

DIN 4150-1

ICS 91.120.25

Ersatz für
DIN 4150-1:2001-06**Erschütterungen im Bauwesen –
Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen**Vibrations in buildings –
Part 1: Predictions of vibration parametersVibrations dans les bâtiments –
Partie 1: Détermination préliminaire des valeurs des vibrations

Gesamtumfang 55 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Inhalt

	Seite
Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Grundlagen der Vorermittlung	8
4.1 Verfahren	8
4.2 Ausbreitung von Schwingungen	8
4.3 Schwingungsübertragung auf Gebäude	12
4.3.1 Allgemeines	12
4.3.2 Übertragung von Vertikalschwingungen vom Baugrund auf Fundamente	12
4.3.3 Übertragung von Vertikalschwingungen vom Fundament auf Decken	13
4.3.4 Übertragung von Horizontalschwingungen	14
5 Erschütterungsquellen	14
5.1 Anregungen infolge von Einzelereignissen	14
5.1.1 Allgemeines	14
5.1.2 Sprengungen	14
5.1.3 Fallende Massen	15
5.1.4 Induzierte seismische Ereignisse	16
5.2 Anregungen aus dem Baubetrieb	17
5.2.1 Allgemeines	17
5.2.2 Impulsförmige Erschütterungsquellen	17
5.2.3 Stationäre Erschütterungsquellen	17
5.2.4 Erschütterungen aus allgemeinem Baubetrieb	18
5.3 Anregungen aus Verkehr	19
5.3.1 Allgemeines	19
5.3.2 Schienenverkehr	19
5.3.3 Straßenverkehr	20
5.3.4 Schiffsverkehr (Binnenschifffahrt)	21
5.4 Anregungen aus Maschinenbetrieb	21
5.4.1 Allgemeines	21
5.4.2 Maschinen mit periodischer Erregercharakteristik	22
5.4.3 Maschinen mit transients Erregercharakteristik	22
5.4.4 Maschinen mit periodischer Stoßerregung	22
5.4.5 Maschinengruppen	22
Anhang A (informativ) Quellenarten mit charakteristischen Beispielen	24
A.1 Allgemeines	24
A.2 Sprengungen (zu 5.1.2)	24
A.2.1 Allgemeines	24
A.2.2 Ausbreitung im Freifeld	24
A.2.3 Übertragung ins Gebäude	26
A.3 Fallende Massen (zu 5.1.3)	28
A.3.1 Allgemeines	28
A.3.2 Schornsteinsprengung	28
A.3.3 Sprengung — drei Schornsteine	30
A.4 Impulsförmige Erschütterungsquellen (zu 5.2.2)	31
A.4.1 Allgemeines	31
A.4.2 Schlagrammung von Fertigteilpfählen — Einzelschlag und Schlagfolge	31
A.5 Stationäre Erschütterungsquellen (zu 5.2.3)	33
A.5.1 Allgemeines	33
A.5.2 Vibrationsverdichtung	34
A.5.3 Resonanzeffekt bei Vibrationsrammung (zu 5.2.3)	36

A.5.4	Rüttelstopfverdichtung	37
A.6	Schienenverkehr (zu 5.3.2)	38
A.6.1	Allgemeines	38
A.6.2	Güterzugvorbeifahrt	39
A.6.3	Nahverkehrszugvorbeifahrt	40
A.6.4	U-Bahnfahrten	41
A.7	Straßenverkehr (zu 5.3.3)	42
A.7.1	Allgemeines	42
A.7.2	Vorbeifahrt eines Gelenkbusses	42
A.7.3	Lkw-Vorbeifahrten auf einer Autobahn	44
A.8	Maschinenschwingungen	45
A.8.1	Allgemeines	45
A.8.2	Siebrinne mit monofrequenter Anregung auf Gebäudedecke (zu 5.4.2)	45
A.8.3	Erschütterungen infolge BHKW-Antrieb auf ebenerdigem Fundament (zu 5.4.2)	46
A.8.4	Schwingungs isoliert aufgestellte Hammeranlage (zu 5.4.3)	47
A.8.5	Maschinen zur Metallumformung (zu 5.4.3)	48
A.8.6	Stanzapparat für Kartonagen auf Geschossdecke (zu 5.4.4)	50
A.8.7	Sägegatter im Betrieb (zu 5.4.4)	51
A.8.8	Sägegatter im Leerlauf (zu 5.4.4)	52
	Literaturhinweise	54

