

# KAN-Positionspapier zu EN ISO 8041:2005 „Schwingungseinwirkung auf den Menschen – Messeinrichtung“

## Inhalt

1. Einleitung.....	3
2. Probleme bei der Anwendung von EN ISO 8041 .....	5
3. Vorschlag zur praxisgerechten Nachprüfung von Schwingungsmesseinrichtungen nach EN ISO 8041 – reduzierte Nachprüfung (Zwischenprüfung) .....	15
3.1. <i>Einleitung</i> .....	15
3.2. <i>Prüfverfahren für die „reduzierte Nachprüfung“</i> .....	16
3.3. <i>Allgemeiner Inhalt der Messprogramme</i> .....	17
3.4. <i>Parameter der Messungen zur mechanischen Kalibrierung von Messketten</i> .....	18
Anhang: Beteiligte Experten .....	20

Das Projekt „Kommission Arbeitsschutz und Normung“ wird finanziell durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) gefördert

Autoren: Experten aller interessierten Kreise unter der Federführung der Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN), siehe Anhang

Herausgeber: Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa e.V. (VFA)

Redaktion: Bettina Palka  
Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN)  
– Geschäftsstelle –  
Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin  
Telefon (02241) 231–3462  
Telefax (02241) 231–3464  
E-Mail: [info@kan.de](mailto:info@kan.de)  
Internet: [www.kan.de](http://www.kan.de)

Veröffentlichung: Juni 2010

## 1. Einleitung

Durch die inzwischen erfolgte Umsetzung der EG-Vibrationsrichtlinie 2002/44/EG in nationale Gesetze und Verordnungen erhält die Messung der Vibrationseinwirkung an Arbeitsplätzen zunehmende Bedeutung. Für die im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach dem Stand der Technik durchzuführenden Messungen sind Messeinrichtungen nach EN ISO 8041 zu verwenden. Diese Forderung leitet sich aus den in der EG-Richtlinie vorgegebenen Messnormen 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“) und ISO 2631-1 („Mechanische Schwingungen und Stöße – Bewertung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen“) ab, die ein Messgerät nach EN ISO 8041 fordern bzw. empfehlen. Aber auch zahlreiche Prüfnormen zur Ermittlung der Vibrationsemission, z.B. EN ISO 20643 („Mechanische Schwingungen – Handgehaltene und handgeführte Maschinen – Grundsätzliches Vorgehen bei der Ermittlung der Schwingungsemission“), beziehen die Anforderungen an die Prüf- und Messeinrichtung auf EN ISO 8041.

EN ISO 8041 spezifiziert Leistungsmerkmale und Fehlergrenzen von Messeinrichtungen zur Ermittlung der Schwingungseinwirkung auf den Menschen und enthält Vorgaben für ein abgestuftes System von rückführbaren Kalibrierungen und Prüfungen. Diese reichen von der Baumusterprüfung, einer periodischen Nachprüfung bis hin zu der Prüfung am Einsatzort. Die Prüfung am Einsatzort wird in den Messnormen oft auch als Kalibrierung vor der Messung bezeichnet.

Mit der Erarbeitung der Norm wurde bereits 1977 begonnen. 1984 wurde der Entwurf ISO/DIS 8041 und 1993 die europäische Vornorm ENV 28041 mit einer Änderung 2001 veröffentlicht. Durch die technische Entwicklung von der Analogtechnik zur Digitaltechnik wurde eine völlige Überarbeitung erforderlich, die mit Stand 2005 in der heute gültigen Fassung zur Verfügung steht. Diese letzte Fassung orientiert sich überwiegend an der Norm EN 61672 für Schallpegelmesser, Teile 1 bis 3. So begründen sich einige Anforderungen in der Norm, die praktisch nicht sinnvoll oder nur mit erheblichem Aufwand umsetzbar sind.

Darüber hinaus hat der Markt schneller als die Normung reagiert und bietet insbesondere für Ganzkörper-Schwingungen eine Vielzahl von Dosimetern unter-

schiedlicher Qualität an. In EN ISO 8041 fehlen bislang Festlegungen zu Dosimetern. So können einfache Vibrationsindikatoren, die als Dosimeter verkauft werden, zu einer Unterbewertung des Risikos führen.

Aufgrund dieser Problematik haben sich Experten aller interessierten Kreise unter der Federführung der Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN) zusammengesetzt, um ein Meinungsbild des Arbeitsschutzes zu möglichen Problemen bei der Anwendung von EN ISO 8041 einzuholen. Nachfolgend sind die in Expertengesprächen erörterten Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge, die von der KAN als KAN-Position verabschiedet wurden, zusammengestellt.

