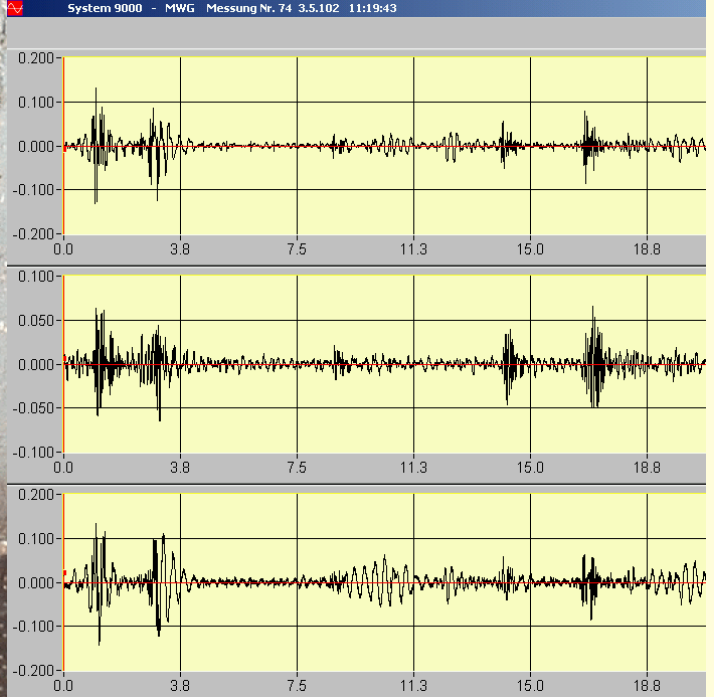
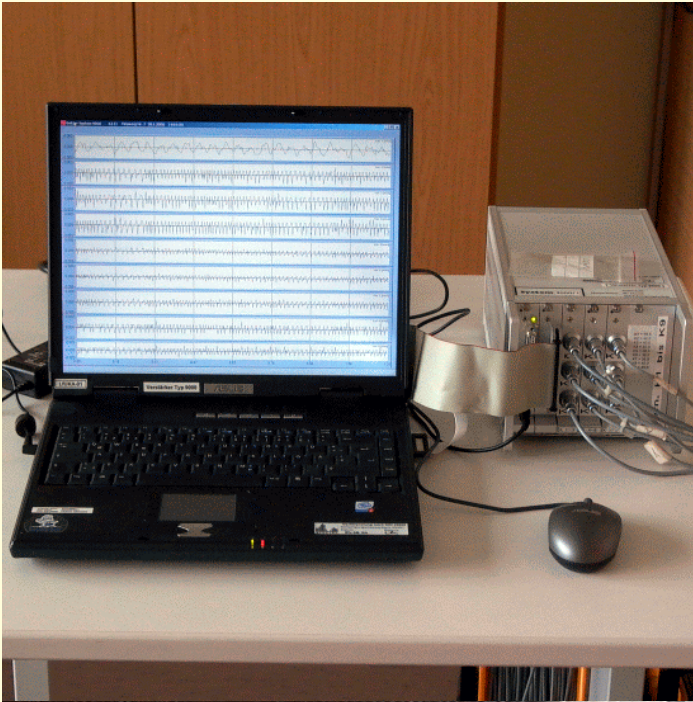


Messung und Beurteilung von Erschütterungsimmissionen



Technische Fachinformation



Baden-Württemberg
LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ



IMPRESSUM

Herausgeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) 76157 Karlsruhe · Postfach 21 07 52 www.lfu.baden-wuerttemberg.de
Bearbeitung	LfU Referat 33 – Luftqualität, Lärm, Verkehr Dipl.-Phys. Dr. Heinrich Menges Dipl.-Ing. (FH) Karl-Jürgen Kiesel
Bezug	Download als PDF-Datei unter www.lfu.baden-wuerttemberg.de , Menü Thema Lärm
Fotos	LfU Referat 33 – Luftqualität, Lärm, Verkehr
Datum	Januar 2005

1 Beurteilungsgrundlage

Nach § 3 Abs.1 BImSchG sind schädliche Umwelteinwirkungen Immissionen (hier Erschütterungen), die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. Bei der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen in Wohnungen, die durch Anlagen in einem benachbarten Betrieb hervorgerufen werden, sind somit die Anforderungen des Immissionsschutzrechts heranzuziehen.

