

DIN 45672-3

ICS 17.160; 93.100

Einsprüche bis 2023-05-06

Entwurf**Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen –
Teil 3: Prognoseverfahren auf Basis von Terzspektren**

Vibration measurement on railway traffic systems –
Part 3: Prediction method based on third-octave spectra

Mesurage des vibrations liées au transport ferroviaire –
Partie 3: Méthode de prédiction basée sur les spectres de tiers d'octave

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-01-06 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 nals@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/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), 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 38 Seiten

DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Einführung	7
5 Prognoseverfahren	9
5.1 Allgemeines	9
5.2 Emissionssystem	10
5.3 Transmissionssystem	11
5.4 Immissionssystem	12
5.4.1 Allgemeines	12
5.4.2 Baugrund-Fundament-Übertragung	13
5.4.3 Übertragung Fundament-Decke	14
5.4.4 Übertragung Baugrund-Fundament-Decke	16
5.5 Berücksichtigung von Minderungsmaßnahmen	18
6 Durchführung von Prognosen	19
6.1 Allgemeines	19
6.2 Prognosephasen im Rahmen von Neubau- und Umbauvorhaben von Schienenverkehrswegen	19
6.3 Prognosen zur Aufstellung eines Bebauungsplanes	20
6.4 Prognose für den Neubau von Gebäuden	21
7 Ermittlung der Beurteilungsgrößen	21
7.1 Ermittlung der Beurteilungsgrößen nach DIN 4150-2	21
7.2 Schwinggeschwindigkeit	23
7.3 Spektrale Beurteilungsgrößen	23
Anhang A (informativ) Pegeldifferenzspektren der Baugrund-Fundament-Decke-Übertragung . .	24
A.1 Pegeldifferenzspektren der Baugrund-Decke-Übertragung	24
A.2 Pegeldifferenzspektren der Baugrund-Fundament- und Fundament-Decke-Übertragung	26
Anhang B (informativ) Boden- und abstandsbedingte Pegelabnahme bei Punkt- und Linienquelle	30
Anhang C (informativ) Beispiel: Anwendung der Immissionsprognose	33
C.1 Grundlage	33
C.2 Prognose	33
C.3 Ergebnisse	34
C.4 Beurteilung nach DIN 4150-2	35
Anhang D (informativ) Übersicht Prognosephasen	36
Anhang E (informativ) α -Werte analog zu DIN 4150-2	37
Literaturhinweise	38

Bilder

Bild 1 — Prognosesituation	9
Bild 2 — Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{V,FB}(f_{Tn})$ für Übertragung Boden → Fundament (Untergeschoss) (siehe auch Tabelle A.3)	13
Bild 3 — Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{V,FB}(f_{Tn})$ für Übertragung Boden → Fundament (Erdgeschoss) (siehe auch Tabelle A.4)	14
Bild 4 — Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{V,DF}(f_{Tn})$ für Übertragung Fundament → Erdgeschoss und Obergeschosse bei Betondecken (siehe auch Tabelle A.5)	15
Bild 5 — Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{V,DF}(f_{Tn})$ für Übertragung Fundament → Erdgeschoss und Obergeschosse bei Holzbalkendecken (siehe auch Tabelle A.6)	16

Bild 6 — Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{v,DB}(f_{Tn})$ für Übertragung Baugrund → Gebäudedecke bei Betondecken für verschiedene Deckeneigenfrequenzen f_e (siehe auch Tabelle A.1) . . .	17
Bild 7 — Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{v,DB}(f_{Tn})$ für Übertragung Baugrund → Gebäudedecke bei Holzbalkendecken für verschiedene Deckeneigenfrequenzen f_e (siehe auch Tabelle A.2)	18
Bild B.1 — Abnahmebeziehung infolge einer punktförmigen Ersatzanregung und Umrechnung auf Zugvorbeifahrten	31
Bild B.2 — Ermittlung einer Mehrpunkt-Übertragungsadmittanz in Abhängigkeit des Abstands r	32