Um bis zur angestrebten Überarbeitung der zugrundeliegenden Internationalen Norm ISO 8041 den Anwendern eine einheitliche und sachgerechte Orientierung zur Anwendung von EN ISO 8041 zu geben, ist in Kapitel 3 als Ergänzung eine reduzierte, praxisgerechte Nachprüfung (Zwischenprüfung) angegeben.

## 2. Probleme bei der Anwendung von EN ISO 8041

Text in EN ISO 8041	Kritikpunkt	Erläuterung
<p><b>Bild 1 — Schematische Darstellung des grundlegenden Signalpfads eines Schwingungsmessers oder einer Schwingungsmesseinrichtung</b></p>	<p>Die schematischen Darstellungen eines Schwingungsmessers sind für moderne Schwingungsmesssysteme zu restriktiv; beispielsweise ist bei IEPE-Aufnehmern in der Regel kein Zugang zu dem integrierten Vorverstärker gegeben, so dass eine Prüfung über Eingang 5 in Bild 1 den Vorverstärker nicht miteinbezieht. Darstellungen als „Beispiele“ kennzeichnen.</p>	<p>Es entstehen abhängig von der technischen Realisierung des Messgerätes ungleiche Anforderungen und Prüfbedingungen. Bei Messsystemen mit IEPE-Aufnehmer wird der im Aufnehmer integrierte Vorverstärker nicht elektrisch geprüft. Der elektrische Eingang (Nr. 5) ist für IEPE-Aufnehmer nicht zugänglich. So kann hier im ersten Bereich des Signalverlaufs z.B. keine Übersteuerungsanzeige, Bandbegrenzung oder Linearität geprüft werden.</p>
<p><b>Tabelle 1 — Frequenzen und Effektivwerte der Referenz-Schwingungssignale</b></p> <p>Hand-Arm: <u>nur</u> 500 rad/s (79,58 Hz)</p> <p>Ganzkörper: 100 rad/s (15,915 Hz)</p> <p>Ganzkörper, tieffrequent: 2,5 rad/s (0,3979 Hz)</p> <p><b>Tabelle A.1</b></p> <p>Hand-Arm: 79,577 Hz <u>und</u> 159,155 Hz</p>	<p>Kalibrierfrequenzen innerhalb von ISO 8041 sind abzugleichen.</p> <p>Es gibt auf dem Markt keine kostengünstigen Kalibratoren für die angegebenen Kalibrierfrequenzen, insbesondere für 15,915 Hz.</p> <p>Für Referenz- <u>und</u> Kalibrierungssignale nur folgende Frequenzen verwenden:</p> <p>Hand-Arm 1000 rad/s, Ganzkörper 200 rad/s und Prüfverfahren anpassen.</p>	<p>Insbesondere für die Ganzkörper-Vibration ist die Prüffrequenz zu niedrig; es sollte wie bei der Hand-Arm-Vibration eine zweite Frequenz als Alternative (z.B. 200 rad/s = 31,85 Hz) zugelassen werden. Aus den Forderungen der Messnormen für die „Vor-Ort-Kalibrierung“ sollte ein transportables Gerät zur Verfügung stehen. Die Höhe der Prüfamplitude sollte im mittleren Bereich des Messbereiches liegen. „Vor-Ort-Kalibrierungen“ für den tieffrequenten Bereich von 0,3979 Hz sind unrealistisch und ggf. nur als Laborprüfung möglich (siehe auch Bemerkungen zu „11 Prüfung und Kalibrierung“, Seite 9).</p>
<p><b>Tabelle 1 und Tabelle A.1</b></p> <p>Hand-Arm: 10 m/s<sup>2</sup></p> <p>Ganzkörper: 1 m/s<sup>2</sup></p>	<p>Es sind unrealistisch geringe Kalibrieramplituden festgelegt.</p>	<p>Es sind unrealistisch geringe Kalibrieramplituden festgelegt.</p>

