

DIN ISO 2631-5



ICS 13.160

Ersatz für
DIN SPEC 45697:2012-06 und
DIN SPEC 45697
Berichtigung 1:2013-02

**Mechanische Schwingungen und Stöße –
Bewertung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den
Menschen –
Teil 5: Verfahren zur Bewertung von stoßhaltigen Schwingungen
(ISO 2631-5:2018, korrigierte Fassung 2022-01)**

Mechanical vibration and shock –
Evaluation of human exposure to whole-body vibration –
Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks (ISO 2631-5:2018,
Corrected version 2022-01)

Vibrations et chocs mécaniques –
Évaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps –
Partie 5: Méthode d'évaluation des vibrations contenant des chocs répétés
(ISO 2631-5:2018, Version corrigée 2022-01)

Gesamtumfang 41 Seiten

DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	4
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	5
Vorwort	6
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe und Symbole	9
3.1 Begriffe	9
3.2 Symbole (Einheiten)	10
4 Abgrenzung der beiden Expositionsszenarien	10
5 Beschreibung des Modells	12
5.1 Schwingungsmessung	12
5.1.1 Allgemeine Überlegungen	12
5.1.2 Messpunkt und spezifische Hardware-Anforderungen	12
5.1.3 Signalaufbereitung	13
5.1.4 Messdauer	14
5.2 Bestimmung der Wirbelsäulenreaktion	14
5.3 Berechnung der Dosis für die Wirbelsäulenreaktion	17
Anhang A (informativ) Alternatives Modell zur Bestimmung der Wirbelsäulenreaktion bei Expositionen ohne Kontaktverlust zur Sitzfläche	18
A.1 Allgemeines	18
A.2 Messung der Beschleunigungszeitreihe	19
A.3 Software	19
A.3.1 Ein- und Ausgangsgrößen der Software (orientierende Analyse)	19
A.3.2 Berechnung der Kräfte zwischen den Wirbeln	21
A.3.3 Berechnung der Druckbelastungsdosis	22
Anhang B (informativ) Allgemeiner Zusammenhang zwischen Beschleunigungsdosis und gesundheitlichen Auswirkungen	24
Anhang C (informativ) Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von in Abschnitt 5 beschriebenen Expositionen	25
Anhang D (informativ) Beispiel für die digitale Implementierung der Übertragungsfunktion für in Abschnitt 5 beschriebene Expositionen	29
Anhang E (informativ) Beurteilung der gesundheitlichen Auswirkungen für Expositionen ohne Kontaktverlust zur Sitzfläche	31
E.1 Allgemeines	31
E.2 Ein- und Ausgangsgrößen der Software (individuelle Analyse)	31
E.3 Risikofaktor	32
E.4 Übertragungsfunktion für einen Satz von Bedingungen	33
Literaturhinweise	37

Bilder

Bild 1 — Flussdiagramm für die Anwendung der in diesem Dokument verwendeten Modelle . . .	12
Bild 2 — Schritte der Signalaufbereitung	13
Bild 3 — Frequenzgang der Übertragungsfunktion zwischen Sitz und Lendenwirbelsäule mit Toleranzbändern	16
Bild A.1 — Skizze zu Körperhaltungswinkeln	21
Bild A.2 — Skizze zur Berechnung von $C_{dyn,i}$	23
Bild C.1 — Flussdiagramm zur Beurteilung der gesundheitsschädlichen Auswirkungen	27

Bild D.1 — Amplituden- und Phasengang des Digitalfilters mit Toleranzen	30
Bild E.1 — Ausgewählte Übertragungsfunktion der Beschleunigung auf die Wirbelsäulenkraft (Amplitude und Phase)	34

Tabellen

Tabelle A.1 — Winkelwerte für Körperhaltungsgruppen	20
Tabelle C.1 — Koeffizienten für Gleichung (C.5) (Konfidenzintervalle, untere 95 %/obere 95 %) .	27
Tabelle C.2 — <i>R</i>-Werte für Verletzungsrisiko	27
Tabelle D.1 — Digitalfilterkoeffizienten für eine Abtastrate von 256 Abtastvorgängen je Sekunde	29
Tabelle E.1 — Ausgewählte Übertragungsfunktion der Beschleunigung auf die Wirbelsäulenkraft (Amplitude und Phase) für Modell in Anhang A	35