Tabellen

Tabelle 1 — Empfohlene Abstandbereiche für eine Immissionsprognose	8
Tabelle 2 — <i>KB</i>-Bewertung in Terzpegeldarstellung	22
Tabelle A.1 — Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{v,DB}(f_{Tn})$ in dB für Gebäude mit Betondecken für verschiedene Deckeneigenfrequenzen f_e	24
Tabelle A.2 — Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{v,DB}(f_{Tn})$ in dB für Gebäude mit Holzbalkendecken für verschiedene Deckeneigenfrequenzen f_e	25
Tabelle A.3 — Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{v,FB}(f_{Tn})$; Übertragung Boden → Fundament (Untergeschoss) Mittelwert (A-m) mit Standardabweichung nach oben (A-o) und Standardabweichung nach unten (A-u)	26
Tabelle A.4 — Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{v,FB}(f_{Tn})$; Übertragung Boden → Fundament (Erdgeschoss) Mittelwert (B-m) mit Standardabweichung nach oben (B-o) und Standardabweichung nach unten (B-u)	26
Tabelle A.5 — Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{v,DF}(f_{Tn})$; Fundament → Erdgeschoss und Obergeschosse bei Betondecken Mittelwert (D-m) mit Standardabweichung nach oben (D-o) und Standardabweichung nach unten (D-u)	27
Tabelle A.6 — Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{v,DF}(f_{Tn})$; Fundament → Erdgeschoss und Obergeschosse bei Holzbalkendecken, Mittelwert (E-m) mit Standardabweichung nach oben (E-o) und Standardabweichung nach unten (E-u)	28
Tabelle C.1 — Durchführung der Prognoseberechnung	34
Tabelle C.2 — Auszug DIN 4150-2, Tabelle 1	35
Tabelle D.1 — Übersicht Prognosephasen	36
Tabelle E.1 — Bewertungsfaktoren α zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Charakteristik von Zugvorbeifahrten und Trassenlage	37

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 001-03-15 AA „Schwingungsminderung in der Umgebung von Verkehrswegen“ im DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) erarbeitet.

DIN 45672 besteht unter dem allgemeinen Titel *Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen* aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Messverfahren für Schwingungen
- Teil 2: Auswerteverfahren
- Teil 3: Prognoseverfahren auf Basis von Terzspektren
- Teil 4: Verfahren zur Ermittlung des sekundären Luftschalls¹

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

Innerhalb von Gebäuden, die in der Nähe von Schienenverkehrswegen stehen, werden Schwingungen erzeugt, deren Beurteilung im Rahmen von Genehmigungsverfahren erforderlich ist. Dies betrifft vorrangig Neu- und Umbauplanungen von Gleisanlagen. Die Auswirkung dieser Maßnahmen auf die Gebäudeschwingungen kann durch Immissionsprognosen abgeschätzt werden. Das vorliegende Dokument enthält ein praktikables Prognoseverfahren zur allgemeinen Anwendung. Die Herleitung der den einzelnen Prognoseparametern zuzuordnenden Rechenfunktionen kann der angegebenen Literatur entnommen werden, soweit sie zugänglich ist.

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

¹ In Vorbereitung.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein Verfahren zur Prognose der vom Schienenverkehr durch die Wechselwirkungen von Fahrzeug und Fahrweg in benachbarten Gebäuden hervorgerufenen Schwingungen fest. Anhand der Prognoseergebnisse kann eine Bewertung der Schwingungsimmissionen nach DIN 4150 erfolgen. Das beschriebene Verfahren kann – mit einem erweiterten Frequenzbereich – auch für die Prognose des Sekundärluftschalls herangezogen werden (DIN 45672-4).