Text in EN ISO 8041	Kritikpunkt	Erläuterung
<p><b>5.6 Frequenzbewertungen und Frequenzgänge</b></p>	<p>Die Forderung nach einem Bandpass- und einem separaten Frequenzbewertungsfilter ist einschränkend.</p>	<p>In der Digitaltechnik ist eine separate Aufteilung in Bandpass- und Bewertungsfilter nicht erforderlich.</p>
<p><b>5.7 Amplitudenlinearität</b> Über den gesamten Messbereich darf die Linearitätsabweichung 6 % vom Eingangswert nicht überschreiten.</p>	<p>Die genannten 6 % Linearitätsabweichung sind eine zu strenge Forderung, denn beim überenergetischen Schwingungsdosiswert VDV ist der Linearitätsbereich extrem schwer einzuhalten.</p>	<p>Darüber hinaus gilt die Forderung der Amplitudenlinearität einschließlich des Beschleunigungsaufnehmers. Da in der Praxis die Messaufnehmer den Messaufgaben anzupassen sind, ist die Einhaltung der Forderung insbesondere für den tieffrequenten Bereich schwierig.</p>
<p><b>5.7 Amplitudenlinearität</b> Im Referenzmessbereich muss sich der Linearitätsbereich bei der Referenzfrequenz mindestens über 60 dB erstrecken.</p>	<p>Ladungsverstärker haben den geforderten Linearitätsbereich von 60 dB nicht in allen Messbereichen. Bei umschaltbaren Messbereichen genügen "mindestens 40 dB". Aufnehmer mit integriertem Ladungsverstärker (IEPE) müssten mechanisch über 60 dB geprüft werden, weil der elektrische Eingang des Ladungsverstärkers nicht zugänglich ist.</p>	<p>Wie unter Punkt 1 erläutert, ist bedingt durch die technischen Gegebenheiten die Prüfung von Messgeräten mit IEPE nur eingeschränkt möglich. Bei umschaltbaren Messbereichen ist eine Mindestanforderung von 40 dB mit einer Überlappung von 20 dB völlig ausreichend. Bei der Mindestanforderung von 60 dB würde die Kombination von piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern und Ladungsverstärker faktisch ausgeschlossen werden.</p>
<p><b>5.7 Amplitudenlinearität</b> Bei Messeinrichtungen mit mehreren und manuell umschaltbaren Teilmessbereichen muss die Überlappung nebeneinander liegender Teilmessbereiche mindestens 40 dB betragen.</p>	<p>Überlappungsbereiche sind zu überprüfen; sie sind bei umschaltbaren Messbereichen zu groß; Empfehlung: mindestens 20 dB.</p>	<p>Die Kombination von piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern und Ladungsverstärker faktisch ausgeschlossen werden. Für viele Messketten, die insbesondere für Laborprüfungen verwendet werden, bieten Ladungsverstärker erhebliche Vorteile.  Darüber hinaus gilt die Forderung der Amplitudenlinearität einschließlich des Beschleunigungsaufnehmers. Da in der Pra-</p>

Text in EN ISO 8041	Kritikpunkt	Erläuterung
		<p>xis die Messaufnehmer den Messaufgaben anzupassen sind, ist die Einhaltung der Forderung insbesondere für den tieffrequenten Bereich schwierig.</p> <p>Die auf dem Markt befindlichen und für derartige Messung geeigneten Sensoren besitzen im interessierenden Frequenzbereich gegenüber dem Kalibrierpunkt eine typische Amplitudenfrequenzgangabweichung von ca. 5 %.</p> <p>Bei einem geforderten Linearitätsbereich von 60 dB würde das unter Berücksichtigung des o.g. Amplitudengangs einen Fehler der gesamten Messkette (Kalibrator, Sensor, Messgerät) von ca. 0,001 % vom Messbereichsendwert erfordern.</p>
<p><b>5.9 Antwort auf Signalimpulsfolgen</b> Bild 2</p>	<p>Da es wichtig ist, dass die Messung nicht <u>während</u> eines Signalimpulses beginnt, ist eine Verzögerung (Beginn der Signaldauer, Nummer 2 in Bild 2) vorgesehen. Allerdings wird keine Synchronisationsfunktion gefordert.</p> <p>Anforderungen an eine Synchronisationsfunktion (Schnittstelle) zwischen dem Schwingungsmesser und dem Signalgenerator aufnehmen oder auf eine</p>	<p>Der Grund für die hier geforderten Eingangsverzögerungen (0,2 s; 1 s; 40 s) liegt darin, dass in der Regel die Einschwingzeiten der im Gerät integrierten Filter abgewartet werden sollen.</p> <p>Dazu ist aber eine Synchronisation mit dem Messgenerator zwingend erforderlich. Eine derartige Funktion wird aber ansonsten an keiner Stelle benötigt. Es ist nicht verantwortbar, den Hersteller nur wegen dieses Prüfpunktes zu dieser Funktion zu zwingen.</p>