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO 2631-5:2018, korrigierte Fassung 2022-01, die vom Technischen Komitee ISO/TC 108, *Mechanical vibration, shock and condition monitoring*, Unterkomitee SC 4, *Human exposure to mechanical vibration and shock* erarbeitet wurde.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 001-03-11 AA „Schwingungseinwirkung auf den Menschen — Ganzkörper-Schwingungen“ im DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärmminde- rung und Schwingungstechnik (NALS).

In diesem Dokument wird erwähnt, dass zur konstanten Überwachung der Lebenszeitdosis an einem Arbeits- platz alternative Messgeräte, z. B. Dosimeter, entwickelt werden müssten. DIN EN ISO 8041-2:2022-02, die vier Jahre nach ISO 2631-5:2018 erschienen ist, legt Mindestanforderungen an solche Messgeräte für die personen- bezogene Schwingungseinwirkung fest.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren kön- nen. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 3411:2007	siehe	DIN EN ISO 3411:2007-11
ISO 10326-1	siehe	DIN EN ISO 10326-1
ISO/TR 7250-2:2010	siehe	DIN CEN ISO/TR 7250-2:2013-08

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN SPEC 45697:2012-06 und DIN SPEC 45697 Berichtigung 1:2013-02 wurden folgende Änderun- gen vorgenommen:

- a) Umwandlung der Vornorm in eine Norm;
- b) unveränderte Übernahme der Internationalen Norm ISO 2631-5;
- c) Erweiterung des Anwendungsbereichs auf Spitzenwerte der Beschleunigung von bis zu $137,3 \text{ m/s}^2$ ($14 g$);
- d) Verbesserung der Beschreibung der physiologischen Übertragungsfunktion zur Ermittlung der Wirbelsäu- lenbelastung;
- e) Verbesserung der Anleitung zur Beurteilung der damit verbundenen gesundheitlichen Auswirkungen.

Frühere Ausgaben

DIN SPEC 45697: 2012-06
DIN SPEC 45697 Berichtigung 1: 2013-02

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 3411:2007-11, *Erdbaumaschinen — Körpermaße von Maschinenführern und Mindestfreiraum (ISO 3411:2007); Deutsche Fassung EN ISO 3411:2007*

DIN EN ISO 8041-2:2022-02, *Schwingungseinwirkung auf den Menschen — Messeinrichtung — Teil 2: Messgeräte für die personenbezogene Schwingungseinwirkung (ISO 8041-2:2021); Deutsche Fassung EN ISO 8041-2:2021*

DIN EN ISO 10326-1, *Mechanische Schwingungen — Laborverfahren zur Bewertung der Schwingungen von Fahrzeugsitzen — Teil 1: Grundlegende Anforderungen*

DIN CEN ISO/TR 7250-2:2013-08, *Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung — Teil 2: Anthropometrische Datenbanken einzelner nationaler Bevölkerungen (ISO/TR 7250-2:2010 + Amd 1:2013); Deutsche Fassung CEN ISO/TR 7250-2:2011 + A1:2013*

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108, *Mechanical vibration, shock and condition monitoring*, Unterkomitee SC 4, *Human exposure to mechanical vibration and shock* erarbeitet.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 2631-5:2004), die technisch überarbeitet wurde. Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind eine verbesserte Beschreibung der Funktion zur physiologischen Reaktion auf eine Exposition sowie des mit der Exposition einhergehenden Risikos.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 2631 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Diese korrigierte Fassung der ISO 2631-5:2018 beinhaltet die folgenden Korrekturen:

- Bild 1: in der Prozessbox „Hohe Belastungen“ wurden die Nummerierungen der Unterabschnitte wie folgt korrigiert:
 - „Messung (5.1)“;
 - „Signalaufbereitung (5.1.3)“;
 - „Evaluierung (5.2, 5.3)“;

— „Verletzungsrisiko (Anhang B, Anhang C)“.