Diese Prognosen stehen im Zusammenhang mit der Planung und dem Bau von städtischen Schienenbahnen (U-, Stadt- und Straßenbahnen) und Eisenbahnen sowie von Gebäuden in der näheren Umgebung von Schienenverkehrswegen. Das Verfahren kann bei Immissionsprognosen von oberirdischen und unterirdischen Schienenverkehrswegen für verschiedene Anwendungsfälle herangezogen werden.

Beurteilungsverfahren werden in diesem Dokument nicht festgelegt.

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 4150-2, *Erschütterungen im Bauwesen — Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden*²

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

DIN 45672-1:2018-02, *Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen — Teil 1: Messverfahren für Schwingungen*

DIN 45672-2:2020-11, *Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen — Teil 2: Auswerteverfahren*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten 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

Emission

von einer Zugvorbeifahrt an einem bestimmten Punkt im Boden erzeugte Schwingungen $a(t)$ oder $v(t)$ und ihre Terzspektren

3.2

Transmission

Schwingungsausbreitung im Boden und Gebäude, die durch Übertragungsfunktionen oder Terzpegel-Differenzspektren beschrieben wird

² Stand 2022: in Überarbeitung.

3.3

Immission

Schwingungsantwort in einem Gebäude, in der Regel in der Mitte einer Geschossdecke

3.4

Betroffenheitsbereich

Bereich entlang einer Strecke, in dem möglicherweise in benachbarten Gebäuden mit schutzbedürftigen Räumen die relevanten Beurteilungskriterien überschritten werden

3.5

Einfügungsdämm-Maß

Kenngröße zur Beschreibung der Schwingungsminderung, dargestellt als Körperschall-Terzpegel $L_v(f_{Tn})$ oder $L_a(f_{Tn})$, durch Einbau einer Maßnahme, z. B. eines elastischen Elements im Oberbau

[QUELLE: DIN 45673-1]

3.6

Zuggattung

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

Anmerkung 1 zum Begriff: In der zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments geplanten Neuausgabe von DIN 4150-2 werden zu Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke vorstehend aufgelistete Zuggattungen definiert. Diese geplante Zuordnung wurde hier übernommen.

3.7

Zugkategorie

verkehrsbezogene Differenzierung von Zügen

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

[QUELLE: DIN 45672-2, Anmerkung 1 zum Begriff wurde hinzugefügt]

3.8

Beweissicherungsmessung

Messung zur Erfassung der Bestandssituation

3.9

Minderungsmaßnahme

Maßnahme zur Reduzierung der Schwingungsimmissionen

3.10

Oberbau

Einrichtungen und Bauelemente, die der Lastübertragung und der Spurführung dienen

Anmerkung 1 zum Begriff: Zum Oberbau gehören: Gleise, Weichen und Kreuzungen mit Schienen, Schienenbefestigungsmitteln und Schienenstützelementen (Schwellen, Längsbalken, Platten), Spurstangen, Bettung, Planumsschutzschicht, Frostschutzschicht, Eindeckungen und Schienenentwässerungen, oberbautechnische Zusatzeinrichtungen und Gleisabschlüsse.

[QUELLE: DB-Richtlinie Ril 836.0101A99 und VDV-Schrift 600 [1]]

3.11

Unterbau

Erd- oder Kunstbauwerke, die den Oberbau tragen

[QUELLE: DB-Richtlinie Ril 836.0101A99 und VDV-Schrift 600 [1]]

3.12

Prognoseverfahren

Vorgehensweise zur Abschätzung der Schwingungsimmissionen aus dem Schienenverkehr

3.13

Max Hold-Spektrum

über mehrere Zugvorbeifahrten energetisch gemitteltetes Terzpegelspektrum, bei dem die Maximalwerte mit der Zeitbewertung „Fast“ jeweils zeitunabhängig in jeder Terz individuell gehalten werden

3.14

L_{eq} -Spektrum

energetisch gemitteltetes Terzpegelspektrum $L_{v,eq,Tp}$ der Vorbeifahrt

3.15

Erschütterung

mechanische Schwingung in Bauteilen, die auf Gebäudedecken zu Immissionen mit möglicherweise schädigender oder belastigender Wirkung führt

