

# Erschütterungen im Bauwesen

## Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

**DIN**  
4150-2

ICS 13.160; 91.120.25

Ersatz für  
Ausgabe Dezember 1992

Vibrations in buildings — Part 2: Effects on persons in buildings

Vibrations aux bâtiments — Partie 2: Effets sur personnes dans les bâtiments

### Inhalt

	Seite
Vorwort .....	1
1 Anwendungsbereich .....	2
2 Normative Verweisungen .....	2
3 Definitionen .....	2
4 Allgemeine Hinweise zur Beurteilung der Belästigung von Menschen in Gebäuden durch Erschütterungsimmissionen .....	4
5 Hinweise zur Messung .....	4
6 Beurteilung der Erschütterungsimmissionen .....	5
7 Näherungsverfahren zur Ermittlung der Beurteilungsgrößen aus direkten Erschütterungsregistrierungen .....	9
8 Meßbericht .....	10
Anhang A (informativ) Ermittlung der Erschütterungsimmissionen durch Schienenverkehr .....	11
Anhang B (informativ) Flußdiagramm für die Bewertung von Erschütterungen durch Baumaßnahmen .....	12
Anhang C (informativ) Beispiele .....	13
Anhang D (informativ) Erläuterungen .....	18
Anhang E (informativ) Literaturhinweise .....	21

### Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuß 00.50.00 „Schwingungsfragen im Bauwesen; Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ des NABau erarbeitet.

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ besteht aus:

- Teil 1: Grundsätze, Vorermittlung und Messung von Schwingungsgrößen
- Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
- Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Fortsetzung Seite 2 bis 21

Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.  
Normenausschuß Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI

## Änderungen

Gegenüber der Ausgabe Dezember 1992 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Es wurden neue Festlegungen zu Erschütterungen bei Baumaßnahmen und durch Schienenverkehr in die Norm aufgenommen.
- b) Ferner wurden die Anhänge A, B und E neu aufgenommen.
- c) Die Erläuterungen wurden als Anhang D und die Beispiele im Anhang C aufgenommen.
- d) Die bisherigen Beispiele 9 und 10 entfallen.
- e) Die Norm wurde redaktionell überarbeitet.

## Frühere Ausgaben

DIN 4150: 1939-07  
DIN 4150-2: 1975-09, 1992-12

## 1 Anwendungsbereich

Diese Norm enthält Angaben für die Beurteilung von Erschütterungen im Frequenzbereich von 1 Hz bis 80 Hz, die in Gebäuden auf Menschen einwirken. Mit Hilfe des in dieser Norm beschriebenen Beurteilungsverfahrens können beliebige periodische und nichtperiodische Schwingungen beurteilt werden.

Zweck der Norm ist die angemessene Berücksichtigung des Erschütterungsschutzes im Immissionsschutz. Es werden Anforderungen und Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung erwartet werden kann, daß in der Regel erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden.

Schwingende Bauteile können auch zur Abstrahlung von sekundärem Luftschall führen; dieser kann nach der vorliegenden Norm nicht beurteilt werden.

## 2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

- DIN 1311  
Schwingungslehre
- DIN 4150-2 : 1975-09  
Erschütterungen im Bauwesen — Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
- DIN 4150-3  
Erschütterungen im Bauwesen — Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen
- DIN 45669-1  
Messung von Schwingungsimmissionen — Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung
- DIN 45669-2  
Messung von Schwingungsimmissionen — Teil 2: Meßverfahren

DIN EN 60651  
Schallpegelmesser (IEC 60651 : 1979 + A1 : 1993);  
Deutsche Fassung EN 60651 : 1994 + A1 : 1994

VDI 2057 Blatt 1  
Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen — Grundlagen, Gliederung, Begriffe

VDI 2057 Blatt 2 : 1987-05  
Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen — Bewertung

VDI 2057 Blatt 3  
Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen — Beurteilung

BauNVO  
Baunutzungsverordnung — BauNVO i. d. F. vom 23.01.1990 (BGBl. I, S. 132)

16. BImSchV  
Verkehrslärmschutzverordnung — Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 12. Juni 1990 (BGBl. I, S. 11036), zuletzt geändert am 25. September 1990 durch das sechste Überleitungsgesetz (BGBl. I, S. 2106)

## 3 Definitionen

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Definitionen nach DIN 1311 und die folgenden:

### 3.1

#### Erschütterungen

Mechanische Schwingungen fester Körper mit potentiell schädigender oder belästigender Wirkung.

### 3.2

#### Erschütterungsimmissionen

Die an Meßorten nach 5.2 auftretenden Schwingungen.

### 3.3

#### unbewertetes Erschütterungssignal

Das der Schwingschnelle  $v(t)$  proportionale und bandbegrenzte Signal nach DIN 45669-1 im Arbeitsfrequenzbereich von 1 Hz bis 80 Hz.

### 3.4 frequenzbewertetes Erschütterungssignal $KB(t)$

Es ergibt sich aus dem unbewerteten Erschütterungssignal (siehe 3.3) durch die Frequenzbewertung (Filterung) nach DIN 45669-1. Die Gleichung für den Amplitudenfrequenzgang lautet:

$$|H_{KB}(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (f_0/f)^2}} \quad (1)$$

Dabei ist:

$f_0$  5,6 Hz (Grenzfrequenz des Hochpasses);

$f$  die Frequenz, in Hz.

ANMERKUNG: Diese Frequenzbewertung ist keine Kurve gleicher Wahrnehmung, sondern eine Bezugsbewertungskurve. Sie wird herangezogen für die Bewertung bei nicht vorgegebener Körperhaltung und setzt sich zusammen aus Elementen der Bewertungen für die Einwirkungen im Stehen und Sitzen. (Siehe VDI 2057 Blatt 2 : 1987-05, Abschnitt 5.)

### 3.5 zeitbewertete Erschütterungssignale

#### 3.5.1 bewertete Schwingstärke $KB_\tau(t)$

Der gleitende Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals nach Gleichung (2).

$$KB_\tau(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^t e^{-\frac{t-\xi}{\tau}} \cdot KB^2(\xi) d\xi} \quad (2)$$

Die Zeitkonstante ist  $\tau = 0,125$  s (siehe auch DIN 45669-1).

Als Formelzeichen für die bewertete Schwingstärke wird bei Verwendung von  $\tau = 0,125$  s verwendet:  $KB_F(t)$ .

ANMERKUNG 1: Der „gleitende Effektivwert“ nach Gleichung (2) ist zu jedem Zeitpunkt der Beobachtung  $t$  durch alle zurückliegenden Signalanteile mit zeitlich exponentiell abklingendem Gewicht bestimmt.

ANMERKUNG 2: Diese Definition des „gleitenden Effektivwertes“ liegt z. B. auch der Festlegung der Zeitbewertung „F“ der Anzeige bei der Messung des Schallpegels zugrunde (siehe auch DIN EN 60651).

ANMERKUNG 3: Bei sinusförmigen Erschütterungen und Frequenzen von  $f > 10$  Hz ist  $KB_F(t)$  praktisch konstant und gleich dem Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals. Für tiefere Frequenzen schwankt  $KB_F(t)$  periodisch um den Effektivwert. Die Amplitude dieser Schwankungen nimmt mit abnehmender Frequenz zu. Dieser Einfluß ist bei der Festlegung der Anhaltswerte berücksichtigt.

#### 3.5.2 maximale bewertete Schwingstärke $KB_{Fmax}$

Maximalwert von  $KB_F(t)$ , der während der jeweiligen Beurteilungszeit (einmalig oder wiederholt) auftritt und der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist.

#### 3.5.3 Taktmaximalwert $KB_{FTi}$

Die Meßzeit wird in Takte von je  $T = 30$  s eingeteilt. Jedem dieser Takte wird der darin erreichte Maximalwert der bewerteten Schwingstärke  $KB_F(t)$  zugeordnet (siehe Bild 1). Mit dem Index  $i$  werden die Takte numeriert.

Bei wiederholten Erschütterungseinwirkungen, welche kürzer als ein oder wenige 30-s-Takte sind und die von wesentlich längeren Einwirkungspausen unterbrochen werden — wie z. B. beim Schienenverkehr —, darf der Beginn der Takte jeweils an den Beginn der Ereignisse gelegt werden, so daß die Anzahl der belegten Takte minimiert wird.

#### 3.6 Taktmaximal-Effektivwert $KB_{FTm}$

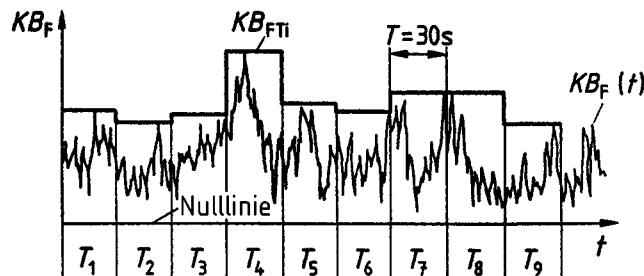
Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte  $KB_{FTi}$  nach Gleichung (3).

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

Dabei ist:

$N$  die Anzahl der Takte.

Bei Anwendung der Gleichung (3) sind Werte  $KB_{FTi} \leq 0,1$  mit dem Wert 0 einzusetzen. Jedoch gehen auch diese Takte in die Anzahl  $N$  ein.



$t$  Zeit  
 $T$  Taktzeit

Bild 1: Ermittlung der Taktmaximalwerte  $KB_{FTi}$

### 3.7

#### Zeiten

##### 3.7.1

###### Meßzeit $T_m$

Die Meßzeit  $T_m = N/120$  h ist die Zeit, über die die Mittelwertbildung mit einem Meßsignal erfolgt. Sie ist in der Regel kürzer als die Beurteilungszeit. Die Meßzeit kann aus mehreren Teilmeßzeiten bestehen.

##### 3.7.2

###### Einwirkungszeit $T_e$

Summe aller Taktzeiten, während deren Erschütterungen einwirken; sie kann in Teileinwirkungszeiten  $T_{ej}$  unterteilt werden, z. B. zur Beschreibung von unterschiedlichen Erschütterungsimmissionen.

##### 3.7.3

###### Beurteilungszeit $T_r$

Diejenige Zeit, auf die die tatsächliche tägliche Erschütterungseinwirkung bezogen wird. Sie beträgt tags 16 h (6.00 bis 22.00 Uhr) und nachts 8 h (22.00 bis 6.00 Uhr).

##### 3.7.4

###### Ruhezeiten

Innerhalb der Beurteilungszeit werden tags folgende Ruhezeiten definiert:

- werktags von 6.00 bis 7.00 Uhr und von 19.00 bis 22.00 Uhr,
- sonn- und feiertags von 6.00 bis 22.00 Uhr.

### 3.8

#### Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FT_r}$

Taktmaximal-Effektivwert über die Beurteilungszeit unter Berücksichtigung eines Gewichtungsfaktors für Einwirkungen, die in Ruhezeiten fallen (siehe 6.4.2).

### 3.9

#### Sekundäreffekte

Die durch einwirkende Erschütterungen im betrachteten Raum verursachten sichtbaren Bewegungen von Gegenständen oder hörbaren Geräusche werden als „Sekundäreffekte“ bezeichnet. Dazu gehören z. B.:

- sichtbare Schwingungsbewegungen von Lampen, Bildern, Pflanzen;
- hörbares Klappern von Türen, Fenstern usw.; Vibrieren von Gläsern, Geschirr, Töpfen;
- Wandern von Gläsern, Geschirr in Schränken oder auf Regalen.

ANMERKUNG: Der von schwingenden Raumbegrenzungsflächen abgestrahlte sekundäre Luftschall wird nach Geräusch-Richtlinien beurteilt.

## 4 Allgemeine Hinweise zur Beurteilung der Belästigung von Menschen in Gebäuden durch Erschütterungsimmissionen

Grundsätzlich sollte der Mensch in Gebäuden, insbesondere in Wohnungen, so wenig wie möglich wahrnehmbaren Erschütterungen ausgesetzt werden. Wahrnehmbare Erschütterungen sind jedoch nach dem Stand der Technik nicht immer zu vermeiden.

Art und Grad der individuellen Beeinträchtigung und Belästigung durch Erschütterungen hängen vom Ausmaß

der Erschütterungsbelastung und deren Wechselwirkung mit individuellen Eigenschaften und situativen Bedingungen des betroffenen Menschen ab.

Die Belästigung des Menschen durch Erschütterungen hängt insbesondere von folgenden Faktoren ab:

- der Größe (Stärke) der auftretenden Erschütterungen;
- der Frequenz;
- der Einwirkungsdauer;
- der Häufigkeit und Tageszeit des Auftretens und der Auffälligkeit (Überraschungseffekt);
- der Art und Betriebsweise der Erschütterungsquelle.

Von den individuellen Eigenschaften und den situativen Bedingungen sind unter anderem von Bedeutung:

- der Gesundheitszustand (physisch, psychisch);
- die Tätigkeit während der Erschütterungsbelastung;
- der Grad der Gewöhnung;
- die Einstellung zum Erschütterungserzeuger;
- die Erwartungshaltung in bezug auf ungestörtes Wohnen, die unter Umständen von der Art des Wohngebietes (Wohnumfeld) abhängig ist;
- die Sekundäreffekte (siehe 3.9).

Das Beurteilungsverfahren dieser Norm berücksichtigt die Belästigung in nachfolgend beschriebener Weise.

Die Erschütterungsimmissionen werden an Meßorten zur Beurteilung der Schwingungen (siehe 5.2) ermittelt.

