

DIN 4150-2

ICS 13.160; 91.120.25

Einsprüche bis 2023-11-21
Vorgesehen als Ersatz für
DIN 4150-2:1999-06

Entwurf**Erschütterungen im Bauwesen –
Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden**

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

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

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-07-21 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 51 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Inhalt

	Seite
Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Grundlagen zur Beurteilung der Belästigung von Menschen in Gebäuden durch Erschütterungsimmissionen	10
4.1 Allgemeines	10
4.2 Ermittlung der Beurteilungsgrößen	10
4.2.1 Allgemeines	10
4.2.2 Bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$	11
4.2.3 Taktmaximalwert KB_{FTi}	11
4.2.4 Maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}	12
4.2.5 Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm}	12
4.2.6 Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr}	12
5 Hinweise zur Messung	12
5.1 Messgeräte	12
5.2 Messrichtungen und Messpunkte	12
5.3 Messzeit	13
5.4 Überwachungsmessung	13
5.5 Messunsicherheit	13
6 Beurteilung der Erschütterungsimmissionen	13
6.1 Beurteilungsgrößen	13
6.2 Anhaltswerte	14
6.3 Verfahren	14
6.4 Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr}	15
6.4.1 Beurteilungszeit T_r	15
6.4.2 Einwirkungen außerhalb von Ruhezeiten	16
6.4.3 Einwirkungen während der Ruhezeiten	16
6.4.4 Erschütterungsimmissionen in Gewerbebetrieben	17
6.5 Quellspezifische Regelungen	17
6.5.1 Selten auftretende, kurzzeitige Erschütterungen	17
6.5.2 Erschütterungen durch Straßenverkehr	18
6.5.3 Erschütterungen durch Schienenverkehr	18
6.5.4 Erschütterungen durch Baumaßnahmen	23
7 Näherungsverfahren zur Ermittlung der Beurteilungsgrößen aus direkten Erschütterungsregistrierungen	25
8 Messbericht	26
Anhang A (informativ) Flussdiagramm für die Bewertung von Erschütterungen durch Baumaßnahmen	28
Anhang B (informativ) Beispiele zur Erläuterung des Beurteilungsverfahrens	29
B.1 BEISPIEL 1 — Sinusförmige Dauereinwirkungen; Beurteilung nach Tabelle 1, Zeile 2	29
B.1.1 Angaben zu den Erschütterungsimmissionen	29
B.1.2 Annahmen	29
B.1.3 Beurteilungsverfahren	29
B.1.4 Schlussfolgerung	29
B.2 BEISPIEL 2 — Sinusförmige Dauereinwirkungen; Beurteilung nach Tabelle 1, Zeile 4	29
B.2.1 Angaben zu den Erschütterungsimmissionen	29
B.2.2 Annahmen	29
B.2.3 Beurteilungsverfahren	30
B.2.4 Schlussfolgerung	31
B.3 BEISPIEL 3 — Stationäre Dauereinwirkungen	31