3.16

Sekundärluftschall

durch mechanische Schwingung von Bauteilen mit Frequenzen im Hörbereich verursachter Luftschall innerhalb von Räumen, der als belastigend wahrgenommen werden kann

4 Einführung

Das in Abschnitt 5 beschriebene Prognoseverfahren wird bei nachfolgenden Aufgabenstellungen verwendet:

- Neubau eines Schienenverkehrsweges:

Als Neubau eines Schienenverkehrsweges werden Planung und Bau einer Gleisanlage in einem Bereich, in dem keine Gleisanlagen der geplanten Verkehrsart vorhanden sind, bezeichnet. Hier werden i. d. R. die absoluten Schwingungsgrößen ermittelt.

- Umbau (mit relevantem Eingriff in die Lage der Gleise) oder Erweiterung eines vorhandenen Schienenverkehrsweges:

Als Umbau eines Schienenverkehrsweges werden Planung und Bau einer Gleisanlage in einem Bereich bezeichnet, in dem bereits durch vorhandene Gleisanlagen gleicher Verkehrsart relevante Schwingungen in benachbarten Gebäuden auftreten. Unter Erweiterung eines vorhandenen Schienenverkehrsweges mit benachbarter Bebauung werden folgende Maßnahmen zusammengefasst: Ein neues Gleis kommt zu den vorhandenen Gleisen hinzu, Gleisachsen werden verschoben oder der Oberbau und Unterbau der Gleisanlage wird in immissionstechnischer Hinsicht verändert. Hierbei sind, neben den absolut auftretenden Schwingungsgrößen, die Unterschiede zum vorhandenen Schienenverkehrsweg auszuweisen.

- Stadtplanung:

Als Stadtplanung wird in diesem Dokument die Ausweisung von Baugebieten im Einflussbereich von Schienenverkehrswegen bezeichnet.

- Neubau eines Gebäudes in der Nähe eines Schienenverkehrsweges:

Als Neubau eines Gebäudes in der näheren Umgebung eines vorhandenen Schienenweges werden Planung und Bau eines Gebäudes bezeichnet, welches vor Schwingungsimmissionen aus dem Schienenverkehr geschützt werden soll. Dieser Schutz erfordert eine Bewertung der Schwingungen nach DIN 4150-2 und DIN 4150-3 oder einer sonstigen Vereinbarung.

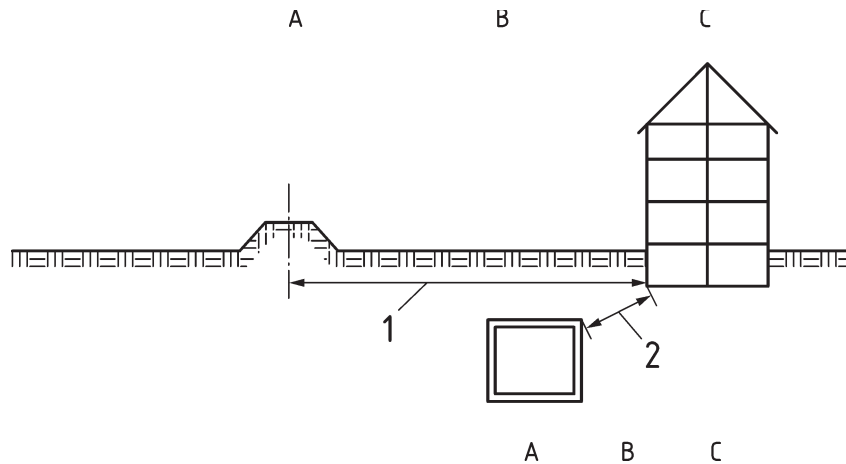
Die Immissionsprognose basiert auf vorhandenen Erkenntnissen über die Emissionspegel des Zugverkehrs, die Transmissionseigenschaften des Bodens sowie die Übertragungseigenschaften zwischen Boden und Gebäudefundament und zwischen Gebäudefundament und betrachteten Decken. Derartige Daten können eigenen Erkenntnissen des Bearbeiters und der Literatur entnommen oder speziell durch Messungen nach DIN 45672-1 und DIN 45672-2 in der jeweiligen örtlichen Situation ermittelt werden. Die jeweilige Vorgehensweise hängt von der konkreten Aufgabenstellung und der erforderlichen Tiefe des Untersuchungsumfanges ab. Die Immissionsprognosen sind in der Regel Grundlage für die Erstellung einer schwingungstechnischen Untersuchung, die unter anderem für das Genehmigungsverfahren benötigt wird.