Aus den unbewerteten Erschütterungssignalen wird die bewertete Schwingstärke  $KB_F(t)$  gewonnen. Für die Beurteilungszeit wird daraus die maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{Fmax}$  und, falls erforderlich, die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FT_r}$  bestimmt und mit Anhaltswerten verglichen, die nach Einwirkungsorten entsprechend der baulichen Nutzung ihrer Umgebung und nach der Tageszeit des Auftretens unterteilt sind. Somit werden auch Einflüsse der Ortsüblichkeit und der Zeitpunkt des Auftretens der Erschütterungen berücksichtigt.

Der Grad der Belästigung ist von individuellen und situativen Bedingungen abhängig. Belästigungen sind nur auszuschließen, wenn die einwirkenden Erschütterungen nicht wahrnehmbar sind. Erhebliche Belästigungen liegen im allgemeinen nicht vor, wenn die Anhaltswerte dieser Norm eingehalten werden.

Bei Einhaltung der in dieser Norm in Tabelle 1 genannten Anhaltswerte ist zu erwarten, daß auch die Sekundäreffekte in der Regel nicht zu einer erheblichen Belästigung führen. Treten dennoch in Einzelfällen, z. B. bei horizontalen Bauwerksschwingungen mit Frequenzen unterhalb von etwa 8 Hz, erhebliche Sekundäreffekte auf (z. B. durch Resonanzen), so kann eine spezielle Untersuchung und Beurteilung notwendig werden.

Bei Baumaßnahmen ist insbesondere zu berücksichtigen, daß die Einwirkungen zeitlich begrenzt sind. In vielen Fällen ist es notwendig, ein Verfahren einzusetzen, welches zur Erreichung des Arbeitszieles Erschütterungen in den Baugrund einleiten muß. Daher sind für diesen Fall andere Maßstäbe hinsichtlich der Bewertung der Erheblichkeit und Zumutbarkeit anzulegen als bei Erschütterungseinwirkungen durch stationäre Anlagen, die grundsätzlich zeitlich unbegrenzt auf die Umgebung einwirken. Näheres hierzu siehe in Anhang D, zu 6.5.4.

## 5 Hinweise zur Messung

### 5.1 Meßgeräte

Für die Erschütterungsmessungen sind Schwingungsmesser nach DIN 45669-1 einzusetzen. Vorzugsweise sollten Schwingungsmesser DIN 45669 — A3HV 80/1

oder Schwingungsmesser DIN 45669 — B3HV 80/1 verwendet werden; für Erschütterungsmessungen an Schienenverkehrswegen ist in der Regel ein Schwingungsmesser mit einer unteren Frequenzgrenze von 4 Hz ausreichend.

Wenn die zu messenden Erschütterungen hinreichend stationär sind, dürfen die einzelnen Raumrichtungen mit einkanalen Geräten nacheinander gemessen werden.

Für die Aufstellung und Ankopplung der Meßgeräte gilt DIN 45669-2.

## 5.2 Meßrichtungen und Meßorte

Die Messung der Schwingungsgrößen muß in vertikaler Richtung ( $z$ ) und zwei zueinander rechtwinkligen, horizontalen Richtungen ( $x$  und  $y$ ) (meist parallel zu den Gebäudeaußenwänden) erfolgen. Sie muß auf dem Fußboden des zu untersuchenden Raumes vorgenommen werden, und zwar an den Stellen, an denen die stärksten Erschütterungen zu erwarten sind. Dies ist bei Erschütterungen in vertikaler Richtung meistens die Mitte des Deckenfeldes. Die Messung der Schwingungsgrößen in den horizontalen Richtungen darf auch in oder dicht an aufgehenden Bauteilen, z. B. Wänden mit Tür- oder Fensternischen, vorgenommen werden. Sind Messungen auf Fußbodenbelägen, Teppichen und dergleichen unvermeidbar, so ist das Meßverfahren bezüglich der Ankopplung von Schwingungsaufnehmern bei weichen Unterlagen nach DIN 45669-2 anzuwenden.

## 5.3 Meßzeit

Die Meßzeit muß die kennzeichnende Erschütterungseinwirkung erfassen. Die Meßergebnisse untypischer Zustände sind als solche zu kennzeichnen. Die Meßzeit richtet sich nach der Regelmäßigkeit des zeitlichen Verlaufs der Erschütterungen und kann kurz gegenüber der Einwirkungs- und der Beurteilungszeit sein.

## 5.4 Meßwerte

Von den zu beurteilenden Erschütterungseinwirkungen müssen die maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{Fmax}$  und, falls erforderlich, die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTr}$  getrennt für die Beurteilungszeiten tags und nachts bestimmt werden.

In Ruhezeiten fallende Erschütterungen sind gesondert zu erfassen.

Bei der Ermittlung von  $KB_{F-}$ -bewerteten Größen treten erfahrungsgemäß meßtechnisch bedingte Unsicherheiten bis etwa 15 % auf.

# 6 Beurteilung der Erschütterungsimmissionen

## 6.1 Beurteilungsgrößen

Es gibt zwei Beurteilungsgrößen:

- $KB_{Fmax}$ , die maximale bewertete Schwingstärke nach 3.5.2;
- $KB_{FTr}$ , die Beurteilungs-Schwingstärke nach 3.8 und 6.4.

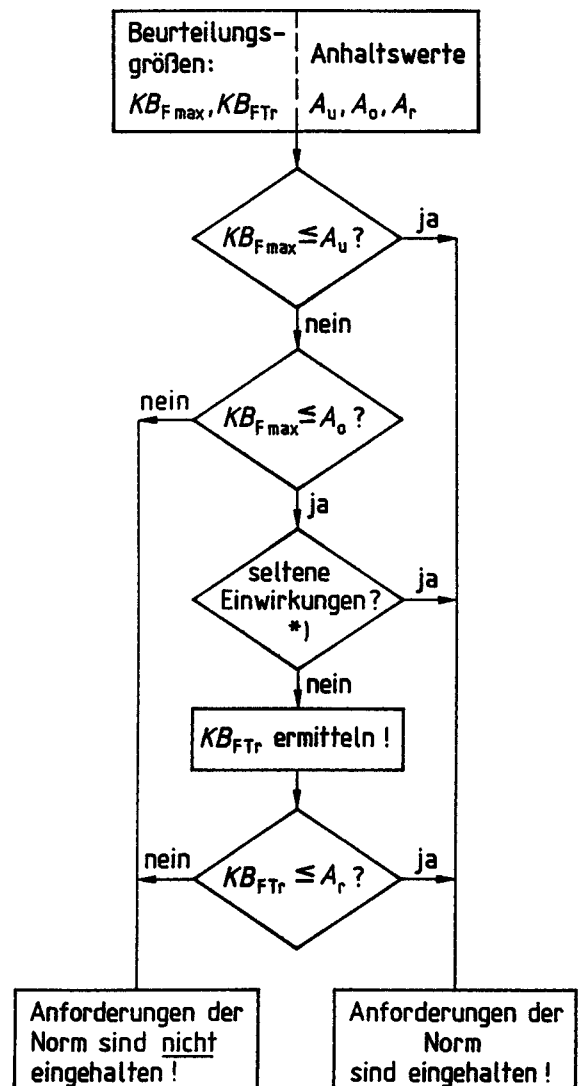
Die beiden Beurteilungsgrößen sind getrennt für die drei Richtungskomponenten  $x$ ,  $y$  (horizontal) und  $z$  (vertikal) zu ermitteln. Die jeweils größte der drei ist der Beurteilung zugrunde zu legen.

## 6.2 Verfahren

Die Beurteilungsgrößen sind — soweit erforderlich — zu ermitteln und mit den Anhaltswerten  $A$  nach Tabelle 1 zu vergleichen. Siehe hierzu das Flußdiagramm Bild 2.

Im ersten Schritt werden die maximalen bewerteten Schwingstärken für die drei Richtungskomponenten  $x$ ,  $y$  und  $z$  ermittelt. Der größte dieser drei Werte ist mit den Anhaltswerten  $A_u$  und  $A_o$  nach Tabelle 1 zu vergleichen:

- Ist  $KB_{Fmax}$  kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert  $A_u$ , dann ist die Anforderung dieser Norm eingehalten.
- Ist  $KB_{Fmax}$  größer als der (obere) Anhaltswert  $A_o$ , dann ist die Anforderung dieser Norm nicht eingehalten.
- Für selten auftretende, kurzzeitige Einwirkungen ist die Anforderung der Norm eingehalten, wenn  $KB_{Fmax}$  kleiner als  $A_o$  ist (siehe 6.5.1).



\*) Siehe 6.5.1

Bild 2: Flußdiagramm für das Beurteilungsverfahren

- Für häufige Einwirkungen, bei denen  $KB_{Fmax}$  größer als  $A_u$ , aber kleiner als  $A_o$  ist, ist in besonderen Fällen ein weiterer Prüfschritt für die Entscheidung erforderlich, nämlich die Bestimmung der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTr}$  nach 6.4. Ist  $KB_{FTr}$  nicht größer als der Anhaltswert  $A_r$  ( $A_r$  ist der Anhaltswert zum Vergleich mit Beurteilungs-Schwingstärken) nach Tabelle 1, dann sind die Anforderungen der Norm ebenfalls eingehalten.

Dieses Verfahren ist grundsätzlich für alle Arten von Erschütterungseinwirkungen anzuwenden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Anhaltswerte nicht schematisch anzuwenden sind und eine Beurteilung jeweils im Einzelfall — auch unter Berücksichtigung der Meßunsicherheiten der  $KB$ -bewerteten Größen (siehe Beispiel 3) — zu erfolgen hat.

Einige quellenspezifische Regelungen werden in 6.5 behandelt.

**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 h am Tag bzw. 2 h in der Nacht sind. Für deutlich längere Einwirkungszeiten erübrigt sich daher in der Regel die Bestimmung von  $KB_{FTr}$ . Siehe hierzu auch Beispiel 2 im Anhang C.

### 6.3 Anhaltswerte

Die Tabelle 1 enthält Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen, die in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen auftreten.

### 6.4 Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FTr}$

#### 6.4.1 Einwirkungen außerhalb von Ruhezeiten

Die Beurteilungs-Schwingstärke wird nach den Gleichungen (4a) oder (4b) gebildet:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r} \sum_j T_{e,j} KB_{FTm,j}^2} \quad (4a)$$

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

Dabei ist:

$T_r$  die Beurteilungszeit (tags 16 h, nachts 8 h);

$T_e$  die Einwirkungszeit außerhalb von Ruhezeiten;

$T_{e,j}$  die Teileinwirkungszeiten außerhalb von Ruhezeiten;

$KB_{FTm}$  und  $KB_{FTm,j}$  der (die) Taktmaximal-Effektivwert(e) nach Gleichung (3), die für die Einwirkungszeit  $T_e$  oder Teileinwirkungszeiten  $T_{e,j}$  repräsentativ sind.

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

Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		$A_u$	$A_o$	$A_r$	$A_u$	$A_o$	$A_r$
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, § 9).	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, § 8).	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5).	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2).	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebieteinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Gleichung (4a) wird angewendet, wenn sich die Gesamteinwirkung aus mehreren Abschnitten unterschiedlich starker Erschütterungsimmissionen der Dauer  $T_{e,j}$  mit dafür repräsentativen Werten  $KB_{FTm,j}$  zusammensetzt. Gleichung (4b) gilt für den Fall, daß sich die gesamte Erschütterungsimmission während der Beurteilungszeit durch einen einzigen repräsentativen Wert von  $KB_{FTm}$  beschreiben läßt.

#### 6.4.2 Einwirkungen auch während der Ruhezeiten

Erschütterungseinwirkungen während der Ruhezeiten nach 3.7.4 führen in Wohnungen zu erhöhten Störwirkungen. Bei der Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke wird dies dadurch berücksichtigt, daß diese Zeiten mit dem Faktor 2 gewichtet werden. Dadurch ergibt sich der Wert der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTr}$  nach Gleichung (5) zu:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r} (T_{e1} \cdot KB_{FTm1}^2 + 2 T_{e2} \cdot KB_{FTm2}^2)} \quad (5)$$

Dabei ist:

- $T_r$  die Beurteilungszeit;
- $T_{e1}$  die Einwirkungszeit außerhalb von Ruhezeiten;
- $T_{e2}$  die Einwirkungszeit während der Ruhezeiten;
- $KB_{FTm1}$  der Taktmaximal-Effektivwert außerhalb der Ruhezeiten;
- $KB_{FTm2}$  der Taktmaximal-Effektivwert während der Ruhezeiten.

Erforderlichenfalls kann die Gleichung (5) analog zu Gleichung (4a) durch Glieder für weitere Teileinwirkungszeiten ergänzt werden.

### 6.5 Quellenspezifische Regelungen

#### 6.5.1 Selten auftretende, kurzzeitige Erschütterungen

Bei selten auftretenden und nur kurzzeitig einwirkenden Erschütterungen bis zu 3 Ereignissen je Tag, z. B. Sprengerschütterungen, gilt die Anforderung als eingehalten, wenn die maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{Fmax}$  kleiner oder gleich dem (oberen) Anhaltswert  $A_o$  nach Tabelle 1 ist. Die Ermittlung von  $KB_{FTr}$  und der Vergleich mit  $A_r$  entfällt.

Dies gilt grundsätzlich auch für Erschütterungen, die von Gewinnungssprengungen verursacht werden, mit folgenden zusätzlichen Regelungen:

Folgen mehrere Sprengungen unmittelbar aufeinander, gelten diese im Sinne der Norm als ein Ereignis. Wird von dieser Regelung Gebrauch gemacht, dürfen aber insgesamt nicht mehr als 15 Sprengungen in einer Woche stattfinden.