Einleitung

Der Zweck dieses Dokuments ist es, ein Verfahren zur Quantifizierung von Ganzkörper-Schwingungen mit mehrfachen Stößen zu definieren, die sich in Sitzhaltung auf die menschliche Gesundheit auswirken. In der Biodynamik beschreibt der Begriff „Stoß“ eine breite Palette von kurzzeitig auftretenden, hochfrequenten Expositionen. Dabei reicht der Schweregrad von leichten Stößen, die lediglich störend sind und zu kurzem Unbehagen führen, bis hin zu Stoßstärken, die ausreichen, um Schmerzen, Verletzungen oder erhebliche körperliche Belastungen zu verursachen.

Die in diesem Dokument beschriebenen Verfahren können für die Beurteilung des Risikos chronischer Verletzungen durch wiederholte Exposition gegenüber Stoßbelastungen geeignet sein, wie sie bei militärischen, kommerziellen oder in der Freizeit genutzten Geländefahrzeugen, einschließlich landwirtschaftlicher Fahrzeuge, Schwermaschinen und Schnellbooten, auftreten können. Die Verfahren zielen nicht darauf ab, die Wahrscheinlichkeit einer akuten Schädigung durch ein einzelnes Stoßereignis zu beurteilen.

Die beschriebenen Beurteilungsverfahren beruhen auf der vorhergesagten biomechanischen Reaktion der Wirbelkörperdeckplatten (Hartgewebe) von Personen, die in guter gesundheitlicher Verfassung sind und keine pathologischen Befunde an der Lendenwirbelsäule aufweisen. Jedoch steht eine systematische epidemiologische Validierung der in diesem Dokument beschriebenen Risikoanalyseverfahren und zugehörigen Modelle noch aus. Dennoch bieten die Verfahren eine quantitative Beschreibung der Exposition, die notwendig ist, um relative Unterschiede zwischen Expositionen zu beurteilen, z. B. die Auswirkungen einiger Schutzmaßnahmen und unterschiedlicher Expositionsbedingungen.

Gegenstand dieses Dokuments ist ausschließlich die Reaktion der Lendenwirbelsäule auf der Grundlage von Studien, die darauf hindeuten, dass die Lendenwirbelsäule durch die Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen [6], [7], [8], [9], [10], [11], [38], [39], [47], [48], [54], [55], einschließlich mehrfachen Stößen, nachteilig beeinflusst werden kann. Andere gesundheitsschädliche Auswirkungen einer Exposition gegenüber wiederholten Stößen, wie z. B. Schäden an anderen Körperteilen als der Lendenwirbelsäule oder andere Arten von kurz- oder langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen als Schäden an den Wirbelkörperdeckplatten, werden in diesem Dokument nicht gesondert berücksichtigt. Solche Schäden der Wirbelkörperdeckplatten können oft nicht von Schäden abgegrenzt werden, die durch andere Expositionen (schweres Heben) und Krankheiten verursacht werden.

In diesem Dokument werden nur die Auswirkungen von Druckbelastungen durch mehrfache Stöße berücksichtigt. Zu diesem Zweck wurde eine Übertragungsfunktion zwischen Sitz und Lendenwirbelsäule unter Einbeziehung der gemessenen Beschleunigung für eine Standardhaltung, -körpergröße und -lendenwirbelsäulenhöhe entwickelt. Ein weiteres Verfahren zur Beschreibung der Wirbelsäulenreaktion ist in Anhang A angegeben, das nur für einen begrenzten Bereich von Beschleunigungsgrößen anwendbar ist, aber die Auswirkung unterschiedlicher Körperhaltungen, Körpergrößen und Lendenwirbelsäulenhöhen berücksichtigt.

Ein standardisierter Ansatz für die Vorhersage von Verletzungen bei nicht vertikalen oder multiaxialen Stößen wird durch das Spektrum unterschiedlicher Körperhaltungen und Körperrückhaltesysteme, die in den verschiedenen Fahrzeugen vorhanden sein können, sowie die aktuell begrenzten Möglichkeiten zur Vorhersage von Verletzungen durch nicht vertikale Stöße erschwert. Es ist bekannt, dass in der Praxis Stöße mit horizontaler, rotierender oder multiaxialer Ausbreitung auftreten und ein erhebliches Verletzungsrisiko darstellen können.