B.3.1	Angaben zu den Erschütterungsimmissionen	31
B.3.2	Zur Erläuterung des Beurteilungsverfahrens werden folgende Annahmen getroffen . . .	31
B.3.3	Beurteilungsverfahren	31
B.3.4	Schlussfolgerung	32
B.4	BEISPIEL 4 — Stoßartige Einwirkungen außerhalb der Ruhezeit	32
B.4.1	Angaben zu den Erschütterungsimmissionen	32
B.4.2	Annahmen	33
B.4.3	Beurteilungsverfahren	33
B.4.4	Schlussfolgerung	34
B.5	BEISPIEL 5 — Stoßartige Einwirkungen innerhalb der Ruhezeit	34
B.5.1	Angaben zu den Erschütterungsimmissionen	34
B.5.2	Annahmen	34
B.5.3	Beurteilungsverfahren	35
B.5.4	Schlussfolgerung	35
B.6	BEISPIEL 6 — Stoßartige Einwirkungen; Einwirkungszeit von 16 h täglich	35
B.6.1	Angaben zu den Erschütterungsimmissionen	35
B.6.2	Annahmen	35
B.6.3	Beurteilungsverfahren	35
B.6.4	Schlussfolgerung	35
B.7	BEISPIEL 7 — Einwirkungen durch Sprengungen	35
B.7.1	Angabe zur Erschütterungsimmission	35
B.7.2	Annahmen	36
B.7.3	Beurteilungsverfahren	36
B.7.4	Schlussfolgerung	36
B.8	BEISPIEL 8 — Einwirkungen aus Straßenbahn- und U-Bahnverkehr	37
B.8.1	Angaben zu den Erschütterungsimmissionen	37
B.8.2	Annahmen	38
B.8.3	Beurteilungsverfahren	38
B.8.4	Schlussfolgerungen	39
B.9	BEISPIEL 9 — Einwirkungen aus Eisenbahnverkehr	40
B.9.1	Angaben zu den Erschütterungsimmissionen	40
B.9.2	Annahmen	42
B.9.3	Beurteilungsverfahren	42
B.9.4	Schlussfolgerung	44
Anhang C (informativ) Erläuterungen		45
C.1	Erläuterungen zu 3.4	45
C.2	Erläuterungen zu 4.2.3	45
C.3	Erläuterungen zu 5.2	45
C.4	Erläuterungen zu 6.4.3	45
C.5	Erläuterungen zu 6.5.1.2	45
C.6	Erläuterungen zu 6.5.3.1	46
C.7	Erläuterungen zu 6.5.3.2	46
C.8	Erläuterungen zu 6.5.3.3	46
C.9	Erläuterungen zu 6.5.4	47
Anhang D (informativ) Prognose und spektrale Berechnung von KB -Werten		49
Literaturhinweise		50

Bilder

Bild 1 — Ermittlung der Taktmaximalwerte KB_{FTi}	11
Bild 2 — Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren	15
Bild A.1 — Flussdiagramm für die Bewertung	28
Bild B.1 — Zeitverlauf der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ für Erschütterungsimmission nach Beispiel 1 und Beispiel 2	31

Bild B.2 — Zeitverlauf der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ für Erschütterungsimmission nach Beispiel 4 bis Beispiel 6	33
Bild B.3 — Zeitverläufe für Erschütterungsimmissionen nach Beispiel 7	37
Bild B.4 — gemessener Zeitverlauf der Schwinggeschwindigkeit auf einer Deckenmitte des untersuchten Wohngebäudes	37
Bild B.5 — Schematische Skizze mit den Bestandsgleis sowie dem geplanten Gleis und dem zu untersuchenden Wohngebäude	40
Bild B.6 — Gemessene Zeitverläufe der Schwinggeschwindigkeit auf einer Deckenmitte des untersuchten Wohngebäudes	42
Bild C.1 — Zusammenhang zwischen der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTi}, dem Taktmaximal-Effektivwert $KB_{FTm,Zug}$ und der Zughäufigkeit (Annahmen: Nur eine Zugkategorie und jeder Zug belegt nur einen Takt.)	46

Tabellen

Tabelle 1 — Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in schutzbedürftigen Räumen	14
Tabelle 2 — Bewertungsfaktoren α_{Zug} zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Charakteristik von Zugvorbeifahrten und Trassenlage	20
Tabelle 3 — Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen	24
Tabelle 4 — Erfahrungswerte für die Konstante c_F für verschiedene Arten von Erschütterungseinwirkungen	26
Tabelle B.1 — Ermittelte $KB_{FTi,Zug}$-Werte	38
Tabelle B.2 — Taktmaximal-Effektivwerte für die Zugkategorien	43
Tabelle B.3 — Betriebsprogramm für Prognosenullfall und Prognoseplanfall	43

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Gemeinschaftsausschuss NA 005-51-11 GA „Gemeinschaftsausschuss NABau/NALS: Schwingungsfragen im Bauwesen; Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (DIN 4150-2)“ im Normenausschuss Bauwesen (NABau) erarbeitet.

DIN 4150 besteht unter dem allgemeinen Titel *Erschütterungen im Bauwesen* aus den folgenden Teilen:

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

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN 4150-2:1999-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Dokument redaktionell überarbeitet;
- b) Definition des schutzbedürftigen Raumes hinzugefügt;
- c) in Tabelle 1 Zeile 3 der A_u -Wert nachts geändert und urbane Gebiete aufgenommen;
- d) in 5.4 die Beschreibung zum Vorgehen bei Überwachungsmessungen von KB -Werten aufgenommen;
- e) in 6.5.1 die Bewertung induzierter seismischer Erschütterungen aufgenommen;
- f) in 6.5.2 die Bewertung von Erschütterungen durch Straßenverkehr angepasst;
- g) 6.5.3 grundsätzlich überarbeitet — vollständig geänderte Bewertung von Schienenverkehrserschütterungen;
- h) Anhang A entfernt und die Inhalte in 6.5.3 überführt;
- i) Beispiele in Anhang B ergänzt und überarbeitet;
- j) Anhang D hinzugefügt;
- k) Literaturhinweise ergänzt.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument stellt allgemeine Grundsätze für die angemessene Berücksichtigung des Erschütterungsschutzes im Immissionsschutz auf.