Ziel der nach diesem Dokument durchzuführenden Immissionsprognosen ist es, zu prüfen, inwieweit die Schwingungsemissionen aus dem Schienenverkehr zu Überschreitungen oder unzulässigen Zunahmen der in entsprechenden Regelwerken genannten zulässigen Immissionsgrößen führen. Ein weiteres Ziel ist es, die für die jeweilige Situation erforderliche Minderungsmaßnahmen so festzulegen, dass entsprechend des heranzuziehenden Beurteilungsverfahrens keine Überschreitungen oder unzulässige Zunahmen der Schwingungsimmissionen eintreten.

Eine Überschreitung der üblicherweise für eine Bewertung heranzuziehenden Anhaltswerte nach DIN 4150-2 ist erfahrungsgemäß nur bis zu einem bestimmten Gebäudeabstand von der Strecke zu erwarten. In Tabelle 1 sind diese Abstände in Abhängigkeit von der Zuggattung und der Streckenlage (Tunnel, oberirdisch) dargestellt (siehe Bild 1). In Einzelfällen kann es auch bei deutlich größeren Abständen zu einer Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 kommen.

Tabelle 1 — Empfohlene Abstandbereiche für eine Immissionsprognose

Zuggattung	Regelwerk	Relevante, bei einer Prognose zu betrachtende Abstandsbereiche (siehe Bild 1)	
		m	
		Tunnel ^{a, b}	Oberirdisches Gleis
Massengütertransport bei weichen Böden	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) [2]	— ^c	200
Vollbahn		30	60
S-Bahn		20	40
U-, Stadt- und Straßenbahn	Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab) [3]	20	25
^a Direkter Abstand Gebäudefundament zur Tunnel-Außenkontur (Bild 1).			
^b Bezüglich des Sekundärschalls bei Tunneln können auch größere Abstände relevant sein.			
^c Für Massengütertransport in Tunneln liegen keine Erfahrungswerte vor.			



Legende

A Emission

B Transmission

C Immission

1 relevanter Abstand Gleis – Gebäude bei oberirdischen Schienenwegen

2 relevanter Abstand Tunnelkontur – Gebäude bei unterirdischen Schienenwegen

Bild 1 — Prognosesituation

5 Prognoseverfahren

5.1 Allgemeines

Die Immissionsprognose erfolgt anhand von Schwinggeschwindigkeits-Terzpegeln. Mit Gleichung (1) wird für einen repräsentativen Punkt auf einer Geschossdecke das zu erwartende Immissionsspektrum in vertikaler Schwingrichtung abgeschätzt. Das Beispiel einer Prognoseberechnung ist dem Anhang C zu entnehmen. Die Immissionsprognose nach diesem Modell ermöglicht die Genauigkeit der Prognose stufenweise zu erhöhen. In einem ersten Schritt erfolgt die Prognose auf Basis von eigenen Erfahrungen und Literaturangaben. Gegebenenfalls sind in weiteren Schritten umfangreichere Berechnungen und ergänzende Messungen zur Ermittlung der Prognoseparameter als Grundlage der Immissionsprognose anzuwenden.