Das Verletzungsrisiko im Bereich der Lendenwirbelsäule hängt von der Expositionsdosis ab, wobei es sich um eine Kombination aus Expositionsmenge und -dauer handelt. Es kann mehrere Jahre dauern, bis sich eine offenkundige Verletzung entwickelt. Aufgrund der Komplexität der Messung von Mehrfachstößen ist es aktuell nicht möglich, die Exposition auf Lebensdauer direkt zu messen. Stattdessen wird die Exposition in repräsentativen Situationen gemessen, und die Dosis wird anhand dieser Messung auf eine in der Vergangenheit aufgezeichnete Expositionsdauer oder eine zukünftig erwartete Expositionsdauer extrapoliert. Um die Lebenszeitdosis an einem Arbeitsplatz konstant zu überwachen, müssen alternative Messgeräte entwickelt werden, z. B. Dosimeter.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument behandelt die Exposition des Menschen gegenüber mehrfachen mechanischen Stößen und legt Anforderungen an deren Messung fest. Die Ergebnisse dieser Messungen werden analysiert, um Informationen für die Beurteilung des Risikos von Gesundheitsschäden an den Wirbelkörperdeckplatten der Lendenwirbelsäule für sitzende Personen aufgrund des Drucks zu erhalten. Auch wenn keine Verletzung der Wirbelkörperdeckplatten vorliegt, könnten sich dennoch andere Verletzungen entwickeln.

ANMERKUNG 1 Mehrfache mechanische Stöße sind Stöße unterschiedlicher Größe und Form, die während der Messdauer in regelmäßigen und unregelmäßigen Abständen wiederholt auftreten.

ANMERKUNG 2 Wie in den Anhängen vorgeschlagen, basiert die Beurteilung des aktuellen Verletzungsrisikos auf gemessenen repräsentativen Expositionen in Kombination mit der individuellen Expositionsgeschichte. Zukünftige Risiken können anhand der voraussichtlichen Expositionsdauer beurteilt werden. Die Hersteller von Messgeräten sind angehalten, eine Möglichkeit für eine Vor-Ort-Beurteilung der Exposition zu entwickeln.

In diesem Dokument werden zwei Expositionsszenarien unterschieden: eines mit hohen Belastungen und eines mit weniger hohen Belastungen.

ANMERKUNG 3 In Abschnitt 4 wird die Abgrenzung zwischen den beiden Szenarien beschrieben.

Dieses Dokument ist anwendbar für unbewertete Vertikalbeschleunigungen mit Spitzenwerten bis zu $137,3 \text{ m/s}^2$ ($14g$), gemessen an der Schnittstelle zwischen Sitznutzer und Sitz unterhalb der Sitzbeinhöcker über eine Messbandbreite von 0,01 Hz bis 80 Hz.

ANMERKUNG 4 Die Messbandbreite wird in 5.1 definiert.

Bei der Anwendung des Verfahrens für hohe Belastungen ist Vorsicht geboten, insbesondere da Spitzenbeschleunigungen von $137,3 \text{ m/s}^2$ ($14g$) nahe an der physikalischen Grenze liegen, die eine Wirbelsäule ertragen kann.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 2041, *Mechanical vibration, shock and condition monitoring — Vocabulary*

ISO 2631-1:1997, *Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements*

ISO 5805, *Mechanical vibration and shock — Human exposure — Vocabulary*

ISO 10326-1, *Mechanical vibration — Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration — Part 1: Basic requirements*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 2041 und ISO 5805.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.2 Symbole (Einheiten)