Dieses Dokument beschreibt ein Verfahren zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen aus unterschiedlichen Anregungen (Quellen), die in Gebäuden auf Menschen einwirken, dabei wird das Verfahren jeweils quellen-spezifisch angepasst. Die zu bewertenden Erschütterungen umfassen einen Frequenzbereich von 1 Hz bis 80 Hz und können anhand von Messungen oder Berechnungen (Prognosen) ermittelt werden.

Dieses Dokument nennt Anforderungen und Anhaltswerte, bei deren Einhaltung zu erwarten ist, dass erhebliche Belästigungen von Menschen in schutzbedürftigen Räumen vermieden werden.

Dieses Dokument ist nicht anwendbar für die Beurteilung des von schwingenden Bauteilen und Raumbegrenzungsflächen abgestrahlten Luftschalls, der als „sekundärer Luftschall“ bezeichnet wird.

Dieses Dokument ist nicht anwendbar für selbstverursachte Schwingungen.

ANMERKUNG Zu selbstverursachten Schwingungen siehe VDI 2038 (alle Teile).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 1311 (alle Teile), *Schwingungen und schwingungsfähige Systeme*

DIN 1333, *Zahlenangaben*

DIN 4150-3, *Erschütterungen im Bauwesen — Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen*

DIN 45669-1, *Messung von Schwingungsimmissionen — Teil 1: Schwingungsmesser — Anforderungen und Prüfungen*

DIN 45669-2, *Messung von Schwingungsimmissionen — Teil 2: Messverfahren*

DIN 45672-1, *Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen — Teil 1: Messverfahren für Schwingungen*

DIN 45672-2, *Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen — Teil 2: Auswerteverfahren*

DIN 45672-3¹, *Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen — Teil 3: Prognoseverfahren auf Basis von Terzspektren*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 1311 (alle Teile) und die folgenden Begriffe.

DIN und DKE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— DIN-TERMinologieportal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term>

¹ Aktuell im Entwurf.

— DKE-IEV: verfügbar unter <http://www.dke.de/DKE-IEV>

3.1

Erschütterungen

mechanische Schwingungen fester Körper mit potenziell schädigender oder belastigender Wirkung

3.2

Erschütterungsimmissionen

an Messpunkten auftretende Erschütterungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Messpunkte sind in 5.2 definiert.

3.3

Anhaltswert

Wert, bei dessen Einhaltung zu erwarten ist, dass erhebliche Belästigungen durch Erschütterungen vermieden werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Bezeichnung Anhaltswert wird verwendet, um klarzustellen, dass es sich bei diesem Wert in Verbindung mit dem Beurteilungsverfahren nicht um einen Grenzwert handelt, sondern um einen Wert, der aufgrund von Erfahrungen gewonnen und in der Anwendung bestätigt wurde.

3.4

unbewertetes Erschütterungssignal

bandbegrenzte Schwinggeschwindigkeit $v(t)$ im Frequenzbereich von 1 Hz bis 80 Hz

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Frequenzbereich ist in DIN 45669-1 definiert.

Anmerkung 2 zum Begriff: Weitere Erläuterungen sind in Abschnitt C.1 zu finden.

3.5

frequenzbewertetes Erschütterungssignal

$KB(t)$

aus dem unbewerteten Erschütterungssignal (3.4) durch die Frequenzbewertung (Filterung) und Normierung mit der Normierungsgröße 1 mm/s resultierendes Signal

Anmerkung 1 zum Begriff: Frequenzbewertung (Filterung) und Normierung sind in DIN 45669-1 definiert.