Bilder

Bild 1	Abnahme der Schwingungsamplitude mit der Entfernung aufgrund der räumlichen Ausbreitung	11
Bild 2	Anteil der Absorption der Schwingungsenergie im Boden an der Abnahme der Schwingungsamplitude mit der Entfernung in Abhängigkeit von der Frequenz nach Gleichung (2); beispielhaft für: $D_B = 0,01$ und $c_S = 200$ m/s	12
Bild A.1	Spaltungen — Erschütterungsausbreitung: Zeitverläufe und Spektren	25
Bild A.2	Spaltungen — Erschütterungsausbreitung: Amplitudenwerte und Ausgleichsgerade für die einzelnen Komponenten	26
Bild A.3	Spaltungen — Erschütterungen in einem Gebäude: Zeitverläufe und Spektren	28
Bild A.4	Fallende Massen — Schornsteinsprengung in einem Hafengebiet: Zeitverläufe und Spektren	30
Bild A.5	Entfernungsabhängigkeit der maximalen Schwingungsgeschwindigkeiten beim Massenaufprall dreier gleichartiger Schornsteine aus Stahlbeton — Schwingungsgeschwindigkeit $v_{\max}$ getrennt nach Komponenten	31
Bild A.6	Schlagrammung (Einzelschlag) — Erschütterungsausbreitung: Zeitverläufe und Spektren	32
Bild A.7	Schlagrammung (Schlagfolge) — Erschütterungsausbreitung: Zeitverläufe und Spektren	33
Bild A.8	Vibrationsverdichtung — Erschütterungsausbreitung: Zeitverläufe und Spektren	35
Bild A.9	Vibrationsverdichtung — Erschütterungsausbreitung: Amplitudenwerte und Ausgleichskurve	36
Bild A.10	Vibrationsrammung von Spundbohlen — Resonanzeffekt im Gebäude: Zeitverläufe und Frequenzspektren	37
Bild A.11	Rüttelstopfverdichtung — Resonanzeffekt im Gebäude: Zeitverläufe und Frequenzspektren	38
Bild A.12	Zeitverläufe und Frequenzspektren einer Güterzugvorbeifahrt	40
Bild A.13	Nahverkehrszug, oberirdisch	41
Bild A.14	Nahverkehrszug, unterirdisch	42
Bild A.15	Vorbeifahrt eines Gelenkbusses — Zeitverlauf und Spektren	43
Bild A.16	Lkw-Vorbeifahrten auf einer Autobahn — Zeitverläufe und Spektren	45
Bild A.17	Siebrinne mit monofrequenter Anregung auf einer Geschossdecke — Zeitverlauf und Spektrum	46

Bild A.18 — BHKW-Antrieb auf ebenerdigem Fundament — Zeitverlauf und Spektrum	47
Bild A.19 — Schmiedehammer — Zeitverlauf und Spektrum	48
Bild A.20 — Betrieb mehrerer Schmiedeaggregate — Zeitverläufe und Spektrum	50
Bild A.21 — Stanzapparat für Kartonagen auf Geschossdecke	51
Bild A.22 — Sägegatter im Betrieb — Zeitverläufe und Spektren	52
Bild A.23 — Leerlauf eines Sägegatters — Zeitverläufe und Spektren	53

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 005-51-04 AA „Schwingungsfragen im Bauwesen; Ermittlung der Schwingungsgrößen (DIN 4150-1)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau) erarbeitet.

DIN 4150, *Erschütterungen im Bauwesen*, besteht aus den folgenden Teilen:

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

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Die Diskussion im Arbeitsgremium über die Normungsfähigkeit der hier zu regelnden Thematik ergab, dass es kein allgemeingültiges Verfahren zur Vorermittlung der Schwingungsgrößen gibt.

Dieses Dokument nennt Verfahren, die eine Abschätzung der Erschütterungen ermöglichen. Dies wird durch die Beschreibung der grundsätzlichen Vorgehensweise, die Benennung quellenspezifischer Effekte und die Darstellung von Messbeispielen in Anhang A erreicht.

Angaben zu Messungen und Bewertungen von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen enthält DIN 4150-2. Angaben zu Messungen und Bewertungen von Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen enthält DIN 4150-3.

Durch messtechnische Untersuchungen kann die Abschätzung der Erschütterungen präzisiert werden.

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 4150-1:2001-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Neuformulierung von Vorwort und Anwendungsbereich;
- b) neue Begriffsdefinitionen „Nahfeld“, „Fernfeld“;
- c) komplette Überarbeitung und Neugliederung von 4.3 „Schwingungsübertragung auf Gebäude“;
- d) 5.1.4 „Induzierte seismische Ereignisse“ aufgenommen;
- e) 5.3.4 „Schiffsverkehr (Binnenschifffahrt)“ aufgenommen;
- f) komplette Überarbeitung und Neugliederung von 5.4 „Anregungen aus Maschinenbetrieb“;
- g) Norm redaktionell überarbeitet.

DIN 4150-1:2022-12

Frühere Ausgaben

DIN 4150: 1939-07

DIN 4150-1: 1975-09, 2001-06

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt eine allgemeine Anleitung zur Vorermittlung von Erschütterungen im Bauwesen fest. Es beschreibt Erschütterungsquellen, die Ausbreitung der Erschütterung im Boden und deren Übertragung in bauliche Anlagen. Mit den vorermittelten Werten ist eine erste Beurteilung durchführbar. Für eine detaillierte Prognose reichen die Angaben in diesem Dokument nicht aus.

Dieses Dokument ist in Übereinstimmung mit DIN 45669-1 für den Frequenzbereich bis 80 Hz bzw. bis 315 Hz anzuwenden.