$a_z(t)$	Eingangsbeschleunigung in z-Richtung in Abhängigkeit von der Zeit (1 m/s^2)	S_d	tägliche Druckbelastungsdosis für Modell in Abschnitt 5 (1 MPa)
$a_z(\omega)$	Fourier-Transformation von $a_z(t)$ (1 m/s)	S_{stat}	statische Belastung für Modell in Abschnitt 5 (basierend auf Schwerkraft) (1 MPa)
$A_z(t)$	zeitabhängige Funktion für Reaktion der Wirbelsäule auf Beschleunigung (1 m/s^2)	$S_{u,i}$	Wirbelbruchfestigkeit für Modell in Abschnitt 5 für das Jahr i (1 MPa)
$A_z(\omega)$	frequenzabhängige Funktion für Reaktion der Wirbelsäule auf Beschleunigung (1 m/s)	S^A	Druckbelastungsdosis in Anhang A (1 MPa)
$A_{z,i}$	i -ter Maximalwert von $A_z(t)$ (1 m/s^2)	S_d^A	tägliche Druckbelastungsdosis in Anhang A (1 MPa)
B	Fläche der Deckplatte eines Wirbelkörpers (1 mm^2)	S_q^A	Druckbelastungsdosis für variable Expositionen in Anhang A (1 MPa)
C_{dyn}	Antwortfunktion auf die Druckkraft in Anhang A (1 N)	S_{stat}^A	statische Belastung für Modell in Anhang A (basierend auf Mittelwert von C_{dyn}) (1 MPa)
$C_{\text{dyn},i}$	i -ter Maximalwert von C_{dyn} (1 N)	$S_{u,i}^A$	Wirbelbruchfestigkeit für Modell in Anhang A für das Jahr i (1 MPa)
D_z	Beschleunigungsdosis in Abhängigkeit von $A_{z,i}$ für t_m (1 m/s^2)	t	Zeit (1 s)
D_{zd}	tägliche Beschleunigungsdosis extrapoliert für t_d (1 m/s^2)	t_d	Dauer der täglichen Exposition (1 s)
$H(\omega)$	Übertragungsfunktion (1)	t_m	Messdauer (1 s)
m_z	von Masse abhängiger Umrechnungsfaktor von Beschleunigung zu Druckspannung in Anhang C [$1 \cdot 10^6 \text{ Pa}/(\text{m/s}^2) = 1 \text{ MPa}/(\text{m/s}^2)$]	ω	Kreisfrequenz (1 Hz)
N	Anzahl der Expositionstage je Jahr (1)		
Π	Risiko eines Wirbelversagens, basierend auf R (1)		
R	Belastungsvariable für Risikoberechnung nach Modell in Abschnitt 5 (1)		
R^A	Risikofaktor basierend auf S_d^A (1)		
R_q^A	Risikofaktor basierend auf S_q^A (1)		

ANMERKUNG Die Größen, die das Verletzungsrisiko beschreiben, sind in Anhang C (Modell nach Abschnitt 5) und Anhang E (Modell nach Anhang A) definiert. Für Abschnitt 5 wird das Verletzungsrisiko durch $\Pi(R)$ beschrieben, das eine Funktion von R ist. Diese Belastungsvariable R unterscheidet sich von dem in Anhang E für das Modell nach Anhang A definierten Verletzungsrisiko R^A .

4 Abgrenzung der beiden Expositionsszenarien

Die Expositionsbedingungen in diesem Dokument unterscheiden sich von denen für die grundlegende Beurteilung von Ganzkörper-Schwingungen nach ISO 2631-1.

ANMERKUNG 1 ISO 2631-1:1997, Abschnitt 6 enthält Kriterien, die festlegen, wann zusätzliche Beurteilungsverfahren verwendet werden müssen, einschließlich ISO 2631-5.

Es gibt zwei Expositionsszenarien, die unterschieden werden müssen.

- a) In einem Szenario treten hohe Belastungen auf, wie sie z. B. für militärische Geländefahrzeuge oder Schnellboote typisch sind. Diese hohen Belastungen können Perioden im freien Fall enthalten. Sie werden von Beschleunigungen entlang der z-Achse dominiert, und die Versuchspersonen können durch die Exposition den Kontakt zur Sitzfläche verlieren. Diese Belastungen werden in Abschnitt 5 sowie in Anhang C und Anhang D behandelt. Hier unterscheiden sich die Anforderungen an die Messung (Bandbreite, Signalaufbereitung) von denen in ISO 2631-1, und der Beitrag zu den auf die Wirbelsäule wirkenden Druckkräften in x- und y-Richtung wird vernachlässigt, da die Belastung in z-Richtung dominiert.