3.6

zeitbewertete Erschütterungssignale

3.6.1

bewertete Schwingstärke

$KB_F(t)$

gleitender Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals mit der Zeitkonstanten „Fast“ $\tau = 0,125$ s

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Effektivwertbildung ist in DIN 45669-1 definiert.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei sinusförmigen Erschütterungen und mit Frequenzen $f > 10$ Hz ist $KB_F(t)$ nahezu 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.

3.6.2

Taktmaximalwert

KB_{FTi}

Maximalwert von $KB_F(t)$ innerhalb eines Taktes von 30 s

3.6.3

Taktmaximalwert Zug

$KB_{FTi,Zug}$

Maximalwert von $KB_F(t)$ einer Zugvorbeifahrt je Zugkategorie (3.13)

Anmerkung 1 zum Begriff: Dauert die Zugvorbeifahrt länger als 30 s, wird diese ebenfalls komplett erfasst und nur als ein Takt gezählt. Weitere Hinweise sind in 6.5.3.2 enthalten.

3.6.4

maximale bewertete Schwingstärke

KB_{Fmax}

Maximalwert aller KB_{FTi} -Werte, der während der jeweiligen Messzeit (einmalig oder wiederholt) auftritt und der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist

3.7

Taktmaximal-Effektivwerte

3.7.1

Taktmaximal-Effektivwert

KB_{FTm}

Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte KB_{FTi}

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} wird nach Gleichung (1) ermittelt

3.7.2

Taktmaximal-Effektivwert Zug

$KB_{FTm,Zug}$

Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte $KB_{FTi,Zug}$ je Zugkategorie (3.13)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Taktmaximal-Effektivwert Zug $KB_{FTm,Zug}$ wird nach Gleichung (5) ermittelt

3.8

Zeiten

3.8.1

Messzeit

T_m

Zeit, in der Messdaten erfasst werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Messzeit kann kürzer als die Beurteilungszeit sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Messzeit kann aus mehreren Teilmesszeiten bestehen.

3.8.2

Einwirkungszeit

T_e

Zeit mit Erschütterungseinwirkung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einwirkungszeit T_e darf in Teileinwirkungen T_{ej} unterteilt werden, z. B. zur Beschreibung von unterschiedlichen Erschütterungsimmissionen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei Beurteilung von Schienenverkehrserschütterungen wird jede Vorbeifahrt als ein Takt berechnet. Somit ergibt sich die Einwirkungszeit aus der Anzahl der Vorbeifahrten.

3.8.3

Beurteilungszeit

T_r

Zeitraum (Tag oder Nacht), in dem die Erschütterungseinwirkung zu beurteilen ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Tagzeitraum ist für die Zeit 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr und der Nachtzeitraum für die Zeit 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr festgelegt.

3.8.4

Ruhezeit

Zeitraum mit erhöhter Schutzbedürftigkeit tagsüber

3.9

Beurteilungs-Schwingstärke

KB_{FT_r}

Taktmaximal-Effektivwert bezogen auf die Beurteilungszeit T_r

3.10

Sekundäreffekt

durch einwirkende Erschütterungen im betrachteten Raum verursachte hörbare Geräusche oder sichtbare Bewegungen von Gegenständen

Anmerkung 1 zum Begriff: Sekundäreffekte sind z. B.:

- Sekundärschall (Schallabstrahlung der angeregten Raumbegrenzungsflächen);
- 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.

3.11

schutzbedürftiger Raum

Raum, der zum dauerhaften Aufenthalt von Personen vorgesehen ist und in dem keine Anlage des zugehörigen Betriebes erhebliche Erschütterungsimmissionen verursacht

Anmerkung 1 zum Begriff: Schutzbedürftige Räume sind z. B. Wohnräume, Wohndielen, Wohnküchen, Schlafräume, einschließlich Übernachtungsräumen in Beherbergungstätten, Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien, Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen, Büroräume, Praxisräume, Sitzungsräume sowie ähnliche Arbeitsräume und Pausenräume.

Anmerkung 2 zum Begriff: Keine schutzbedürftigen Räume sind z. B. Küchen, Flure, Bäder, Toilettenräume und Nebenräume.

3.12

Zuggattung

globale Einteilung des Schienenverkehrs in Massengütertransport, Vollbahn, S-Bahn, U-Bahn, Straßenbahn

[QUELLE: E DIN 45672-3:2023-02, 3.6, modifiziert – Anmerkung 1 zum Begriff entfernt.]