Wenn die Sprengungen werktags mit Vorwarnung der unmittelbar Betroffenen in den Zeiten von 7.00 bis 13.00 Uhr oder von 15.00 bis 19.00 Uhr erfolgen, gelten in Gebieten nach Tabelle 1, Zeilen 3 und 4, auch die  $A_o$ -Werte nach Zeile 1, wenn nur ein Ereignis je Tag stattfindet. In Ausnahmefällen (wenige Male je Jahr) dürfen die  $KB_{Fmax}$ -Werte bis 8 betragen.

**ANMERKUNG:** Die Vorwarnung erfolgt in der Regel durch akustische Signalgebung oder außerhalb des Absperrbereiches auch durch andere Maßnahmen.

#### 6.5.2 Erschütterungen durch Straßenverkehr

Die Erschütterungsimmissionen durch Straßenverkehr sind nach 6.2 zu beurteilen und mit den Anhaltswerten nach Tabelle 1 zu vergleichen. Der Faktor 2 in 6.4.2 zur

Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten ist dabei nicht anzuwenden.

### 6.5.3 Erschütterungen durch Schienenverkehr

#### 6.5.3.1 Allgemeines

Die Erschütterungsimmissionen durch Schienenverkehr sind nach 6.2 zu beurteilen. Dabei sind die Besonderheiten nach 6.5.3.2 bis 6.5.3.4 zu beachten. Empfehlungen für die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Immissionen sind im Anhang A dargestellt.

- Die Beurteilung erfolgt anhand der Kriterien  $A_u$  (für  $KB_{Fmax}$ ) und  $A_r$  (für  $KB_{FTr}$ ). Immer wenn  $KB_{Fmax} > A_u$  ist, erfolgt die Beurteilung auf der Basis der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTr}$  im Vergleich zu  $A_r$ . Bei der Ermittlung von  $KB_{FTr}$  (siehe auch Anhang A) wird der Faktor 2 in 6.4.2 zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten nicht angewendet.
- Die (oberen) Anhaltswerte  $A_o$  erhalten beim Schienenverkehr eine andere Bedeutung als in der übrigen Norm. Siehe hierzu 6.5.3.5.

#### 6.5.3.2 Unterirdischer Schienenverkehr

Für unterirdischen Schienenverkehr jeder Art gelten die Anhaltswerte  $A_u$  und  $A_r$  nach Tabelle 1.

#### 6.5.3.3 Oberirdischer Schienenverkehr des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV)

Hiermit sind im Sinne dieser Norm die Schienenwege gemeint, die ausschließlich von Schienenfahrzeugen des Nahverkehrs (Straßenbahn, Stadtbahn, U-Bahn, S-Bahn), nicht aber von solchen des Fernverkehrs befahren werden.

- Für oberirdische Schienenwege des ÖPNV gelten die um den Faktor 1,5 angehobenen  $A_u$ - und  $A_r$ -Werte nach Tabelle 1.
- Bei städtebaulichen Planungen von Baugebieten sollten die Anhaltswerte nach Tabelle 1 eingehalten werden.

#### 6.5.3.4 Oberirdischer Schienenverkehr außer ÖPNV

- a) Für neu zu bauende Strecken gelten die Anhaltswerte  $A_u$  und  $A_r$  nach Tabelle 1. Als „neu“ im Sinne dieser Norm wird eine Strecke dann angesehen, wenn ihre Trasse so weit von bestehenden Trassen entfernt verläuft, daß die Erschütterungseinwirkungen bestehender Trassen für die Beurteilung vernachlässigbar sind.
- b) Bei städtebaulichen Planungen von Baugebieten sollten die Anhaltswerte  $A_u$  und  $A_r$  nach Tabelle 1 eingehalten werden.
- c) An bestehenden Schienenwegen werden die Anhaltswerte nach Tabelle 1 vielerorts überschritten. Verfahren zur Erschütterungsminderung stehen derzeit nur begrenzt zur Verfügung. Daher müssen den Anwohnern oft Erschütterungsimmissionen zugemutet werden, die oberhalb des Niveaus liegen, ab dem mit zunehmender Wahrscheinlichkeit erhebliche Belästigungen auftreten können. Die Grenze der Zumutbarkeit kann nur im Einzelfall festgestellt werden. Hierbei sollten u. a. folgende Beurteilungskriterien berücksichtigt werden:
  - historische Entwicklung der Belastungssituation;
  - Höhe und Häufigkeit der Anhaltswertüberschreitungen;
  - Vermeidbarkeit von Anhaltswertüberschreitungen (z. B. Einhaltung des Standes der Technik bei Gleisanlagen und Fahrzeugen);

- die Duldungspflichten nach dem Gebot der gegenseitigen Rücksichtnahme.

### 6.5.3.5 Abweichende Bedeutung des (oberen) Anhaltswertes $A_o$

Für den Schienenverkehr hat der (obere) Anhaltswert  $A_o$  nachts nicht die Bedeutung, daß bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne  $KB_{FTi}$ -Werte

- bei oberirdischen Strecken gebietsunabhängig über  $A_o = 0,6$ ,
- bei unterirdischen Strecken in Gebieten der Zeilen 3 bis 5 nach Tabelle 1 über  $A_o = 0,3$ ,

so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z. B. Flachstellen an Rädern) und diese möglichst rasch zu beheben. Diese hohen Werte sind bei der Berechnung von  $KB_{FTi}$  zu berücksichtigen.

### 6.5.3.6 Anforderungen an Meßumfang und Ergebnisdarstellung

Die Meßzeit bzw. die Anzahl der gemessenen Zugvorbeifahrten muß so gewählt werden, daß aus den Meßergebnissen zusammen mit Daten über die beim Betrieb vorkommenden Zugarten, -häufigkeiten und -geschwindigkeiten ein für die jeweilige Beurteilungszeit (Tag oder Nacht) repräsentativer Wert der Beurteilungs-Schwingstärke ermittelt werden kann. Näheres siehe Anhang A.

Wird wie vorstehend beschrieben nur begrenzte Zeit gemessen, dann sind als Ergebnis — außer der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTi}$  für die jeweilige Beurteilungszeit — für jede Zugschicht  $j$  mindestens der Mittelwert der quadrierten  $KB_{FTi,j}$ -Werte, ihre Standardabweichung, der höchste Einzelwert  $KB_{FTmax,j}$  und die Anzahl der gemessenen Zugvorbeifahrten anzugeben. Näheres siehe Anhang A.

## 6.5.4 Erschütterungen durch Baumaßnahmen

### 6.5.4.1 Allgemeines

Bei der Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen sind nur die durch den Baustellenbetrieb verursachten Erschütterungen in der in 6.5.4.2 beschriebenen Weise zu bewerten. Mögliche Einwirkungen anderer Quellen sind dabei auf geeignete Weise zu eliminieren.

### 6.5.4.2 Anhaltswerte

Es wird das in 6.2 festgelegte Beurteilungsverfahren angewendet. Anstelle der in Tabelle 1 genannten Anhaltswerte gelten für tagsüber durch Baumaßnahmen verursachte Erschütterungen von höchstens 78 (Werk-)Tagen Dauer die Anhaltswerte nach Tabelle 2. Unter der Dauer  $D$ <sup>1)</sup> der Erschütterungseinwirkungen in der Tabelle 2 ist die Anzahl von Tagen zu verstehen, an denen tatsächlich Erschütterungseinwirkungen auftreten (nicht die Dauer der Baumaßnahme an sich). Dabei sind Tage mit Erschütterungseinwirkungen, die unter den jeweiligen Werten der Tabelle 1 für  $A_u$  oder  $A_r$  liegen, nicht mitzuzählen.

Für länger als 78 Tage einwirkende Erschütterungen macht diese Norm keine Angaben. Es sollte dann nach den besonderen Gegebenheiten des Einzelfalles individuell beurteilt werden.

Für nachts auftretende Erschütterungen gelten die Anhaltswerte nach Tabelle 1.

Die Beurteilung von zeitlich begrenzten Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen erfolgt in drei Stufen,

wobei im Stadium der Planung Prognose- oder Erfahrungswerte Grundlage der Einstufung sind:

- a) Eine untere Stufe I, bei deren Unterschreitung auch ohne besondere Vorinformation nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist.
- b) Eine mittlere Stufe II, bei deren Unterschreitung ebenfalls noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist, falls die in 6.5.4.3 genannten Maßnahmen a) bis e) und erforderlichenfalls auch Maßnahme f) ergriffen werden. Bei zunehmender Überschreitung auch dieser Stufe werden mit wachsender Wahrscheinlichkeit erhebliche Belästigungen auftreten. Ist zu erwarten, daß Erschütterungseinwirkungen auftreten, die oberhalb der Anhaltswerte der Stufe II liegen, so ist zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist.
- c) Eine obere Stufe III, bei deren Überschreitung die Einwirkungen unzumutbar sind. In diesem Fall wird die Vereinbarung besonderer Maßnahmen notwendig, die über die in 6.5.4.3 beschriebenen hinausgehen.

Die Anhaltswerte für diese drei Stufen sind in Tabelle 2 für verschiedene Einwirkungsauern  $D$  zusammengestellt (siehe auch Bild 3). Dabei wird auf eine Unterteilung nach Baugebietsarten weitgehend verzichtet. Für besonders schutzwürdige Gebiete (Objekte), wie z. B. Krankenhäuser, ist Tabelle 2 nicht anwendbar. Solche Fälle erfordern gesonderte Untersuchungen und Absprachen.

Für Einwirkungsauern, die zwischen denen der Anhaltswerte für  $D = 1$  Tag und  $D > 6$  Tage nach Tabelle 2 liegen, werden die Anhaltswerte der Tabelle 2 interpoliert (siehe Bild 3).

Werden durch eine Baumaßnahme wahrnehmbare Erschütterungseinwirkungen während mehr als 6 Tagen Dauer verursacht, die aber noch unter den niedrigsten Anhaltswerten nach Tabelle 2 für  $A_u$  und  $A_r$  ( $A_u = 0,3$ ;  $A_r = 0,2$ ) liegen, dann dürfen zusätzliche Einwirkungen von maximal 6 Tagen Dauer auftreten, welche die interpolierten Anforderungen nach Tabelle 2 bis zu 6 Tagen einhalten.

Für Baustellensprengungen gilt allein das  $A_o$ -Kriterium unabhängig von der Anzahl der Sprengungen je Tag. Werte bis  $A_o = 8$  sind zugelassen, niedrigere Werte sind anzustreben.

Zusätzlich sind die Anhaltswerte zur Vermeidung von Bauwerksschäden nach DIN 4150-3 zu beachten.

### 6.5.4.3 Maßnahmen zur Minderung erheblicher Belästigungen

Die psychischen Auswirkungen von Erschütterungseinwirkungen können vermindert werden durch:

- a) umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahmen, die Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Baubetrieb;
- b) Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen und die damit verbundenen Belästigungen;
- c) zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen (Pausen, Ruhezeiten, Betriebsweise der Erschütterungsquelle usw.);

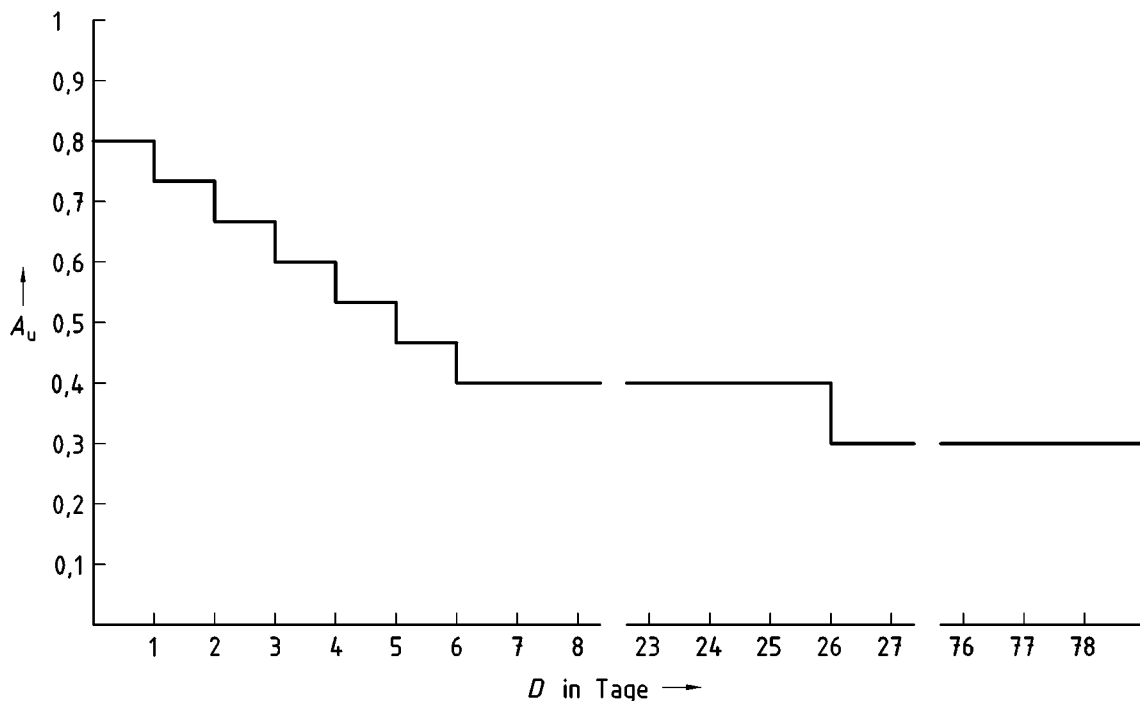
1) Die Dauer  $D$  wird generell in (Werk-)Tagen bis 6 Tage, 26 Tage, 78 Tage angegeben, weil es im Baubetrieb durchaus sein kann, daß z. B. 5 Einwirkungstage in zwei oder drei verschiedene Kalenderwochen fallen.