ANMERKUNG 2 Probleme, die sich aus der Beschränkung auf eine Standardhaltung und eine rein vertikale Anregung ergeben, werden in der Einleitung und in Anhang B behandelt.

- b) Bei dem anderen in diesem Dokument beschriebenen Szenario treten weniger hohe Belastungen ohne freien Fall auf, bei denen die Versuchsperson während der gesamten Messung Kontakt zur Sitzfläche hat. Diese sind im industriellen Kontext wahrscheinlicher, z. B. beim Fahren mit Traktoren, Forstmaschinen und mobilen Erdbaumaschinen über raue Oberflächen (Gelände, Schlaglöcher, häufiges Überqueren von Bahngleisen usw.). Diese Belastungen werden in Anhang A und Anhang E behandelt. Die Anforderungen an die Messung sind die gleichen wie für die in ISO 2631-1 beschriebenen unbewerteten Beschleunigungszeitreihen.

Um das geeignete Szenario für eine gegebene Exposition zu bestimmen, müssen zwei Fragen beantwortet werden.

- i) Verliert der Fahrer den Kontakt zum Sitz (oder würde der Fahrer den Kontakt verlieren, wenn kein Rückhaltesystem vorhanden wäre)?
- ii) Enthält die Exposition Perioden im freien Fall?

Wenn eine der beiden Fragen mit ja beantwortet wird, muss das Verfahren nach Abschnitt 5 sowie Anhang C und Anhang D angewendet werden.

Im Zweifelsfall können diese Kriterien quantitativ überprüft werden, indem eine repräsentative Exposition nach dem in Abschnitt 5 oder in Anhang A beschriebenen Verfahren gemessen wird (das wahrscheinlichere Verfahren wird ausgewählt). Die an der Person in z-Richtung gemessenen Zeitreihen werden dann überprüft: Nach Anwendung der in ISO 2631-1 beschriebenen Bandbegrenzungsfiler dürfen die Spitzenbeschleunigungen $9,81 \text{ m/s}^2$ nicht überschreiten, um Anhang A und Anhang E anwenden zu können. Wenn die so ermittelten Spitzenbeschleunigungen $9,81 \text{ m/s}^2$ überschreiten, gelten Abschnitt 5 sowie Anhang C und Anhang D.