3.13

Zugkategorie

verkehrsbezogene Differenzierung von Zügen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Differenzierung erfolgt aus erschütterungstechnischer Sicht und umfasst Fahrzeugtyp, Geschwindigkeitsklasse, Gleis/Fahrtrichtung u. ä.

[QUELLE: E DIN 45672-3:2023-02, 3.7]

4 Grundlagen zur Beurteilung der Belästigung von Menschen in Gebäuden durch Erschütterungsimmissionen

4.1 Allgemeines

Grundsätzlich sollte der Mensch in Gebäuden, insbesondere in Wohnungen, so wenig wie möglich spürbaren Erschütterungen ausgesetzt werden. Spürbare 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 Erschütterungseinwirkung und deren Wechselwirkung mit individuellen Eigenschaften und situativen Bedingungen des betroffenen Menschen ab. Belästigungen sind nur auszuschließen, wenn die einwirkenden Erschütterungen nicht wahrnehmbar sind. Erhebliche Belästigungen sind nicht zu erwarten, wenn die Anhaltswerte dieses Dokuments eingehalten werden.

Die Belästigung des Menschen durch Erschütterungen hängt insbesondere ab von:

- der Größe (Stärke) der auftretenden Erschütterungen;
- der Frequenz;
- der Einwirkungsdauer;
- der Häufigkeit und Tageszeit des Auftretens;
- 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 Erschütterungseinwirkung;
- der Grad der Gewöhnung;
- die Einstellung zum Erschütterungsverursacher;
- die Erwartungshaltung in Bezug auf ungestörtes Wohnen und Arbeiten, die unter Umständen von der Art des Wohngebietes (Wohnumfeld) abhängig ist;
- die Sekundäreffekte (siehe 3.10).

4.2 Ermittlung der Beurteilungsgrößen

4.2.1 Allgemeines

Die Erschütterungsimmissionen werden an Messpunkten zur Beurteilung der Schwingungen (siehe 5.2) ermittelt. In Planungsfällen liegen anstelle von Messwerten Ergebnisse von Prognosen vor, die ebenfalls nach diesem Dokument zu beurteilen sind.

Für die Beurteilungszeit T_T wird die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{\max}}$ und, falls erforderlich, die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{TT}}$ bestimmt und mit Anhaltswerten verglichen, die nach Einwirkungsorten entsprechend der baulichen Nutzung ihrer Umgebung und nach der Tageszeit des Auftretens unterteilt sind.

Somit werden Einflüsse der Ortsüblichkeit und der Zeitpunkt des Auftretens der Erschütterungen berücksichtigt.

Die bewertete Schwingstärke KB_F bildet die momentane Erschütterungswahrnehmung ab. Erschütterungen sind ab KB_F -Werten zwischen 0,1 und 0,2 spürbar. Bei KB_F -Werten oberhalb von 0,3 sind Erschütterungen bei Aufenthalt in ruhiger Umgebung überwiegend gut spürbar. Daher kann von der bewerteten Schwingstärke KB_F auf die Wahrnehmbarkeit der Erschütterungsimmissionen geschlossen werden.

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTi} ist der quadratische Mittelwert der Erschütterungseinwirkung KB_{FTi} über den gesamten Beurteilungszeitraum. Als quadratischer Mittelwert bildet KB_{FTi} die momentane Erschütterungswahrnehmung nicht ab. In die Berechnung von KB_{FTi} gehen sowohl Zeitabschnitte mit spürbaren, als auch mit nicht spürbaren Erschütterungseinwirkungen ein. KB_{FTi} ist ausschließlich mit dem Anhaltswert A_r zu vergleichen. Der Vergleich von KB_{FTi} mit den Anhaltswerten A_u und A_o ist unzulässig.

Bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Tabelle 1 ist zu erwarten, dass die Sekundäreffekte in der Regel nicht zu einer erheblichen Belästigung führen. Dieser Zusammenhang gilt nicht zwingend für Sekundärschall.

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 Einzelfall-Beurteilung notwendig werden.