Text in EN ISO 8041	Kritikpunkt	Erläuterung
	andere, einfachere Weise sicherstellen, dass die Messung deutlich vor dem ersten Signalimpuls beginnt.	
<p><b>5.10 Übersteuerungsanzeige</b>  Werden mit dem Schwingungsmesser zeitbewertete Schwingungswerte, d.h. gleitende Effektivwerte gemessen, muss Übersteuerung angezeigt werden, wenn sie auftritt. Darüber hinaus muss Übersteuerung so lange angezeigt werden, wie sie den angezeigten Messwert beeinflusst (das ist beim gleitenden Rechteck-Zeitfenster die Integrationsdauer und bei der exponentiellen Mittelung das Doppelte der Zeitkonstanten).</p>	<p>Messungen müssen nicht zwangsläufig verworfen werden, wenn kurzzeitige Übersteuerungen aufgetreten sind. Vielmehr ist es Sache des Messpersonals, über die Gültigkeit der Messung zu entscheiden.  Eine Anmerkung hinzufügen: Es ist hilfreich, wenn der Schwingungsmesser anzeigen kann, über welche Dauer (im Verhältnis zur Gesamtdauer der Messung) in jedem Kanal Übersteuerungen aufgetreten sind.</p>	<p>Insbesondere bei sehr langen Messzeiten kann es hilfreich sein, die Anzahl und Dauer der Übersteuerungen als Grundlage für die Gültigkeit des Messergebnisses zu kennen.</p>
<p><b>5.10 Übersteuerungsanzeige</b>  ... Nach dem Auftreten der Übersteuerung muss sie bei Hand-Arm-Schwingungen noch 1 s und bei Ganzkörper-Schwingungen und tieffrequenten Ganzkörper-Schwingungen noch 8 s angezeigt werden.</p>	<p>Die Dauer der Übersteuerungsanzeige sollte als Mindestangabe formuliert werden wie in 5.11.</p>	

Text in EN ISO 8041	Kritikpunkt	Erläuterung
<p><b>5.13 Zeitbewertung (gleitender Effektivwert)</b> Tabelle 10</p>	<p>Abfallraten von <math>(0,124 \pm 0,005)</math> s sind für das menschliche Auge nicht erkennbar. Ein mit der Anzeige übereinstimmender elektrischer Ausgang ist nicht zwingend vorgeschrieben (siehe 5.3). Es muss erläutert werden, wie die Messung durchzuführen ist.</p>	
<p><b>5.16 Übersprechen (Kanaltrennung)</b> Wenn eine Messeinrichtung über mehr als einen Eingang (oder Kanal) zur gleichzeitigen Messung von Schwingungssignalen verfügt, dann muss das Übersprechen eines Signals auf einem beliebigen Kanal auf jeden beliebigen anderen Kanal unter 0,5 % der Größe des Eingangssignals liegen.</p>	<p>Das mechanische Übersprechen beträgt bei Triaxial-Aufnehmern in der Regel mehr als 0,5 %. Es sollten zusätzliche Informationen zum aufnehmerinternen Übersprechen bei Multiaxial-Aufnehmern gegeben werden.</p>	<p>Die Anforderung wird nur elektrisch geprüft und sollte daher auf den elektrischen Teil beschränkt werden. Für die Triaxial-Beschleunigungs-aufnehmer sollte eine getrennte Grenzwertvorgabe erfolgen, z.B. &lt; 5 %.</p>
<p><b>11 Prüfung und Kalibrierung</b></p>	<p>Messsysteme bestehen häufig aus mehreren Komponenten, die unabhängig voneinander geprüft werden können. IEPE-Aufnehmer sind ein Beispiel für Komponenten, für die nur ein „globales“ Prüfergebnis ermittelt werden kann. Es sollte angegeben wer-</p>	<p>Zur <u>Nachprüfung</u>: Die Anforderung bzw. der Aufwand für die Nachprüfung ist zu groß. Bei der Vielfalt der Messgeräte dürfte es sich jeweils um „Einzelabnahmen“ handeln. Daher ist zu befürchten, dass der benötigte Zeitaufwand für eine Nachprüfung und damit verbunden der Kostenaufwand sehr hoch ist.</p>

Text in EN ISO 8041	Kritikpunkt	Erläuterung
	<p>den, wie die Gesamtabweichung eines Messsystems mit n Komponenten berechnet werden kann:</p> $\varepsilon_{\text{tot}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}$ <p>Zusätzlich muss eine Kalibrierung des vollständigen Messsystems mit <u>einer</u> Amplitude und bei <u>einer</u> Frequenz durchgeführt werden.</p>	<p>Dies könnte viele Anwender dazu verleiten, auf die regelmäßige Nachprüfung zu verzichten, oder eine Verteuerung der gesamten Messung nach sich ziehen, da diese Kosten der Endabrechnung zugeschlagen werden. Vor dem Hintergrund, dass selbst die Hersteller diesen Aufwand für nicht erforderlich halten, ist es sehr fraglich, ob sich die Anwender dann an den gesetzlich geforderten Messbedarf halten.</p> <p>Zur <u>Prüfung am Einsatzort</u>:</p> <p>Die verlangten Kalibriereinrichtungen sind z. Zt. auf dem Markt nicht erhältlich (wird auch schon in der Norm erwähnt). Von Seiten der Hersteller wird zwar gesagt, dass diese Kalibriereinrichtungen gebaut werden könnten, jedoch aufgrund der geringen Stückzahl unverhältnismäßig teuer würden. Dies hätte zur Folge, dass diese Kalibrierungen entweder nicht durchgeführt werden, was die Qualität der Messungen nachteilig beeinflusst, oder die Kosten der Messungen deutlich erhöhen würde.</p> <p>Des Weiteren muss der Hinweis gegeben werden, dass die Messungen in der Regel nicht unter „Laborbedingungen“ stattfinden, sondern im laufenden Betrieb. Deshalb sollten die Kalibrierein-</p>

