch Folgendes geschehen:

- a) Messungen der tatsächlichen Einwirkungsdauer von einer Tätigkeit oder einem Arbeitszyklus und
- b) Angaben zur Anzahl dieser Tätigkeiten oder Arbeitszyklen an einem Arbeitstag.

Der erste dieser Punkte besteht aus einer Messung, um herauszufinden, wie lange und von welcher Quelle auf eine Bedienperson während eines bestimmten Zeitabschnitts Schwingungen einwirken. Dazu dürfen verschiedene Verfahren angewandt werden, z. B.:

- Verwendung einer Stoppuhr,
- Auswertung von Videoaufnahmen,
- Methoden der Arbeitserfassung.

Als Quelle für derartige Angaben können Arbeitsaufzeichnungen dienen, z. B. die Anzahl der von Gabelstaplern be- und entladenen Lieferwagen. Es ist jedoch wichtig sicherzustellen, dass diese Angaben diejenigen Informationen enthalten, die zur Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung erforderlich sind. Beispielsweise können Arbeitsaufzeichnungen sehr genaue Angaben über die Anzahl der am Ende eines jeden Tages fertiggestellten Bauteile enthalten, aber wenn mehr als nur **eine** Bedienperson daran beteiligt ist oder am Ende einer Schicht Bauteile nicht fertiggestellt sind, können solche Informationen für die Ermittlung der Schwingungsbelastung unter Umständen nicht direkt verwertbar sein.

ANMERKUNG Bedienpersonen, die zu der typischen täglichen Dauer einer Schwingungsbelastung befragt werden, geben im Allgemeinen einen Wert an, der Zeitabschnitte ohne Schwingungseinwirkung enthält (z. B. bei einem Gabelstapler Heben und Wartezeiten). Daher liefert dieses Vorgehen häufig einen zu hohen Wert für die Expositionsdauer.

6 Messung der Schwingungen

6.1 Messeinrichtung

6.1.1 Allgemeines

Schwingungsmesssysteme verwenden im Allgemeinen Beschleunigungsaufnehmer, um die Bewegung der zu Schwingungen angeregten Oberfläche zu erfassen. Messsysteme sind sowohl vor als auch nach der Messung zu überprüfen.

Es sind kalibrierte Messsysteme zu verwenden.

Schwingungsmessungen dürfen mit einfachen, kompakten Schwingungsmessern ausgeführt werden, die Frequenzbewertungen und Mittelungseinrichtungen bereits enthalten. Solche Systeme sind hauptsächlich dafür ausgelegt, die Schwingungseinwirkung am Arbeitsplatz zu ermitteln; sie sind für die meisten in dieser Europäischen Norm behandelten Situationen im Allgemeinen ausreichend.

Anspruchsvollere Messsysteme basieren häufig auf einer Frequenzanalyse (z. B. in Terzbändern oder schmalbandig). Solche Messsysteme enthalten mitunter digitale oder analoge Aufzeichnungsgeräte zur Speicherung von Zeitverläufen, und sie verwenden mitunter die rechnergestützte Datenerfassung und -auswertung. Diese Systeme sind im Vergleich zu Kompaktgeräten kostspieliger und komplexer in der Bedienung. Eine Frequenzanalyse liefert Informationen über mögliche dominierende Frequenzen und Harmonische, was dabei helfen kann, wirkungsvolle Schwingungsschutzmaßnahmen zu entwickeln.

Wenn Zweifel an der Korrektheit des Beschleunigungssignals bestehen, ist es von Nutzen, den Zeitverlauf des Beschleunigungssignals anzusehen.

Die Mess- und Analysiergeräte müssen die Anforderungen nach ENV 28041 erfüllen, in der Mindestanforderungen (z. B. Eigenschaften der Frequenzbewertung, Fehlergrenzen, Messbereich, Empfindlichkeit, Linearität und Übersteuerbarkeit) an geeignete Mess- und Analysiergeräte angegeben sind.

Für die Ermittlung der Schwingungseinwirkung auf den Menschen können üblicherweise Messgeräte der Klasse 2 benutzt werden.

6.1.2 Beschleunigungsaufnehmer

6.1.2.1 Allgemeines

Zur Messung der Schwingungen sind in der Regel Beschleunigungsaufnehmer zu verwenden. Im Allgemeinen wird die Auswahl der Beschleunigungsaufnehmer von der zu erwartenden Schwingungsamplitude, dem erforderlichen Frequenzbereich, den mechanischen Eigenschaften der Oberfläche, an der gemessen wird, sowie von den Umgebungsbedingungen bestimmt, unter denen sie eingesetzt werden.

6.1.2.2 Schwingungsamplitude

Die für die Messung ausgewählten Beschleunigungsaufnehmer müssen sowohl in der Lage sein, die höchsten zu erwartenden Schwingungsamplituden korrekt zu verarbeiten, als auch einen ausreichenden Messbereich aufweisen, um die geringeren Amplituden bei den tiefen Frequenzen zu erfassen.