$$L_v(f_{Tn}) = L_{v,E}(f_{Tn}) + \Delta L_{v,BB}(f_{Tn}) + \Delta L_{v,FB}(f_{Tn}) + \Delta L_{v,DF}(f_{Tn}) + D_e(f_{Tn}) \quad (1)$$

Dabei ist

$L_{v,E}(f_{Tn})$ das Ausgangsspektrum der Prognoseberechnung in Abhängigkeit von der Prognoseaufgabe als Emissionsspektrum der Tunnelsohle, der Tunnelwand, einem Punkt im Gelände oder am Gebäudefundament (Emissionssystem);

$\Delta L_{v,BB}(f_{Tn})$ der Einfluss der Schwingungsausbreitung im Boden im Hinblick auf die unterschiedliche Entfernung zwischen Emissionspunkt und einem Bodenpunkt vor einem Gebäude oder dem Gebäudefundament (Transmissionssystem);

$\Delta L_{v,FB}(f_{Tn})$ die Übertragung vom Boden in das Gebäude (Übertragung Erdreich/Fundament, primäres Immissionssystem); bei Verwendung eines Emissionsspektrums am Gebäudefundament entfällt dieser Rechenterm;

$\Delta L_{v,DF}(f_{Tn})$ die Übertragung innerhalb des Gebäudes (Fundament/Geschossdecke, sekundäres Immissionssystem);

$D_e(f_{Tn})$ die Minderungswirkungen von Maßnahmen im Bereich des Oberbaus, auf dem Ausbreitungsweg oder am Gebäude (Einfügdungsdämm-Maß, siehe DIN 45673-1).

Die beiden Größen $\Delta L_{v,FB}(f_{Tn}) + \Delta L_{v,DF}(f_{Tn})$ können auch zusammengefasst werden:

$$\Delta L_{v,DB}(f_{Tn}) = \Delta L_{v,FB}(f_{Tn}) + \Delta L_{v,DF}(f_{Tn}) \quad (2)$$

Die Indizes bedeuten:

- E Emission;
- B Boden;
- F Fundament;
- D Decke (Fußboden);
- T_n Terzmittenfrequenz;
- v Schwinggeschwindigkeit, mm/s.

Aus den prognostizierten Schwinggeschwindigkeits-Terzpegeln werden Immissionskennwerte ermittelt, die beispielsweise für eine Beurteilung nach DIN 4150-2 (Erschütterungseinwirkung auf Menschen in Gebäuden) bzw. DIN 45672-4 (Sekundärschallbewertung) herangezogen werden können.

5.2 Emissionssystem

Als Emissionsspektren $L_{v,E}$ sind Max Hold-Spektren unter Berücksichtigung der Zugkattung nach DIN 45672-2 im Frequenzbereich 4 Hz bis 250 Hz zu verwenden. Hierbei sind die maßgebenden Einflussparameter (z. B. die Zugkategorie, die Zuggeschwindigkeit, der Oberbau sowie dessen Zustand und, soweit möglich, die Eigenschaften des anstehenden Bodens) in der Prognosesituation zu berücksichtigen (siehe auch DIN 45672-1:2018-02, Anhang C).

Die Emissionsspektren lassen sich in Abhängigkeit der Aufgabenstellung sowie der erforderlichen Prognosegenauigkeit (mit zunehmender Genauigkeit und mit zunehmendem Aufwand) wie folgt ermitteln:

- vorhandene Daten zu den Emissionsspektren;
- Simulationsberechnung;
- vorhandene Messergebnisse, die an die aktuelle Situation durch Umrechnung beispielsweise hinsichtlich der Zuggeschwindigkeit oder der Bodeneigenschaften anzupassen sind;
- aktuelle Messung am Emissionssystem nach DIN 45672-1 und DIN 45672-2 (empfohlen).