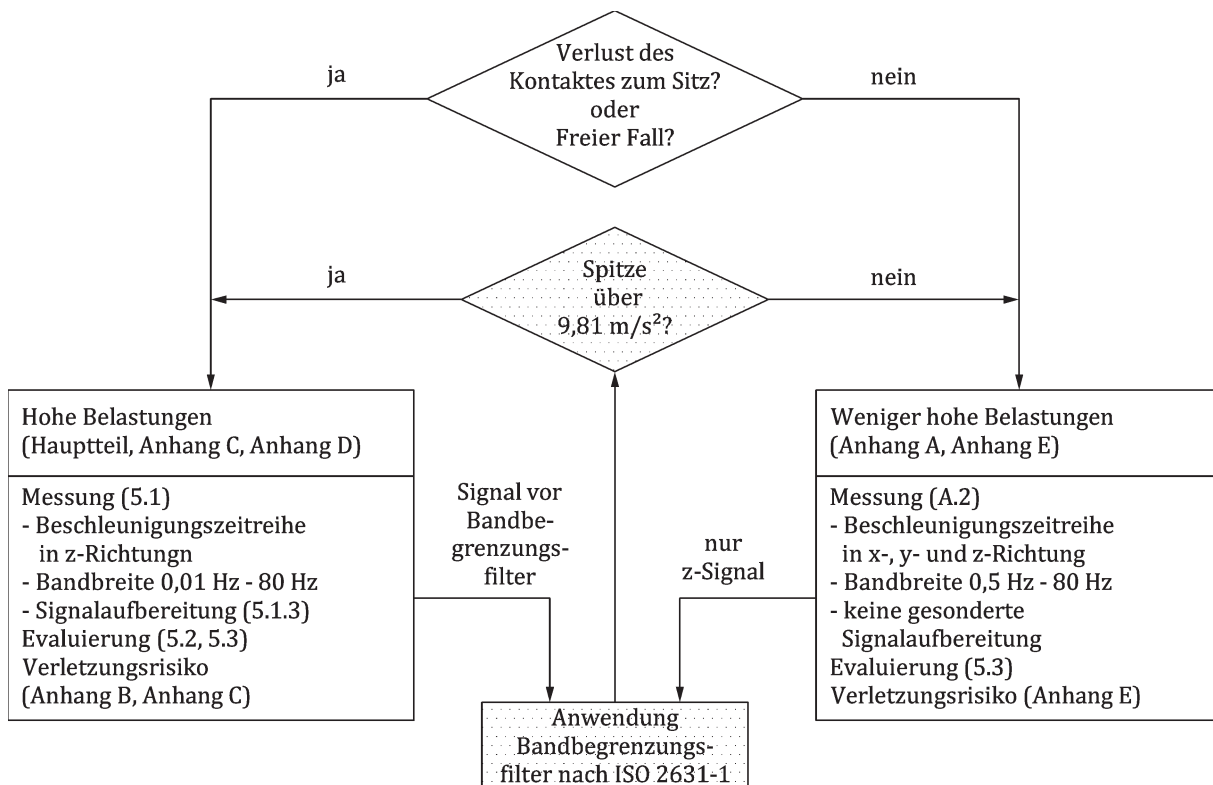
- 1) Werden die Anforderungen für die hohe Belastung als Ausgangspunkt gewählt, erfolgt die Signalaufbereitung bis zu dem Schritt vor der Anwendung des Bandbegrenzungsfilters. Die Prüfung wird mit einer Kopie des Signals durchgeführt, sodass nach erfolgreicher Prüfung der richtige Bandbegrenzungsfiler (siehe 5.1.3) angewendet werden kann.
- 2) Werden die Anforderungen für die weniger hohe Belastung als Ausgangspunkt gewählt und die Prüfung ist erfolgreich, kann die weitere Evaluierung mit dem bandgefilterten Signal aus der Prüfung fortgesetzt werden.
- 3) Wenn die Prüfung die erste Annahme hinsichtlich des vorliegenden Expositionsszenarios nicht bestätigt, muss die Messung mit den Anforderungen des anderen Expositionsszenarios wiederholt werden.

Diese Prüfung ist optional und daher in Bild 1 schattiert dargestellt.

ANMERKUNG 3 Die Bandbegrenzungsfiler für die z-Richtung in ISO 2631-1 sind

- Hochpass: zweipoliger Filter mit Butterworth-Charakteristik, Eckfrequenz 0,4 Hz,

— Tiefpass: zweipoliger Filter mit Butterworth-Charakteristik, Eckfrequenz 100 Hz.



ANMERKUNG An den schattierten Stellen besteht die Möglichkeit zu einer optionalen, quantitativen Bestätigung der ersten Entscheidung.

Bild 1 — Flussdiagramm für die Anwendung der in diesem Dokument verwendeten Modelle

5 Beschreibung des Modells

5.1 Schwingungsmessung

5.1.1 Allgemeine Überlegungen

Die Schwingungsmessung, einschließlich der Messrichtung, der Anordnung der Aufnehmer, der Messdauer und der Meldung der Schwingungsbedingungen, muss den Anforderungen nach ISO 2631-1 entsprechen, mit Ausnahme der Beschreibung in 5.1.2, 5.1.3 und 5.1.4.

5.1.2 Messpunkt und spezifische Hardware-Anforderungen

Die vertikale Beschleunigung $a_z(t)$ sollte an der Schnittstelle zwischen Sitz und Sitzbeinhöckern gemessen werden.

Während der Datenerfassung sollte die Versuchsperson sitzen bleiben und sich nicht vom Sitz erheben. Die Messpunkte auf dem Sitz und die Auslegung der Messscheibe auf dem Sitzpolster müssen den Festlegungen in ISO 10326-1 entsprechen.

