

Humanschwingungen, Auswirkung auf Gesundheit – Leistung – Komfort Lösungen zur Schwingungsoptimierung

17. bis 18.03.2004, Darmstadt

**Hand-Arm-Schwingungs-Kennwerte nach Herstellerangaben und
aus Arbeitsplatzmessungen – Abweichungen und Ursachen
(Values for Hand-Arm Vibration According Manufacturers
Declaration and from Measurement at the Workplace – Deviations
and Causes)**

**Autor: Uwe Kaulbars
Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz –
BIA, Sankt Augustin**

Kurzfassung

An Beispielen aus der Praxis werden die Abweichungen zwischen den Messwerten aus Arbeitsplatzmessungen und Labormessungen mit ihren möglichen Ursachen aufgezeigt. Insbesondere wird die Bedeutung der Messunsicherheit diskutiert. Die Ergebnisse einer Vergleichsmessung am Arbeitsplatz zwischen BIA und HSL (Health & Safety Laboratory, England) werden dargestellt und in die Genauigkeitsbetrachtungen einbezogen.

1 Einleitung

Initiiert durch die EG-Maschinenrichtlinie [1] wurde auf internationaler und europäischer Ebene eine Vielzahl von spezifischen Messnormen zur Ermittlung der Schwingungsemission von handgeführten und handgehaltenen Arbeitsmaschinen erarbeitet. Die definierten Labormessverfahren sollen genaue und reproduzierbare Ergebnisse liefern, die mit denjenigen vergleichbar sind, die unter praktischen Arbeitsbedingungen ermittelt wurden. In erster Linie bezwecken diese Messnormen jedoch den Gerätevergleich innerhalb einer Gerätefamilie.

Die Vibrationsemissionswerte, die der Hersteller oberhalb einer bewerteten Beschleunigung von $2,5 \text{ m/s}^2$ in der Bedienungsanleitung anzugeben hat, sollten diesen Messnormen zufolge die zur Gefährdungsbeurteilung in der Regel erforderlichen Arbeitsplatzmessergebnisse nicht ersetzen.

Mit der neuen EU-Richtlinie zum Schutz der Arbeitnehmer vor Vibration [2] wird neben der Arbeitsplatzmessung die Schätzung anhand der Herstellerangaben alternativ ermöglicht. Aus praktischen und ökonomischen Gründen sollen daher die Vibrationsemissionswerte zur Gefährdungsbeurteilung herangezogen werden.



2 Abweichungen durch nicht repräsentative Labormessverfahren

Nicht alle zurzeit existierenden Labormessverfahren liefern repräsentative Schwingungsbelastungskennwerte [3]. Nachfolgend werden die einzelnen Gründe dafür jeweils an Beispielen aus der Praxis erläutert.

2.1 Abweichung durch falsche Lage des Messpunktes

Nicht immer wurde die Vibrationseinwirkung an der stärksten Einleitungsstelle gemessen. Durch die Vielfalt der Griffformen und Greifsituationen am Gerätegehäuse kann durch die Festlegung einzelner Messpunkte für den Einzelfall nicht jede Greifsituation berücksichtigt werden. Besonders hoch ist die Abweichung für die Fälle, bei denen die Schwingungseinleitung auch über das zu bearbeitende Werkstück bzw. Einsatzwerkzeug erfolgt.



Abbildung 1: Typische Handhabung eines Schriftenmeißelhammers mit Meißel

Das Beispiel eines Schriftenmeißelhammers (Abbildung 1) soll die Abweichungen verdeutlichen. Der Bereich der bewerteten Beschleunigung am Griff von $a_{hwz} = 4,1 \text{ m/s}^2$ bis $a_{hwz} = 8,4 \text{ m/s}^2$ ist im Vergleich zur Einleitungsstelle Meißel mit $a_{hwz} = 19,7 \text{ m/s}^2$ erheblich niedriger [4].

2.2 Abweichungen durch Erfassung nur einer Messrichtung

Für die schlagenden Geräte ist in den Emissionsmessnormen statt des Schwingungsgesamtwertes, der sich aus den drei Messrichtungen zusammensetzt, der Messwert der stärksten Messrichtung, d. h. der Schlagrichtung vorgesehen. Am Beispiel eines Stampfers (Abbildung 2) für ein Gerät mit ausgeprägter dominierender Hauptanregungsrichtung sollen die Abweichungen aufgezeigt werden.