Mit Gleichung (3) können bei gleichen Randbedingungen Emissionsspektren aus vorhandenen Messungen für andere Zuggeschwindigkeiten der gleichen Zugkategorie abgeschätzt werden:

$$L_{v,E2}(f_{Tn}) = L_{v,E1}(f_{Tn}) + 20 \cdot \lg(v_2/v_1) \quad (3)$$

Dabei ist

$L_{v,E1}(f_{Tn})$ Emissionsspektrum mit Ausgangsgeschwindigkeit v_1 ;

$L_{v,E2}(f_{Tn})$ Emissionsspektrum mit Zielgeschwindigkeit v_2 .

Die genannte frequenzunabhängige Beziehung ist nur bei Geschwindigkeitsänderungen bis zu 30 % anzuwenden. Bei größeren Geschwindigkeitsänderungen sind auch Verschiebungen von geschwindigkeitsabhängigen Frequenzen zu betrachten (z. B. der Schwellenfach- oder Stützpunktfrequenz $f_a = v/a$ mit a : Schwellen- oder Stützpunktstandort).

ANMERKUNG 1 Da sich längenbedingte Anregungsfrequenzen mit einer Geschwindigkeitsänderung verschieben (z. B. Radunrundheiten, Schienenwelligkeiten) und Resonanzfrequenzen (z. B. Radsatz-Oberbau-Resonanz) nicht verändern, ist die Frequenzabhängigkeit sehr komplex und nur mit aufwändiger Simulation realitätsnah darstellbar.

ANMERKUNG 2 Im Bereich von massiven Widerlagern von Brücken und Viadukten ist nur von einer geringen Einleitung von Schwingungsemissionen in die Umgebung auszugehen (Brückeneigenfrequenz, Filterung usw.). Lediglich in dem, an die Brücke anschließenden, Hinterfüllbereich können aufgrund einer unzureichenden Verdichtung des Bodens hohlliegende Schwellen und damit im Nahfeld eine erhöhte Emission bei der Vorbeifahrt von Zügen auftreten.

ANMERKUNG 3 Im Bereich von Brückenpfeilern (z. B. von Viadukten) treten in der Regel Schwingungen mit Frequenzen kleiner 20 Hz auf, die der Eigenfrequenz des Brückenträgers entsprechen. Diese Anregung kann unter bestimmten Randbedingungen (z. B. weiche Böden) zu spürbaren Erschütterungen in benachbarten Gebäuden führen.

5.3 Transmissionssystem

Die Schwingungsausbreitung vom Emissionspunkt zu einem Punkt vor dem Gebäude oder am Gebäudefundament wird von den Übertragungseigenschaften des Bodens bestimmt und kann lokal sehr unterschiedlich sein. Sie kann als Differenzspektrum (Transmissionsspektrum $\Delta L_{v, BB}$) je nach Aufgabenstellung und erforderlicher Prognosegenauigkeit wie folgt ermittelt werden:

— vorhandene Daten zu den Übertragungseigenschaften;

— Berechnung der Pegelabnahme:

$$\Delta L_{v, BB}(f_{Tn}) = 20 \cdot \lg \left(\frac{v(f_{Tn}, r)}{v(f_{Tn}, r_0)} \right) \quad (4)$$

mit

$$\frac{v(f_{Tn}, r)}{v(f_{Tn}, r_0)} = \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-n} \cdot e^{-\alpha_R(f_{Tn}) \cdot (r - r_0)} \quad (5)$$

mit

$$\alpha_R(f_{Tn}) = \frac{2\pi D}{\lambda_R} = \frac{2\pi f_{Tn} \cdot D}{c_s}$$

Dabei ist

r die Entfernung des Immissionsortes (Bodenpunkt vor dem Gebäude oder Gebäudefundament) zur Erschütterungsquelle;

r_0 der Referenzabstand;

D die Dämpfung des Bodens;

$\lambda = c_s / f_{Tn}$ die Wellenlänge;

c_s Scherwellengeschwindigkeit;

$\alpha_R(f_{Tn})$ Abklingkoeffizient

n Exponent in Abhängigkeit von Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung (siehe DIN 4150-1). Der Exponent n wird i. d. R. bei oberirdischem Zugverkehr frequenzunabhängig zu 0,2 bis 0,4 gewählt. Durch Messung kann eine Frequenzabhängigkeit ermittelt und berücksichtigt werden.