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 4150-2, *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 Schwingungsmissionen — Teil 1: Schwingungsmesser — Anforderungen und Prüfungen*

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

3.1

Erschütterung

mechanische Schwingung fester Körper mit potentiell belastigender Wirkung für den Menschen oder schädigender Wirkung für bauliche Anlagen

3.2

Freifeld

Geländeoberfläche ohne Einfluss durch ein Bauwerk

3.3

Nahfeld

Bereich der Wellenausbreitung, in dem überwiegend Raumwellen die Ausbreitungscharakteristik im Freifeld bestimmen

Anmerkung 1 zum Begriff: Erläuterungen siehe 4.2.

3.4

Fernfeld

Bereich der Wellenausbreitung, in dem überwiegend Oberflächenwellen die Ausbreitungscharakteristik im Freifeld bestimmen

4 Grundlagen der Vorermittlung

4.1 Verfahren

Die in diesem Dokument dargestellten Verfahren dienen zur Abschätzung von Erschütterungen, die

— bei bekannter Erschütterungsquelle auf ein geplantes benachbartes Bauwerk einwirken werden

oder

— bei bekanntem Bauwerk aus einer geplanten benachbarten Erschütterungsquelle entstehen können.

Bei aus Messungen bekannten oder aus Erfahrung ermittelten Quellenwerten und Emissionen können Ausbreitung und Übertragung auf ein Bauwerk nach den Angaben in 4.2 und 4.3 sowie Gleichung (1) bis Gleichung (4) ermittelt werden.

Neben den wesentlichen Parametern der Anregung (Quelle) und der Struktur des Immissionsortes sind die Eigenschaften des Untergrundes auf dem Ausbreitungsweg und des Baugrundes im Übertragungsbereich von wesentlichem Einfluss auf die zu ermittelnden Schwingungsgrößen. Hinweise enthalten auch [3], [4], [5] und [6].

Die wesentlichen Erschütterungsquellen werden in Abschnitt 5 nach den folgenden Kriterien charakterisiert:

- Quellentyp geometrisch (siehe 4.2 und Bild 1);
- Quellentyp zeitlich (siehe 4.2 und Bild 1);
- Häufigkeit des Erschütterungsereignisses;
- Frequenzverteilung;
- Einwirkungsbereich (räumlich);
- Vorhandensein der Quelle (vorübergehend oder dauernd);
- zeitliche Beeinflussbarkeit.

In Abschnitt 5 nicht aufgeführte Erschütterungsquellen sind sinngemäß zu behandeln.

Anhang A enthält Beispiele zu verschiedenen Erschütterungsquellen und deren Auswirkungen mit folgenden Angaben:

- geometrischer und zeitlicher Quellentyp;
- Klassifikation (Zeittyp, Frequenzbereich, Maximalamplituden);
- Anregungsmechanismen;
- Amplituden-Abstandsdiagramme.

4.2 Ausbreitung von Schwingungen

Die von der Erschütterungsquelle in den Untergrund eingeleitete Schwingungsenergie breitet sich in Form verschiedener Wellenarten im Boden aus. Es treten Raumwellen (Kompressions- und Scherwellen) und Oberflächenwellen (Rayleighwellen) auf, die je nach Art der Quelle und Energieeinleitung in den Boden unterschiedlich stark angeregt werden.

Um den Bereich der freien Wellenausbreitung (Fernfeld) von den komplexen Vorgängen in unmittelbarer Nähe der Erschütterungsquellen (Nahfeld) zu trennen, wird ein Bezugsabstand R_1 zur Quellenmitte festgelegt, der den Übergang vom Nahfeld zum Fernfeld definiert (siehe auch [4], [5] und [6]). Für alle Erschütterungsquellen, die als Punkt- oder Linienquelle idealisiert werden können, ist der Bezugsabstand zum Fernfeld definiert zu:

$$R_1 = \frac{a}{2} + \lambda_R \quad (1)$$

Dabei ist

a die Abmessung der Erschütterungsquelle parallel zur Ausbreitungsrichtung;

λ_R die Wellenlänge der Oberflächenwelle.

Bei Erschütterungsquellen in Oberflächennähe erfolgt die Ausbreitung der Schwingungen vorwiegend an der Erdoberfläche (Rayleighwelle). Unter Annahme ungestörter Wellenausbreitung im homogenen Boden wird die Amplitudenabnahme im Wesentlichen durch die Zunahme der Entfernung und durch die Materialdämpfung des Bodens bestimmt.

Im **Fernfeld** ($R > R_1$) wird die Abnahme der Amplitude der Schwinggeschwindigkeit v näherungsweise beschrieben durch:

$$v = v_1 \left(\frac{R}{R_1} \right)^{-n} \exp [-\alpha (R - R_1)] \quad (2)$$

Dabei ist

v die Amplitude der Schwinggeschwindigkeit, in mm/s;

v_1 die Amplitude der Schwinggeschwindigkeit, in mm/s in der Entfernung R_1 ;

R_1 der Bezugsabstand, in m;

R die Entfernung von der Quelle, in m;

n der Exponent, der von Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung abhängt;

α der Abklingkoeffizient, in m^{-1} , $\alpha \approx 2 \pi D_B / \lambda$;

D_B der Dämpfungsgrad des Bodens;

λ die maßgebende Wellenlänge, in m, $\lambda = c/f$;

c die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle, in m/s;

f die Frequenz, in Hz.