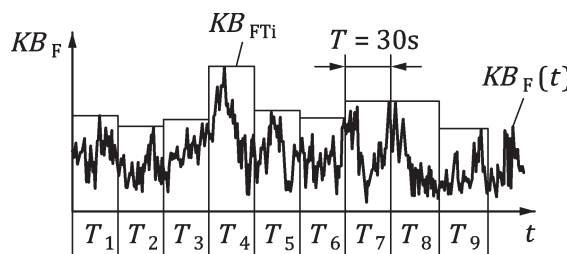
Bei Baumaßnahmen ist insbesondere zu berücksichtigen, dass die Einwirkungen zeitlich begrenzt sind. In vielen Fällen ist es notwendig, ein Verfahren einzusetzen, welches zur Erreichung des Arbeitszieles Erschütterungen in den Baugrund einleiten muss. Daher sind für diesen Fall andere Maßstäbe hinsichtlich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

4.2.2 Bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$

Aus den unbewerteten Erschütterungssignalen $v(t)$ wird die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ berechnet. Dazu wird aus dem Zeitverlauf der gemessenen, bandbegrenzten Schwinggeschwindigkeit $v(t)$ durch Anwendung einer KB -Frequenzbewertung das frequenzbewertete Erschütterungssignal $KB(t)$ und hieraus als gleitender Effektivwert die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ gebildet. Detaillierte Hinweise hierzu finden sich in DIN 45669-1.

4.2.3 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 und Bild B.2). Mit dem Index i werden die Takte nummeriert.



Legende

t Zeit
 T_i Takt

Bild 1 — Ermittlung der Taktmaximalwerte KB_{FTi}

Bei wiederholten Erschütterungswirkungen, welche kürzer als ein oder wenige 30-s-Takte sind und die von wesentlich längeren Einwirkungspausen unterbrochen werden, darf der Beginn der Takte jeweils an den Beginn der Ereignisse gelegt werden, so dass die Anzahl der belegten Takte minimiert wird.

Weitere Erläuterungen sind in Abschnitt C.2 zu finden.

4.2.4 Maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}

Für die jeweilige Messzeit gilt $KB_{Fmax} = \max \{KB_{FTi}\}$.

4.2.5 Taktmaximal-Effektivert KB_{FTm}

Der Taktmaximal-Effektivert KB_{FTm} wird nach Gleichung (1) gebildet:

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

Dabei ist

N die Anzahl der Takte.

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

Weitere Erläuterungen sind in Abschnitt C.2 zu finden.

4.2.6 Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTR}

Die Ermittlung (siehe Abschnitt 6) der Beurteilungs-Schwingstärke erfolgt quellspezifisch.

5 Hinweise zur Messung

5.1 Messgeräte

Für die Erschütterungsmessungen sind Schwingungsmesser nach DIN 45669-1 einzusetzen.

ANMERKUNG 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 einkanaligen Geräten nacheinander gemessen werden.

Aufstellung und Ankopplung der Schwingungsaufnehmer (Sensoren) müssen nach DIN 45669-2 erfolgen.

5.2 Messrichtungen und Messpunkte

Die Messung der Erschütterungen 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 Erschütterungen 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. DIN 45669-2 enthält Hinweise zur Vermeidung möglicher Fehler bei der Aufstellung der Schwingungsaufnehmer (Sensoren).

Weitere Erläuterungen sind in Abschnitt C.3 zu finden.

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 Beurteilungszeit sein.

ANMERKUNG Untypische Zustände sind Ereignisse, die aus nicht typischem Anlageverhalten resultieren oder nicht der untersuchten Schwingungsquelle zuzuordnen sind.

5.4 Überwachungsmessung

Bei länger andauernden Erschütterungsüberwachungen (Messzeit über mehrere Wochen oder Monate) sind Messungen in schutzbedürftigen Räumen oft nicht praktikabel umsetzbar, da Störungen der Erschütterungsaufzeichnungen durch Personen im Raum nicht sicher ausgeschlossen werden können und die normgerechte Installation des Schwingungsaufnehmers über die Messzeit nicht sichergestellt ist. Außerdem wird von Betroffenen die langfristige Installation eines Messsystems in ihren Wohnräumen häufig nicht akzeptiert.

In solchen Fällen dürfen geeignete Ersatzmesspunkte, z. B. im Fundamentbereich, genutzt werden, sofern das Übertragungsverhalten von diesem Messpunkt auf den maßgebenden schutzbedürftigen Raum (siehe 3.11) ausreichend genau bestimmt worden ist und bei der Beurteilung berücksichtigt wird. Die Bestimmung des Übertragungsverhaltens sollte messtechnisch erfolgen. Generell sind der Anregungsfrequenzbereich und die Signalcharakteristik der Erschütterungsquelle ebenso wie das Schwingungsverhalten des Gebäudes bei der Bestimmung des Übertragungsverhaltens zu beachten.