**Tabelle 2: Anhaltswerte  $A$  für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen**

Dauer	$D \leq 1$ Tag			6 Tage $< D \leq 26$ Tage			26 Tage $< D \leq 78$ Tage		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anhaltswerte	$A_u$	$A_o^{*)}$	$A_r$	$A_u$	$A_o^{*)}$	$A_r$	$A_u$	$A_o^{*)}$	$A_r$
Stufe I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe II	1,2	5	0,8	0,8	5	0,6	0,6	5	0,4
Stufe III	1,6	5	1,2	1,2	5	1,0	0,8	5	0,6

\*) Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt  $A_o = 6$ .



**Bild 3: Beispiel für die Interpolation der Anhaltswerte nach Tabelle 2 für Erschütterungseinwirkungen bis 6 Tage**

- d) Benennung einer Ansprechstelle, an die sich Betroffene wenden können, wenn sie besondere Probleme durch Erschütterungseinwirkungen haben;
- e) Information der Betroffenen über die Erschütterungswirkungen auf das Gebäude;
- f) Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkungen auf Menschen und Gebäude.

Die Maßnahmen a) bis e) sind vor Beginn der erschütterungsverursachenden Baumaßnahme durchzuführen.

## 7 Näherungsverfahren zur Ermittlung der Beurteilungsgrößen aus direkten Erschütterungsregistrierungen

Näherungsweise ist die Bestimmung der Beurteilungsgrößen  $KB_{Fmax}$  und  $KB_{FT}$  auch aus der Registrierung des unbewerteten Signals  $v(t)$  möglich. Liegt eine derartige Registrierung vor, ist zuerst das Meßverfahren zu prüfen:

Frequenzbereich des verwendeten Aufnehmer-Registriersystems:

Fall 1: Von unter 2 Hz bis über 80 Hz, dann in der Regel ohne Bedenken verwertbar.

Fall 2: Untere Grenzfrequenz höher (z. B. 4,5 Hz): Es ist zu prüfen, ob im Signal ersichtlich keine Anteile unterhalb der durch Dämpfung und Eigenfrequenz gegebenen unteren Grenzfrequenz enthalten sind. (Abfall des Übertragungsfaktors des Gerätes beachten!)

Fall 2a: Ist das der Fall, so kann die Aufzeichnung verwendet werden. (Gleiches muß auch an der oberen Grenzfrequenz geprüft werden. Dieser Fall hat aber in der Regel keine Bedeutung.)

Fall 2b: Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so kann nur dann ohne zusätzliche Hilfsmittel korrekt ausgewertet werden, wenn die tiefe Frequenz nahezu rein harmonisch in der Registrierung erkennbar ist. In diesem Fall kann eine rechnerische Korrektur erfolgen. Anderenfalls ist die Aufzeichnung nicht auswertbar.

Sind die Fälle 1 oder 2a erfüllt, so darf wie folgt ausgewertet werden:

Der Maximalwert des  $v(t)$ -Signals und die Frequenz der Aufzeichnung sind zu bestimmen. Daraus ist zunächst das  $KB$ -bewertete Signal nach der Zahlenwert-Gleichung (6) und nach Gleichung (7) mit  $c_F$  nach Tabelle 3 der Schätzwert des gleitenden Effektivwertes  $KB_{Fmax}^*$  zu berechnen.

$$KB = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{v_{max}}{\sqrt{1 + (f_0/f)^2}} \quad (6)$$

$$KB_{Fmax}^* = KB \cdot c_F \quad (7)$$

Dabei ist:

- $f$  Frequenz, in Hz;
- $f_0$  5,6 Hz (Grenzfrequenz des Hochpasses);
- $v_{max}$  maximale Schwingschnelle, in mm/s;
- $c_F$  die Konstante nach Tabelle 3;
- $KB$  dimensionslos.

ANMERKUNG: Der  $KB$ -Wert nach der Zahlenwert-Gleichung (6) entspricht dem  $KB$ -Wert nach DIN 4150-2 : 1975-09.

Falls die Bestimmung der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTI}^*$  erforderlich ist, müssen für eine ausreichend große Anzahl von 30-s-Takten aus den Maximalwerten  $v_{Ti}$  der

einzelnen Takte mittels der Gleichung (6) und Gleichung (7) die  $KB_{FTI}^*$ -Werte ermittelt werden. Mit Hilfe dieser mit \* gekennzeichneten Schätzwerte ist dann das Beurteilungsverfahren wie in Abschnitt 6 beschrieben durchzuführen.

## 8 Meßbericht

Der Meßbericht muß folgende Angaben enthalten:

- Institution, die die Messungen durchführt;
- verantwortlicher Meßleiter;
- Zeit (Datum, Meßzeiten);
- Erschütterungsquellen;
- Betriebsbedingungen;
- Lageplan;
- Ausbreitungsbedingungen der Erschütterungen;
- Meßort, Immissionsort;
- Ankopplung der Schwingungsaufnehmer;
- Schwingungsmesser (Fabrikat, Typ, Geräte- oder Inventar-Nummer);
- Geräteeinstellungen;
- Meßgrößen;
- Meßeinrichtungen;
- subjektive Beobachtungen.

Soweit erforderlich, sind weitere Angaben aufzunehmen.

**Tabelle 3: Erfahrungswerte für die Konstante  $c_F$  für verschiedene Arten von Erschütterungseinwirkungen**

Zeile	Kurzbeschreibung der Einwirkungsart <sup>1)</sup>	$c_F$ <sup>2)</sup>
1	Harmonische Schwingungen mit geringen Verzerrungen (z. B. Sägewerke in großer Entfernung oder bei wesentlicher Resonanzbeteiligung)	0,9
2	Wie Zeile 1, jedoch stärker verzerrt — mehr als etwa 20 % Verzerrungen (z. B. Sägewerke in enger Nachbarschaft, wenn noch mehrere Oberschwingungen vorhanden sind)	0,8
3	Stochastische Schwingungen und periodische Vorgänge mit Schwebungen a) mit Resonanzbeteiligung (z. B. Webereien, Rammen, gemessen auf mitschwingenden Wohnungsfußböden); b) ohne Resonanzbeteiligung (z. B. auf nicht unterkellerten Wohnungsfußböden)	0,8 0,7
4	Einzelereignisse kurzer Dauer a) mit Resonanzbeteiligung b) ohne Resonanzbeteiligung	0,8 0,6

1) Die Einordnung einer Messung in eine dieser Klassen sollte nach dem Bild der Schwingungsaufzeichnung erfolgen. Die genannten Beispiele sollten nur eine Orientierung geben, in welchen Situationen die einzelnen Klassen der Erschütterungseinwirkung häufig anzutreffen sind.

2) Die Werte für  $c_F$  sind mittlere Erfahrungswerte. Abweichungen von etwa  $\pm 15\%$  können auftreten.

## Anhang A (informativ)

### Ermittlung der Erschütterungsimmissionen durch Schienenverkehr

Zur Bestimmung der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FT_r}$  von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr oder ihrer Prognose ist es sinnvoll, anstelle des auf eine bestimmte Teilzeit (z. B. 1 h entsprechend  $N = 120$  Takte) bezogenen Taktmaximal-Effektivwertes  $KB_{FT_m}$  nach Gleichung (3) einen auf die jeweilige Anzahl der Züge (einer Klasse oder Schicht  $j$ ) bezogenen Taktmaximal-Effektivwert  $KB_{FT_m,j}$  anzuwenden:

$$KB_{FT_m,j} = \sqrt{\frac{1}{M_j} \sum_{i=1}^{M_j} KB_{FT_i,j}^2} \quad (\text{A.1a})$$

oder

$$KB_{FT_m,j} = \frac{1}{Z_j} \cdot \sum_{i=1}^{Z_j} KB_{FT_i,j}^2 \quad (\text{A.1b})$$

wenn von der Schicht  $j$  nur  $Z_j$ -belegte Takte durch Messung erfaßt wurden.

Dabei sind:

$Z_j$  die Anzahl der gemessenen Takte, die von Zugvorbeifahrten der Schicht  $j$  belegt sind;

$M_j$  die Anzahl der durch die Schicht  $j$  während der Beurteilungszeit belegten Takte.

(Die meisten Züge belegen nur einen 30-s-Takt, langsam fahrende lange Güterzüge können auch mehrere Takte belegen.)

Die Schichtung erfolgt üblicherweise so, daß je Gleis und vorkommender Zugart (Güterzug, Reisezug, Einheiten des ÖPNV usw.) eine Schicht gebildet wird. Belegt eine Zugvorbeifahrt mehrere Takte, so sind auch diese Takte möglicherweise in unterschiedliche Schichten einzuordnen. Es sollten mindestens 5 Messungen je Schicht vorliegen. Besteht bereits (aus Messungen) Vorwissen über die Schwingungseinwirkungen in den oben genannten Schichten, so können gleichartige Züge auf verschiedenen Gleisen oder verschiedenartige Züge der gleichen Schicht zugeordnet werden, wenn sich ihre Erschütterungseinwirkungen nicht zu sehr unterscheiden. Ist die Streuung in einer Schicht zu groß, so kann eine weitere Schichtung nach zusätzlichen Kriterien (z. B. Geschwindigkeit) zweckmäßig sein.

Die Anzahl der Schichten, die je Schicht notwendige Anzahl von Messungen und die hiermit erreichte Meßunsicherheit sind der jeweiligen Aufgabenstellung anzupassen (siehe auch DIN 55303-2, DIN 55350-22, DIN 55350-23 und DIN 55350-24). Nähere Hinweise zu den Begriffen Schichtung, Meßunsicherheit und der Interpretation von Meßergebnissen unter statistischen Gesichtspunkten gibt auch VDI 3723 Blatt 1.

Die Standardabweichung ist in bezug auf den quadratischen Mittelwert anzugeben:

$$s(KB_{FT_m,j}^2) = \sqrt{\frac{1}{Z_j - 1} \sum_{i=1}^{Z_j} [(KB_{FT_i,j}^2) - (KB_{FT_m,j}^2)]^2} \quad (\text{A.2})$$

Die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FT_r}$  kann aus den Mittelwerten für die einzelnen Schichten und der Anzahl der während der gesamten Beurteilungszeit in den einzelnen Schichten belegten Takte  $M_j$  (näherungsweise Anzahl der in der Beurteilungszeit fahrenden Züge dieser Schicht) nach Gleichung (A.3) berechnet werden:

$$KB_{FT_r} = \sqrt{\frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^L M_j \cdot KB_{FT_m,j}^2} \quad (\text{A.3})$$

Dabei ist:

$N_r$  die Anzahl der 30-s-Takte im Beurteilungszeitraum;

tags:  $N_r = 1\,920$

nachts:  $N_r = 960$

$L$  die Anzahl der unterschiedlichen Schichten;

$KB_{FT_m,j}$  der Taktmaximal-Effektivwert für die Schicht  $j$ .

Falls nur eine Schicht zu berücksichtigen ist, vereinfacht sich diese Gleichung zu:

$$KB_{FT_r} = KB_{FT_m} \cdot \sqrt{\frac{M}{N_r}} \quad (\text{A.4})$$

## Anhang B (informativ)

### Flußdiagramm für die Bewertung von Erschütterungen durch Baumaßnahmen

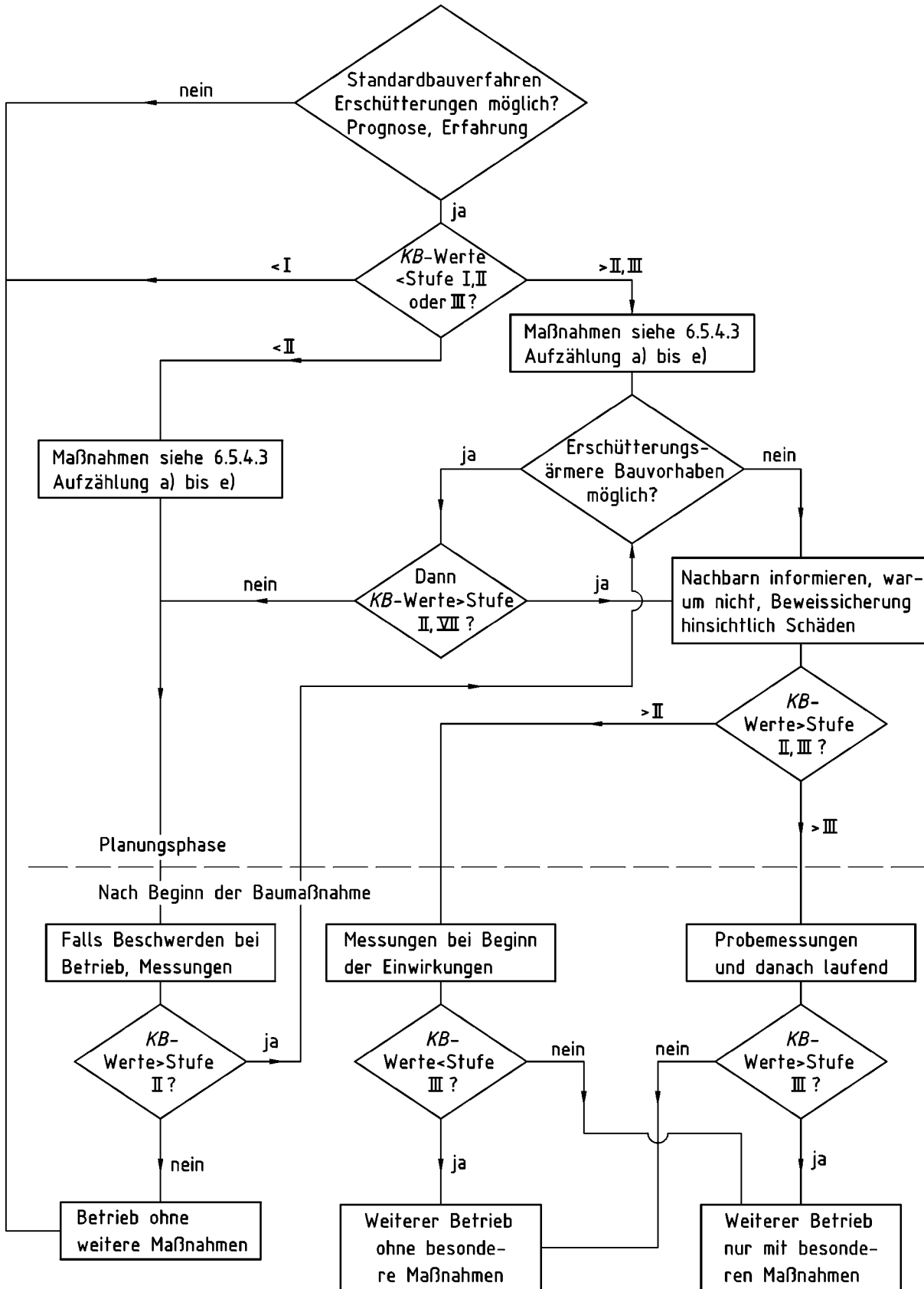


Bild B.1: Flußdiagramm für die Bewertung

## Anhang C (informativ)

### Beispiele

#### C.1 BEISPIEL 1:

##### C.1.1 Angaben zu den Erschütterungsimmissionen:

Stationäre, nahezu sinusförmige Dauereinwirkungen, wie sie z. B. beim Betrieb eines Sägegatters in horizontaler Richtung verursacht werden (Frequenz 5 Hz). In Bild C.1 ist der Zeitverlauf der bewerteten Schwingstärke  $KB_F(t)$  für eine Dauer von  $T_m = 5$  min dargestellt. Anzahl der Takte: 10; Meßrichtung horizontal ( $x$ -Richtung).

##### C.1.2 Zur Erläuterung des Beurteilungsverfahrens werden folgende Annahmen getroffen:

- $KB_F(t)$  der vertikalen  $z$ -Komponente und der horizontalen  $y$ -Komponente sind wesentlich kleiner als für die dargestellte  $x$ -Komponente, d. h., die  $x$ -Komponente ist für die Beurteilung maßgebend.
- Die Einwirkungsdauer liegt außerhalb von Ruhezeiten und beträgt tags  $T_{e1} = 8$  h.
- In der Umgebung des Immissionsortes liegen vorwiegend gewerbliche Anlagen. Dafür enthält Tabelle 1, Zeile 2, die folgenden Anhaltswerte für den Tag:  $A_u = 0,3, A_o = 6, A_r = 0,15$ .
- Der in Bild C.1 dargestellte Zeitverlauf soll repräsentativ für die gesamte Einwirkungsdauer sein.

##### C.1.3 Beurteilungsverfahren

Ist der größte Wert von  $KB_F(t) \leq A_u$ ?

$$KB_{FT10} = KB_{Fmax} = 0,25 \leq A_u = 0,3$$

$KB_{Fmax}$  ist kleiner als  $A_u$ .

##### C.1.4 Schlußfolgerung

Da  $KB_{Fmax}$  kleiner als  $A_u$  ist, sind die Anforderungen der Norm eingehalten; Vergleiche mit  $A_o$  und  $A_r$  sind nicht erforderlich.

#### C.2 BEISPIEL 2:

##### C.2.1 Angaben zu den Erschütterungsimmissionen:

Wie Beispiel 1.

##### C.2.2 Zur Erläuterung des Beurteilungsverfahrens werden folgende Annahmen getroffen:

Alle Ausgangsdaten wie in Beispiel 1 und Bild C.1, aber in der Umgebung des Immissionsortes liegen vorwiegend Wohnungen. Dafür enthält Tabelle 1, Zeile 4, die folgenden Anhaltswerte für den Tag:  $A_u = 0,15, A_o = 3, A_r = 0,07$ .

Bei welcher Einwirkungsdauer außerhalb der Ruhezeiten sind die Anforderungen der Norm eingehalten?

##### C.2.3 Beurteilungsverfahren

C.2.3.1 Ist der größte Wert von  $KB_F(t) \leq A_u$ ?

$$KB_{FT10} = KB_{Fmax} = 0,25 > A_u = 0,15$$

$KB_{Fmax}$  ist größer als  $A_u$ , d. h., es müssen die Vergleiche mit  $A_o$  und  $A_r$  durchgeführt werden.

C.2.3.2 Ist der größte Wert von  $KB_F(t) \leq A_o$ ?

$$KB_{Fmax} = 0,25 < A_o = 3$$

Da  $A_u < KB_{Fmax} < A_o$  ist, muß das  $A_r$ -Kriterium herangezogen werden.

C.2.3.3 Bei welcher Einwirkungsdauer ist zusätzlich die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTT} \leq A_r$ ?

$$\text{Bedingung: } KB_{FTT} = A_r = 0,07$$

Aus Gleichung (4b)

$$KB_{FTT} = KB_{FTm} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{T_r}}$$

folgt

$$T_e = \left( \frac{KB_{FTT}}{KB_{FTm}} \right)^2 \cdot T_r$$

wobei  $T_r = 16$  h ist.

Der Taktmaximal-Effektivwert muß jetzt mittels Gleichung (3) und den einzelnen Taktmaximalwerten  $KB_{FTi}$  aus Bild C.1 berechnet werden.

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} KB_{FTi}^2} = 0,23$$

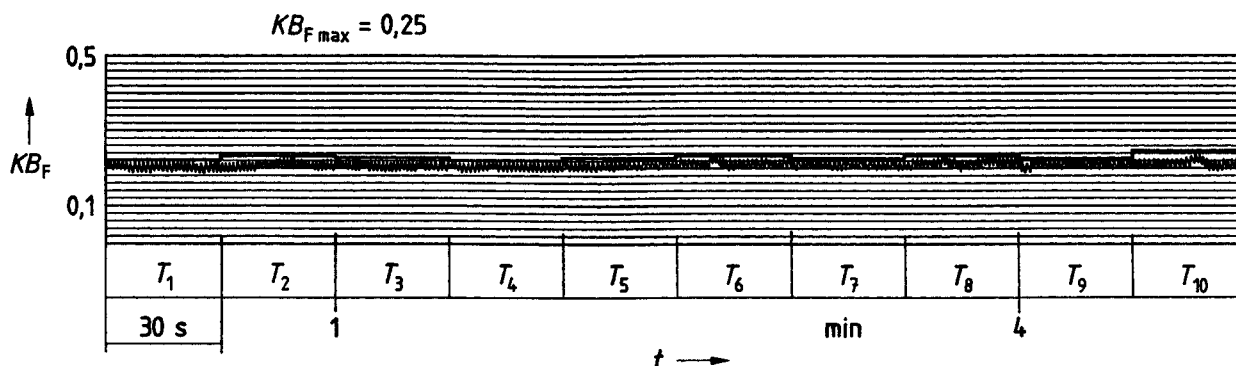


Bild C.1: Zeitverlauf der bewerteten Schwingstärke  $KB_F(t)$  für Erschütterungsimmission nach Beispiel 1 und Beispiel 2

dann wird

$$T_e = \left( \frac{0,07}{0,23} \right)^2 \cdot 16 \text{ h} = 1,48 \text{ h} \approx 1,5 \text{ h.}$$

### C.2.4 Schlußfolgerung

Um die Anforderungen der Norm auch für Einwirkungsorte, in denen vorwiegend Wohnungen untergebracht sind, zu erfüllen, müßte die Einwirkungszeit auf 1,5 h verkürzt werden.

## C.3 BEISPIEL 3:

### C.3.1 Angaben zu den Erschütterungsimmissionen:

Stationäre Dauereinwirkung, wie sie z. B. beim Betrieb von Webmaschinen verursacht werden. In Bild C.2 ist der Zeitverlauf der bewerteten Schwingstärke  $KB_F(t)$  für eine Meßzeit von  $T_m = 5 \text{ min}$  dargestellt. Meßrichtung vertikal.

### C.3.2 Zur Erläuterung des Beurteilungsverfahrens werden folgende Annahmen getroffen:

- Die vertikale Schwingungskomponente  $z$  ist für die Beurteilung maßgebend.
- Einwirkungszeit  $T_e = 8 \text{ h}$  in der Nacht.
- Der Immissionsort liegt in einem Gebiet gemischter Nutzung nach Tabelle 1, Zeile 3, mit den Anhaltswerten  $A_u = 0,15$  ( $A_o = 0,3, A_r = 0,07$ ).
- Das  $A_r$ -Kriterium ist nicht zu berücksichtigen, da  $T_e = 8 \text{ h}$  (siehe Anmerkung zu 6.2).
- Der in Bild C.2 dargestellte Zeitverlauf sei repräsentativ für die gesamte Einwirkungszeit.

### C.3.3 Beurteilungsverfahren

Ist der größte Wert von  $KB_F \leq A_u$ ?

$$KB_{F\max} = 0,17 > A_u = 0,15$$

$KB_{F\max}$  ist zwar größer als  $A_u$ ; die Differenz ist jedoch kleiner als 15 % und liegt damit im Bereich der Meßunsicherheit (siehe 5.4).

### C.3.4 Schlußfolgerung

Die Anforderung nach der Norm kann in der Regel noch als eingehalten gelten.

## C.4 BEISPIEL 4:

### C.4.1 Angaben zu den Erschütterungsimmissionen:

Zahlreiche stoßartige Erschütterungseinwirkungen unterschiedlicher Stärke mit Pausen, wie sie beim abwechselnden Betrieb zweier Schmiedehämmer unterschiedlicher

Leistung auftreten können. Im Bild C.3 ist der Zeitverlauf der bewerteten Schwingstärke  $KB_F(t)$  für eine Meßzeit von jeweils  $T_m = 5 \text{ min}$  für die beiden Hämmer a) und b) dargestellt. Anzahl der Takte jeweils 10. Die Werte für den Hammer a) werden durch den Index a, die des Hammers b) durch den Index b gekennzeichnet.

### C.4.2 Zur Erläuterung des Beurteilungsverfahrens werden folgende Annahmen getroffen:

- Die vertikale Richtungskomponente  $z$  ist für die Beurteilung maßgebend.
- Die Einwirkungszeit liegt außerhalb von Ruhezeiten (also zwischen 7 und 19 Uhr).
- Der im Bild C.3 dargestellte Zeitverlauf über je  $T_m = 5 \text{ min}$  soll die Erschütterungsimmissionen der beiden Hämmer a) und b) für den Betrieb dieser Hämmer zutreffend kennzeichnen, d. h. repräsentativ sein. (Um dies entscheiden zu können, bedarf dies tatsächlich längerer Meßzeiten als 5 min.)
- In der Umgebung des Immissionsortes sind vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht. Dafür enthält Tabelle 1, Zeile 2, die folgenden Anhaltswerte für den Tag:  $A_u = 0,3, A_o = 6, A_r = 0,15$ .
- Werden die Anforderungen der Norm eingehalten, wenn Hammer a) 6 h täglich und Hammer b) 1,5 h täglich außerhalb von Ruhezeiten betrieben werden?

### C.4.3 Beurteilungsverfahren

C.4.3.1 Ist der größte Wert von  $KB_F(t) \leq A_u$ ?

Hammer a):  $KB_{F\max} = 0,23 < A_u = 0,3$ . Der Anhaltswert ist eingehalten.

Hammer b):  $KB_{F\max} = 0,47 > A_u = 0,3$ . Der Anhaltswert ist überschritten, d. h., es müssen die Vergleiche mit  $A_o$  und  $A_r$  durchgeführt werden.

C.4.3.2 Ist der größte Wert von  $KB_F(t) \leq A_o$ ?

$$KB_{F\max} = 0,47 < A_o = 6$$

Da  $A_u < KB_{F\max} < A_o$  ist, muß das  $A_r$ -Kriterium herangezogen werden.

C.4.3.3 Ist zusätzlich die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTr} \leq A_r$ ?

Wir haben zwei Betriebszustände (Betrieb von Hammer a) und Betrieb von Hammer b)), aus denen der  $KB_{FTr}$ -Wert zu bestimmen ist.

Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (4a).

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

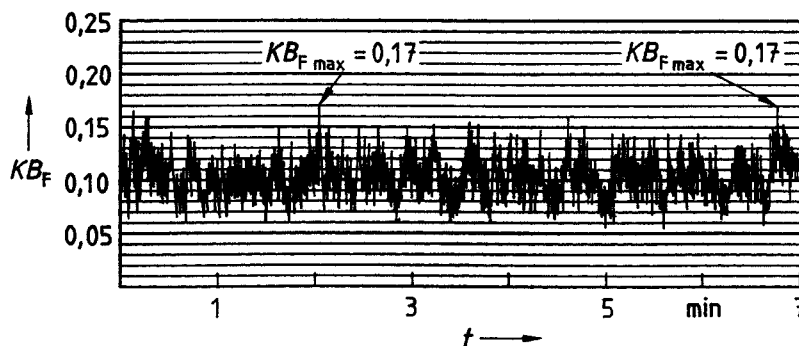


Bild C.2: Zeitverlauf der bewerteten Schwingstärke  $KB_F(t)$  für Erschütterungsimmission nach Beispiel 3

mit

- $T_{ea}$  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).