Die Amplitudenabnahme entsprechend $(R/R_1)^{-n}$ wird durch die Verminderung der Energiedichte mit wachsender Entfernung von der Erschütterungsquelle hervorgerufen. Der Exponent n hängt ab von (siehe Bild 1):

- 1) Quellentyp geometrisch: Punktquelle (PQ) oder Linienquelle (LQ);
- 2) Quellentyp zeitlich: harmonisch/stationär (HS) oder impulsförmig (I);
- 3) Wellenart: Raumwelle (R) oder Oberflächenwelle (O).

Bei in ihrer Ausdehnung begrenzten Linienquellen (z. B. lange Fundamente) entspricht der Exponent in unmittelbarer Nähe dem der Linienquelle und nähert sich mit wachsender Entfernung dem der Punktquelle an. Fun-

damente mit Seitenabmessungen von mehr als etwa einer halben Wellenlänge dürfen nicht mehr als Punktquelle betrachtet werden. Schienenfahrzeuge z. B. dürfen als eine Kette von Punktquellen (ausgedehnte Quelle mit nicht phasengleicher Anregung) dargestellt werden, für die der Exponent im Fernfeld zwischen 0,3 und 0,5 liegt. Es sei denn, die Quelle ist ortsfest (z. B. eine Weiche), dann gilt PQ/I/O, d. h. Punktquelle mit impulsförmigem Zeitverlauf, die Oberflächenwellen erzeugt.

Lokal können erhebliche Abweichungen von der Näherung nach Bild 1 auftreten, z. B. bei

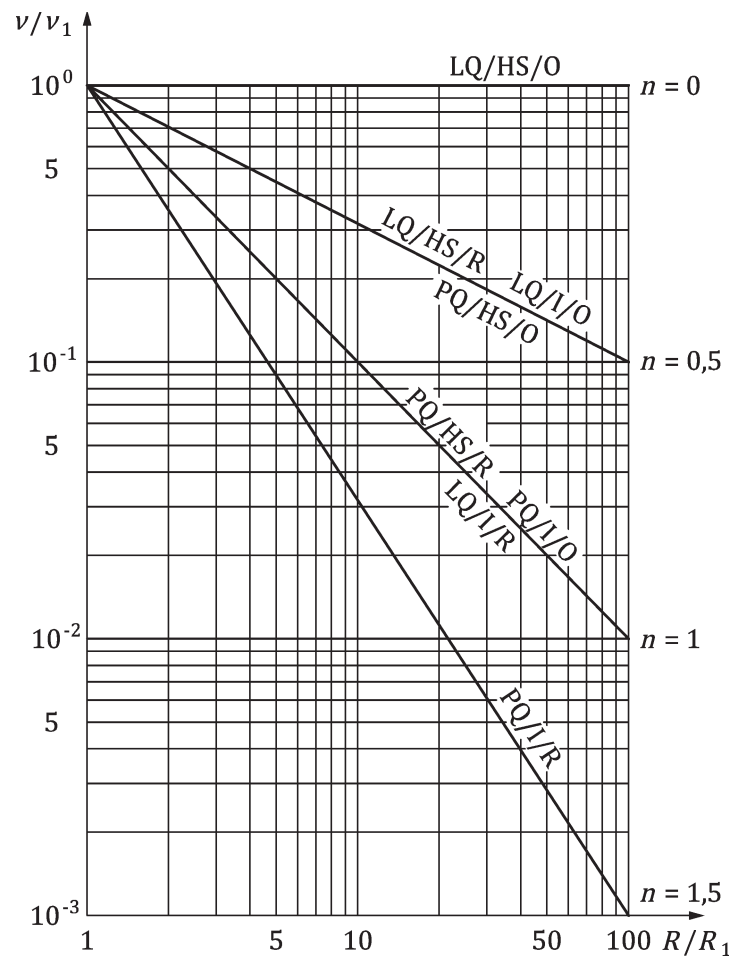
- ausgeprägter Inhomogenität des Bodens;
- vorhandener Bebauung;
- Geländesprüngen;
- Zusammenwirken mehrerer Erschütterungsquellen.

In diesen Fällen sind im Allgemeinen zusätzliche Überlegungen erforderlich. Die in Bild 1 angegebenen Grenzkurven können als Anhalt dienen. Für impulsförmig emittierende Quellen ist in Bild 1 die stets vorhandene Dispersion der Wellenausbreitung im natürlichen Untergrund berücksichtigt (siehe auch [5]).

Grundwasser begünstigt die Ausbreitung von Kompressionswellen. Oberflächenwellen werden dagegen nur gering vom Grundwasser beeinflusst.