Text in EN ISO 8041	Kritikpunkt	Erläuterung
		<p>richtungen nicht nur kostengünstig, sondern auch robust, leicht zu transportieren und einfach zu handhaben sein.</p> <p>Die in der Norm erwähnte Alternativlösung ist unserer Meinung nach nicht praktikabel und dürfte deshalb in der Regel nicht durchgeführt werden.</p> <p>(Siehe alternative Kalibrierfrequenz für Ganzkörper-Vibrationen <math>200 \text{ rad/s} = 31,85 \text{ Hz}</math>, Tabelle A.1)</p>
<p><b>Tabelle 13 Zusammenstellung der Leistungsmerkmale und ihrer Prüf-anforderungen</b></p>	<p>Der Umfang der Nachprüfung ist zu groß, zu aufwändig und damit zu teuer; es sollte eine abgespeckte Nachprüfung als 4. Prüfungsart "Zwischenprüfung" in einem eigenen Abschnitt und in Tabelle 13 aufgenommen und ihre Durchführung in Abschnitt 11 begründet werden.</p>	<p>Ein Vorschlag ist in Kapitel 3 dieses Positionspapiers angegeben (siehe Seite 15).</p>
<p><b>12.3 Einreichung zur Prüfung</b> Die Schwingungsmess-einrichtung muss zusammen mit ihren technischen Unterlagen und all den Zusatzeinrichtungen oder Zubehör zur Prüfung eingereicht werden, die in den technischen Unterlagen als unabdingbare Komponenten der komplet-</p>	<p>Die Baumusterprüfung gilt nur für bestimmte Kombinationen von Aufnehmer und Gerät.</p>	<p>Insbesondere für Hand-Arm-Schwingungen sind abhängig vom Messobjekt unterschiedliche Beschleunigungsaufnehmer einzusetzen. Ebenso müssen nur die Aufnehmer wegen mechanischen Verschleißes häufiger gewechselt werden. Eine getrennte Kalibrierung der Beschleunigungsaufnehmer und des elektrischen Geräteteils ist daher die einzig</p>

Text in EN ISO 8041	Kritikpunkt	Erläuterung
<p>ten Messeinrichtung in der Zusammenschaltung für den üblichen Einsatz bezeichnet sind. Zu solchen Zusatzeinrichtungen oder Zubehör zählen z.B. der Beschleunigungsaufnehmer, eine Ankopplungsvorrichtung und eine Verbindungsleitung.</p>		<p>praktikable Lösung. Dies erlaubt auch eine häufigere Nachprüfung der Aufnehmer, da nur diese mechanisch beansprucht werden.</p>
<p><b>12.10.1 Amplitudenlinearität und Fehlsteuerungsanzeige, 13.9 Elektrische Prüfung der Amplitudenlinearität</b>  In dem Referenzmessbereich ist die Amplitude des Eingangssignals mit Prüffrequenz in den Schrittweiten nach Tabelle 14 zu erhöhen, wobei an der <u>spezifizierten unteren Grenze</u> dieses Messbereichs begonnen und bis zu einer solchen Signalamplitude erhöht wird, die das erste Mal zum Ansprechen der Übersteuerungsanzeige führt.</p>	<p>„Spezifizierte untere Grenze“ ist nicht eindeutig.  Der „Messbereich“ sollte in Abschnitt 3 eindeutig definiert und vom „Linearitätsbereich“ abgegrenzt werden.</p>	<p>Es ist nicht definiert, wie die „untere Grenze des Messbereiches“ zu spezifizieren ist. Nach 3.1. könnte vermutet werden, dass hier die untere Grenze des Linearitätsbereiches gemeint ist. Das wäre auch durchaus sinnvoll.</p>