Der Ersatzmesspunkt muss den Anforderungen an einen Messpunkt nach DIN 45669-2 entsprechen.

Die Abschätzung der Größen KB_{Fmax} und KB_{FTI} für den schutzbedürftigen Raum darf in Abhängigkeit von der Bestimmung des Übertragungsverhaltens mit einem linearen Faktor oder mit einer frequenzabhängigen Übertragungsfunktion erfolgen. Dabei sind Unsicherheiten des Übertragungsverhaltens ausschließlich als Maximalabschätzung zu berücksichtigen. Anhaltswertüberschreitungen können deshalb mit einer Messung am Ersatzmesspunkt, z. B. am Gebäudefundament, nicht sicher nachgewiesen werden. Die Anwendung dieses Verfahrens ist daher auf den Nachweis der Einhaltung der Anhaltswerte $KB_{Fmax} < A_0$ und $KB_{FTI} < A_r$ beschränkt.

5.5 Messunsicherheit

Bei der Ermittlung von KB_F -bewerteten Größen treten erfahrungsgemäß messtechnisch bedingte Unsicherheiten bis etwa 15 % auf.

In DIN 45669-1:2020-06, Anhang F, sowie in DIN SPEC 45660-2:2018-01, Anhang C, sind Verfahren beschrieben, anhand derer eine detaillierte Unsicherheitsbilanz für den Schwingungsmesser als auch für die gesamte Schwingungsmessung erstellt werden kann.

6 Beurteilung der Erschütterungsimmissionen

6.1 Beurteilungsgrößen

Es gibt zwei Beurteilungsgrößen:

- KB_{Fmax} , die maximale bewertete Schwingstärke nach 3.6.4 und 4.2.4;
- KB_{FTI} , die Beurteilungs-Schwingstärke nach 3.9, 4.2.6 und 6.4.

Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} und, falls erforderlich, die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTI} sind auf mindestens drei Nachkommastellen zu ermitteln. Die ermittelten Werte sind nach DIN 1333 auf zwei Nachkommastellen zu runden.

6.2 Anhaltswerte

Tabelle 1 enthält Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen, die in schutzbedürftigen Räumen auftreten.

Tabelle 1 — Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in schutzbedürftigen 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 (siehe Industriegebiete BauNVO, § 9).	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (siehe 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 (siehe Kerngebiete BauNVO, § 7, urbane Gebiete BauNVO, § 6a Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5).	0,2	5	0,1	0,1	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (siehe 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
ANMERKUNG 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 Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.							

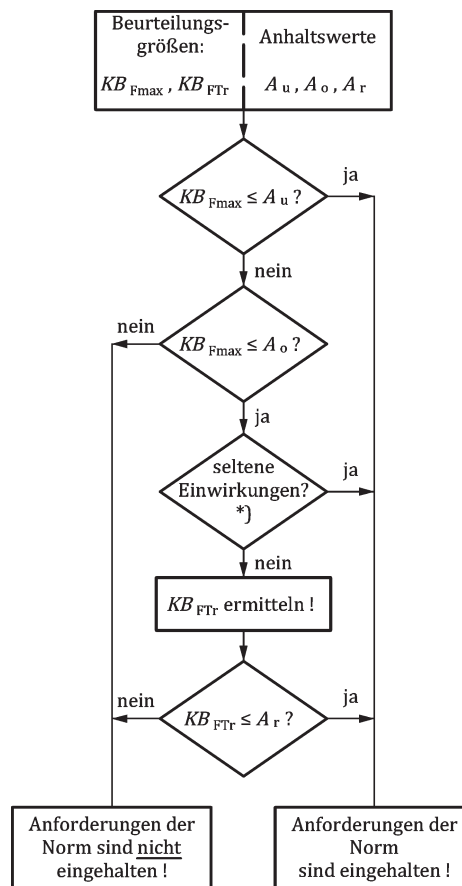
6.3 Verfahren

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 dieses Dokuments eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der obere Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung dieses Dokuments nicht eingehalten. Die Besonderheiten bei Schienenverkehrserschütterungen (siehe 6.5.3.6) sowie bei Sprengerschütterungen (siehe 6.5.1.2) sind zu beachten.