Die zusätzliche Minderung der Amplituden durch Absorption der Schwingungsenergie im Boden (Materialdämpfung) erfolgt frequenzabhängig nach $\exp[-\alpha(R - R_1)]$. Der in α enthaltene Dämpfungsgrad D hängt von der Struktur des Bodens, seinem statischen Druckzustand und der dynamischen Verformungsamplitude ab. Für Voruntersuchungen und Abschätzungen darf D für Lockergestein maximal mit 0,01 angesetzt werden (siehe auch [5]). Höhere Werte sind nachzuweisen. Aus der Definition des Abklingkoeffizienten geht hervor, dass höherfrequente Schwingungen stärker gedämpft werden als tieffrequente (siehe Bild 2).

Im **Nahfeld** ($R < R_1$) gelten die angegebenen Näherungsbeziehungen nicht, deshalb sind dort für die Prognose besondere rechnerische oder experimentelle Untersuchungen erforderlich.



Legende

- LQ Linienquelle
- PQ Punktquelle
- HS harmonisch/stationär
- I impulsförmig
- R Raumwelle
- O Oberflächenwelle

Bild 1 — Abnahme der Schwingungsamplitude mit der Entfernung aufgrund der räumlichen Ausbreitung

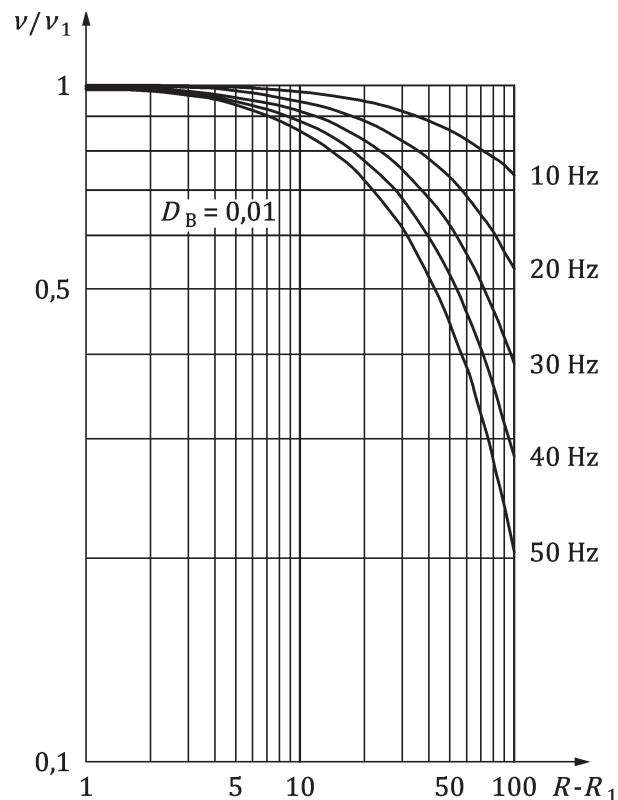


Bild 2 — Anteil der Absorption der Schwingungsenergie im Boden an der Abnahme der Schwingungsamplitude mit der Entfernung in Abhängigkeit von der Frequenz nach Gleichung (2); beispielhaft für: $D_B = 0,01$ und $c_s = 200$ m/s

4.3 Schwingungsübertragung auf Gebäude

4.3.1 Allgemeines

In 4.3.2, 4.3.3 und 4.3.4 wird die Übertragung von Erschütterungen vom Baugrund, über die Fundamente bis auf die Geschossdecken beschrieben. Die Beschreibung ist einfach und allgemein gehalten. Detailliertere Modelle sind z. B. in VDI 2038 Blatt 2 zu finden.

4.3.2 Übertragung von Vertikalschwingungen vom Baugrund auf Fundamente

Beim Übergang der Erschütterungen vom Baugrund auf das Fundament oder allgemein auf die Gründung des Gebäudes werden diese durch die Elastizität des Baugrunds, die Gebäudemasse, die Art der Gründung, durch Ausmittelungseffekte in Abhängigkeit von den Grundrissabmessungen im Verhältnis zu relevanten Wellenlängen und durch weitere Effekte verändert.

In vertikaler Richtung kann diese Wechselwirkung in einem unteren Frequenzbereich näherungsweise durch einen Einmassenschwinger beschrieben werden, dessen Eigenfrequenz bestimmt ist durch:

$$f_{0,G} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_G}{m_G}} \quad (3)$$

Dabei ist

$f_{0,G}$ die Eigenfrequenz des Systems „Gebäude – Baugrund“ in vertikaler Richtung;

k_G die Ersatzfedersteifigkeit des Systems „Gebäude – Baugrund“ in vertikaler Richtung;

m_G die Gebäudemasse, die als Starrkörper dynamisch wirksam angenommen wird.

Für Gebäude auf nichtfelsigem Baugrund ergeben sich näherungsweise folgende Eigenfrequenzen $f_{0,G}$:

- 1- bis 2-geschossige Gebäude: $f_{0,G} \approx 10 \text{ Hz bis } 20 \text{ Hz}$;
- 2- bis 6-geschossige Gebäude: $f_{0,G} \approx 6 \text{ Hz bis } 15 \text{ Hz}$;
- Gebäude mit mehr als 6 Geschossen: $f_{0,G} < 10 \text{ Hz}$.