Wegen der Annahme, daß Bild C.3 repräsentativ für die gesamten Teileinwirkungszeiten  $T_{ea}$  und  $T_{eb}$  sei, gilt nach Gleichung (4a):

$$KB_{FTma} = \sqrt{\frac{1}{10} \cdot \sum_{i=1}^{10} KB_{FTia}^2} \text{ und}$$

$$KB_{FTmb} = \sqrt{\frac{1}{10} \cdot \sum_{i=1}^{10} KB_{FTib}^2}$$

Die Werte für  $KB_{FTi}$  sind Bild C.3 zu entnehmen.

Dabei sind für die Takte  $T_{2a}$ ,  $T_{5a}$ ,  $T_{7a}$ ,  $T_{10a}$  sowie  $T_{8b}$  die  $KB_{FTi}$ -Werte  $\leq 0,1$  und deshalb bei der Rechnung nach 3.6 gleich Null zu setzen. Somit ergibt sich aus Bild C.3

$$KB_{FTma} = 0,16 \text{ und } KB_{FTmb} = 0,39$$

und schließlich:

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

Das heißt, die Anforderung ist eingehalten.

#### C.4.4 Schlußfolgerung

Beim Betreiben von Hammer a) für 6 h und Hammer b) für 1,5 h täglich außerhalb von Ruhezeiten werden die Anforderungen der Norm eingehalten.

#### C.5 BEISPIEL 5:

##### C.5.1 Angaben zu den Erschütterungsimmissionen:

Wie Beispiel 4.

##### C.5.2 Zur Erläuterung des Beurteilungsverfahrens werden folgende Annahmen getroffen:

Alle Ausgangsdaten wie in Beispiel 4 und Bild C.3, aber es wird angenommen, daß die Betriebszeit von Hammer b) in der Ruhezeit (19 bis 22 Uhr) liegt. Werden die Anforderungen der Norm eingehalten?

##### C.5.3 Beurteilungsverfahren

Die Berechnung von  $KB_{FTr}$  erfolgt nach Gleichung (5) mit höherer Gewichtung der Ruhezeit:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r} (T_{ea1} \cdot KB_{FTma1}^2 + 2 \cdot T_{eb2} \cdot KB_{FTmb2}^2)}$$

Mit

$$T_r = 16 \text{ h}, T_{ea1} = 6 \text{ h}, T_{eb2} = 1,5 \text{ h} \text{ sowie}$$

$$KB_{FTma1} = 0,16 \text{ und } KB_{FTmb2} = 0,39 \text{ (aus Beispiel 4) wird:}$$

$$KB_{FTr} = 0,20 > A_r = 0,15.$$

$KB_{FTr}$  ist größer als  $A_r$ .

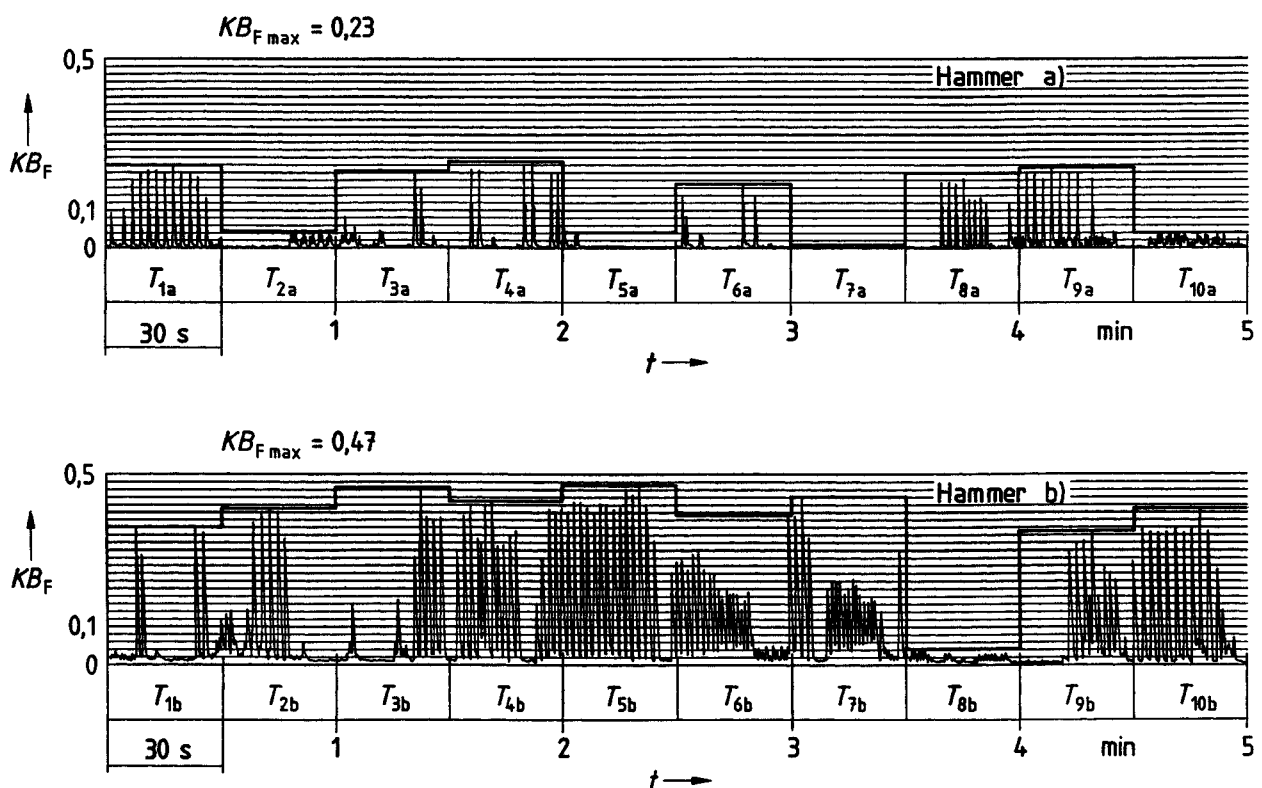


Bild C.3: Zeitverlauf der bewerteten Schwingstärke  $KB_F(t)$  für Erschütterungsimmission nach Beispiel 4 bis Beispiel 6

**C.5.4 Schlußfolgerung**

Wird zusätzlich zu den 6 h Betriebszeit des Hammers a) außerhalb der Ruhezeiten der Hammer b) 1,5 h während der Ruhezeiten betrieben, dann ist die Anforderung  $KB_{FTr} \leq A_r$  auch unter Berücksichtigung der meßtechnischen Unsicherheiten nicht mehr eingehalten.

**C.6 BEISPIEL 6:**

**C.6.1 Angaben zu den Erschütterungsimmissionen:**

Wie Beispiel 4.

**C.6.2 Zur Erläuterung des Beurteilungsverfahrens werden folgende Annahmen getroffen:**

Alle Ausgangsdaten wie in Beispiel 4, aber nur Betrieb des Hammers a) entsprechend Bild C.3 während 16 h täglich. Werden die Anforderungen der Norm für Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (Tabelle 1, Zeile 2), eingehalten?

**C.6.3 Beurteilungsverfahren:**

$$KB_{Fmax} = 0,23 \leq A_u = 0,3$$

**C.6.4 Schlußfolgerung:**

Die Einhaltung des Kriteriums  $KB_{Fmax} \leq A_u$  ist ausreichend, d. h., die Anforderung der Norm ist eingehalten. (Dies, obwohl wegen des Ruhezeitenschlages auf 4 h Einwirkungszeit sich aus Gleichung (5)  $KB_{FTr} = 0,18 > A_r = 0,15$  errechnen würde. Der Anhaltswert  $A_r$  muß aber nur dann eingehalten werden, wenn  $KB_{Fmax}$  den Anhaltswert  $A_u$  überschreitet.)

**C.7 BEISPIEL 7:**

**C.7.1 Angabe zur Erschütterungsimmission:**

Einzelne stoßartige Erschütterungsimmission durch eine Sprengung in vertikaler Richtung auf einer Zimmerdecke. In Bild C.4 ist außer dem zeitlichen Verlauf der bewerteten Schwingstärke  $KB_F(t)$  (Kurve b) auch das unbewertete Signal, die Schwinggeschwindigkeit, dargestellt (Kurve a).

**C.7.2 Zur Erläuterung des Beurteilungsverfahrens werden folgende Annahmen getroffen:**

- Die vertikale Komponente  $z$  ist für die Beurteilung maßgebend.
- Ein Einzelereignis am Tag.
- Immissionsort, in dessen Umgebung vorwiegend Wohnungen liegen, mit Anhaltswert nach Tabelle 1, Zeile 4, für den Tag:  $A_o = 3$ .

**C.7.3 Beurteilungsverfahren:**

Nach 6.5.1 ist für bis zu drei Ereignisse je Tag lediglich zu prüfen, ob  $KB_{Fmax} \leq A_o$ :

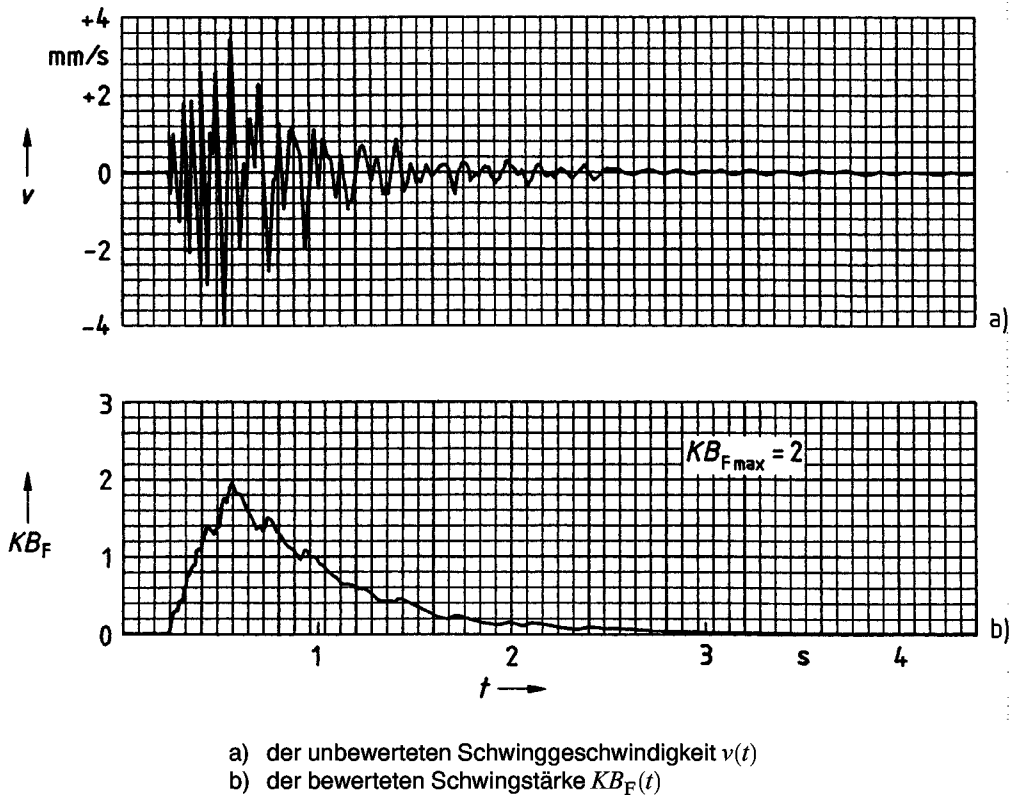
$$KB_{Fmax} = 2 \leq A_o = 3$$

Wird — ausgehend von der unbewerteten Schwinggeschwindigkeit  $v(t)$  — das Näherungsverfahren nach Abschnitt 7 angewendet, dann ergibt sich mit der Gleichung (6) und Gleichung (7) sowie  $v_{max} = 4 \text{ mm/s}$ ,  $f = 14 \text{ Hz}$ ,  $f_o = 5,6 \text{ Hz}$  und  $c_F = 0,8$  (siehe Tabelle 3, Zeile 4):

$$KB_{Fmax}^* = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{4}{\sqrt{1 + (5,6/14)^2}} \cdot 0,8 = 2,1 \leq A_o = 3$$

**C.7.4 Schlußfolgerung:**

Die Anforderung der Norm ist eingehalten.



**Bild C.4:** Zeitverläufe für Erschütterungsimmissionen nach Beispiel 7



**C.8 BEISPIEL 8:**

**C.8.1 Angaben zu den Erschütterungsimmissionen:**

Vorübergehende Einwirkungen mit langen Pausen, wie sie beim Eisenbahnbetrieb auftreten. Im Bild C.5 ist der Zeitverlauf der bewerteten Schwingstärke  $KB_F(t)$  für eine Meßzeit von  $T_m = 10$  min dargestellt. Anzahl der Takte: 20, davon für die Rechnung auszuwerten 5.

3 Zugvorbeifahrten je 10 min entsprechen 18 je h oder 432 in 24 h und damit etwa der möglichen Auslastung einer viergleisigen Bahnstrecke.

**C.8.2 Zur Erläuterung des Beurteilungsverfahrens werden folgende Annahmen getroffen:**

- Die vertikale z-Komponente ist für die Beurteilung maßgebend.
- Der erfaßte Zeitverlauf sei repräsentativ für den ganzen Tag. (Tatsächlich bedarf es der Messung von wesentlich mehr Zugvorbeifahrten, um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten.)
- Der Einwirkungsort liegt in einem Gebiet, in dessen Umgebung vorwiegend Wohnungen untergebracht sind. Für neu zu errichtende Anlagen sind in Tabelle 1, Zeile 4, die folgenden Anhaltswerte für den Tag genannt:  $A_u = 0,15, A_o = 3, A_r = 0,07$ .