Kontaktschalter, Videoaufnahmen oder andere Verfahren sollten verwendet werden, um den Kontaktverlust der Versuchsperson zur Sitzfläche zu erkennen. Der Kontaktverlust muss erkannt und gemeldet werden, da während des Kontaktverlustes gemessene Beschleunigungen nicht als Exposition gezählt werden dürfen. Zudem muss sichergestellt werden, dass der beim Landen auf dem Sitz auftretende Stoß (d. h. sowohl die Bewegung der Person *als auch* die Bewegung des Sitzes) nach dem freien Fall vollständig berücksichtigt wird.

Die Beschleunigungsaufnehmer und die zugehörigen Messgeräte müssen für die Messung der höchsten während der Messdauer zu erwartenden Beschleunigungsamplituden ausgelegt sein.

Die aufgezeichneten, digitalisierten Beschleunigungen sollten einen flachen Beschleunigungsfrequenzgang von 0,01 Hz bis mindestens 80 Hz aufweisen. Je nach verwendetem Anti-Aliasing-Verfahren kann eine Abtastrate von 256 Abtastvorgängen je Sekunde oder mehr erforderlich sein.

Es müssen Informationen über die Messgeräte einschließlich einer Beschreibung der verwendeten Kalibrierungsverfahren vorgelegt werden.

5.1.3 Signalaufbereitung

Die einzelnen Schritte der Signalaufbereitung sind in Bild 2 zusammengefasst.

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Vorzeichenprüfung (kranial +) 2. Beseitigung des Kontaktverlustes 3. Erneutes Abtasten 4. Offset-Korrektur 5. Anwendung Fensterfunktion (en: Tapering) 6. Bandbegrenzungsfilter |
|---|

Bild 2 — Schritte der Signalaufbereitung

Im ersten Schritt ist es wichtig, das Vorzeichen der Beschleunigungssignale (positiv, negativ) zu prüfen, da der Schwerpunkt des Analyseverfahrens auf der Druckbelastung der Wirbelsäule liegt. Im basiszentrischen Koordinatensystem für sitzende Personen verläuft die Beschleunigungsrichtung auf der z-Achse nach kranial positiv (d. h. nach oben ist positiv).

Nachdem das Vorzeichen der Beschleunigungssignale überprüft wurde, werden im zweiten Schritt diejenigen Komponenten des Signals beseitigt, bei denen kein Kontakt zwischen der Messscheibe auf dem Sitzpolster und der Versuchsperson besteht. Dies führt zu separaten Teilen des Signals, auf die die folgenden Schritte getrennt angewendet werden.

Wenn die Daten für die Analyse neu abgetastet werden müssen, nachdem sie mit einer höheren Frequenz erfasst wurden, ist es erforderlich im dritten Schritt sicherzustellen, dass eine geeignete Anti-Aliasing-Filterung angewendet wird.

ANMERKUNG 1 Die Funktionen zum erneuten Abtasten in gängigen Software-Paketen zur Datenverarbeitung, wie z. B. MATLAB®¹, können geeignete Anti-Aliasing-Filter automatisch anwenden. Dennoch ist es wichtig zu prüfen, ob dies auch tatsächlich ausgeführt wurde.

Im vierten Schritt sollte eine Offset-Korrektur an der gemessenen Beschleunigung vorgenommen werden, sodass die aufgezeichnete Beschleunigung bei ruhendem Aufnehmer (oder bei einem symmetrischen Signal) $(0 \pm 0,1) \text{ m/s}^2$ beträgt. Es gilt zu beachten, dass die Subtraktion des Mittelwertes möglicherweise nicht zweckdienlich ist, wenn die aufgezeichnete Beschleunigung asymmetrisch ist.

Wenn im fünften Schritt ein Zeitverlauf analysiert wird, bei dem der Beschleunigungsaufnehmer zu Beginn oder am Ende der Aufzeichnung in Bewegung war, kann vor Anwendung der Bandbegrenzungsfilter die Anwendung einer Fensterfunktion (en: Tapering) auf das Signal, z. B. mit einem Cosinus-Fenster über mehrere Sekunden, sinnvoll sein.

1 MATLAB® ist das Warenzeichen eines von MathWorks bereitgestellten Produkts. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieses Dokuments und bedeutet keine Anerkennung des genannten Produkts durch ISO.