Soweit Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden einwirken, sind diese Anforderungen in DIN 4150 Teil 2 "Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden" (Juni 1999) sowie in den LAI-Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungseinwirkungen (Mai 2000) konkretisiert.

Hinweis: Die DIN 4150 und die LAI-Hinweise sind weitgehend inhaltsgleich. Die Anhaltswerte "A" der DIN 4150 sind identisch mit den entsprechenden Immissionswerten "IW" der LAI-Hinweise.

Bei Einhaltung der dort niedergelegten Anforderungen und Anhaltswerte werden erhebliche Belästigungen von Menschen "in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen" in der Regel vermieden. Zur Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen in Wohngebäuden sind somit die Anhaltswerte nach Tabelle 1 der DIN 4150 Teil 2 bzw. die o. g. LAI-Hinweise einschlägig. Eventuell vorhandene Sekundäreffekte sind in den Anhaltswerten - soweit möglich - pauschal berücksichtigt.

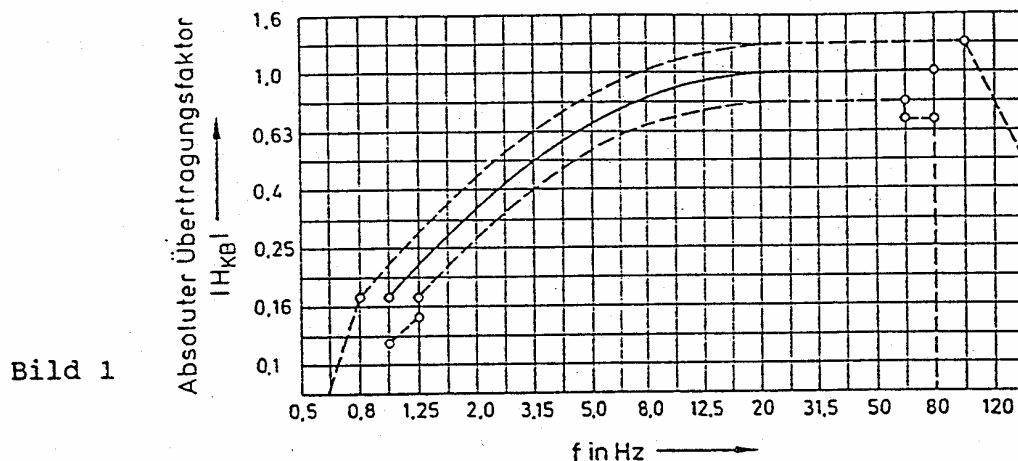
2 Beurteilungsgrößen

Bewertete Schwingstärke

Bevorzugte Ausgangsgröße nach DIN 4150 Teil 2 ist die Schwinggeschwindigkeit. Wird die Schwinggeschwindigkeit gemessen, so ist die Schwingungswahrnehmung des Menschen in weiten Bereichen frequenzunabhängig und nur proportional zum Messwert. Die Frequenzabhängigkeit bei niedrigen Frequenzen (unterhalb etwa 10 Hz) wird näherungsweise durch eine Filterfunktion berücksichtigt, welche die so genannte KB-Bewertung ergibt (Gl.1):

$$|H_{KB}(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (f_o / f)^2}} \quad (1) \quad \text{mit } f = \text{Frequenz und } f_o = 5,6 \text{ Hz}$$

Das nachfolgende Bild 1 zeigt den Amplitudenfrequenzgang $H_{KB}(f)$ des KB-Filters.

Amplitudenfrequenzgang $|H_{KB}|$ des KB-Filters ($f_0 = 5,6$ Hz) mit Toleranzfeld**Anmerkung:**

Dieses Filter realisiert keine Kurve gleicher Wahrnehmung, sondern ist eine Interpolation zwischen zwei unterschiedlichen Kurven für verschiedene Einwirkungsrichtungen. Der tatsächliche Grad der Wahrnehmung kann daher von Fall zu Fall niedriger liegen als der mittels dieses Filters ermittelte Wert von KB ausweist.

Außerdem werden die Frequenzen oberhalb 80 Hz durch ein Sperrfilter abgeschnitten (Bandbegrenzung), da diese Frequenzen bei Erschütterungseinwirkungen über das Gebäude auf den ganzen Körper keinen Beitrag zur Wahrnehmung liefern.

Von dem so frequenzbewerteten Signal wird der sog. gleitende Effektivwert gemäß Gl. 2 mit der Zeitkonstanten $\tau = 125$ ms gebildet. Diese Zeitkonstante ist die gleiche, die auch bei der Geräuschmessung in der Einstellung "fast" benutzt wird. Daher werden die auf der Basis dieses Effektivwertes ermittelten Größen mit dem Index F gekennzeichnet.

$$KB_F(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{\xi=0}^t e^{-\frac{t-\xi}{\tau}} \cdot KB^2(\xi) d\xi} \quad (2)$$

τ = 125 ms

ξ = Integrationsvariable

F = Fast, Abkürzung für $\tau = 125$ ms

Dieses bandbegrenzte und frequenzbewertete Signal wird als **bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$** bezeichnet und unterliegt in der Regel zeitlichen Schwankungen.

Der während der Beurteilungszeit erreichte höchste Wert der bewerteten Schwingstärke, die **maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}** , ist eine wichtige Beurteilungsgröße.

Beurteilungs-Schwingstärke

In manchen Fällen - insbesondere bei Einwirkungen von täglich kurzer Dauer - muss zusätzlich die so genannte **Beurteilungs-Schwingstärke** KB_{FTr} ermittelt werden.

KB_{FTr} wird ähnlich wie der Taktmaximalpegel und der Wirkpegel im Bereich des Lärms bestimmt:

Hierzu werden die Zeitabschnitte, während derer Erschütterungen auftreten, in Teilabschnitte von jeweils 30 s Dauer aufgeteilt (Bilder 3a und 3b) und der quadratische Mittelwert - der sog. Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} - aus den jeweiligen maximalen KB_F -Werten dieser Teilabschnitte $KB_{FT,i}$ berechnet:

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2} \quad (3)$$

Nach Gleichung 4 ist dann die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} zu berechnen:

$$KB_{FTr} = KB_{FTm} \sqrt{\frac{T_e}{T_r}} \quad (4)$$

N = Anzahl der Takte

T_e = tatsächliche Einwirkungszeit mit KB_{FTm}

T_r = Beurteilungszeit: 16 h tags und 8 h nachts

Bei der Ermittlung von KB_{FTm} ist für alle Takte mit $KB_{FT,i} < 0,1$ tatsächlich $KB_{FT,i} = 0$ zu setzen. Denn Erschütterungen mit $KB_F < 0,1$ sind in der Regel nicht wahrnehmbar und dürfen daher keinen Beitrag zu KB_{FTr} leisten.

Liegt von den Einwirkungen tags ein Teil 1 der Dauer $T_{e,1}$ außerhalb der so genannten Ruhezeiten und ein Teil 2 der Dauer $T_{e,2}$ innerhalb, dann errechnet sich KB_{FTr} aus den Teilbeiträgen zu:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r} \left(T_{e,1} \cdot KB_{FTm,1}^2 + 2 \cdot T_{e,2} \cdot KB_{FTm,2}^2 \right)} \quad (5)$$

wobei die Ruhezeiten mit dem Gewichtungsfaktor 2 eingehen. Ruhezeiten sind die Stunden von werktags 6 bis 7 und 19 bis 22 Uhr, sonn- und feiertags von 6 bis 22 Uhr. Analog zu Gleichung (5) kann KB_{FTr} auch aus einer noch größeren Zahl (j) einzelner Teilbeiträge mit verschiedenen Werten von $KB_{FTm,j}$ zusammengesetzt werden.

3 Messort

Als Messort (Immissionsort) ist die Stelle der stärksten Schwingungseinwirkung auf dem Fußboden eines Aufenthaltsraumes zu wählen. Für die vertikale Richtung ist dies in der Regel die Mitte des Deckenfeldes. Die Messung der horizontalen Komponenten x und y kann auch an anderen Stellen, z.B. dicht am aufgehenden Mauerwerk erfolgen.

4 Anhaltswerte und Beurteilung

Die Norm DIN 4150 Teil 2 (Juni 1999) enthält die folgende Tabelle mit je drei Anhaltswerten für Tag und Nacht in 5 verschiedenen Gebietseinstufungen.

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

5 Vorgehensweise bei der Beurteilung

Zuerst wird die maximale Bewertete Schwingstärke für die drei Richtungskomponenten x, y und z ermittelt. Der größte dieser Werte, KB_{Fmax} , wird mit den Anhaltswerten A_u und A_o der Tabelle 1 verglichen:

- Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert A_u , dann sind die Anforderungen dieser Norm eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der (obere) Anhaltswert A_o , dann sind die Anforderungen dieser Norm nicht eingehalten.
- Für selten auftretende und kurzzeitige Einwirkungen ist die Anforderung der Norm eingehalten, wenn KB_{Fmax} kleiner oder gleich A_o ist (siehe Abschnitt 6.5.1 DIN 4150-2, Juni 1999).
- Bei häufigeren Einwirkungen mit KB_{Fmax} größer A_u , aber kleiner A_o , ist zusätzlich zu prüfen, ob die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} kleiner ist als A_r . Ist dies der Fall, dann sind die Anforderungen der Norm ebenfalls eingehalten.

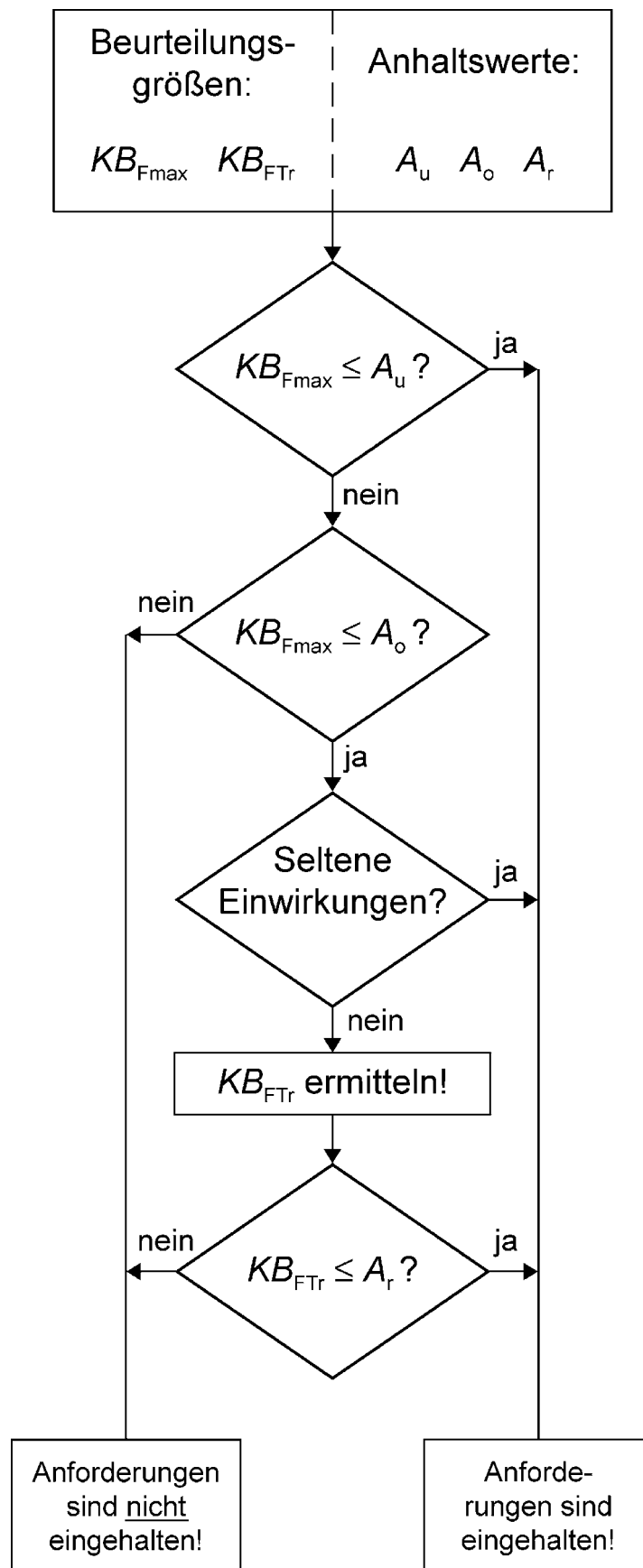
(siehe auch Ablaufdiagramm Bild 2):

Anmerkung: Das A_r -Kriterium dient einer angemessenen Beurteilung stark schwankender und/oder nur kürzere Zeit einwirkender Erschütterungen, deren KB_{Fmax} -Wert größer als A_u , aber kleiner als A_o ist. Für Einwirkungen mit relativ geringen Schwankungen der Taktmaximalwerte wird das A_r -Kriterium nur dann eingehalten, wenn die Einwirkungen kürzer als 4 Stunden am Tage bzw. 2 Stunden in der Nacht sind. Deutlich längere Einwirkungszeiten führen in derartigen Fällen grundsätzlich zur Überschreitung von A_r .

Wichtig: Vor einem Vergleich der ermittelten Schwingstärken mit den entsprechenden Anhaltswerten sind die gemessenen Werte um 15% zu reduzieren, da mit Messunsicherheiten in dieser Größe gerechnet werden muss.

Das dargestellte Beurteilungsverfahren ist grundsätzlich für alle Arten von Erschütterungseinwirkungen anwendbar. Es gibt jedoch Sonderregelungen für sehr seltene Einwirkungen wie z.B. Sprengungen in Steinbrüchen, für den Schienenverkehr sowie für Baustellenerschütterungen. Hierzu ist auf die Norm zu verweisen.

Bild 2: Ablaufdiagramm für die Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2 (Juni 1999)



6 Beurteilungsbeispiel Hammerschmiede

Ausgangssituation:

Erschütterungsquellen: Abwechselnder Betrieb zweier Schmiedehämmer mit unterschiedlicher Leistung (Hammer a und Hammer b).

Arbeitszeit der Firma: Werktags 7:00 Uhr bis 19:00 Uhr

Betriebszeit: Hammer a, täglich 6 Stunden.
Hammer b, täglich 1,5 Stunden.

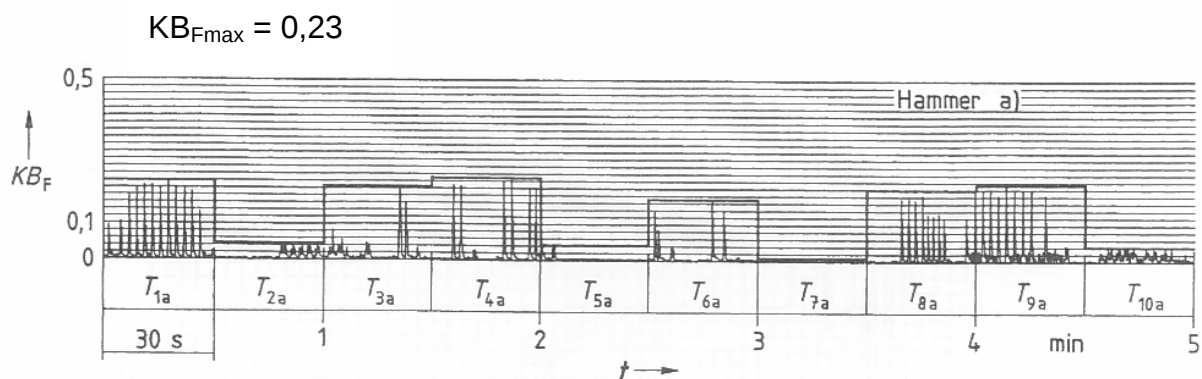
Immissionsort: In der Umgebung sind vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht

Anhaltswerte: $A_u = 0,3$, $A_o = 6$, $A_r = 0,15$,

Messrichtung: Die vertikale Richtungskomponente sei jeweils dominierend und daher für die Beurteilung maßgebend)

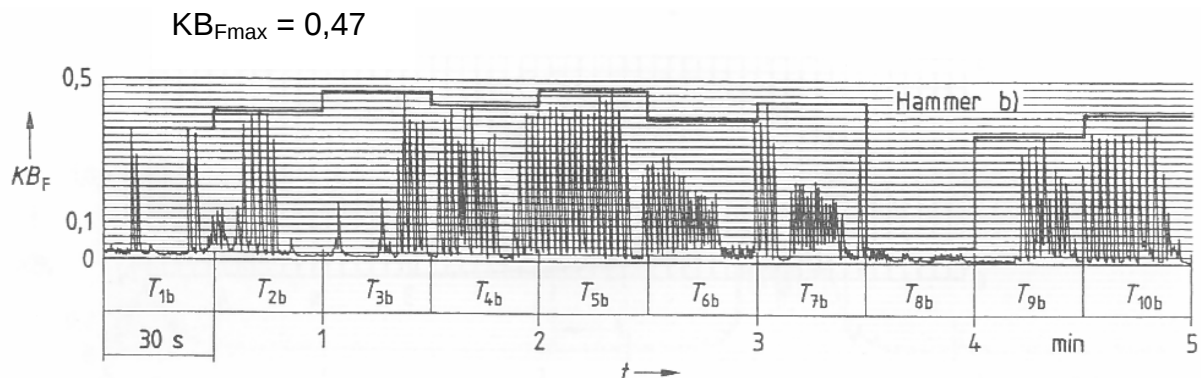
Messzeit T_m : Je Hammer 5 Minuten (10 Takte, siehe Bilder 3a und 3b)
Die dargestellten Zeitverläufe der Bewerteten Schwingstärke seien jeweils repräsentativ für die gesamte Einwirkungsdauer.

Bild 3a Zeitverlauf der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ mit Bestimmung der Taktmaximalwerte KB_{FTi} für Schmiedehammer a



i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$KB_{FTi a}$	0,22	0,04	0,20	0,23	0,04	0,17	0,01	0,20	0,21	0,04

Bild 3b Zeitverlauf der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ mit Bestimmung der Taktmaximalwerte KB_{FTi} für Schmiedehammer b



i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$KB_{FTi\ b}$	0,36	0,41	0,46	0,43	0,47	0,39	0,44	0,04	0,35	0,41

Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen

Schritt 1: Ermittlung von KB_{Fmax} und Vergleich mit A_u

Hammer a: $KB_{Fmax} = 0,23 < A_u = 0,3$ Anhaltswert A_u eingehalten!

Hammer b: $KB_{Fmax} = 0,47 > A_u = 0,3$
 $KB_{Fmax} = 0,47 - 15\% = 0,40 > A_u = 0,3$ Anhaltswert A_u überschritten!

Schritt 2: KB_{Fmax} vergleichen mit A_0 .

Hammer b: $KB_{Fmax} = 0,47 < A_0 = 6$ Anhaltswert A_0 eingehalten!

Schritt 3: KB_{FTm} ermitteln.

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2}$$

Bei der Berechnung von KB_{FTm} sind Werte $KB_{FTi} \leq 0,1$ mit dem Wert 0 einzusetzen!

Dies betrifft die Takte T_2 , T_5 , T_7 , T_{10} (Hammer a) sowie T_8 (Hammer b)

Damit ergibt sich:

$$KB_{FTma} = \sqrt{\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} KB_{FTia}^2} = 0,16 \quad \text{Hammer a}$$

$$KB_{FTmb} = \sqrt{\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} KB_{FTib}^2} = 0,39 \quad \text{Hammer b}$$

Schritt 4: KB_{FTr} ermitteln und vergleichen mit A_r

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r} * (T_{ea} * KB_{FTma}^2 + T_{eb} * KB_{FTmb}^2)}$$

dabei ist:

T_{ea}	= 6 h	(Einwirkungszeit Hammer a)
T_{eb}	= 1,5 h	(Einwirkungszeit Hammer b)
T_r	= 16 h	(Beurteilungszeit für den Tag)
KB_{FTma}	= Taktmaximal - Effektivwert Hammer a	
KB_{FTmb}	= Taktmaximal - Effektivwert Hammer b	

Zahlenwerte eingesetzt:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{16} * (6 * 0,16^2 + 1,5 * 0,39^2)} = 0,15$$

Ergebnis:

$KB_{FTr} = 0,15 - 15\% = 0,13 \leq A_r = 0,15$

Die Anforderung der Norm ist eingehalten !

7 Literatur

DIN 4150 Teil 2 "Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden" (Juni 1999)

LAI-Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungseinwirkungen (Mai 2000)

DIN 45669 Teil 2 "Messung von Schwingungsimmissionen; Messverfahren" (Juni 1995)

ÖNORM S 9010 Bewertung der Einwirkung mechanischer Schwingungen und Erschütterungen auf den Menschen; ganzer Körper

ISO 2631-1; Evaluation of human exposure to whole-body vibrations – Part 1: General requirements.

ISO 2631-2: 1989, Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 2: Continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz)

ISO 6897-1984 (E) Guidelines for the evaluation of the response of occupants of fixed structures, especially buildings and off-shore structures, to low frequency horizontal motion (0,063 to 1 Hz)

H. Splittgerber, Messung und Beurteilung von Erschütterungsimmissionen – Vergleich verschiedener Verfahren – LIS-Berichte Nr. 61 (1986)

H. Findeis, Die Bewertung von Schwingungseinwirkungen in Wohnungen, Z. gesammte Hyg. 33 (1987), 147 – 149

H. Splittgerber, Wahrnehmungsschwelle für sinusförmige Ganzkörperschwingungen, Z. f. Lärmbekämpfung 37 (1990) 61 – 68

T. Meloni, H. Krueger, Wahrnehmung und Empfindung von kombinierten Belastungen durch Lärm und Vibrationen, Z. f. Lärmbekämpfung 37 (1990) 170 – 175