**C.8.3 Beurteilungsverfahren**

**C.8.3.1 Ist der größte Wert von  $KB_F(t) \leq A_u$ ?**

$KB_{Fmax} = 0,92 > A_u = 0,15$

$KB_{Fmax}$  ist größer als  $A_u$ , d. h., es müssen die Vergleiche mit  $A_o$  und  $A_r$  durchgeführt werden.

**C.8.3.2 Ist der größte Wert von  $KB_F(t) \leq A_o$ ?**

$KB_{Fmax} = 0,92 < A_o = 3$

Da  $A_u < KB_{Fmax} < A_o$  ist, muß das  $A_r$ -Kriterium herangezogen werden.

**C.8.3.3 Ist zusätzlich die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTi} \leq A_r$ ?**

Die Einwirkungen des Schienenverkehrs dauern jeweils nicht länger als ein bis drei Takte (zu 30 s), und dazwischen liegen (im Mittel) wesentlich längere Pausen. In diesem Fall darf nach 3.5.3 sich von der starren Aufteilung der Meßzeit in Takte gelöst und der Beginn eines Taktes mit dem Beginn des Ereignisses zusammengelegt werden.

Bild C.5 zeigt in 10 min 3 Zugvorbeifahrten, wobei der dritte Zug 3 Takte belegt. Für die belegten Takte werden die folgenden Werte erhalten:

$i =$	1	2	3	4	5
$KB_{FTi}$	0,92	0,6	0,2	0,9	0,24

In diesem Fall ist es zweckmäßig, zwei Schichten zu bilden, nämlich eine Schicht 1 für die Takte 1, 2 und 4, und eine Schicht 2 für die Takte 3 und 5. Dann wird aus Gleichung (A.1b) folgendes berechnet:

Für die Schicht 1 ( $j = 1$  mit  $Z_1 = 3$ ):

$KB_{FTm,1} = \sqrt{\frac{1}{3} (0,92^2 + 0,6^2 + 0,9^2)} = 0,82$  und

$KB_{FTm,1}^2 = 0,672$

Für die Schicht 2 ( $j = 2$  mit  $Z_2 = 2$ ):

$KB_{FTm,2} = \sqrt{\frac{1}{2} (0,2^2 + 0,24^2)} = 0,22$  und

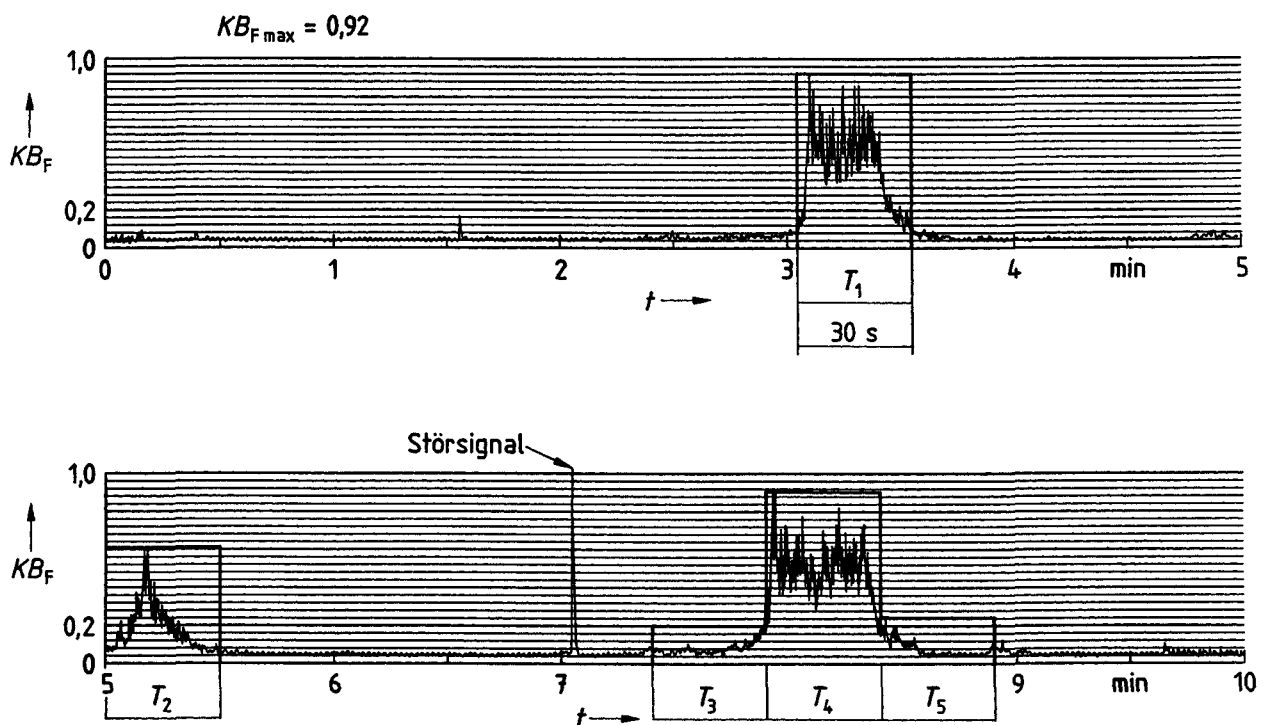
$KB_{FTm,2}^2 = 0,0484$

Unter der Annahme, die (noch zu kurze) 10minütige Messung sei repräsentativ für die 16 h eines ganzen Tages, errechnet sich die Beurteilungs-Schwingstärke aus Gleichung (A.3) mit:

$M_1 = 3 \times 6 \times 16 = 288$  belegte Takte der Schicht 1 in 16 h

$M_2 = 2 \times 6 \times 16 = 192$  belegte Takte der Schicht 2 in 16 h

$N_r = 1920$  Gesamtanzahl der Takte während 16 h



**Bild C.5: Zeitverlauf der bewerteten Schwingstärke  $KB_F(t)$  für Erschütterungsimmission nach Beispiel 8**

$$KB_{FTT} = \sqrt{\frac{1}{1920} (288 \times 0,672 + 192 \times 0,0484)} = 0,325$$

Damit ergibt sich:

$$KB_{FTT} = 0,325 > A_r = 0,07$$

Zum gleichen Ergebnis käme man auch bei der Anwendung des Standardverfahrens, nämlich der Mitteilung über die ganze Meßzeit von 10 min oder 20 Takten, wobei Werte  $KB_{FTI} \leq 0,1$  zu Null gesetzt werden. Dann wird mit Gleichung (3):

$$KB_{FTM} (10 \text{ min}) = \sqrt{\frac{1}{20} (0,92^2 + 0,6^2 + 0,2^2 + 0,9^2 + 0,24^2)} = 0,325$$

Und wenn dieser Wert während  $T_e = 16 \text{ h}$  vorliegt, mit Gleichung (4b) auch:

$$KB_{FTT} = 0,325$$

Würden die beiden niedrigen Werte der Takte 3 und 5 (Schicht 2) nicht berücksichtigt werden, also nur die Maximalwerte jeder Zugvorbeifahrt, dann ergäbe sich in diesem Fall  $KB_{FTT} = 0,318$ .

Wird für die vorliegenden Meßwerte nach Gleichung (A.2) die Standardabweichung für das Quadrat der Mittelwerte berechnet:

$$s(KB_{FTM,1}^2) = 0,27 \quad \text{mit } Z_1 = 3$$

$$s(KB_{FTM,2}^2) = 0,012 \quad \text{mit } Z_2 = 2$$

dann ergibt sich:

$$KB_{FTM,1}^2 = 0,672 \pm 0,27$$

$$KB_{FTM,2}^2 = 0,0484 \pm 0,012$$

Mit diesen Werten — eingesetzt in Gleichung (A.3) — ergibt sich schließlich:

$$KB_{FTT} = 0,325 \begin{matrix} + 0,059 \\ - 0,073 \end{matrix}$$

### C.8.4 Schlußfolgerungen

Wegen der Überschreitung der Anhaltswerte  $A_u = 0,15$  und  $A_r = 0,07$  für Wohngebiete sind die Anforderungen der Norm nach Tabelle 1, Zeile 4, nicht eingehalten worden. (Trotz der noch geringen statistischen Zuverlässigkeit des Ergebnisses für  $KB_{FTT}$  würde dieses im vorliegenden Fall wegen der sehr starken Überschreitung für die Aussage „Norm nicht eingehalten“ ausreichen, wenn nur gesichert ist, daß in der übrigen Zeit gleichartige Züge in gleicher Häufigkeit verkehren.)

## Anhang D (informativ)

### Erläuterungen

#### Zu 3.3

Bei Schwingungsmessungen in Gebäuden wird die Schnelle als Meßgröße unter anderem deshalb bevorzugt verwendet, weil bei der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in einem großen Teil des zu betrachtenden Frequenzbereiches die momentane subjektive Wahrnehmung direkt proportional zur Schwinggeschwindigkeit (Schwingschnelle) ist und diese im Gebäude mit Schnelle-Aufnehmern auch direkt gemessen werden kann. Außerdem läßt eine Schwinggeschwindigkeits-Zeitregistrierung auch bei Schwingungsgemischen mit unterschiedlichen Amplituden Rückschlüsse auf den zeitlichen Verlauf sowohl des Schwingweges als auch auf den der Schwingbeschleunigung zu.

#### Zu 3.5.3

Das Taktmaximalwertverfahren (siehe auch DIN 45667) wurde eingeführt, um mit dieser verfahrensbedingten erheblichen Datenreduktion eine Vereinheitlichung der Auswertung von Erschütterungsregistrierungen ohne Rechnerunterstützung zu ermöglichen. Mit Rechnerunterstützung können selbst vielkanalige Systeme die für die Beurteilung notwendigen Beurteilungswerte auch für lange Meßdauern erfassen, speichern und verarbeiten. Weiterhin wird durch die Verwendung des Taktmaximalwertverfahrens erreicht, daß ein Vergleich der Beurteilung nach der vorliegenden Norm und der früheren Vorgehensweise nach der Norm DIN 4150-2 : 1975-09 möglich ist. Ziel des Meß- und Beurteilungsverfahrens ist es, einen stetigen Übergang zwischen der Beurteilung sehr seltener Erschütterungen einerseits und lang einwirkender kontinuierlicher oder sehr häufiger impulsartiger Einwirkungen andererseits zu schaffen. Dies erreicht das Verfahren durch die Verwendung der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTT}$  und den Vergleich mit  $A_r$ -Anhaltswerten.

Erschütterungen mit  $KB_{FTI}$ -Werten  $\leq 0,1$  sind bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTT}$  gleich 0 zu setzen, da solche Erschütterungen in der Regel nicht fühlbar sind. Das Nullsetzen ist notwendig, um zu verhindern, daß solche nicht fühlbaren Schwingungen zur wesentlichen Anhebung der Beurteilungs-Schwingstärke führen können.

#### Zu 5.2

Der Beurteilung werden wie in DIN 4150-2 : 1975-09 grundsätzlich die am Fußboden auftretenden und gemessenen Schwingungen zugrunde gelegt und nicht die an der tatsächlichen Einleitungsstelle in den Körper des Menschen (z. B. Sitzfläche des Stuhles). Dies wurde festgelegt, um die Meßergebnisse nicht durch das in weiten Grenzen variierende Schwingungsverhalten von unterschiedlichen Möblierungen zu beeinflussen. Das Schwingungsverhalten des Inventars wird daher, soweit dies pauschal möglich ist, durch die Festlegung der Höhe der Anhaltswerte auf der Basis der bisherigen Erfahrungen berücksichtigt.

#### Zu Abschnitt 6

- a) Die Werte für  $A_r$  mußten niedriger als  $A_u$  angesetzt werden, weil sich diese nicht auf die momentane Einwirkung beziehen, sondern auf die über die Beurteilungszeit von 16 h tags und 8 h nachts gemittelte Beurteilungs-Schwingstärke. Diese Anhaltswerte sagen daher nicht unmittelbar etwas über die Stärke momentaner Einwirkungen aus.

Die Anhaltswerte  $A_r$  wurden so bemessen, daß mit Hilfe des Beurteilungskriteriums  $KB_{FTT}$  ein stetiger Übergang bei vertretbaren Einwirkungsauern zwischen den  $A_o$ -Werten und den  $A_u$ -Werten erreicht wird.

- b) Einen Hinweis auf die Fühlbarkeit der Erschütterungseinwirkung gibt die Größe  $KB_{Fmax}$ . Die Fühlschwelle

liegt bei den meisten Menschen im Bereich zwischen  $KB = 0,1$  und  $KB = 0,2$ . In der Umgebungssituation „Wohnung“ werden auch bereits gerade spürbare Erschütterungen als störend empfunden. Erschütterungseinwirkungen um  $KB = 0,3$  werden beim ruhigen Aufenthalt in Wohnungen überwiegend bereits als gut spürbar und entsprechend stark störend wahrgenommen.

- c) Die in Tabelle 1 enthaltenen Zahlenwerte werden als Anhaltswerte bezeichnet, um klarzustellen, daß es sich bei diesen Werten in Verbindung mit dem Beurteilungsverfahren nicht um gesicherte Grenzwerte handelt, sondern um empfohlene Werte, die aufgrund der Erfahrungen mit DIN 4150-2 : 1975-09 gewonnen wurden.
- d) Bei der Bemessung der Anhaltswerte nach Tabelle 1 stand die Vermeidung erheblicher Belästigungen im Vordergrund der Überlegungen. Dabei mußten für Einwirkungsorte, in deren Umgebung sich überwiegend gewerbliche Anlagen befinden, im Hinblick auf Ortsüblichkeit und praktische Realisierbarkeit Einschränkungen des Schutzanspruches hingenommen werden.