- Berechnung der Amplitudenabnahme gemäß DIN 45672-2:2020-11, Abschnitt 9:

$$\frac{v(f_{Tn}, r)}{v(f_{Tn}, r_0)} = \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-n(f_{Tn})} \quad (6)$$

wobei der frequenzabhängige Exponent $n(f_{Tn})$ messtechnisch vor Ort für jede Terzmittenfrequenz ermittelt oder aus Messungen mit vergleichbaren Böden übertragen wird. Die Pegelbildung erfolgt nach Gleichung (4).

- aktuelle Messung im Transmissionssystem nach DIN 45672-1 und DIN 45672-2 (empfohlen). Die Ermittlung der Transmissionsspektren kann sowohl anhand von Max Hold-Spektren als auch anhand von L_{eq} -Spektren erfolgen, da erfahrungsgemäß die Unterschiede sehr gering sind.

Die Messungen sind i. d. R. bei Zugverkehr durchzuführen. Bei Messungen unter Punktanregung ist in jedem Fall eine Umrechnung in eine Linienquelle erforderlich (siehe informativer Anhang B).

Bei unterirdischem Schienenverkehr tritt direkt oberhalb des Tunnels eine „Schattenwirkung“ auf. Die erwartete Abklingwirkung mit zunehmender Entfernung beginnt erst ab einem bestimmten Abstand, der von der Tiefenlage des Tunnels und seiner Geometrie abhängt. Daher sind entsprechende Ausbreitungsmessungen erst in einem horizontalen Abstand von etwa 45° Ausbreitungswinkel bezogen auf die Tunnelseitenwand durchzuführen.

5.4 Immissionssystem

5.4.1 Allgemeines

Durch Übertragung der Schwingungen vom Boden auf die Fundamente (Gründung des Gebäudes) und weiter auf die Nutzungsbereiche (Decken) im Gebäude ergeben sich die für eine Beurteilung heranzuziehenden Immissionen.

Grundsätzlich kann eine Auftrennung in zwei separate Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{V,FB}$ (Freifeld-Fundament, siehe 5.4.2) und $\Delta L_{V,DF}$ (Fundament-Decken, siehe 5.4.3) erfolgen oder mit einem Gesamtpegeldifferenzspektrum $\Delta L_{V,DB}$ (Freifeld-Decken, siehe 5.4.4) gearbeitet werden. Idealerweise gilt:

$$\Delta L_{V,DB}(f_{Tn}) = \Delta L_{V,FB}(f_{Tn}) + \Delta L_{V,DF}(f_{Tn}) \quad (7)$$

Die Wahl der Vorgehensweise ist abhängig von der Aufgabenstellung und den vorhandenen Daten, sie bleibt dem Bearbeiter überlassen.

Die Pegeldifferenzspektren können je nach Aufgabenstellung und erforderlicher Prognosegenauigkeit wie folgt ermittelt werden:

- vorhandene Daten zu den Übertragungseigenschaften;
- Simulationsberechnungen;
- bei bestehenden Gebäuden anhand einer Übertragungsmessung zwischen Boden und Gebäude entsprechend DIN 45672-1 (empfohlen).

ANMERKUNG Die Pegeldifferenzspektren $\Delta L_{V,FB}(f_{Tn})$ werden u. a. von der Position der Messpunkte einer Geländemesung sowie der Boden-Bauwerks-Interaktion (z. B. Baugrundeigenschaft, Art der Gründung, vorhandene Untergeschosse