Abbildung 2: Druckluftstamper beim Verfestigen von Ofenausmauerungen

Tabelle 1: Messergebnisse eines Stampfers

| | Bewertete Beschleunigung in m/s^2 | | | Schwingungsgesamtwert in m/s^2 |
|------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|
| | a_{hwx} | a_{hwy} | a_{hwz} | a_{hv} |
| Betriebsmessung | 3,4 | 9,8 | 3,0 | 10,8 |
| Labormessung | | 6,8 | | |
| Herstellerangabe | | 3,44 | | |

In der Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Betriebs- und Labormessungen den Herstellerangaben gegenübergestellt. Sie zeigen neben den starken Abweichungen der Herstellerangabe von der Emissionsmessung und der Betriebsmessung die vergleichsweise geringen Abweichungen zwischen dem Messwert der Schlagrichtung und dem berechneten Schwingungsgesamtwert. Bei drehend wirkenden Geräten ist mit größeren Abweichungen zwischen der stärksten Einzelrichtung und dem Schwingungsgesamtwert zu rechnen.

2.3. Abweichungen durch Nichterfassung der stärksten Messrichtung

Nicht immer entspricht die festgelegte Messrichtung im Praxisfall der stärksten Einzelmessrichtung. Beispielsweise ist für Bohrhämmer im Labormessverfahren sehr praxisnah das Bohren in Beton festgelegt, bei dem die stärkste Messrichtung der Schlagrichtung entspricht (Abbildung 3).

Der Einsatzbereich von Bohrhämmern ist jedoch zum Teil vielfältig. So treten beim Vorbohren mit Spiralbohrer auch hohe Schwingungen in der Messrichtung y auf. Aber auch bei einem weiteren typischen Einsatzfall, der Verwendung von Kronenbohrern,



sind wesentlich höhere Schwingungen in der x- und y-Messrichtung zu beobachten (siehe Tabelle 2).



Abbildung 3: Typischer Einsatz eines Bohrhammers

Tabelle 2: Messergebnis eines Bohrhammers

| | Bewertete Beschleunigung in m/s^2 | | | Schwingungsgesamtwert in m/s^2 |
|------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|
| | a_{hwx} | a_{hwy} | a_{hwz} | a_{hv} |
| Spindelbohrer | 2,8 | 10,9 | 10,4 | 15,3 |
| Kronenbohrer | 8,2 | 4,5 | 3,5 | 10,0 |
| Herstellerangabe | | 11 | | |

2.4 Abweichungen durch nicht praxisnahe Messbedingungen

Die für Labormessungen festgelegten Betriebsbedingungen können Messwerte erzeugen, die nicht für den Einzelfall in der Praxis repräsentativ sind, insbesondere wenn die Betriebsbedingungen auf einem Ersatzarbeitsverfahren basieren. Im Fall der Niet-hämmer (Abbildung 4) wird ein Kugelabsorber verwendet, der die Messungen während des Dauerbetriebes ermöglicht. Aus den Schwingungszeitverläufen nach Abbildung 5 sind die Unterschiede aus Labormessung und Praxismessung zu erkennen. Bei der Praxismessung werden die kurzen arbeitsbedingten Unterbrechungen in der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt. Daher können auch die Messwerte aus Arbeitsplatzmessungen nicht ohne Informationen zum Arbeitszyklus auf andere Arbeitsplätze übertragen werden.





Abbildung 4: Niethammer im Flugzeugbau

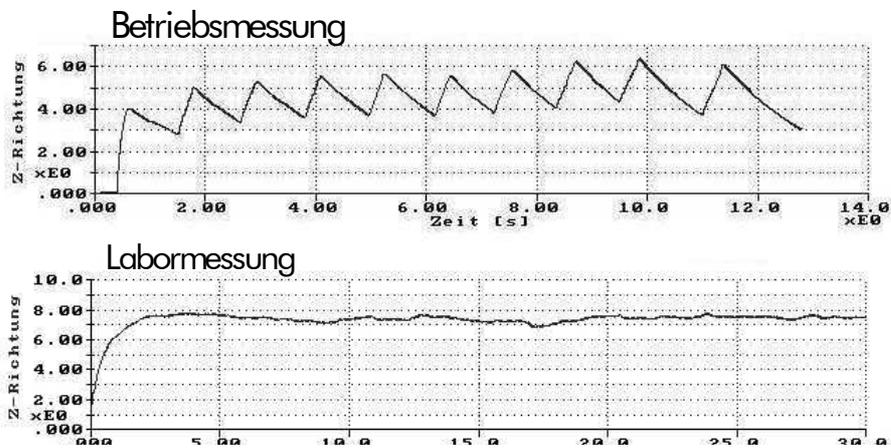


Abbildung 5: Schwingungszeitverläufe

Tabelle 3: Messergebnisse eines vibrationsgedämpften Niethammers

| | Bewertete Beschleunigung in m/s^2 | | | Schwingungsgesamtwert in m/s^2 a_{hv} |
|------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------------------|
| | a_{hwx} | a_{hwy} | a_{hwz} | |
| Betriebsmessung | 0,9 | 1,5 | 4,5 | 4,8 |
| Labormessung | | | 7,5 | |
| Herstellerangabe | | < 2,5 | | |

Das Ergebnis der Betriebsmessung (Tabelle 3) beruht auf mehreren Messreihen mit einem Nietzyklus von 10 Nieten in etwa 11 s.



2.5 Abweichungen bei Altgeräten

Abweichungen können durch schlechte Wartung oder Alterung der Geräte auftreten. Die Ermittlung der Vibrationskennwerte erfolgt im Labormessverfahren an neuwertigen Geräten.



Abbildung 6: Exzentrerschleifer in der Flugzeuglackierung

Die Ergebnisse von Exzentrerschleifern in der Flugzeuglackierung (Abbildung 6) zeigen an Altgeräten mit $a_{hw} = 13,7 \text{ m/s}^2$ gegenüber den Neugeräten mit $a_{hw} = 7,8 \text{ m/s}^2$ deutlich höhere Werte. Der Grund für diese Abweichungen können ausgeschlagene Lager sein, die zu höheren Schwingungen führen. Je nach Bauart des Gerätes können beispielsweise durch Rückgang der Leistung auch geringere Schwingungen auftreten.

2.6 Abweichungen bei innovativen neuen Geräten

Die Messnormen berücksichtigen nur zeitverzögert den aktuellen Stand der Technik. So wurde das Verhalten von neuen Geräten mit Antivibrationssystemen in den Prüf- und Betriebsbedingungen bisher nicht berücksichtigt (Abbildung 7). Beispielsweise beruht das Labormessverfahren für Schleifmaschinen auf einem Ersatzarbeitsverfahren mit einer definierten Unwuchtscheibe.

Schleifmaschinen mit hoch wirksamem Autobalancing-System erzeugen im Labormessverfahren bewertete Beschleunigungen von $a_{hw} = 1,4 \text{ m/s}^2$. Entsprechend der EG-Maschinenrichtlinie muss der Hersteller für diesen Fall nur angeben, dass die bewertete Beschleunigung unter $2,5 \text{ m/s}^2$ liegt. Mit dieser Schwingungsbelastung würde auch bei einer Exposition von täglich acht Stunden die Auslöseschwelle nicht erreicht werden.

Für praktische Schleifarbeiten mit Schleifscheiben mittlerer Unwucht wurden bewertete Beschleunigungen von $a_{hw} = 3,6 \text{ m/s}^2$ ermittelt. Wird berücksichtigt, dass der Schwingungsgesamtwert mit einem Faktor von 1,4 höher anzusetzen ist, so kann für dieses Beispiel eines vibrationsgedämpften Gerätes im praktischem Einsatz nicht grundsätzlich eine Gesundheitsgefährdung ausgeschlossen werden.





Abbildung 7: Schleifmaschine mit Antivibrationssystem

2.7 Weitere Abweichungen

In den oben beschriebenen Fällen wurde jeweils ein besonders typischer Aspekt der Abweichungsgründe behandelt. In der Mehrzahl der Fälle wird eine Kombination der verschiedenen Abweichungen in unterschiedlicher Ausprägung auftreten. Ebenfalls sind zu den bisherigen Betrachtungen möglicher Abweichungen die Ungenauigkeiten der Herstellerangabe aufgrund der Produkt- und Laborstreuung, die in EN 12096 [5] als Unsicherheit K zusammengefasst sind, hinzuzufügen.

So kann im Einzelfall der Schwingungsgesamtwert eines Gerätes unter praktischen Einsatzbedingungen um ein Vielfaches von dem vom Hersteller angegebenen Wert abweichen.

3 Abweichungen bei Arbeitsplatzmessungen

Zur Abschätzung der Ermittlungsgenauigkeit für Arbeitsplatzmessungen existieren keine Round-Robin-Tests, wie sie vergleichsweise zur Erarbeitung von Emissionsmessnormen üblich sind.

Die Richtlinie VDI 2057 Blatt 2 [6] gibt für den Teil der messgerätespezifischen Abweichungen einen Bereich von $\pm 20\%$ und für Sonderfälle $\pm 35\%$ an.

Im Rahmen der Erprobung der Norm ISO 5349-2 [7] wurden vom BIA und dem HSL Vergleichsmessungen an einem Kfz-Arbeitsplatz durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengefasst [8]. Sie zeigen Abweichungen des Schwingungsgesamtwertes von 21 % bis 33 %.



Tabelle 4: Vergleich der Messergebnisse von HSL und BIA

| Testperson | Arbeitsgang | HSL/BIA | Bewertete Beschleunigung in m/s^2 | | | | |
|------------|-------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|
| | | | a_{hwx} | a_{hwy} | $a_{h wz}$ | Schwingungsgesamtwert | |
| 1 | Lösen | HSL | 9.6 ± 1.7 | 16.5 ± 2.5 | 4.35 ± 0.5 | 19.6 ± 3.1 | |
| | | BIA | 6.3 | 10.6 | 4.5 | 13.1 | |
| | | Abweichung in % von HSL Werten | -34 % | -36 % | 5 % | -33 % | |
| | Anziehen | HSL | 12.8 ± 1.2 | 24.1 ± 5.0 | 4.1 ± 0.8 | 27.8 ± 4.8 | |
| | | BIA | 7.1 | 16.4 | 5.3 | 18.6 | |
| | | Abweichung in % von HSL Werten | -45 % | -32 % | 29 % | -33 % | |
| | 2 | Lösen | HSL | 7.4 ± 0.1 | 14.8 ± 0.1 | 3.6 ± 0.4 | 16.9 ± 0.1 |
| | | | BIA | 6.2 ± 0.3 | 10.9 ± 0.8 | 4.7 ± 0.1 | 13.4 |
| | | | Abweichung in % von HSL Werten | -16 % | -26 % | 31 % | -21 % |
| Anziehen | | HSL | 11.4 ± 3.0 | 25.3 ± 6.8 | 4.9 ± 0.5 | 28.2 ± 7.4 | |
| | | BIA | 9.8 ± 1.4 | 17.1 ± 2.0 | 5.5 ± 0.8 | 20.5 | |
| | | Abweichung in % von HSL Werten | -14 % | -32 % | 12 % | -27 % | |
| Mittelwert | | | -27 % | -32 % | 19 % | -29 % | |

Neben den unterschiedlichen Messketten und der Varianz der Arbeitsgänge sind als wesentliche Gründe für die Abweichungen die Wahl der Messpunkte und die Wahl der Messzeiten zu nennen.



Der Hersteller gibt den Vibrationskennwert mit $12,2 \text{ m/s}^2$ an. Als eine der Ursachen für diese Abweichungen wurde der höhere Pressluftbetriebsdruck festgestellt.

In der Berechnung der Tagesschwingungsbelastung wurden unterschiedliche Messzeiten bei der Ermittlung der Expositionszeit berücksichtigt. Die Ergebnisse des BIA A(8) = $1,36 \text{ m/s}^2$ und des HSL A(8) = $1,83 \text{ m/s}^2$ zeigen hier geringere Abweichungen.

4 Zusammenfassung

Zur Gefährdungsanalyse an Arbeitsplätzen ist die Verwendung von Herstellerangaben ohne Kenntnisse und fachliche Bewertung der für diese Angaben zu Grunde gelegten Emissionsmessnormen nicht möglich. Auch bei Arbeitsplatzmessungen sind die Messwertabweichungen (Messfehler) außerordentlich hoch. In der Gefährdungsbeurteilung muss die Ermittlungsgenauigkeit Berücksichtigung finden.

5 Literatur

- [1] Richtlinie 98/37/EG des europäischen Parlamentes und des Rates vom 22. Juni 1998 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen (konsolidierte Fassung der Richtlinie 89/392/EWG und der zugehörigen Änderungsrichtlinien). ABl. EG Nr. L 207 vom 23. Juli 1988, S. 1-46
in Deutschland umgesetzt als 9. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz (Maschinenverordnung – 9. GSGV) vom 12. Mai 1993, BGBl. I, S. 704 i.d.F. vom 28. September 1995, BGBl. I, S. 1213
- [2] 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 des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). Abl. EG Nr. L 177 vom 6. Juli 2002, S. 13-19
(im Internet: <http://europa.eu.int/eur-lex>)
- [3] Guideline for the assessment of exposure to hand-transmitted vibration based on information provided by manufacturers of machinery (in Vorbereitung)
- [4] Kaulbars, U.: Schwingungseinwirkung an Arbeitsplätzen von Steinmetzen, BIA-Report 9/96. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1996
- [5] DIN EN 12096: Mechanische Schwingungen – Angabe und Nachprüfung von Schwingungskennwerten (Deutsche Fassung EN 12096: 1997) (09.97). Beuth, Berlin 1997
- [6] VDI 2057: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Blatt 2: Hand-Arm-Schwingungen (09.02). Beuth, Berlin 2002



- [7] DIN EN ISO 5349-2: Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen. Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz (12.01). Beuth, Berlin 2001
- [8] Pitts, P.M. ; Hewitt, S.: Comparative measurements of hand-transmitted vibration on an Impact Wrench with BIA, Germany. Bericht-Nr. NV/01/12. Hrsg.: Health & Safety Laboratory, Buxton, UK

Wiedergegeben mit freundlicher Genehmigung des Verlages aus:
Kaulbars, U.: Hand-Arm-Schwingungs-Kennwerte nach Herstellerangaben und aus Arbeitsplatzmessungen – Abweichungen und Ursachen.
In: [VDI-Berichte](#) 1821, Humanschwingungen. VDI, Düsseldorf 2004
(Erstveröffentlichung)