Text in EN ISO 8041	Kritikpunkt	Erläuterung
<p><b>12 Baumusterprüfung</b> <b>13 Nachprüfung</b></p>	<p>Einige Prüfungen sind in ihrer Durchführung unklar formuliert und daher nicht eindeutig, z. B. 5.9, 5.13, 12.10.1 s. o. Abschnitt 13.3, letzter Satz: „...Aufnehmer ähnlich sind.“ „Ähnlich“ wird nicht näher definiert.</p>	<p>Z.B. 5.13: Es wäre nach Tabelle 10 zu überprüfen, ob nach Abschalten des Eingangssignals der angezeigte Wert innerhalb von <math>(0,124 \pm 0,005)</math> s auf 10 % seines Ausgangswertes abgefallen ist. Realisierung dieser Prüfung nicht möglich, da die Aktualisierungsraten der Anzeige sinnvollerweise etwa bei <math>(0,2</math> bis <math>0,5)</math> s liegen.</p> <p>Des Weiteren entspricht der Umfang einer Nachprüfung nahezu dem Umfang einer Baumusterprüfung.</p> <p>Geht man davon aus, dass die meisten Anwender mehr als einen Aufnehmer mit unterschiedlichen Eigenschaften für unterschiedliche Messaufgaben haben und jede Nachprüfung nur für eine Kombination Gerät-Aufnehmer gilt, dürften die Kosten einer Nachprüfung bereits die Anschaffungskosten übersteigen.</p>

Text in EN ISO 8041	Kritikpunkt	Erläuterung
<b>Anhang B Frequenzbewertungen</b>	Die Grenzabweichungen der Bewertungsfilter sind z. B. bei IIR-Filterung unnötig gering und kollidieren mit nur 4-stelliger Anzeige.	
<b>Tabelle E.1 Spezifikationen für Schwingungsaufnehmer</b> größtmögliche unbewertete Stoßbeschleunigung: 30000 m/s <sup>2</sup> (bis zu 50000 m/s <sup>2</sup> bei Druckluftdämmern)	Die Stoßdauer T sollte angegeben werden zu $T \geq 5/f_n$ mit $f_n$ Resonanzfrequenz des Aufnehmers im montierten Zustand nach ISO 5347-14 „Verfahren zur Kalibrierung von Schwingungs- und Stoß-Aufnehmern — Teil 14: Ermitteln der Resonanzfrequenz eines ungedämpften Beschleunigungsaufnehmers auf einen Stahlblock“. Eine Anmerkung 3 hinzufügen: Der Gesamtdynamikbereich kann von mehreren Beschleunigungsaufnehmern abgedeckt werden.	Die Kritikpunkte können ggf. entfallen, da die entsprechenden Anhänge nur informativ sind.
<b>Tabelle E.1 Spezifikationen für Schwingungsaufnehmer</b>	Hersteller von Aufnehmern geben die Empfindlichkeit nicht immer für die Referenzfrequenzen nach EN ISO 8041 an. Eine Zeile hinzufügen: „Empfindlichkeit bei der zutreffenden Referenzfrequenz nach Tabelle 1“	

### **3. Vorschlag zur praxismgerechten Nachprüfung von Schwingungsmesseinrichtungen nach EN ISO 8041 – reduzierte Nachprüfung (Zwischenprüfung)**

#### **3.1. Einleitung**

Bezüglich der Kalibrierung bzw. Prüfung einer Messeinrichtung nach EN ISO 8041:2005 werden drei Fälle unterschieden.

##### **A.) Baumusterprüfung**

„...Prüfungen einschließlich der anzuwendenden Prüfverfahren zum Nachweis der Übereinstimmung der Schwingungsmesseinrichtung mit allen nach dieser Norm erforderlichen Spezifikationen.“

##### **B.) Nachprüfung**

„...beschreibt detailliert die Prüfungen einschließlich der anzuwendenden Prüfverfahren zum Nachweis der Übereinstimmung der Schwingungsmesseinrichtung mit einigen nach dieser Norm erforderlichen Spezifikationen“; „ ...in periodischen Zeitabständen (z.B. wiederkehrend alle 1 oder 2 Jahre)...“ kalibrieren.

##### **C.) Prüfung am Einsatzort**

„Der Zweck dieser einfachen Prüfung am Einsatzort besteht darin, sie vor Ort vor und nach einer Messung durchführen zu können, um die Kalibrierung und die Funktionsfähigkeit der Schwingungsmesseinrichtung zu überprüfen.“

Der jeweilige Prüfumfang wird in EN ISO 8041 im Abschnitt 11 in Tabelle 13 „Zusammenstellung der Leistungsmerkmale und ihrer Prüfanforderungen“ in einer Übersicht aufgelistet.

Die „Baumusterprüfung“ umfasst dabei alle Prüfungen, die zum Nachweis der Übereinstimmung der Schwingungsmesseinrichtung mit den technischen Anforderungen nach dieser Norm notwendig sind. Sie wird in der Regel durch den Hersteller erfolgen, bevor der jeweilige Typ des Messgerätes in den Markt gebracht wird.