Bei sehr steifen Böden mit Scherwellengeschwindigkeiten $c_s > 300 \text{ m/s}$ oder bei sehr leichten Gebäuden können höhere Werte für $f_{0,G}$ auftreten.

Der maximale Übertragungsfaktor $V_{G,\max}$ im Bereich der Eigenfrequenz $f_{0,G}$ ergibt sich im eingeschwungenen Zustand bei harmonischer Anregung zu:

$$V_{G,\max} = 1 / (2 D_G)$$

Hierin ist D_G die so genannte Systemdämpfung des Ersatzsystems „Gebäude – Baugrund“. Für Lockergestein liegt dieser Wert zwischen $D_G = 0,25$ und $D_G = 0,4$. Für Bauwerke auf stark geschichteten, weichen Böden ist D_G im Einzelnen nachzuweisen.

Für Erschütterungen mit Frequenzen deutlich oberhalb der Boden-Bauwerks-Eigenfrequenz gelten diese einfachen Übertragungsbeziehungen nicht mehr, da in zunehmendem Maße elastische Eigenschaften des Bauwerks Einfluss gewinnen. In diesem Frequenzbereich darf für den stark streuenden Übertragungsfaktor ein mittlerer Wert von 0,5 angesetzt werden [3].

Ist ein Gebäude auf felsigem Baugrund gegründet und erfolgt die Erschütterungsausbreitung im Wesentlichen in diesem Baugrund, dann liegt der Übertragungsfaktor in einem breiten Frequenzbereich näherungsweise bei 1.

4.3.3 Übertragung von Vertikalschwingungen vom Fundament auf Decken

Die Amplitudenvergrößerungen im Zeitbereich sind abhängig vom Frequenzgehalt des Anregungssignals und der Dämpfung D_D der Decke in ihrer Eigenfrequenz.

Die maximalen Vergrößerungen $V_{D,\max}$ im Bereich der ersten Deckeneigenfrequenz $f_{0,D}$ ergeben sich bei harmonischer Anregung zu $V_{D,\max} = 1/(2 D_D)$.

Bei Gebäuden mit Stahlbetondecken kann die Dämpfung zu $0,02 < D_D < 0,08$ abgeschätzt werden.

Die Dämpfung hängt von der Deckenspannweite, den Auflagerbedingungen und vom Innenausbau ab.

Unterhalb der ersten Deckeneigenfrequenz $f_{0,D}$ ist $1 < V_D < V_{D,\max}$. Oberhalb $f_{0,D}$ sind weitere Deckeneigenfrequenzen $f_{i,D}$ mit $V_{i,D} < V_{D,\max}$ zu berücksichtigen.

Bei breitbandigen Anregungen betragen die Amplitudenvergrößerungen im Mittel 2 bis 8. Diese Werte resultieren aus Messungen bei ortsveränderlicher, stationärer oder impulsförmiger Anregung.

Befindet sich die Erschütterungsquelle dicht am Gebäude, wird das Fundament nur lokal angeregt. Das kann eine geringere Amplitudenvergrößerung zur Folge haben.

Holzbalkendecken und Stahlverbunddecken weisen gegenüber Stahlbetondecken häufig höhere Amplitudenvergrößerungen auf.

4.3.4 Übertragung von Horizontalschwingungen

In horizontaler Richtung sind Schwingungen insbesondere bei hohen und schlanken Bauwerken und bei niedrigen Anregungsfrequenzen von Bedeutung. In diesen Fällen darf zur groben Abschätzung der ersten horizontalen Eigenfrequenz mehrgeschossiger Bauwerke ($n \geq 5$) die sogenannte Stockwerksformel verwendet werden:

$$f_{0,h} \approx \frac{10}{n} \text{ in Hz} \quad (4)$$

Dabei ist

$f_{0,h}$ die erste horizontale Eigenfrequenz;

n die Anzahl der Stockwerke.

Beim Übergang der Erschütterungen vom Baugrund auf das Fundament des Gebäudes sind die Amplitudenvergrößerungen bei Ausbildung des Fundamentes als Sohlplatte kleiner 1, bei höheren Frequenzen (Wellenlänge kleiner als minimale Gebäudeabmessungen) liegen diese zwischen 0,2 und 0,5.

Beim Übergang der Erschütterungen vom Fundament auf die oberste Deckenebene von kompakten, gut ausgesteiften Gebäuden treten bei tieffrequenter Anregung Amplitudenvergrößerungen von 1 bis 3 auf.

Bei biegeweichen Gebäuden können erheblich stärkere Amplitudenvergrößerungen auftreten. Diese sind stark von der Geometrie des Gebäudes und der Art der Anregung abhängig.

5 Erschütterungsquellen

5.1 Anregungen infolge von Einzelereignissen

5.1.1 Allgemeines

Einzelereignisse sind hier Ereignisse, die zeitlich so voneinander getrennt sind, dass die Wirkungen zweier aufeinander folgender Ereignisse nicht mehr zusammentreffen können oder an dem betrachteten Ort nur einmal auftreten. In der Regel kann ihr Eintreten zeitlich festgelegt und organisatorisch beeinflusst werden. Das gilt auch für die Stärke ihrer Anregung, d. h., vor dem geplanten Ereignis sind geeignete Maßnahmen durchführbar.