**Zu 6.4.2**

Durch die stärkere Gewichtung von Einwirkungen in Ruhezeiten soll erreicht werden, daß relativ hohe Einwirkungen, die täglich nur während sehr begrenzter Zeit verursacht werden, nicht in diese Ruhezeiten gelegt werden (siehe Beispiele 4 und 5 in Anhang C).

**Zu 6.5.1**

Mit „unmittelbar aufeinander“ sind hier etwa Minutenabstände gemeint, wenn innerhalb des gleichen Zeitraums der Sicherheitsabspernung mehrere Sprengungen erfolgen. Diese Regelung soll es einem Steinbruchbetreiber unter Beibehaltung des  $A_o$ -Wertes als einziges Beurteilungskriterium ermöglichen, seinen Materialbedarf — statt

durch über mehrere Tage einer Woche verteilte Sprengungen — auch durch mehr als drei Sprengungen, die auf einen Tag konzentriert werden, zu decken.

**Zu 6.5.2**

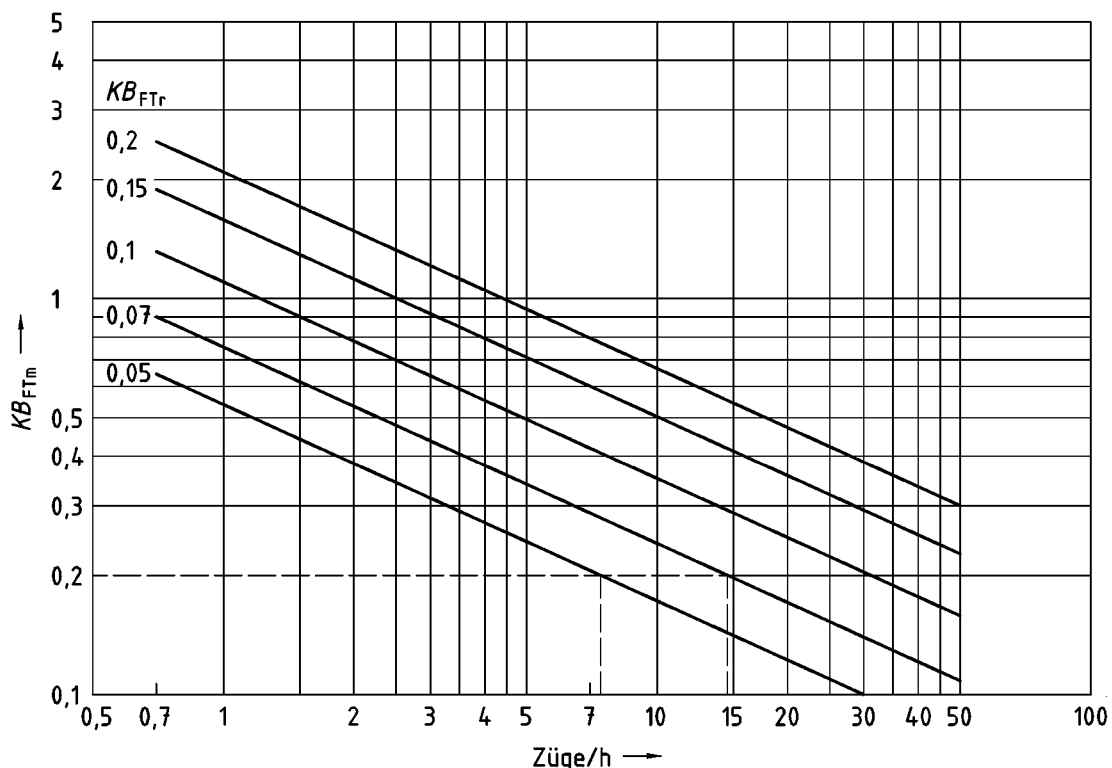
Siehe Erläuterungen zu 6.5.3.1, letzter Absatz.

**Zu 6.5.3**

Die Möglichkeiten der Verminderung von Schwingungsemissionen von Schienenwegen sind begrenzt. Positive Erfahrungen mit Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg im Bereich der Schienenlagerung sind derzeit nur für innerstädtischen ÖPNV sowie in Tunneln vorhanden. Technisch bewährte Maßnahmen sind insbesondere für Strecken mit gemischtem Verkehr (Güter- und Personenzüge, schnelle und langsame) noch nicht verfügbar. Daher ist eine differenzierte Behandlung von oberirdischem und unterirdischem Fernverkehr sowie innerstädtischem ÖPNV erforderlich.

**Zu 6.5.3.1**

Die Auswertung der Forschungsberichte „Erschütterungseinwirkungen aus dem Schienenverkehr“ [3], [4] sowie „Erschütterungen in der Umgebung von ÖPNV-Schienenbahnen“ [1], [2] ergibt, daß die in Tabelle 1 enthaltenen Anhaltswerte  $A_r$  für die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FT,r}$  ein geeignetes Kriterium zur Vermeidung erheblicher Belästigungen durch Schienenverkehr darstellen. Nach der Studie [3] sollte für einen hinreichenden Schutz der Wert  $KB_{FT,m}$  im Bereich zwischen 0,2 und 0,4 liegen. Tatsächlich wird dies durch die Einhaltung der  $A_r$ -Werte nach Tabelle 1 erreicht, wie das Bild D.1 zeigt. Beispielsweise wird  $A_r = 0,05$  (für Wohngebiete nachts) eingehalten, wenn  $KB_{FT,m} = 0,2$  ist und nicht mehr als 7 Züge je Stunde fahren,  $A_r = 0,07$  (für Mischgebiete nachts), wenn  $KB_{FT,m} = 0,2$  ist und nicht mehr als 14 Züge je Stunde fahren.



**Bild D.1: Zusammenhang zwischen der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FT,r}$ , dem Taktmaximal-Effektivwert  $KB_{FT,m}$  und der Zughäufigkeit (Annahmen: Nur eine Zugklasse, und jeder Zug belegt nur einen Takt.)**

Auf die Berücksichtigung der erhöhten Störf Wirkung von Erschütterungseinwirkungen während der Ruhezeiten wird beim Verkehr analog zu den Regelungen für Verkehrslärm im Rahmen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung, 16. BImSchV) verzichtet.

### Zu 6.5.3.3

Eine zusammenfassende Bewertung der vorliegenden deutschen Wirkungsstudien ergibt, daß Erschütterungseinwirkungen, ausgehend vom Personennahverkehr, bei gleichem Niveau für  $KB_{FTTr}$  bzw.  $KB_{FTm}$  als deutlich weniger störend eingestuft werden als entsprechende Einwirkungen des Fernverkehrs. Daher ist eine Anhebung der Anhaltswerte  $A_r$  um den Faktor 1,5 gerechtfertigt.

### Zu 6.5.3.5

Die größten Einzelwerte für  $KB_{Fmax}$  treten bei solchen Zügen auf, die technische Mängel aufweisen, z. B. ausgeprägte Flachstellen an Rädern. Bei einer begrenzten Anzahl von Messungen wird in der Regel der zufallsbedingte „größte“ Wert nicht erfaßt werden können. Seltenere Ausreißer dieser Art sind auch kaum vermeidbar. Oft wiederkehrende „Ausreißer“ werden erfaßt und den Wert der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTTr}$  rasch in die Höhe treiben und damit zu einer Überschreitung des  $A_r$ -Kriteriums führen. Daher wird von einer scharfen Obergrenze durch einen Anhaltswert  $A_o$  abgesehen. Die Suche nach und Beseitigung von „Ausreißern“ ist vor allem an den Strecken (in bezug auf das Vorhandensein von Schienenstößen und von Weichen) und an den Fahrzeugen des ÖPNV erfolgversprechend.

### Zu 6.5.4

#### 1. Bauspezifische Rahmenbedingungen

Baumaßnahmen sind temporär und erstrecken sich vielfach nur über Wochen bis Monate, selten über Jahre. Baumaßnahmen, die Erschütterungsimmissionen erzeugen, sind zeitlich noch stärker begrenzt, in der Regel auf Tage bis Wochen. Im Rahmen dieser Norm interessieren nur solche Zeitabschnitte einer Baumaßnahme, während deren in der Umgebung deutlich wahrnehmbare Erschütterungen auftreten. Liegen diese zwar über den jeweils geltenden Werten nach Tabelle 1, aber noch unter den Werten der Stufe I für  $D > 26$  Tage, dann dürfen zusätzlich auch die Werte für  $D \leq 6$  Tage ausgenutzt werden. Wenn beispielsweise über mehrere Wochen ein Brecher für Abbruchmaterial eingesetzt war, der spürbare Erschütterungen aber noch unterhalb der Werte der Stufe I für  $D > 26$  Tage verursachte, dann dürfen später beim Ram-

men von Spundbohlen die Werte erreicht werden, die sich für die Einwirkung während weniger Tage ergeben.

Bei stationären Industrieanlagen ist das Auftreten von Erschütterungen meist ein unerwünschter Begleiteffekt. Die Übertragung in den Untergrund und damit in die Umgebung kann in der Regel durch geeignete Isolier- und Dämpfungsmaßnahmen verhindert oder auf ein niedriges Niveau gesenkt werden (Beispiel: Schmiedehammer). Im Gegensatz dazu beruht die Wirksamkeit beispielsweise beim Rammen und Rütteln gerade darauf, daß Schwingungen in den Baugrund eingeleitet und dann durch das Erdreich auch in die Umgebung übertragen werden. Erschütterungsfreie oder -arme Verfahren sind nicht in allen Fällen einsetzbar oder führen in vielen Fällen zur wesentlichen Verlängerung der Bauzeit und zu wesentlich höheren Baukosten.

#### 2. Zumutbarkeit erheblicher Belästigungen bei Baumaßnahmen

Außer dem Schutzziel der Norm „Vermeidung erheblicher Belästigung von Menschen in Gebäuden“ mußte bei der Behandlung von Erschütterungen durch Baumaßnahmen eine Abwägung vorgenommen werden zwischen der Zumutbarkeit für betroffene Anwohner einerseits und der Vermeidung unangemessen hoher Kosten andererseits.

Bei Baumaßnahmen gibt es daher immer wieder Situationen, bei denen die Einhaltung der zur Vermeidung erheblicher Belästigungen als angemessen angesehenen Schwellen/Anhaltswerte aus sachlichen Gründen in Frage gestellt ist.

Das ist dann gegeben, wenn aus zwingenden technischen Gründen (Stand der Technik) alternative Bauverfahren nicht zur Verfügung stehen oder aus anderen Schutzgründen nicht in Frage kommen. Wird zur Verringerung der Erschütterungsbelastung z. B. eine erhebliche Bauzeitverlängerung und damit verlängerte Erschütterungsbelastung auf niedrigerem Niveau eventuell in Verbindung mit erhöhter Lärm- und/oder Schmutzbelastung notwendig, dann ist die Zumutbarkeit zeitlich begrenzter Erschütterungseinwirkungen auch im Bereich erheblicher Belästigung bis zu einer Zumutbarkeitsschwelle (Stufe III) abzuwägen.

In solchen Fällen sollte den Betroffenen die Sorge wegen befürchteter Nachteile durch Schäden am Gebäude (z. B. neue Putzrisse) durch Beweissicherung und Zusagen bezüglich der Behebung möglicher Schäden genommen werden. Dann zeigt die Erfahrung, daß viele Betroffene oft starke, aber nur wenige Tage einwirkende Erschütterungen lieber hinnehmen als lang andauernde mäßig starke.

## Anhang E (informativ)

### Literaturhinweise

DIN 45667

Klassierverfahren für das Erfassen regelloser Schwingungen

DIN 55303-2

Statistische Auswertung von Daten — Testverfahren und Vertrauensbereiche für Erwartungswerte und Varianzen

DIN 55350-22

Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik — Begriffe der Statistik — Spezielle Wahrscheinlichkeitsverteilungen

DIN 55350-23

Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik — Begriffe der Statistik — Beschreibende Statistik

DIN 55350-24

Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik — Begriffe der Statistik — Schließende Statistik

VDI 3723 Blatt 1

Anwendung statistischer Methoden bei der Kennzeichnung schwankender Geräuschemissionen

- [1] Gottlob, D.: Bevölkerungsreaktionen bei Erschütterungseinwirkungen — in: Fortschritte der Akustik — DAGA '87, DPG, Honnef (1987), S. 285–288
- [2] Eickschen, E., und Brandenburg, W.: Erschütterungen in der Umgebung von ÖPNV-Schienenbahnen — Messung im Vergleich zu Anlieger-Beurteilungen, STUVA-Forschungsbericht 17/84, Köln (1984)
- [3] Zeichart, K., Sinz, A., Schuemer, R., und Schuemer-Kohrs, A.: Erschütterungseinwirkungen aus dem Schienenverkehr — Hauptbericht, Bericht über ein interdisziplinäres Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes (Berlin) und des Bundesbahnzentralamtes (München) — Obermeyer Planen + Beraten, München (1993)
- [4] Zeichart, K., Sinz, A., Schuemer-Kohrs, A., und Schuemer, R.: (1994) Erschütterungen durch Eisenbahnverkehr und ihre Wirkung auf Anwohner — Teil 1: Zum Zusammenwirken von Erschütterungs- und Geräuschbelastung; Z. Lärmbe-kämpf., 41 (1994), S. 43–51, Springer Verlag