Die „Nachprüfung“ beschreibt die regelmäßige Kalibrierung der Schwingungsmesseinrichtung, wie sie in der Regel durch den Endanwender des Gerätes bei einem Prüflabor (Kalibrierlabor) in Auftrag gegeben wird. Die Nachprüfung umfasst dabei den größten Teil der Prüfungen, die für die Baumusterprüfung gefordert wird. Aufgrund der technischen Vielfalt der am Markt befindlichen Geräte ist die Automatisierung der geforderten Messungen und Nachweise kaum möglich.

Es ist daher eine weitgehend manuelle Messwerterfassung und -dokumentation notwendig, die sehr zeitaufwendig und dementsprechend teuer ist.

Die „Prüfung am Einsatzort“ beschreibt eine Funktionskontrolle durch den Endanwender des Messgerätes vor der Messung.

Im Folgenden wird eine weitere, vereinfachte, praxisgerechte Nachprüfung (sog. Zwischenprüfung) vorgeschlagen, die das Ziel hat, ein entsprechend den Anwendungsfeldern des Gerätes ausreichend kalibriertes Messgerät zu finden, das dabei dem Zweck gerecht wird und für Kalibrierlabore einen vertretbaren und vom Endanwender bezahlbaren Aufwand darstellt.

Dieses vereinfachte Prüfverfahren wird im Folgenden als reduzierte Nachprüfung (Zwischenprüfung) bezeichnet.

### **3.2. Prüfverfahren für die „reduzierte Nachprüfung“**

In diesem Abschnitt wird ein vereinfachtes Prüfverfahren vorgeschlagen. Es orientiert sich an der derzeitigen EN ISO 8041, beschränkt aber die Prüfungen auf den Umfang, der den konkreten Anwendungsfällen des Endanwenders entspricht. Zur Einschränkung des Prüfaufwandes wird angenommen, dass ein Endanwender in der Regel nicht alle Messmöglichkeiten eines Schwingungsmessers nach EN ISO 8041 nutzt, sondern ein gewisses Spektrum an Anwendungsfällen hat. Es werden daher für drei typische Anwendungsfälle Messprogramme für die Kalibrierung und Überprüfung vorgeschlagen, die nur solche Prüfungen des Schwingungsmessers beinhalten, die für den jeweiligen Anwendungsfall relevant sind.

- Die Prüfungen umfassen jeweils die mechanische Prüfung von Schwingungsaufnehmer und Messgerät als Messkette mit für den Anwendungsfall geeigneten Bewertungsfilttern.
- Die Prüfbedingungen sind eng an EN ISO 8041 angelehnt.
- Die Gültigkeit der Nachprüfung ist daher im Kalibrierschein auf den jeweils geprüften Anwendungsfall einzuschränken.

Soweit nötig kann der Endanwender auch von den typischen Anwendungsfällen abweichende System-Konfigurationen prüfen lassen. Ziel ist es dabei jedoch stets, die Prüfung nur jener Konfigurationen der Messkette vorzunehmen, die vom Endanwender auch tatsächlich genutzt werden.

### **Vorgeschlagene Messprogramme:**

- 1. Kalibrierung einer 3-kanaligen Schwingungs-Messkette Ganzkörper-Schwingungen Mensch**
- 2. Kalibrierung einer 3-kanaligen Schwingungs-Messkette Ganzkörper-Schwingungen in Gebäuden**
- 3. Kalibrierung einer 3-kanaligen Schwingungs-Messkette Hand-Arm-Schwingungen**

### **3.3. Allgemeiner Inhalt der Messprogramme**

#### **Kalibrierobjekte:**

- 3-achsige (bzw. drei 1-achsige) Beschleunigungsaufnehmer als Messkette mit einem Gerät zur Messung und direkten Anzeige von Beschleunigungen, die mit Frequenzbewertungen entsprechend EN ISO 8041 bewertet werden (Frequenzbewertungen  $W_b$ ,  $W_c$ ,  $W_d$ ,  $W_f$ ,  $W_h$ ,  $W_j$ ,  $W_k$ ,  $W_m$ ).