- Für selten auftretende, kurzzeitige Einwirkungen ist die Anforderung dieses Dokuments eingehalten, wenn KB_{Fmax} kleiner als A_0 ist (siehe 6.5.1).
- Für häufige Einwirkungen, bei denen KB_{Fmax} größer als A_u , aber kleiner als A_0 ist, ist bis auf den Ausnahmefall nach 6.5.1 ein weiterer Prüfschritt für die Entscheidung erforderlich: die Bestimmung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} nach 6.4 und der Vergleich mit dem Anhaltswert A_r . 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 dieses Dokuments ebenfalls eingehalten.



*) Siehe 6.5.1.

Bild 2 — Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren

Dieses Verfahren ist grundsätzlich für alle Arten von Erschütterungseinwirkungen anzuwenden. Da unterschiedliche Anregungen auch zu unterschiedlichen Einwirkungen (Immissionen) führen, werden quellspezifische Regelungen in 6.5 behandelt. Passende Beispiele hierzu sind in Anhang B zu finden.

ANMERKUNG Der Anhaltswert A_r dient der Beurteilung stark schwankender und/oder nur kürzere Zeit einwirkender Erschütterungen, deren KB_{Fmax} -Wert größer als A_u , aber kleiner als A_0 ist. Für Einwirkungen bei denen KB_{Fmax} größer A_u ist und relativ geringe Schwankungen der Taktmaximalwerte auftreten, unterschreitet der KB_{FTr} den A_r -Wert nur dann, wenn die Einwirkungen insgesamt 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} .

6.4 Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr}

6.4.1 Beurteilungszeit T_r

Die Beurteilungszeit T_r beträgt tags 16 h (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) und nachts 8 h (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr).

Innerhalb der Beurteilungszeit T_r werden tags folgende Ruhezeiten definiert:

- werktags von 06:00 Uhr bis 07:00 Uhr und von 19:00 Uhr bis 22:00 Uhr;
- sonn- und feiertags von 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr.

6.4.2 Einwirkungen außerhalb von Ruhezeiten

Die Beurteilungs-Schwingstärke außerhalb von Ruhezeiten wird nach Gleichung (2) oder Gleichung (3) gebildet:

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

$$KB_{FTr} = KB_{FTm} \sqrt{T_e/T_r} \quad (3)$$

Dabei ist

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

T_e die Einwirkungszeit;

$T_{e,j}$ die Teileinwirkungszeiten;

KB_{FTm} und $KB_{FTm,j}$ der (die) Taktmaximal-Effektivwert(e) nach Gleichung (1), der (die) für die Einwirkungszeit T_e oder Teileinwirkungszeit $T_{e,j}$ repräsentativ ist (sind).

Gleichung (2) ist anzuwenden, wenn sich die Gesamteinwirkung aus mehreren Abschnitten unterschiedlich starker Erschütterungsimmissionen der Dauer $T_{e,j}$ mit dafür repräsentativen $KB_{FTm,j}$ -Werten zusammensetzt. Gleichung (3) ist anzuwenden, wenn sich die gesamte Erschütterungsimmission während der Beurteilungszeit durch einen einzigen repräsentativen KB_{FTm} -Wert beschreiben lässt.

6.4.3 Einwirkungen während der Ruhezeiten

Erschütterungseinwirkungen während der Ruhezeiten nach 6.4.1 führen zu erhöhten Störwirkungen. Bei der Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke wird dies dadurch berücksichtigt, dass diese Zeiten mit dem Faktor 2 gewichtet werden. Hiermit ergibt sich der KB_{FTr} -Wert nach Gleichung (4):

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r} (T_{e1} \cdot KB_{FTm1}^2 + 2T_{e2} \cdot KB_{FTm2}^2)} \quad (4)$$

Dabei ist

T_r die Beurteilungszeit;

T_{e1} die Einwirkungszeit außerhalb der Ruhezeiten;

T_{e2} die Einwirkungszeit während der Ruhezeiten;

KB_{FTm1} der Taktmaximal-Effektivwert außerhalb der Ruhezeiten;

KB_{FTm2} der Taktmaximal-Effektivwert während der Ruhezeiten.

Gleichung (4) darf analog zu Gleichung (2) durch Glieder für weitere Teileinwirkungszeiten ergänzt werden.