Erschütterungen aus Einzelereignissen führen in der Regel nicht zu ausgeprägten Resonanzen von Gebäuden oder Bauteilen.

Für das Nahfeld sind gesonderte Überlegungen erforderlich.

Bezüglich Minderungsmaßnahmen von Schwingungen siehe DIN 4150-3.

5.1.2 Sprengungen

Bei Sprengungen zur Lösung und Zerlegung von Gesteinen oder Bauteilen unter oder über Tage sind Erschütterungen unvermeidbar. Diese Erschütterungen dauern nur wenige Sekunden.

Sprengungen sind punktförmige, impulsartige Quellen. Erschütterungen von Sprenganlagen, die aus mehreren räumlich und zeitlich getrennten Einzelladungen (Zündzeitstufen) bestehen, ergeben sich als Überlagerungen der Erschütterungen der Einzelladungen.

Emissionsstärke und Einwirkungsbereich werden vor allem durch die Größe der Lademenge, die Eigenschaften des Sprengstoffes und die Art der Sprengung bestimmt. Ausbreitung und Frequenzinhalt werden durch die örtlichen geologischen Verhältnisse stark beeinflusst. Im Zeitbereich lassen sich in größerer Entfernung im Allgemeinen höherfrequente Raumwellen und niederfrequente Oberflächenwellen unterscheiden.

Bei der Rohstoffgewinnung und im Verkehrswege- und Leitungsbau verändert sich die räumliche Beziehung zwischen Quelle und Einwirkungsort mit dem Abbaufortschritt. Bei Steinbrüchen und Bergwerken ist in der Regel über viele Jahre mit Sprengerschütterungen zu rechnen, die selten häufiger als einmal täglich auftreten. Bei Baumaßnahmen treten sie nur zeitweise und selten länger als ein Jahr auf. Sprengerschütterungen von Gewinnungssprengungen sind nur sehr selten über eine Entfernung von 1500 m um Steinbrüche oder 400 m bei Sprengungen für Baumaßnahmen hinaus von Bedeutung.

Für die Prognose von Sprengerschütterungen im Fernfeld darf näherungsweise die folgende empirische Abstands-Lademengen-Beziehung verwendet werden:

$$v_{\max} = k \left(\frac{L}{L_0} \right)^b \left(\frac{R}{R_0} \right)^{-m} \quad (5)$$

Dabei ist

- $v_{\max}$ der Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit, in mm/s;
- L die Lademenge Sprengstoff, in kg je Zündzeitstufe;
- L_0 = 1 kg (Bezugsgröße);
- R die Entfernung von der Sprengstelle, in m;
- R_0 = 1 m (Bezugsgröße);
- k ein Beiwert in mm/s, empirisch ermittelt (z. B. durch Probesprengungen); mit dem die geologischen, hydrologischen und topografischen Verhältnisse berücksichtigt werden;
- b Exponent zur Beschreibung des Einflusses der Sprengstoffmenge, $b \approx 0,5$;
- m Exponent zur Beschreibung der Entfernungsabhängigkeit, typischerweise im Bereich $1 \leq m \leq 2$.

Die Zahlenwerte für k , m und b sind durch in Bezug auf den Untergrund, das Sprengverfahren und den Entfernungsbereich vergleichbare Fälle oder durch Messungen am Standort zu belegen, wobei die möglichen Streubreiten angemessen zu berücksichtigen sind. Erschütterungen können neben der Entfernung und der Lademenge beeinflusst werden durch:

- exakte Vermessung der Bruchwände und Herstellung der Bohrlöcher;
- Verwendung emulsions- und rieselfähiger Sprengstoffe;
- Wahl eines Sprengstoffes, dessen Detonationsgeschwindigkeit gleich oder höher als die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kompressionswelle im Gebirge ist;
- Anpassung der Zündintervalle an die Gebirgsstruktur und Felseigenschaften.

Die Abstands-Lademengen-Beziehung in Gleichung (5) beschreibt die Abnahme von $v_{\max}$ im Freifeld. Die Formel wurde aus Messungen an Gebäuden entwickelt. Daher dürfen die Parameter k , m und b auch aus Messungen an Gebäuden bestimmt werden.

5.1.3 Fallende Massen

Arbeiten zur Baugrundverbesserung mit großen fallenden Massen (z. B. dynamische Intensivverdichtung) und herabstürzende Bauteile (z. B. während Abbrucharbeiten) erzeugen durch die Aufprallvorgänge dieser Objekte auf den Baugrund Erschütterungen, die sich im Boden ausbreiten.

Die Größe der Aufprallerschütterungen und ihr Frequenzgehalt hängen von folgenden Parametern ab:

- Fallgewicht G ;
- Fallhöhe h ;
- Ausbildung der Aufprallfläche;
- Bodenart und -steifigkeit;
- Bodenschichtung;
- Oberflächenrelief zwischen Aufprall- und Messstelle;
- Geometrie und Einsturzverhalten der aufprallenden Struktur;
- dissipierte Energie im Zuge der Bauteilzerstörung beim Aufprall.

Die Größe der Aufprallerschütterungen ist näherungsweise der Quadratwurzel der Fallenergie E proportional:

$$v_{\max} = k \left(\frac{E}{E_0} \right)^{0,5} \left(\frac{R}{R_0} \right)^{-m} \quad (6)$$

Dabei ist

$v_{\max}$ der Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit im Freifeld, in mm/s;

E die Fallenergie ($E = Gh$), in kJ;

E_0 = 1 kJ (Bezugsgröße);

R die Entfernung von der Fallstelle, in m;

R_0 = 1 m (Bezugsgröße);

k ein Beiwert, in mm/s, empirisch ermittelt;

m eine Kennzahl, empirisch ermittelt.

Die Zahlenwerte für k und m sind durch in Bezug auf den Untergrund, das Fallverhalten und den Entfernungsbereich vergleichbare Fälle zu belegen.

Beim Umstürzen von hohen Bauwerken (z. B. Bauwerke aus Stahlbeton oder Schornsteine) kann zur Erschütterungsminderung ein Fallbett aus verformbaren Massen (Sand, Bauschutt) angeordnet werden. Die Fallenergie und die Fallstelle können dabei durch Massenkonzentration, z. B. nach [8], ermittelt werden.

Die Erschütterung durch die Abbruchsprengung selbst ist gesondert zu untersuchen, sie ist in der Regel jedoch kleiner als die aus den fallenden Massen.

5.1.4 Induzierte seismische Ereignisse

Durch menschlichen oder technischen Eingriff können Bruchvorgänge im Untergrund hervorgerufen werden, die Erschütterungen erzeugen (induzierte seismische Ereignisse). Die dominierenden Frequenzen der Einwirkungen sind überwiegend <15 Hz. Diese Erschütterungen dauern typischer Weise weniger als 5 s an und treten mehr oder weniger tageszeitunabhängig und unvorhersehbar auf.

Die Häufigkeit und Intensität solcher Ereignisse ist sehr stark streuend und von vielen Faktoren abhängig, u. a. von:

- Art und Intensität des technischen Eingriffs (z. B. Rohstoffgewinnung, Füllen von Stauseen, Geothermie, Einpressen von Fluiden);
- Geologie;
- Abstand zum Hypozentrum.

Induzierte seismische Ereignisse können auch noch Jahre nach Beendigung des Eingriffs auftreten, jedoch nimmt deren Häufigkeit und Intensität ab.

ANMERKUNG 1 Mit induzierten seismischen Ereignissen sind Bruchvorgänge gemeint, die keine unmittelbare Folge von Sprengungen sind.

ANMERKUNG 2 Aufgrund der speziellen Charakteristik induzierter seismischer Ereignisse können die Verstärkungsfaktoren vom Fundament zur obersten Decke in typischen Wohngebäuden zwischen 2 und 3 liegen.

5.2 Anregungen aus dem Baubetrieb

5.2.1 Allgemeines

Bei der Durchführung von Baumaßnahmen können durch die Anwendung bestimmter Baumethoden verfahrensbedingt nennenswerte Erschütterungen auftreten. Diese Quellen lassen sich in der Regel als impulsförmige oder stationäre Punktquellen charakterisieren.

5.2.2 Impulsförmige Erschütterungsquellen

Impulsförmige Erschütterungen werden z. B. erzeugt durch

- Schlagrammen;
- Fallmeißel, z. B. zum Lockern von Fels beim Herstellen von Bohrpfählen;
- Fallende Massen, z. B. bei Abbrucharbeiten oder bei Anwendung der dynamischen Intensivverdichtung (siehe 5.1.3);
- Sprengungen (siehe 5.1.2).

Hierbei ist die Erschütterungsstärke näherungsweise proportional zur Quadratwurzel der in den Baugrund eingeleiteten Energie, die tatsächliche Erschütterungsstärke hängt bei diesen Vorgängen aber in besonderem Maße von den örtlichen Gegebenheiten ab.

Der Frequenzbereich ist durch ein breitbandiges Spektrum mit Frequenzen bis etwa 80 Hz charakterisierbar.

Weiterhin kann es durch den Betrieb großer Maschinen und die Bewegung großer Massen zu stoßartigen Erschütterungen kommen (Bagger, Baustellenverkehr auf unebenem Untergrund, Bohrpfahl-Verrohrungsmaschine).

5.2.3 Stationäre Erschütterungsquellen

Stationäre Erschütterungen werden z. B. erzeugt beim Einsatz von

- Vibrationsrammen (Rüttler);
- Verdichtungsgeräten wie Vibrationswalzen und -platten und Tiefenrüttler.

Erschütterungstechnisch sind für den Einsatz der genannten Geräte in der Regel hohe Arbeitsfrequenzen ($f > 35$ Hz) günstiger als tiefere, da damit der Resonanzbereich von Geschossdecken in Gebäuden im Allgemeinen gemieden wird. Allerdings können beim Anfahren und Abschalten von Maschinen mit unveränderlichem