Wenn der Beschleunigungsaufnehmer auch bei null Hertz messen kann (z. B. ein piezoresistiver Aufnehmer), muss der Messbereich ausreichen, um sowohl den statischen als auch die dynamischen Anteile erfassen zu können.

6.1.2.3 Umgebungsbedingungen

Die Empfindlichkeit des Beschleunigungsaufnehmers gegenüber Temperatur, Nässe und anderen Umgebungseinflüssen ist zu bedenken (siehe ENV 28041).

6.1.3 Anordnung und Ankopplung der Beschleunigungsaufnehmer

6.1.3.1 Allgemeines

Die Beschleunigungsaufnehmer sind so anzuordnen, dass sie die Schwingungen an der Schnittstelle zwischen dem Menschen und der Schwingungsquelle erfassen.

Beschleunigungsaufnehmer, die an einem Messort in verschiedene Richtungen ausgerichtet sind, müssen so dicht wie möglich beieinander sein.

Bei sitzenden Personen sind die Schwingungen auf dem Sitz, bei stehenden auf der Standfläche zu messen.

ANMERKUNG 1 Auf beweglichen Maschinen sollte die Messausrüstung mit Gurten, Bändern, doppelseitigem Klebeband usw. gesichert werden. Einige Geräte, wie z. B. Datenaufzeichnungsgeräte, sollten gegen Stöße und transiente Schwingungen geschützt werden. Dazu können verschiedene weiche Lagerungen verwendet werden; eine weiche Schaumgummimatte zwischen dem gesicherten Messgerät und der zu Schwingungen angeregten Unterlage ist im Allgemeinen ausreichend.

ANMERKUNG 2 Wenn Maschinen auf abschüssigem Terrain betrieben werden, sollten die Beschleunigungsaufnehmer an der Bedienperson und nicht an der Horizontalen oder der Vertikalen ausgerichtet werden. Um keine Gleichanteile zu erfassen, werden piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer oder eine Hochpassfilterung empfohlen.

6.1.3.2 Sitzende Personen

Die Schwingungen sind auf der Sitzfläche zu messen. Bei weichen und gepolsterten Sitzen sind die Beschleunigungsaufnehmer in der halbelastischen Messscheibe nach EN 30326-1 anzubringen.

ANMERKUNG Es ist nicht notwendig, die Messscheibe auf dem Sitz zu befestigen, da sie in dem untersuchten Frequenzbereich durch das Gewicht der Bedienperson ausreichend fixiert wird. Ungeachtet dessen kann die Scheibe mit Klebeband gegen Verrutschen gesichert werden.

6.1.3.3 Stehende Personen

Die Schwingungen sind auf der Unterlage zu messen, auf der sich die Füße am häufigsten befinden. Die zur Messung neben den Füßen verwendeten Beschleunigungsaufnehmer müssen an diese Arbeitsplattform starr angekoppelt werden.

Die Schwingungen sind auf der Unterlage dicht neben der Stelle des Kontaktes zwischen den Füßen und der Unterlage zu messen (üblicherweise höchstens 100 mm von der Mitte der Kontaktzone entfernt).

Wenn die Arbeitsplattform mit einem elastischen Überzug versehen ist, dürfen die Beschleunigungsaufnehmer in der Mitte einer starren Platte (etwa 300 mm × 400 mm) angebracht werden, wobei die Bedienperson dann auf dieser Platte stehen muss. Die Resonanzfrequenz unter Ankopplungsbedingungen muss mehr als das Fünffache der höchsten interessierenden Frequenz betragen (siehe ISO 5348).

Zur Befestigung des Beschleunigungsaufnehmers an die zu Schwingungen angeregte Unterlage können verschiedene Ankopplungsverfahren angewandt werden, z. B. ein kräftiger Magnet (Haltekraft mindestens 1 kN), Kleber, dünnes doppelseitiges Klebeband usw.

6.1.4 Frequenzbewertung

Einzelheiten zu den Parametern und Grenzabweichungen der Frequenzbewertung und der Bandbegrenzung sind in ENV 28041 und ISO 2631-1 angegeben.

Die Frequenzbewertung kann erreicht werden

- durch analoge oder digitale Filterung des Zeitsignals,
- durch Anwendung der Bewertungsfaktoren auf das Spektrum aus einer Terzband- (oder schmalbandigeren Frequenz-)Analyse.

Es ist wichtig, dass digitale Verfahren, wie z. B. digitale Filterung und FFT-Analyse (schnelle Fourier-Transformation), tatsächlich in der Lage sind, über den gesamten Frequenzbereich korrekte Analysen durchzuführen. Die Analysen sollten eine ausreichende Auflösung bei tiefen Frequenzen sowie eine hohe Abtastrate haben, um bei hohen Frequenzen das Signal korrekt zu verarbeiten.