#### **Kalibrierverfahren:**

- Mechanische Kalibrierung der Messkette mit sinusförmigen Signalen definierter Amplitude und Frequenz, Bestimmung des Übertragungsfaktors der Gesamt- Messkette, der Pegellinearität und des Frequenzganges

#### **Mechanische Kalibrierungen:**

- **Justage bei Referenzfrequenz:** Ermittlung und Einstellung der Übertragungsfaktoren der Messkette bei Referenzfrequenz und -beschleunigung in Verbindung mit einem ausgewählten Bewertungsfilter pro Kanal
- **Pegellinearität bei Referenzfrequenz:** Ermittlung der Pegellinearität für alle Messkanäle in einem Messbereich (Pegelbereich 40 dB)
- **Kalibrierung Frequenzgang:** Ermittlung der Abweichung der Messkette vom Anzeige-Sollwert bei Festfrequenzen (unter Berücksichtigung der Toleranz-Grenzfrequenzen der Bewertungsfilter) in den jeweils vorgeschriebenen Frequenzbereichen für jeden Kanal mit je einer festgelegten Bewertung in einem festgelegten Messbereich, Vergleich mit den zulässigen Grenzabweichungen

### 3.4. Parameter der Messungen zur mechanischen Kalibrierung von Messketten

Angegeben sind **sinnvolle Standard-Verfahren**, Abweichungen der Bewertungen sind – besonders unter Punkt 1 – möglich.

#### 1. Überprüfung einer 3-kanaligen Schwingungs-Messkette Ganzkörper-Schwingungen Mensch

Bewertungen nach EN ISO 8041:	$W_b, W_c, W_d, W_j, W_k$		
Referenzfrequenz:	15,915 Hz		
Referenz-Beschleunigung:	1,00 m/s <sup>2</sup>		
Mechanische Amplitudenlinearität:	0,1 m/s <sup>2</sup> bis 10 m/s <sup>2</sup> bei	15,915 Hz	
Frequenzbereich für Frequenzgang:	0,5 Hz bis 160 Hz		
Anzahl der Festfrequenzen:	13		
Bevorzugte Zuordnung der Bewertungsfilter:	X-Achse	Kanal 1	$W_d$
	Y-Achse	Kanal 2	$W_d$
	Z-Achse	Kanal 3	$W_k$

#### 2. Überprüfung einer 3-kanaligen Schwingungs-Messkette Ganzkörper-Schwingungen in Gebäuden

Bewertungen nach EN ISO 8041:	$W_m$		
Referenzfrequenz:	15,915 Hz		
Referenz-Beschleunigung:	1,00 m/s <sup>2</sup>		
Mechanische Amplitudenlinearität:	0,1 m/s <sup>2</sup> bis 10 m/s <sup>2</sup> bei	15,915 Hz	
Frequenzbereich für Frequenzgang:	0,5 Hz bis 160 Hz		
Anzahl der Festfrequenzen:	13		
Bevorzugte Zuordnung der Bewertungsfilter:	X-Achse	Kanal 1	$W_m$
	Y-Achse	Kanal 2	$W_m$
	Z-Achse	Kanal 3	$W_m$

### 3. Überprüfung einer 3-kanaligen Schwingungs-Messkette Hand-Arm-Schwingungen

Bewertungen nach EN ISO 8041:	$W_h$		
Referenzfrequenz:	79,58 Hz		
Referenz-Beschleunigung:	10,00 m/s <sup>2</sup>		
Mechanische Amplitudenlinearität:	1 m/s <sup>2</sup> bis 100 m/s <sup>2</sup> bei 79,58 Hz		
Frequenzbereich für Frequenzgang:	8 Hz bis 2000 Hz		
Anzahl der Festfrequenzen:	13		
Bevorzugte Zuordnung der Bewertungsfil- ter:	X-Achse	Kanal 1	$W_h$
	Y-Achse	Kanal 2	$W_h$
	Z-Achse	Kanal 3	$W_h$

## **Anhang: Beteiligte Experten**

Am Expertengespräch, in dessen Rahmen dieses Positionspapier erarbeitet wurde, waren beteiligt:

Hans-Josef Adamski (RWE Power Aktiengesellschaft)

Uli Bamberg (KAN-Geschäftsstelle)

Thomas Groß (DIN Deutsches Institut für Normung e.V.)

Dr. Christoph Hecker (Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd)

Angela Janowitz (KAN-Geschäftsstelle)

Uwe Kaulbars (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung)

Harald Kihl (RAG Aktiengesellschaft)

Michael Mende (SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH)

Eckhard Metze (KAN-Geschäftsstelle)

Dieter Müller (Wölfel Messsysteme Software GmbH & Co. KG)

Florian Nachtwey (Deutsche Bahn AG)

Bettina Palka (KAN-Geschäftsstelle)

Dr. Jörg Rissler (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung)

Richard Schlombs (Brüel & Kjaer GmbH)

Dieter Schultze (ERMESS GmbH)

Peter Smigielski (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung)

Holger Steinbock (Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft)

Uwe Struß (Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd)

Rainer Weiß (Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd)

Darüber hinaus haben sich folgende Experten in die Erarbeitung eingebracht:

Philipp Begoff (SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH)

Hans-Günther Usakiewicz (SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH)