

Messunsicherheit von Arbeitsplatzmessungen – Orientierungswert für Hand-Arm-Vibration aus Ringversuch

Uncertainty in workplace measurements – guideline value for hand-arm vibration from round-robin testing

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

Kurzfassung

Um die Zuverlässigkeit von Messergebnissen einschätzen zu können, ist die Angabe der Messunsicherheit erforderlich. Sie grenzt den Wertebereich ein, innerhalb dessen die wahren Messwerte mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit überdeckt werden. Für unterschiedliche Messgrößen steht seit über 25 Jahren der GUM „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ als Leitfaden zur Verfügung. Auf dieser Grundlage gibt die Norm DIN SPEC 45660-2 für schwingungstechnische Größen ein spezifisches Verfahren zur Ermittlung der Unsicherheit an. Für die Anwendung dieser Verfahren fehlen die zum Teil experimentell zu bestimmenden Messunsicherheitsbeiträge. Der Vortrag zeigt die Ergebnisse und die Vorgehensweise des vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) organisierten Ringversuchs, an dem sich sieben Messstellen beteiligten, auf. Exemplarisch wird für die Messungen an einem Bohrhammer, einer Stichsäge und einem Schleifer die relative Messunsicherheit ermittelt und die Unsicherheitsbilanz mit weiteren Kennwerten nach DIN SPEC 45660-2 verglichen und validiert. Darüber hinaus wird an einem Beispiel die Ermittlung der Messunsicherheit der Vibrationsexposition bei tätigkeitsbezogenen Messungen nach DIN EN ISO 5349-2 aufgezeigt.

Abstract

In order for the reliability of measurement results to be estimated, the measurement uncertainty must be stated. The measurement uncertainty constrains the range of values that covers, with a certain probability, the true measured values. The "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" (GUM) has provided guidance for a number of different measured variables for over 25 years. Based upon it, DIN SPEC 45660-2 states a specific method for determining the measurement uncertainty for vibration quantities. Measurement uncertainty contributions required for application of these methods are not available, and must be determined in some

cases by experimentation. The paper describes the procedure followed in the round-robin test organized by the IFA, in which seven test bodies participated, and the results. By way of example, the relative measurement uncertainty is determined for measurements on a hammer drill, a jig saw and a grinder, and the uncertainty budget compared with further parameters to DIN SPEC 45660-2, and validated. In addition, determining of the measurement uncertainty of vibration exposure for task-specific measurements to EN ISO 5349-2 is described with reference to an example.

1. Einleitung

Zur Beurteilung der Zuverlässigkeit von Messergebnissen ist neben der sachgerechten Durchführung der Messung die Kenntnis der Messunsicherheit notwendig. Um eine Aussage über die Qualität der Messergebnisse von unterschiedlichen Messstellen zu erlangen, ist auch bei normgerechten und „fehlerfreien“ Messungen die Angabe der Messunsicherheit erforderlich. Dies gewinnt mit der Einspeisung von Messdaten in Datenbanken aus verschiedenen Quellen zunehmend an Bedeutung. Ebenso werden genauere Ermittlungen der Messunsicherheit für die Validierung von Gefährdungsanalysen sowie für Vibrationsminderungsprognosen und -programme benötigt.

Arbeitsplatzmessung für Vibrationseinwirkungen auf das Hand-Arm-System werden nach DIN EN ISO 5349-2 [1] durchgeführt. Das dort beschriebene Verfahren zeigt in erster Linie auf eine einheitliche Vorgehensweise und Vermeidung von Messfehlern z. B. beim Einsatz der Messgeräte oder Auswahl der Messstrategie ab. Zwar werden die wesentlichen Faktoren, die die Messunsicherheit beeinflussen, genannt, jedoch werden keine Hinweise zur Berechnung oder Abschätzung der Messunsicherheit gegeben. Die Lärm-Vibrations-Arbeitsschutzverordnung gibt auch nur den allgemeinen Hinweis, dass die Messungen nach dem Stand der Technik durchzuführen sind.

Mit dem GUM ("Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement"), der auch in Deutsch als DIN V ENV 13005 [3] veröffentlicht wurde, steht seit 25 Jahren ein einheitlicher Leitfaden für die unterschiedlichen Messgrößen zur Verfügung. Da die Anwendung für das Gebiet der Schwingungseinwirkungen auf den Menschen aufgrund des nicht vertretbar hohen Aufwandes bisher nicht erfolgte, wurde in Deutschland die DIN SPEC 45660-2 [4] erarbeitet. Diese Norm gibt informativ Orientierungswerte der Messunsicherheitsbeiträge, die empirisch im nachfolgend beschriebenen Ringversuch ermittelt wurden, sowie andere Datenquellen an.

2. Methode – Konzeption des Ringversuches

Um über den Zeitraum des Ringversuches gleiche Bedingungen sicherzustellen, wurde ein fiktiver Arbeitsplatz in Praxisfeld des Institutes für Arbeit und Gesundheit der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IAG) in Dresden, mit drei Arbeitsaufgaben für zwei erfahrene Arbeitspersonen eingerichtet.

Die Arbeitsaufgaben (Bild 1) bestanden aus Abtrennen von Kantröhren mit pneumatischen Winkelschleifer, Bohren von Dübellöchern mit elektrischem Bohrhammer und Konturschneiden aus Leimholzplatte mit einer elektrischen Stichsäge.



Bild 1: Arbeitsplätze mit Schleifer, Bohrhammer und Stichsäge im Ringversuch

Zum Vergleich der unterschiedlichen und von der jeweiligen Messstelle benutzten Messketten, die den Anforderungen der DIN EN ISO 8041 [5] entsprachen, wurden zusätzliche Kontrollaufgaben mit einem Kalibrator für drei festgelegte Frequenzen und Amplituden durchgeführt. Um eine mögliche Änderung der Eigenschaften der Arbeitsgeräte festzustellen, wurden die Messungen der ersten Messstelle am Ende des Ringversuches wiederholt.

Die nach dem einheitlichen Messverfahren nach DIN EN ISO 5349-2 von jeder Messstelle freigeählte Messpunkte und Befestigungsarten sind exemplarisch für den Winkelschleifer in Bild 2 dargestellt.

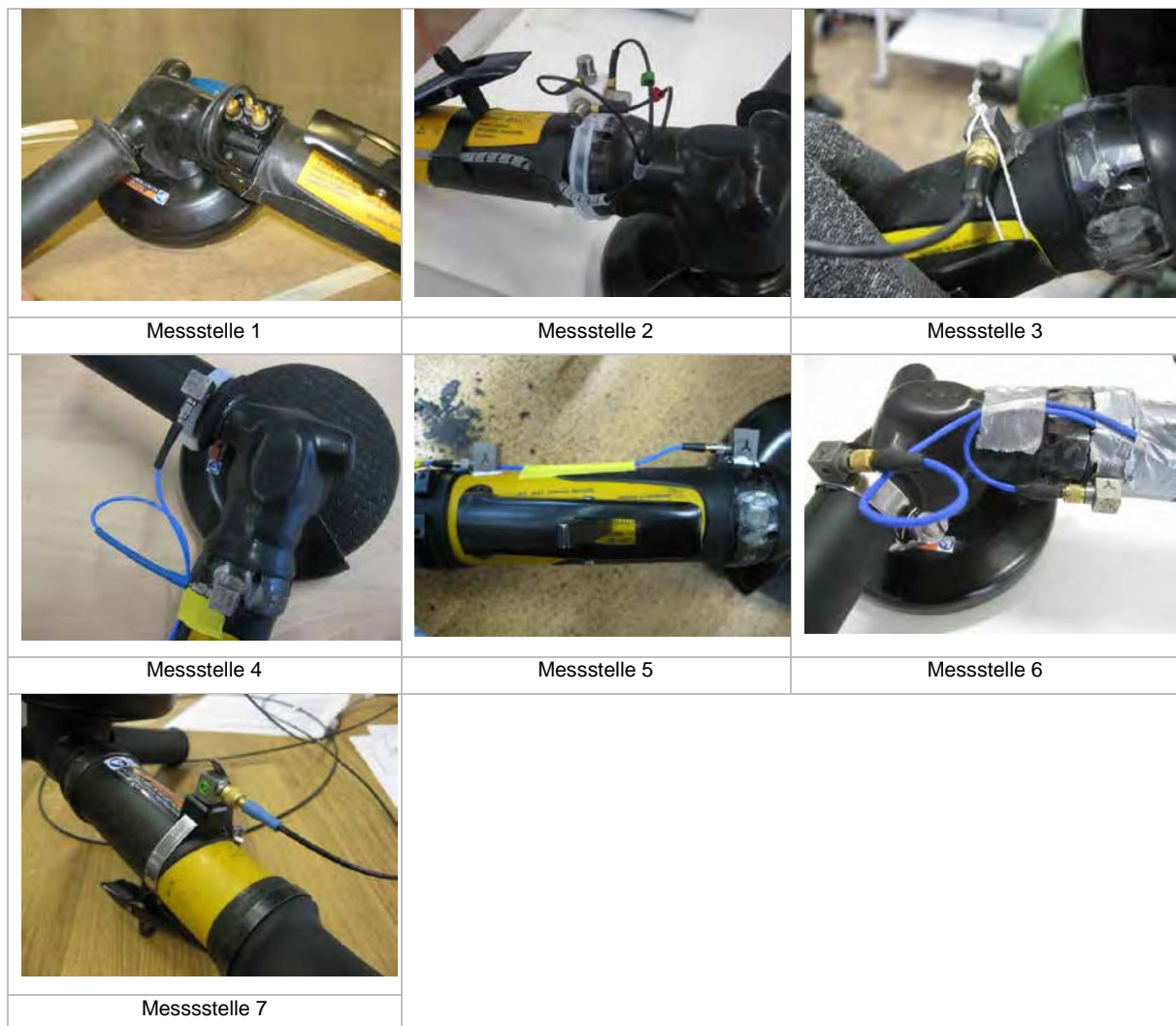


Bild 2: Unterschiedliche Beschleunigungsaufnehmer Messpunkte und Ankoppelung.

Am Ringversuch nahmen sieben Messstellen aus Deutschland teil, von denen drei nach DIN EN ISO / IEC 17025 [6] akkreditiert waren

Jede Messstelle führte die Messungen an einem getrennten Tag unabhängig voneinander durch. Zur Sicherstellung der Homogenität wurden an jedem Tag neue Einsatzwerkzeuge und Materialien verwendet und die Leistungseinstellungen der Arbeitsgeräte konstant gehalten.

Der Ablauf wurde über die gesamte Dauer des Ringversuches von zweimal einer Woche durch einen unabhängigen Beobachter des Instituts für Eignungsprüfung überwacht.

3. Ergebnisse

3.1 Auswertung der Messungen

Die Einzelauswertungen erfolgten bei den jeweiligen Messstellen. Die zusammenfassende statistische Auswertung erfolgte durch das Institut für Eignungsprüfung auf den Grundlagen der DIN EN ISO / IEC 17043, DIN ISO 13528 und DIN EN ISO 5725 Teil 2 [7 bis 9].

In den Bildern 3 bis 5 sind für jedes Arbeitsgerät und jede Messstelle exemplarisch für eine Versuchsperson die Mittelwerte MW_{LAB} sowie Medianwert als Konsenswert X aus allen Ergebnissen dargestellt. Zur Einordnung der jeweiligen Messstellen sind die Bewertungsstufen Z-Score, die nach folgender Gleichung gebildet werden, angegeben:

$$Z = \frac{MW_{LAB} - X}{\hat{\sigma}}$$

Weitere Einzelheiten enthält der IFA-Report (derzeit noch in Vorbereitung).

$|Z| \leq 2$ bedeutet eine erfolgreiche Teilnahme; jedoch stand im Ringversuch nicht die Bewertung der Messstelle, sondern die Ermittlung der Messstellenstreuung im Vordergrund.

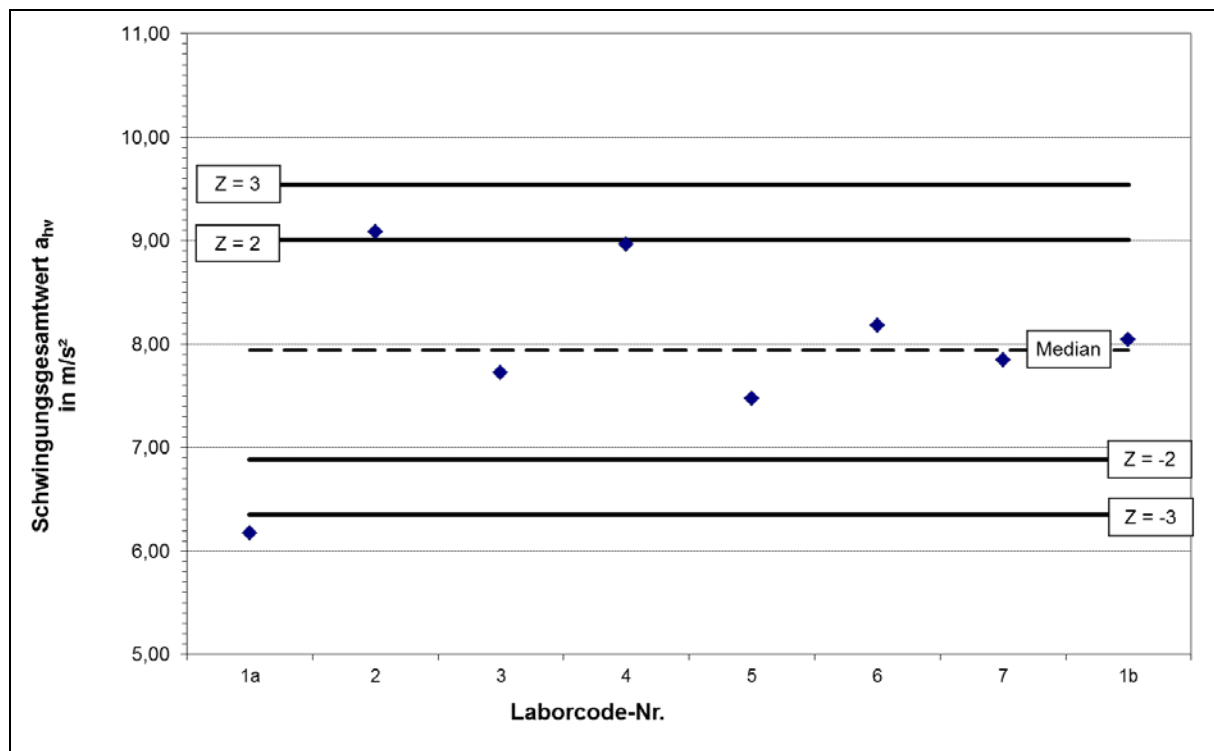


Bild 3: Mittelwerte aller Messstellen, Stichsäge, Versuchsperson 1

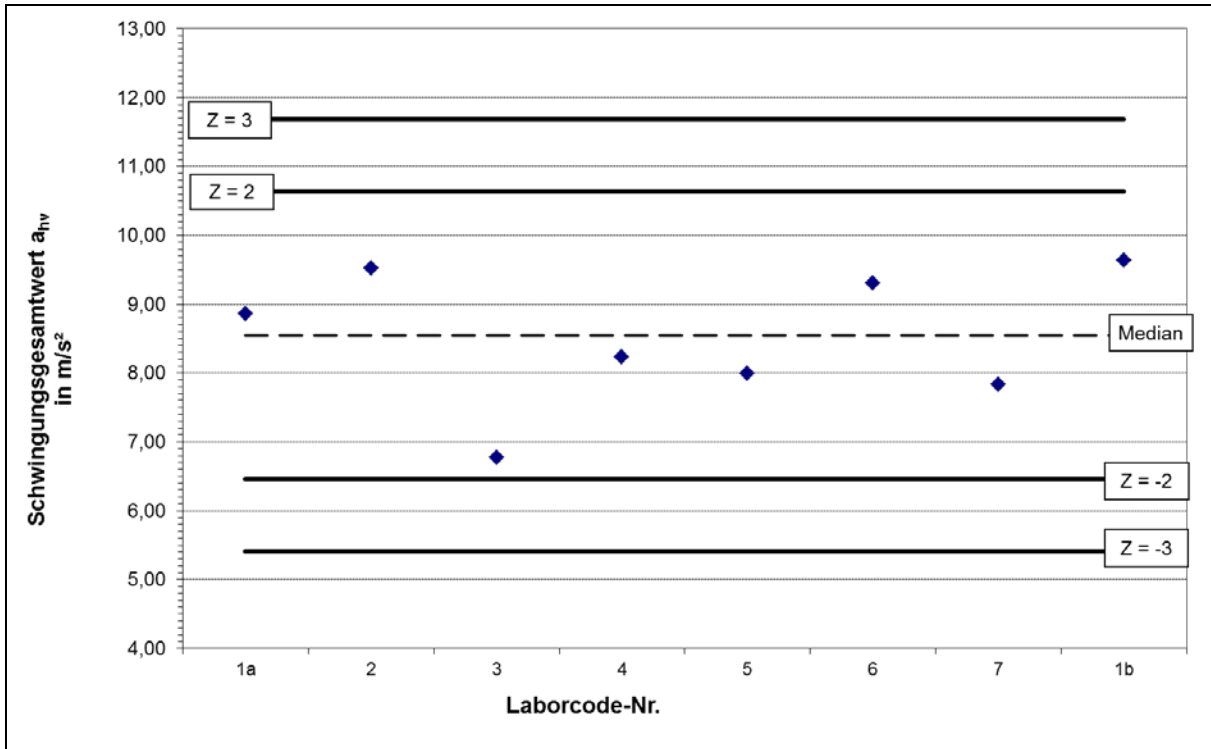


Bild 4: Mittelwerte aller Messstellen, Bohrhammer, Versuchsperson 1

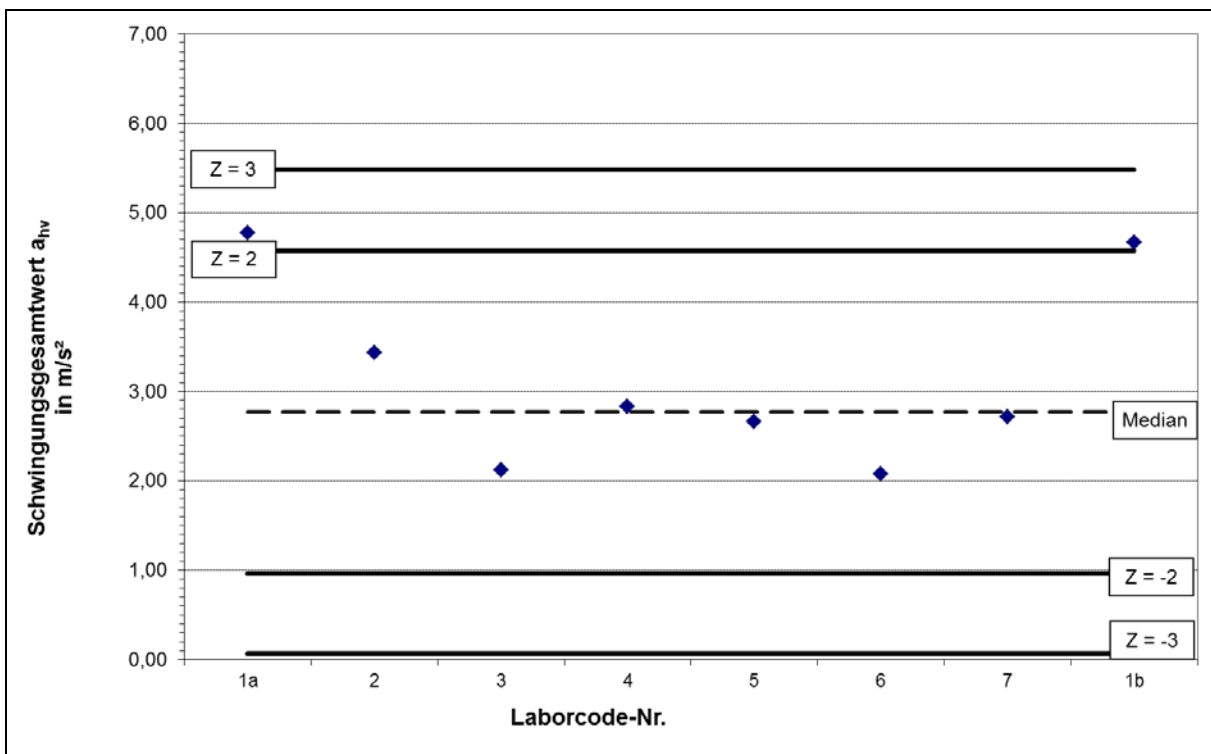


Bild 5: Mittelwerte aller Messstellen, Schleifer, Versuchsperson 1

3.2 Einfluss der Messketten

Die von den Messstellen ermittelten Messwerte bei den Kalibrierungsfrequenzen 10, 80 und 160 Hz sind zusammengefasst als Schwingungsgesamtwert in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Einzelwerte der Kontrollaufgabe

Labor-Nr.	Schwingungsgesamtwert a_{hv} in m/s für		
	16 Hz	80 Hz	160 Hz
1	1,52	3,45	1,70
2	1,54	3,51	1,75
3	1,48	3,48	1,70
4	1,52	3,48	1,73
5	1,50	3,50	1,75
7	1,48	3,42	1,72

Die Abweichungen liegen im Bereich der Amplitudenungenauigkeit des Kalibrators von $\pm 3\%$.

3.3 Einfluss der Messstrategie

Um den Einfluss der Messstrategie für die Gefährdungsbeurteilung zu untersuchen, bestimmte jede Messstelle für eine vorgegebene Exposition zusätzlich zu den Einzelwerten die Tagesexposition.

Nach der Vorgabe von jeweils 20 Arbeitsgängen pro Tag und Arbeitsgerät wurde die Tagesexposition $A(8)$ von fünf Messstellen ermittelt.

In der Tabelle 2 ist der Mittelwert mit Standardabweichung für jede Versuchsperson und der Spanne angegeben. Die Abweichungen für die Gefährdungsbeurteilung sind trotz wesentlich höheren Abweichungen in den Messwerten gering. Dies bestätigt die Erfahrung, dass Messwerte z. B. in Datenbanken nicht ohne die Information der verwendeten Messstrategie für vergleichbare Arbeitsplatzbeurteilungen herangezogen werden können.

Tabelle 2: Tagesexpositionswerte

Versuchsperson	Tagesexpositionswert $A(8)$ m/s ²	$\hat{\sigma}$	Minimal und Maximalwert $A(8)$ m/s ²
1	2,02	0,05	1,92 bis 2,12
2	2,05	0,11	1,98 bis 2,40

4. Diskussion und Analyse

4.1 Berechnungsmodell nach DIN SPEC 45660-2

Das Berechnungsmodell der Messunsicherheiten nach DIN SPEC 45660-2, Anhang A [4] basiert auf den wesentlichen Unsicherheitsbeiträgen, die in Tabelle 3 dargestellt sind.

Tabelle 3: Orientierungswerte der Messunsicherheitsbeiträge DIN SPEC 45660-2, A.1

i	Komponenten $u(x_i)$ der Messunsicherheit		Relative Unsicherheit									
			Bohrhämmer ^a		Kettensägen ^b		Bohrhämmer ^c		Stichsägen ^c		Schleifer ^c	
			Bereich ± %	$u(x_i)$	Bereich ± %	u_c	± %	u_M	± %	u_M	± %	u_M
1	Messgerät bei Laboreinsatz	Messstellenstandardabweichung $u_M = u(x_1, x_2, x_3)$	8,2 bis 13	0,075	17 bis 33	0,098 bis 0,191	21,3	0,123	16,1	0,093	54,0	0,312
2	Aufnehmerankopplung (ohne mechanisches Filter)		12,6 bis 26	0,152								
3	Aufnehmerposition (Messpunkt)		5	0,029								
4	Wiederholstandardabweichung eines Probanden (Benutzers)		(8)	(0,046)	$u(x_4)_d$ nach Ermittlungsmethode A							
5	Probandenstandardabweichung		15	0,087								
6	Fertigungsstandardabweichung		8	0,046								
^a Werte für Bohrhämmer bis auf $u(x_1)$ aus BAuA-Report [1] ^b exemplarische Werte ^c aus Ringversuch „Arbeitsplatzmessungen“ (Bericht in Vorbereitung)												

Die Messstandardabweichung u_M setzt sich im Wesentlichen aus der Standardabweichung, die aus der verwendeten Messstrategie resultierten, zusammen. Diese beinhalten die Interpretation der Messnorm und damit im Wesentlichen die Standardabweichung der Aufnehmerankopplung $u_{\text{Aufnehmer}}$ und der Position $u_{\text{Aufnehmerposition}}$.

Sie setzen sich wie folgt zusammen:

$$u_M = \sqrt{U_{\text{Messgerät}}^2 + U_{\text{Ankoppelung}}^2 + U_{\text{Aufnehmerposition}}^2}$$

Die Streuung der Wiederholungsmessungen wird mit dem Bayes-Term nach folgender Gleichung korrigiert, falls weniger als 30 Wiederholungsmessungen vorliegen:

$$U = \sqrt{\frac{n-1}{n-3}} \times s(\bar{x}_i)$$

Danach errechnet sich die Gesamtmessunsicherheit

$$U = \sqrt{U_M^2 + U_{\text{Wiederholungsgenauigkeit}}^2}$$

Nicht Bestandteil des Ringversuches war die Berechnung der Unsicherheit für die Übertragung der Messwerte auf vergleichbare Arbeitsplätze mit anderen Benutzern.

4.2 Validierung des Berechnungsmodells

Die Messunsicherheit der jeweiligen Messwerte lässt sich auf der Basis des technischen Berichtes EUROLAB TB 2 /2006 [10] abschätzen, der auch zur Validierung des Berechnungsmodells herangezogen wurde. Bild 6 zeigt exemplarisch für die Stichsäge das Ergebnis dieses Verfahrens.

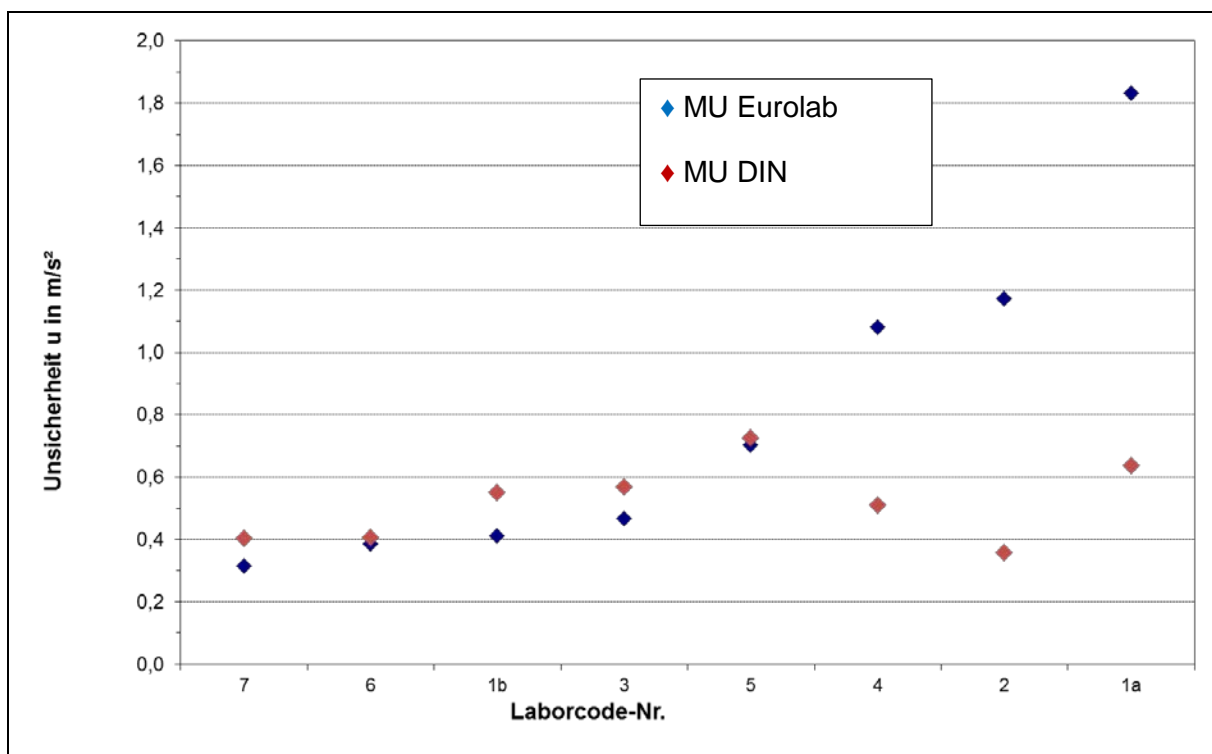


Bild 6: Messunsicherheit, Vergleich der Verfahren am Beispiel der Stichsäge, Versuchsperson 1

In weiten Teilen waren die Ergebnisse beider Modelle deckungsgleich. Jedoch tendiert das Modell nach EUROLAB zu höheren Werten. Zusätzlich wurde die Richtigkeit und Präzision

aller Messergebnisse nach DIN ISO 5725 [9] ermittelt und die Vergleichs- (σ_R) , Wiederhol- (σ_r) und Messstellenstandardabweichung (σ_L) berechnet (siehe Gleichung und Tabelle 4).

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_L^2}$$

Bei diesem Verfahren konnten nur die Messungen aufgenommen werden, deren Aufnehmerposition nicht von der normgerechten Vorgabe abwichen, was durch Fotos der Messdokumentation ermittelt wurde. In die normgerechten Messungen wurde für den Bohrhämmer die Messstellen 3, 5 und 6 sowie für den Winkelschleifer die Messstellen 3 und 7 in diese Auswertung einbezogen.

Tabelle 4 : Zusammenstellung der Vergleichsstandardabweichung σ_R , der Wiederholstandardabweichung σ_r , und der Standardabweichung zwischen den Laboratorien σ_L (Messstellenstandardabweichung), (alle Angaben in m/s^2)

		A (alle)		B (normgerecht)	
		VP1	VP2	VP1	VP2
Stichsäge	σ_R	0,90	1,01	0,90	1,01
	σ_r	0,73	0,55	0,73	0,55
	σ_L	0,52	0,85	0,52	0,85
Bohrhammer	σ_R	1,09	1,03	0,94	0,48
	σ_r	0,28	0,37	0,26	0,34
	σ_L	1,05	0,96	0,90	0,35
Winkelschleifer	σ_R	0,78	0,78	0,79	0,84
	σ_r	0,41	0,36	0,44	0,37
	σ_L	0,66	0,69	0,66	0,76

VP 1: Bedienperson 1, VP 2: Bedienperson 2

5. Praxisbeispiel zur Ermittlung der Messunsicherheit der Vibrationsexposition

Im Folgenden wird für das Beispiel eines Bohrhammers mit dem Mittelwert des Schwingungsgesamtwertes $\bar{a}_{hv} = 6 \frac{m}{s^2}$ und einer täglichen Expositionsdauer $\bar{T} = 1$ h die Tagesdosis (Tages-Vibrationsexpositionswert) mit Unsicherheit bestimmt.

Die Tagesdosis berechnet sich aus den Mittelwerten für eine einzige Belastung am Tag ($j = 1$) wie folgt:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{8h} \sum_j a_{hv,j}^2 T_j} \quad (1)$$

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{8h} \bar{a}_{hv}^2 \bar{T}} = \sqrt{\frac{1}{8h} \left(6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \cdot 1\text{h}} \approx 2,12 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (2)$$

In den nächsten Schritten wird der erweiterte Unsicherheitsbereich bestimmt, der dieser Tagesdosis zugeordnet werden kann.

1.) Aufstellung des mathematischen Modells

Ausgangspunkt für das mathematische Modell ist Gleichung (1). Bei einer einzigen Belastung ($j = 1$) kommen dazu noch Untermodelle für a_{hv} und T .

$$a_{hv} = \bar{a}_{hv} + \sum_{i=1}^n X_{a,i} \quad (3)$$

$$T = \bar{T} + \sum_{i=1}^m X_{T,i} \quad (4)$$

Dabei beschreiben $X_{a,i}$ und $X_{T,i}$ den Einfluss verschiedener Größen auf die Messwerte \bar{a}_{hv} , \bar{T} als Zufallszahlen mit dem Mittelwert Null ($\bar{X}_{a,i} = \bar{X}_{T,i} = 0$). Die folgende Liste der Einflussgrößen enthält die dazu verfügbaren Informationen, woraus sich die Anzahl der Einflussgrößen (n, m) und ihre Verteilung ergibt (Unsicherheitsbilanz).

2.) Liste der Einflussgrößen

Für den Beschleunigungswerte sind zwei Einflussgrößen beschrieben ($n = 2$), für die Normalverteilungen angenommen werden:

- Die Wiederholungsgenauigkeit

Die frequenzbewertete Beschleunigung ist zehnmal unter Wiederholungsbedingungen gemessen worden ($N = 10$). Die empirische Standardabweichung dieser Messserie beträgt $s = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Dieser Wert wird nach Bayes korrigiert, um die geringe Stichprobengröße zu berücksichtigen. Damit ergibt sich für die erste Einflussgröße eine Standardunsicherheit von:

$$u_{a,1} = \sqrt{\frac{N-1}{N-3}} 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 0,567 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- Die Messstellenstandardabweichung

Diese Einflussgröße enthält im Wesentlichen den Einfluss des Messgerätes und der gewählten Messstrategie (etwa die Auswahl der Messpunkte). Für einen Bohrerhammer ist in Tabelle A1, DIN SPEC 45660-2, eine relative Standardunsicherheit angegeben. Damit ergibt sich:

$$u_{a,2} = 0,123 \cdot \bar{a}_{hv} = 0,738 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Da im Untermodell für \bar{a}_{hv} die Sensitivitätskoeffizienten gleich eins sind, ergibt sich in dem Untermodell eine kombinierte Standardunsicherheit von:

$$u(\bar{a}_{hv}) = \sqrt{1^2 u_{a,1}^2 + 1^2 u_{a,2}^2} \approx 0,931 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (5)$$

Für die Einwirkungsdauer ist es meistens ausreichend, nur eine Einflussgröße ($m = 1$) anzunehmen, da die Sensitivitätskoeffizienten für diesen Faktor meist geringer ausfallen als für die Beschleunigungen (s. nächster Abschnitt). Dazu wird eine Gleichverteilung in dem Bereich angenommen, in dem die Einwirkungsdauer schwankt:

- Schwankungsbereich

Aus Befragungen im Betrieb ergibt sich, das in diesem Beispiel die Einwirkungsdauer zwischen 45 und 75 Minuten liegen kann. Damit ergibt sich für eine Gleichverteilung:

$$u_{T,1} = \frac{0,25\text{h}}{\sqrt{3}} \approx 0,14\text{h}$$

Da für die Einwirkungsdauer nur eine Einflussgröße vorliegt, ist dies auch die Standardunsicherheit für das gesamte Untermodell:

$$u(\bar{T}) = u_{T,1} = 0,14\text{h} \quad (6)$$

3.) Sensitivitätskoeffizienten

Nachdem sich aus der Liste der Einflussgrößen die Standardunsicherheiten für die Untermodelle ergeben haben, müssen nur noch die Sensitivitätskoeffizienten für Gleichung (1) bestimmt werden, um die kombinierte Standardunsicherheit angeben zu können. Aus Gleichungen (A.10) und (A.11) in DIN SPEC 45660-2 ergeben sich für eine Belastung am Tag die Sensitivitätskoeffizienten:

$$c_{a_{hv}} = \frac{1}{8\text{h}} \frac{\bar{a}_{hv} \bar{T}}{A(8)} \approx 0,354 \quad (7)$$

Zur Erläuterung: $c_T = \frac{1}{16\text{h}} \frac{\bar{a}_{hv}^2}{A(8)} = \frac{1}{\sqrt{32\text{h}}} \cdot \frac{a}{\sqrt{T}}$

$$c_T = \frac{\delta A(8)}{\delta T} = \frac{1}{2} \underbrace{\left(\frac{1}{8\text{h}} a^2 T \right)^{-0,5}}_{\text{äußere Ableitung}} \cdot \underbrace{\frac{a^2}{8\text{h}}}_{\text{innere Ableitung}} = \frac{1}{2 \cdot 8\text{h}} \cdot \frac{a^2}{\sqrt{a^2 T}} = \frac{1}{2\sqrt{8\text{h}}} \cdot \frac{a}{\sqrt{T}} = \frac{1}{\sqrt{32\text{h}}} \cdot \frac{a}{\sqrt{T}}$$

$$c_T = \frac{1}{16\text{h}} \frac{\bar{a}_{hv}^2}{A(8)} \approx 1,06 \frac{\text{m}}{\text{h} \cdot \text{s}^2} \quad (8)$$

Berücksichtigt man in Gleichung (8) die Einheiten ($1\text{h} = 3600\text{s}$), zeigt sich, dass der Sensitivitätskoeffizient für die Einwirkungsdauer viel geringer ist als für den Beschleunigungswert.

4.) Angabe des Ergebnisses

Für das Ergebnis wird die kombinierte Standardunsicherheit benötigt, die mit den Angaben aus Gleichungen (5 bis 8) gebildet werden kann.

$$u_c = \sqrt{\left(c_{a_{hv}} \cdot u(\bar{a}_{hv})\right)^2 + \left(c_T \cdot u(\bar{T})\right)^2} \approx 0,36 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (9)$$

Wenn der Erweiterungsfaktor $k = 2$ gewählt wird, kann das Ergebnis wie folgt angegeben werden:

$$A(8) = A(8) \pm k \cdot u_c \approx 2,12 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \pm 0,72 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (10)$$

Damit kann nach Tabelle 1 in DIN SPEC 45660-2 Gleichung (10) interpretiert werden, falls eine Normalverteilung der $A(8)$ vorliegt. Zum einen kann gesagt werden, dass auf der Basis der zugrundeliegenden Unsicherheitsbilanz der Bereich in Gleichung (10) mit 95%iger Wahrscheinlichkeit den Wert für $A(8)$ überdeckt. Zum anderen liegt der Wert für $A(8)$ mit 97,5%iger Wahrscheinlichkeit auf der Basis der Unsicherheitsbilanz unter $2,12 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 0,72 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,84 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Damit wäre auf diesem Vertrauensniveau der Auslösewert nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung überschritten. Unterschritten wird der Auslösewert mit $A(8) = 2,48 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ nur mit einer 84%igen Wahrscheinlichkeit (Erweiterungsfaktor 1, DIN SPEC 45660-2, Tabelle 1).

6 Zusammenfassung

Die Ergebnisse des Ringversuches geben Orientierung- und Richtwerte für die Standardabweichungen von Messstellen (Laborstreuung) für tätigkeitsbezogene Vibrationsmessungen an Arbeitsplätzen [11]. Es zeigte sich, dass diese je nach Messmethode und Messobjekt, d. h. für die unterschiedlichen Maschinen, variieren. Der auf dem GUM basierende Leitfaden zum Umgang mit der Unsicherheit schwingungstechnischen Größen DIN SPEC 45660-2 ermöglicht mit vertretbarem Aufwand eine qualitative Angabe der Qualität von Messergebnissen aus Arbeitsplatzmessungen. Es entspricht daher nunmehr dem Stand der Technik, wie bereits bei anderen Messgrößen üblich, ein Messergebnis vollständig d. h. auch mit der Beiordnung der Messunsicherheit anzugeben. Diese Angaben sind z. B. für die Nutzung von Datenbanken unentbehrlich. Das technische Regelwerk sowie die gesetzliche Regelungen sind künftig entsprechend anzupassen.

Literaturangaben

- [1] DIN 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, Ausgabe 2015-12
- [2] Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I (2007), S. 261
- [3] GUM Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
DIN V ENV 13005:1999-06: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen; zurückgezogen und ersetzt durch: ISO/IEC Guide 98-3:2008-09, Messunsicherheit – Teil 3: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen
- [4] DIN SPEC 45660-2: Leitfaden zum Umgang mit der Unsicherheit in der Akustik und Schwingungstechnik – Teil 2: Unsicherheit schwingungstechnischer Größen, Ausg. 1/2018. Berlin: Beuth 2018
- [5] DIN EN ISO 8041: Schwingungseinwirkung auf den Menschen - Messeinrichtung - Teil 1: Schwingungsmesser für allgemeine Anwendungen (ISO 8041-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 8041-1:2017, Ausgabe 2017-10
- [6] DIN EN ISO /IEC 17025: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien. Beuth Verlag, Berlin, August 2005
- [7] DIN EN ISO /IEC 17043: Konformitätsbewertung - Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen. Beuth Verlag, Berlin, Mai 2010.
- [8] DIN EN ISO 13528: Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche (ISO 13528:2005). Beuth Verlag, Berlin, Januar 2009
- [9] DIN EN ISO 5725, Teil 2:2002-12.: Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen - Teil 2: Grundlegende Methode für Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens
- [10] EUROLAB –TB 2 /2006 Leitfaden zur Ermittlung von Messunsicherheiten bei quantitativen Prüfergebnissen, Berlin November 2006 EUROLAB-Ausschuss der Qualitätssicherung im Prüfwesen
- [11] Kaulbars, U., Determining the measurement uncertainty of workplace measurements conforming to GUM, 13. Internationale Konferenz Hand-Arm Vibration, 12.-16. Oktober 2015, Peking/China -Vortrag. Berichtsband, S. 43-44, Hrsg.: Gao, X.; He, L.; Dang, R.G.; Brammer, A., Peking University, International Advisory Committee der Internationalen Konferenz Hand-Arm-Vibration, Peking University Health Science Center, 2015

Danksagung:

Wir danken für die Unterstützung dem Institut für Eignungsprüfung IfEP GmbH, Marl, und den beteiligten Messstellen: Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, Ingenieurbüro Gillmeister, Ländermessstelle Brandenburg, Müller BBM GmbH, SLG Prüf- und Zertifizierung GmbH.