Für die meisten Zeitsignale wird bei der FFT-Analyse die Hanning-Fensterfunktion empfohlen.

ANMERKUNG Wenn es sich herausgestellt hat, dass der Frequenzbereich unter 1 Hz weder relevant noch wesentlich ist, kann der Frequenzbereich von 1 Hz bis 80 Hz (zwischen den Eckfrequenzen der Frequenzbewertung) benutzt werden.

6.1.5 Verwendung von Datenaufzeichnungsgeräten

Die Datenaufzeichnung kann nach analogen oder digitalen Aufzeichnungsverfahren erfolgen. Auf jeden Fall muss die Datenaufzeichnung einen ausreichenden Dynamikbereich haben, um sicherzustellen, dass die Schwingungssignale über den gesamten Frequenzbereich verlässlich aufgezeichnet werden können.

ANMERKUNG 1 Analoge Datenaufzeichnungsgeräte haben häufig einen Dynamikbereich von 40 dB bis 50 dB. Digitale Systeme bieten bessere Dynamikeigenschaften (z. B. 90 dB), obwohl auch hier Sorgfalt darauf zu verwenden ist, den zur Verfügung stehenden Bereich optimal auszunutzen.

ANMERKUNG 2 Einige analoge sowie auch digitale Aufzeichnungssysteme arbeiten mit Datenkompression, um den von den Daten beanspruchten Platz zu verkleinern; eine Kompression sollte vermieden werden, sofern nicht bewiesen werden kann, dass solche Systeme alle Signalinformationen erhalten.

Messeinrichtungen, die ein Datenaufzeichnungsgerät enthalten, müssen die Anforderungen nach ENV 28041 erfüllen.

6.1.6 Messbereich

Einige Messgeräte gestatten es dem Anwender, die größte vom Gerät messbare Beschleunigungsamplitude einzustellen. Diese Einstellung legt den aktuellen Messbereich des Gerätes fest. Wenn der Messbereich des Gerätes vom Anwender eingestellt werden kann, kann der geeignete Messbereich durch Probemessungen ermittelt werden. Um den besten Signal-Störgeräusch-Abstand zu erhalten, ist der niedrigstmögliche Messbereich zu wählen, in dem keine Übersteuerung auftritt.

6.1.7 Mittelungsdauer

Die Schwingungen sind über Zeitspannen des gewöhnlichen Maschinengebrauchs zu mitteln. Die Mittelung muss mindestens einen Betriebszyklus der untersuchten Maschine umfassen. Wenn der Betriebszyklus kurz ist, sollte über mehrere Zyklen gemittelt werden, um eine Mittelungsdauer von vorzugsweise mindestens 15 min zu erreichen; sie sollte in jedem Fall jedoch mehr als 3 min betragen.

ANMERKUNG Der gleitende Effektivwert sollte nur dann verwendet werden, wenn die Schwingungsmesseinrichtung keinen Intervall-Effektivwert bilden kann und das Schwingungssignal so wenig schwankt, dass eine zuverlässige Ermittlung eines mittleren Schwingungswertes möglich ist.

6.2 Funktionskontrolle und Nachprüfung der Messkette

Die Eigenschaften des Messsystems müssen nachgeprüft werden. Es entspricht der üblichen Praxis, dies regelmäßig zu tun (z. B. jährlich oder alle zwei Jahre). Diese Nachprüfungen müssen sicherstellen, dass die Messeinrichtung unter Einhaltung der Fehlergrenzen nach ENV 28041 arbeitet.

Die Schwingungsaufnehmer sind nach dem zutreffenden Teil von ISO 5347 und ISO 16063 zu überprüfen.

ANMERKUNG Über die regelmäßige Nachprüfung hinaus sollte das Messsystem nach rauem Umgang mit einem wesentlichen Teil der Messkette einer Nachprüfung unterzogen werden.

6.3 Quellen der Messunsicherheit bei Schwingungsmessungen

6.3.1 Leitungsstecker

Ein Problem bei der Messung mit piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern liegt darin, sicherzustellen, dass der Beschleunigungsaufnehmer und die Signalleitung zuverlässig miteinander verbunden bleiben. Ganz allgemein sollte sorgfältig darauf geachtet werden, dass alle Leitungsverbindungen gesichert und die Leitungen in keiner Weise beschädigt sind. Insbesondere ist sehr sorgfältig darauf zu achten, dass am Beschleunigungsaufnehmer weder die Leitung noch der Stecker unzulässigen Belastungen ausgesetzt wird, wenn mit der Maschine gearbeitet wird.

Fehlerhafte Signalverbindungen können zum Signalverlust führen, wodurch der Anschein erweckt wird, dass keine Schwingungen vorliegen. Ein Wackelkontakt kann sich als wiederholter Gleichspannungsversatz zeigen, und dazwischen ist das Messsignal normal.

Durch fehlerhafte Verbindungen der Abschirmung (Mantel) können elektrische Einstreuungen mit einer Wechselstromfrequenz in die Leitung gelangen. Bei elektrischen Maschinen, bei denen die dominierende Frequenz der Schwingungen in der Regel gleich der Netzfrequenz oder ihren Harmonischen ist, kann es schwierig sein, diesen Fehler aufzudecken.

6.3.2 Elektromagnetische Störungen

Es ist wichtig, elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder, die die Schwingungsmessung beeinflussen können, zu vermeiden. Bei piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern, die an Vorverstärker mit hohem Eingangswiderstand angeschlossen sind, können durch eine Unterbrechung der Erdung der Abschirmung Einstreuungen der Netzfrequenz mit sehr deutlichen Auswirkungen in die Leitung gelangen (Netzbrummen).

Bei induktiv und kapazitiv induzierten Störsignalen können die Auswirkungen von nicht vermeidbaren elektromagnetischen Feldern durch folgende Maßnahmen vermindert werden:

- Verwendung abgeschirmter Leitungen,
- Verwendung verdrehter Leitungen,
- Erdung der Abschirmung (Mantel) der signalführenden Leitung auf nur einer Seite, üblicherweise am Verstärker,
- erdsymmetrischer Anschluss des Schwingungsaufnehmers (z. B. Verwendung eines Differenzverstärkers),
- Verlegung der signalführenden Leitungen nicht parallel zu Stromversorgungsleitungen.

Bei Störungen aufgrund von Potentialunterschieden (direkte Störsignale):

- elektrische Isolation zwischen dem Beschleunigungsaufnehmer und der zu Schwingungen angeregten Oberfläche,
- Verwendung von Trennverstärkern oder Differenzverstärkern,
- Erdung der Abschirmung der signalführenden Leitung auf nur einer Seite, üblicherweise am Verstärker.

Störaussendungen von Telekommunikationsgeräten und von Zündanlagen der Maschinen sollten so gering wie möglich gehalten werden.

6.3.3 Triboelektrischer Effekt

Die Messleitungen, insbesondere von Messgeräten mit hohem Innenwiderstand (ganz besonders bei piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern), sollten keiner Schwingungsbelastung mit hoher Schwingungsamplitude ausgesetzt werden, da durch die Deformationen elektrische Signale erzeugt werden. Daher sollten signalführende Leitungen dicht neben dem Beschleunigungsaufnehmer an der zu Schwingungen angeregten Oberfläche befestigt werden, z. B. mit Klebeband.

6.3.4 Hochfrequente Schwingungen

Hochfrequente Schwingungsanteile bei manchen Maschinen, z. B. Gabelhubwagen, können dazu führen, dass die Messeinrichtung übersteuert wird, auch wenn der Messbereich im interessierenden Frequenzbereich nicht überschritten wird. In solchen Fällen kann eine Tiefpassfilterung mit einer angepassten Eckfrequenz (z. B. 160 Hz) eine Lösung des Problems darstellen.

6.3.5 Verlust des Kontaktes zwischen der Bedienperson und dem Sitz

Unter gewissen Umständen, z. B. wenn Stöße mit einer Spitzenbeschleunigung in vertikaler Richtung auftreten, die die Erdbeschleunigung (ungefähr $9,8 \text{ m/s}^2$) überschreitet, kann eine nicht angeschnallte Person den Kontakt zum Sitz verlieren. Dann messen die auf dem Sitz unterhalb der Sitzbeinhöcker angeordneten Beschleunigungsaufnehmer nicht die Beschleunigung, die die Person erfährt.

In anderen Fällen mag die Bedienperson den Sitz oder das Fahrzeug absichtlich verlassen, um z. B. ein Tor zu öffnen oder die Ladung zurechtzurücken. Beim Verlassen des Sitzes oder beim Platznehmen können hohe Beschleunigungsspitzen hervorgerufen werden.

Es ist wesentlich, solche Situationen zu erkennen, um keine falschen Messwerte aufzunehmen und zu speichern. Um solche Ereignisse herauszufinden, kann es hilfreich sein, den Zeitverlauf der Beschleunigung näher zu betrachten.

7 Messunsicherheit

7.1 Unsicherheit bei der Messung der Schwingungen

Die Messunsicherheit der auf die Bedienpersonen von Maschinen einwirkenden Schwingungen wird von Faktoren wie den folgenden beeinflusst, die für jede einzelne Messung gelten:

- Genauigkeit der Messeinrichtung,
- Kalibrierung,
- elektrische Störungen,
- Ankopplung der Beschleunigungsaufnehmer,
- Anordnung und Ausrichtung der Beschleunigungsaufnehmer,
- Änderungen gegenüber dem gewöhnlichen Gebrauch der Maschine sowie Änderungen der Körperhaltung aufgrund der Messdurchführung (z. B. wegen der Beschleunigungsaufnehmer und ihrer Leitungen),
- Änderungen der Arbeitsweise der Bedienperson als Folge davon, dass mit ihr Messungen durchgeführt werden.

Zusätzlich wird die Ermittlung der Schwingungsbelastung von Änderungen wie den folgenden beeinflusst, die im Verlauf eines Arbeitstages erfolgen:

- Änderungen der Betriebsbedingungen der Maschine oder der Anbaugeräte (z. B. temperaturbedingte Änderungen des Reifendrucks),
- Änderungen der Fahrbahneigenschaften.

Die Quellen der Messunsicherheit sind von der Art der Tätigkeit abhängig. Derjenige, der die Messung ausführt, muss die Hauptquellen ermitteln (z. B. die Fahrgeschwindigkeit und die Fahrbahn) und mehrere Messungen durchführen, um für die Hauptquellen der Messunsicherheit das Ausmaß der Unsicherheit zu bestimmen und die Standardabweichung zu berechnen (z. B. kann es nützlich sein, an derselben Maschine auf verschiedenen Fahrbahnen und/oder mit unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten zu messen).

ANMERKUNG 1 Die Messunsicherheit aufgrund der Messeinrichtung und ihrer Kalibrierung, elektrischer Störungen usw. ist in der Regel kleiner als die Unsicherheit aufgrund der Streuung der Arbeitsbedingungen.

ANMERKUNG 2 Wenn die Vorgeschichte der Schwingungsbelastung einer Bedienperson untersucht wird, ist es erstrebenswert, soweit möglich die Schwingungen von Maschinen unterschiedlichen Alters und Wartungszustandes zu messen.

ANMERKUNG 3 Wenn der Zweck der Messung darin besteht, die Schwingungsbelastung durch den Einsatz einer Maschine zu ermitteln, können Unterschiede zwischen den Bedienpersonen (unterschiedliche Fachkenntnis, Körperbau, Gewicht usw.) ebenfalls eine Quelle der Messunsicherheit sein.

7.2 Unsicherheit bei der Ermittlung der Einwirkungsdauer

Die Unsicherheit bei der Ermittlung der Einwirkungsdauer wird von der Unsicherheit folgender Faktoren beeinflusst:

- Messung der Dauer der Tätigkeiten oder Arbeitszyklen,
- Abschätzung der Anzahl der Tätigkeiten oder Arbeitszyklen je Tag,
- von den Bedienpersonen abgegebene Abschätzung der Einwirkungsdauer (siehe Anmerkung in 5.5),
- Variabilität der Arbeitsaufgabe zwischen einzelnen Tagen.

7.3 Unsicherheit bei der Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung

Die Unsicherheit bei der Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung wird von der Unsicherheit folgender Faktoren beeinflusst:

- Ermittlung der Schwingungswerte,
- Ermittlung der Einwirkungsdauer.

Die Tages-Schwingungsbelastung $A(8)$ ist dem Schwingungsmesswert proportional und der Quadratwurzel der Einwirkungsdauer proportional. Die Messunsicherheiten des Schwingungswertes haben daher auf die Genauigkeit der berechneten Schwingungsbelastung einen stärkeren Einfluss als die Messunsicherheiten der Einwirkungsdauer.

8 Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung

Die Tages-Schwingungsbelastung $A(8)$ wird aus dem Schwingungsmesswert und der täglichen Einwirkungsdauer berechnet (siehe Abschnitt 4). Sie ist der Höchstwert der Werte in den drei Messrichtungen:

$$A(8) = \max [A_x(8), A_y(8), A_z(8)] \quad (4)$$

Die Unsicherheit bei der Ermittlung von $A(8)$ ist oft groß. Daher sollten Werte von $A(8)$ im Allgemeinen nicht mit mehr als zwei Ziffern angegeben werden.

9 Ergebnisbericht

Der Ergebnisbericht muss auf diese Europäische Norm verweisen und anwendungsabhängig die folgenden Angaben enthalten:

a) Allgemeine Angaben:

- Firma oder Auftraggeber,
- Zweck der Messung und gewähltes Messverfahren (z. B. Ermittlung der Schwingungsbelastung einzelner Bedienpersonen),
- Datum der Messung,
- Name der Bedienperson(en), deren individuelle Schwingungsbelastung ermittelt wurde,
- Prüflabor und Name desjenigen, der die Messungen und die Auswertung durchgeführt hat;

b) Angaben zur untersuchten Maschine einschließlich Hersteller, Modell, Leistung, Art und Einstellung des Sitzes, Art der Federung, Reifenzustand und -fülldruck, Alter und Wartungszustand der Maschine usw.;

c) Messeinrichtung:

- Einzelheiten zu den Messgeräten,
- Rückführung der Kalibrierung,
- Datum und Ergebnis der letzten Nachprüfung des Messsystems,
- Ergebnisse von Untersuchungen der Störeinflüsse;

d) Informationen, die bei der Auswahl des Arbeitszyklus oder der Tätigkeiten, denen die Messung galt, herangezogen wurden (nach Abschnitt 5);

e) täglicher Arbeitsablauf bei jeder untersuchten Tätigkeit:

- zeitlicher Ablauf der Schwingungseinwirkung (z. B. Arbeitszeit, Pausen),
- verwendete Anbaugeräte,
- Ort, wo gearbeitet wurde,
- Qualität der Fahrbahnen,
- die mit den Maschinen erledigten Arbeitsaufgaben,
- verwendete Angaben zur Bestimmung der Einwirkungsdauer an einem Tag (z. B. Arbeitssoll oder Anzahl der Arbeitszyklen je Tag, Dauer jeder einzelnen Tätigkeit oder jedes einzelnen Arbeitszyklus),
- Beladungszustand der Maschine (z. B. bei Gabelstaplern, Lieferwagen);

f) Messbedingungen bei der Ermittlung der Beschleunigung:

- Beschreibung der Tätigkeit oder des Arbeitszyklus, der einer Messung unterzogen wurde,
- Messorte und Messrichtungen (Ausrichtung der Aufnehmer),

- Ankopplungsverfahren der Beschleunigungsaufnehmer,
 - Einstellung des Sitzes und Gewicht der Bedienperson,
 - weitere Angaben (z. B. Körperhaltung der Bedienperson, Anschlag der Sitzfederung oben oder unten);
- g) Ergebnisse der Beschleunigungsmessungen:
- Kurzzeitwert der Beschleunigung,
 - frequenzbewertete Beschleunigung in der x-, y- und z-Richtung,
 - Messdauer,
 - sofern eine Frequenzanalyse durchgeführt wurde, die Spektren mit der Angabe, wie sie gewichtet oder gefiltert wurden;
- h) Ergebnisse der Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung:
- Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung a_{wii} für jede Tätigkeit oder jeden Arbeitszyklus nach Gleichung (1), jeweils ermittelt für den Belastungsabschnitt T_i ,
 - Dauer der Schwingungseinwirkung bei jeder Tätigkeit oder jedem Arbeitszyklus (Belastungsabschnitte),
 - Teil-Schwingungsbelastung einer jeden Tätigkeit oder eines jeden Arbeitszyklus,
 - Tages-Schwingungsbelastung (Beurteilungsbeschleunigung),
 - Beurteilung der Genauigkeit der Ergebnisse der Tages-Schwingungsbelastung.

Anhang A (informativ)

Beispiele zur Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung

A.1 Einleitung

Dieser Anhang enthält einige Beispiele, wie die Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung $A(8)$ und von Kurzzeitwerten aufgebaut sein kann und die Berechnung erfolgt. Die Beispiele beziehen sich auf die in 5.3 angegebenen Herangehensweisen. Zahlenbeispiele der Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung sind in Anhang B enthalten.

A.2 Arbeit des Tages besteht aus langen, ununterbrochenen Tätigkeiten

In diesem Fall können die Schwingungen über lange Zeitabschnitte gemessen werden, was gesicherte, repräsentative Werte liefert.

BEISPIEL Es sei die Tages-Schwingungsbelastung des Fahrers zu berechnen, der einen Reisebus über große Entfernungen fährt. Die Gesamtfahrzeit des Tages beträgt einschließlich Pausen, Halt an Ampeln usw. 6 h.

- a) Werden die Schwingungen auf der Sitzfläche des Fahrersitzes kontinuierlich während der Einwirkungsdauer von 6 h gemessen, lässt sich die Tages-Schwingungsbelastung in der l -Richtung nach Gleichung (1) wie folgt berechnen:

$$A_l(8) = k_l \sqrt{\frac{1}{8} a_{wl}^2 \times 6} = k_l \frac{\sqrt{3}}{2} a_{wl} \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

a_{wl} der über den gesamten Arbeitstag (6 h) gemittelte Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung in der Richtung l

k_l ist gleich 1,4 für die x- und die y-Richtung und gleich 1 für die z-Richtung

Die Tages-Schwingungsbelastung $A(8)$ ist dann

$$A(8) = \max [A_x(8), A_y(8), A_z(8)] \quad (\text{A.2})$$

- b) Die Schwingungen können auch über Zeitabschnitte von mindestens 3 min in einem jeden Fahrzustand gemessen werden, in dem die Schwingungen annähernd stationär sind, z. B. beim Fahren mit Reisegeschwindigkeit auf asphaltierten Fernstraßen oder beim Fahren mit geringer Geschwindigkeit in Innenstadtbereichen. Für jeden dieser Fahrzustände ist seine Gesamtdauer T_i (ohne Pausen, Halt an Ampeln usw.) zu erfassen und wird folgenderweise bei der Berechnung von $A_l(8)$ berücksichtigt:

$$A_l(8) = k_l \sqrt{\frac{1}{8h} \sum_{i=1}^N a_{wli}^2 T_i} \quad (\text{A.3})$$

Dabei ist

a_{wli} der über die Messdauer (mindestens 3 min) gemittelte Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung für den Fahrzustand i

N Anzahl der Fahrzustände ($i = 1, \dots, N$)

Die Tages-Schwingungsbelastung $A(8)$ wird dann nach Gleichung (A.2) ermittelt.

A.3 Arbeit des Tages besteht aus Tätigkeiten oder Arbeitszyklen mit unterschiedlichen Schwingungen während jeweils kurzer Zeitabschnitte

Wenn die Schwingungen bei der Tätigkeit oder bei dem Arbeitszyklus für mindestens 3 min annähernd stationär sind, können Messung und Auswertung nach Abschnitt A.2 durchgeführt werden:

- aufzeichnen der Schwingungen a_{wl} über einen vollen Arbeitstag der Länge T und berechnen von $A_I(8)$ nach Gleichung (A.1);
- aufzeichnen der Schwingungen bei jeder Tätigkeit i über mindestens 3 min, erfassen der Gesamtdauer T_i (ohne Pausen usw.) der jeweiligen Tätigkeit oder des jeweiligen Arbeitszyklus an dem Arbeitstag und berechnen von $A_I(8)$ nach Gleichung (A.3).

Wenn die Schwingungen bei einer oder mehreren Tätigkeiten keine 3 min stationär sind, können wiederholte Aufzeichnungen dieser Tätigkeiten so oft durchgeführt werden, bis die Gesamtdauer der Aufzeichnungen der betrachteten Tätigkeit mindestens 3 min beträgt. Dann wird der Effektivwert a_{wl} der aneinander gereihten Aufzeichnungen ermittelt. Wenn die Schwingungen bei M Wiederholungen der Tätigkeit (z. B. Laden) aufgezeichnet wurden, berechnet sich der Effektivwert wie folgt:

$$a_{wl} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{n=1}^M a_{wln}^2 T_n} \quad (\text{A.4})$$

Dabei ist

a_{wln} Schwingungseffektivwert der n -ten Aufzeichnung eines Ladevorgangs

T_n Dauer der n -ten Aufzeichnung

$$T = \sum_{n=1}^M T_n$$

Um den Vergleich zwischen verschiedenen Tätigkeiten oder Arbeitszyklen zu erleichtern und den Einzelanteil einer Tätigkeit oder eines Arbeitszyklus an der Tages-Schwingungsbelastung $A(8)$ zu ermitteln, kann es nützlich sein, die Teil-Schwingungsbelastungen $A_i(8)$ der Tätigkeiten oder Arbeitszyklen auf folgende Weise zu berechnen:

$$A_i(8) = \max [A_{ii}(8)] = \max \left[k_I a_{wli} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} \right] \quad (\text{A.5})$$

Anhang B (informativ)

Zahlenbeispiele der Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung

B.1 Einleitung

Dieser Anhang enthält Zahlenbeispiele der Ermittlung der Tages-Schwingungsbelastung für vier unterschiedliche Fälle.

B.2 Fall 1

Hin und wieder waren während einer Arbeitsschicht in einem Steinbruch mittels eines Gabelstaplers Ladearbeiten mit folgender Schwingungseinwirkung zu verrichten:

Der Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung a_{wze} in der z-Richtung während der Einwirkungs-dauer T_e (Dauer des Fahrens) war $a_{wze} = 1,4 \text{ m/s}^2$.

Die Einwirkungs-dauer war $T_e = 2 \text{ h}$.

Es lag keine weitere Schwingungseinwirkung vor.

Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung:

$$A_z(8) = a_{wze} \sqrt{\frac{T_e}{T_0}} \quad \text{mit } T_0 = 8 \text{ h}$$

$$A_z(8) = 1,4 \text{ m/s}^2 \sqrt{\frac{2 \text{ h}}{8 \text{ h}}} = 0,70 \text{ m/s}^2$$

B.3 Fall 2

Beim Einsatz eines Traktors lag an einem Tag die folgende mittlere Schwingungseinwirkung vor:

- a) Fahren auf Feldwegen

Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung: $a_{wz1} = 1,2 \text{ m/s}^2$

Dauer des Fahrens: $T_1 = 1 \text{ h}$

- b) Feldarbeit (Pflügen, Eggen)

Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung: $a_{wz2} = 0,8 \text{ m/s}^2$

Dauer des Fahrens: $T_2 = 3,5 \text{ h}$

Es lag keine weitere Schwingungseinwirkung vor.

Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung:

$$A_z(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^2 a_{wzi}^2 \cdot T_i} \quad \text{mit } T_0 = 8 \text{ h}$$

$$A_z(8) = \sqrt{\frac{1}{8 \text{ h}} [(1,2 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 1 \text{ h} + (0,8 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 3,5 \text{ h}]} = 0,68 \text{ m/s}^2$$

B.4 Fall 3

Während einer Schicht benutzte ein Fahrer verschiedene Fahrzeuge und Maschinen mit unterschiedlicher Schwingungseinwirkung:

- a) Fahren eines Lastkraftwagens auf einer asphaltierten Straße

Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung: $a_{wz1} = 0,65 \text{ m/s}^2$

Dauer des Fahrens: $T_1 = 1 \text{ h}$

- b) Fahren eines Lastkraftwagens auf unebenem Gelände auf einer Baustelle

Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung: $a_{wz2} = 0,90 \text{ m/s}^2$

Dauer des Fahrens: $T_2 = 1 \text{ h}$

- c) Entladen mit einem Gabelstapler auf einem befestigten Hof

Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung: $a_{wz3} = 1,1 \text{ m/s}^2$

Dauer des Fahrens: $T_3 = 0,75 \text{ h}$

- d) Fahren eines Personenkraftwagens auf Stadt- und Landstraßen

Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung: $a_{wz4} = 0,4 \text{ m/s}^2$

Dauer des Fahrens: $T_4 = 2 \text{ h}$

Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung:

$$A_z(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^4 a_{wzi}^2 \cdot T_i} \quad \text{mit } T_0 = 8 \text{ h}$$

$$A_z(8) = \sqrt{\frac{1}{8 \text{ h}} [(0,65 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 1 \text{ h} + (0,90 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 1 \text{ h} + (1,1 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 0,75 \text{ h} + (0,4 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 2 \text{ h}]} = 0,55 \text{ m/s}^2$$

B.5 Fall 4

Fahren eines Laders auf einem Müllabladeplatz; die unebene Oberfläche der noch nicht verdichteten Müllhalde verursachte in stärkerem Maße Kippbewegungen. Die Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung in horizontaler und vertikaler Richtung waren ungefähr gleich groß:

$$a_{wx} = 0,49 \text{ m/s}^2$$

$$a_{wy} = 0,59 \text{ m/s}^2$$

$$a_{wz} = 0,62 \text{ m/s}^2$$

Bei der Errechnung der Einwirkungsdauer, ab der mit einer Gesundheitsgefährdung zu rechnen ist, muss für die x- und y-Richtung der Korrekturfaktor $k = 1,4$ verwendet werden. Danach erst sollte die Schwingungsrichtung mit dem höchsten Wert für die Beurteilung herangezogen werden:

$$A_l(8) = a_{wle} \sqrt{\frac{T_e}{T_0}} \quad \text{mit } T_0 = 8 \text{ h}$$

$$a_{wle} = \max\{1,4 a_{wx}; 1,4 a_{wy}; a_{wz}\}$$

$$a_{wle} = \max\{0,69 \text{ m/s}^2; 0,83 \text{ m/s}^2; 0,62 \text{ m/s}^2\} = 0,83 \text{ m/s}^2$$

Die y-Richtung ($l = y$) sollte daher für die Beurteilung herangezogen werden.

Zur Ermittlung der zulässigen Einwirkungsdauer, ab der mit einer Gesundheitsgefährdung zu rechnen ist (nämlich $A(8) = 0,45 \text{ m/s}^2$ bei $T_0 = 8 \text{ h}$), sollte diese Gleichung nach T_e aufgelöst werden:

$$T_e = \frac{A^2(8) \cdot T_0}{a_{wye}^2} = \frac{(0,45 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 8 \text{ h}}{(0,83 \text{ m/s}^2)^2} = 2,35 \text{ h}$$

Wird mit dem Lader länger als 2,4 h je Arbeitstag auf dem Müllablageplatz gearbeitet, besteht für den Fahrer des Laders bereits ein mögliches Gesundheitsrisiko, selbst wenn er den Rest der Arbeitsschicht keine Arbeit mehr ausführt, die mit signifikanter Schwingungseinwirkung verbunden ist.

Literaturhinweise

- [1] EN ISO 5349-2, *Mechanische Schwingungen — Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen — Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz (ISO 5349-2:2001)*
- [2] CR 12349, *Mechanische Schwingungen — Leitfaden über die Wirkung von Schwingungen auf die Gesundheit des Menschen*
- [3] VDI 2057 Blatt 1, *Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen — Ganzkörper-Schwingungen*
- [4] 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
- [5] *Lärm und Vibrationen am Arbeitsplatz – Messtechnisches Taschenbuch für den Betriebspraktiker.* Hrsg. vom Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V., Wirtschaftsverlag Bachem, Köln, 1994
- [6] *Guide pour évaluer les vibrations transmises à l'homme au poste de travail; partie 1: vibrations transmises à l'ensemble du corps par les machines mobiles.* Hrsg. von den Centres de Mesures Physiques (CMP) und dem Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Vandœuvre, 1998