

DIN EN 17936

ICS 17.140.30; 93.100

Einsprüche bis 2023-02-02

Entwurf**Bahnanwendungen –****Akustik –****Messung der Quellterme für Umgebungslärberechnungen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17936:2022**

Railway applications –

Acoustics –

Measurement of source terms for environmental noise calculations;

German and English version prEN 17936:2022

Applications ferroviaires –

Acoustique –

Mesurage des termes sources pour le calcul du bruit en environnement;

Version allemande et anglaise prEN 17936:2022

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-12-02 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 135 Seiten

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

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17936:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 001-01-07 AA „Geräuschemissionsmessungen an spurgebundenen Fahrzeugen einschließlich Messungen im Fahrgastraum und am Arbeitsplatz“ im DIN-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 3740:2019	siehe	DIN EN ISO 3740:2019-08
ISO 3744:2010	siehe	DIN EN ISO 3744:2011-02
ISO 5725-2:2019	siehe	DIN ISO 5725-2:2022-05

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 3740:2019-08, *Akustik — Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen — Leitlinien zur Anwendung der Grundnormen (ISO 3740:2019); Deutsche Fassung EN ISO 3740:2019*

DIN EN ISO 3744:2011-02, *Akustik — Bestimmung der Schallleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen — Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene (ISO 3744:2010); Deutsche Fassung EN ISO 3744:2010*

DIN ISO 5725-2:2022-05, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 2: Grundlegende Methode für die Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens (ISO 5725-2:2019); Text Deutsch und Englisch*

– *Entwurf* –

E DIN EN 17936:2023-01

– Leerseite –

**Bahnanwendungen – Akustik – Messung der Quellterme für
Umgebungslärberechnungen**

Railway applications – Acoustics – Measurement of source terms for environmental noise calculations

Applications ferroviaires – Acoustique – Mesurage des termes sources pour le calcul du bruit en environne-
ment

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Akustische Grundlagen für diese Norm	13
4.1 Genauigkeit/Unsicherheiten	13
4.2 Frequenzbereich und Spektralbänder	13
4.3 Art der Messungen	13
5 Messgeräte und Kalibrierung	13
5.1 Allgemeines	13
5.2 Geräte für akustische Messungen	14
5.3 Kalibrierung der Geräte für akustische Messungen	14
5.3.1 Temporäre Messeinrichtungen	14
5.3.2 Automatisierte Kalibrierung	14
5.4 Messgeräte für nicht-akustische Messungen	15
5.4.1 Zeit und Dauer	15
5.4.2 Geschwindigkeit, Gleis und Richtung	15
5.4.3 Meteorologische Parameter	15
5.4.4 Geschwindigkeits- und Gleisparameter	15
5.4.5 Kombinierte Rauheit	15
6 Art und Weise der Ableitung von Quelltermen	15
6.1 Allgemeines	15
6.2 Vorgehensweise	16
6.3 Richtwirkung	17
6.4 Verteilung über Quellenhöhen	17
7 Messverfahren	17
7.1 Allgemeines	17
7.2 Rollgeräusche	19
7.2.1 Allgemeines	19
7.2.2 Messschritte	19
7.2.3 Rauheit des Netzes und der Fahrzeugflotte	21
7.3 Antriebsgeräusche und Geräusche von Einrichtungen	21
7.3.1 Allgemeines	21
7.3.2 Quellenpegel für Antriebsgeräusche/Geräusche von Einrichtungen nach EN ISO 3095 . .	21
7.3.3 Quellenpegel für Antriebsgeräusche/Geräusche von Einrichtungen mit Anwendung der Erfassung statistischer Daten	21
7.3.4 Quellentrennung	22
7.4 Stoßartige Geräusche	22
7.5 Kurvenkreischen	22
7.6 Brückendröhnen	23
7.7 Bremsgeräusche	24
7.7.1 Allgemeines	24
7.7.2 Quellenpegel für Bremsgeräusche nach EN ISO 3095	24
7.7.3 Quellenpegel für Bremsgeräusche an beliebigen Standorten	24
7.7.4 Quellenpegel für Bremsgeräusche bei Geschwindigkeit	25
7.8 Aerodynamische Geräusche	25
8 Anforderungen an die Probenahme	25
8.1 Praktische Gültigkeit	25
8.2 Anforderungen und Auswahl von Messorten	26
8.3 Zugauswahl	26

8.4	Zuggeschwindigkeiten	26
8.5	Anzahl von Vorbeifahrten	27
9	Datenverarbeitung	27
10	Unsicherheiten	32
11	Prüfbericht	33
Anhang A	(informativ) Verfahren zur Bestimmung der effektiven Gesamtrauheit	35
A.1	Allgemeines	35
A.2	Direktes Verfahren mit Erfordernis für Zugang zu Gleis und Fahrzeug	35
A.3	Indirektes Messverfahren mit Anwendung von Schienenschwingungen — Gleisseitiges Verfahren	35
A.4	Prüfverfahren	35
Anhang B	(informativ) Berechnung der Schein-Schallleistung anhand des Schalldrucks	37
B.1	Definition	37
B.2	Berechnungsverfahren	37
B.3	Berechnungsverfahren	38
B.4	In tabellarischer Form angegebene Übertragungsfunktionen für CNOSSOS für bestimmte Gleisgeometrien und Quelle-Empfänger-Kombinationen	38
Anhang C	(informativ) Verfahren zum Trennen von Rollgeräuschen von Fahrzeug und Gleis	63
C.1	Grundsatz des Trennens	63
C.2	Trennen auf Grundlage von Berechnungen	63
C.3	Trennen auf Grundlage von Messungen	64
C.4	Trennen auf der Grundlage von externen Referenzen	64
Anhang D	(informativ) Spezifische Umgebungen	65
Anhang E	(informativ) Umrechnung zwischen Zug- und Gleistypen	66
Literaturhinweise		67

Bilder

Bild 1	— Elemente des Schemas eines Vorhersageverfahrens für Umgebungslärm	8
Bild 2	— Flussdiagramm des Verfahrens zur Ermittlung von Eisenbahn-Quelltermen, mit Angabe betreffender Abschnittsnummern	18
Bild 3	— Mikrofonpositionen zur Messung von Kurvenkreischen an Punkten	23
Bild 4	— Gemessene Vorbeifahrt-Schalldruckpegel von drei Reisezugtypen im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie, als Funktion der Zuggeschwindigkeit und mit linearen Kurvenanpassungen für jede Geschwindigkeit auf einer logarithmischen Geschwindigkeitsskala. Zum Vergleich ist eine Linie für $30 \lg v$ dargestellt.	28
Bild 5	— Gemessene Vorbeifahrt-Schalldruckpegel von mehreren Güterzügen im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie, als Funktion der Zuggeschwindigkeit und mit einer linearen Kurvenanpassung auf einer logarithmischen Geschwindigkeitsskala, mit Standardabweichung (Sigma), und mit Anstieg für $30 \lg v$ zum Vergleich	29
Bild 6	— Arithmetisch gemittelte Vorbeifahrtswerte je Geschwindigkeit, mit einer linearen Kurvenanpassung mit Angabe einer einzelnen Standardabweichung und einer Linie für $30 \lg v$ zum Vergleich	30
Bild 7	— Arithmetisch und energetisch gemittelte Vorbeifahrtswerte je Geschwindigkeit zum Vergleich, mit linearer Kurvenanpassung und Anstieg für $30 \lg v$ zum Vergleich	31
Bild 8	— Beispiel für Verarbeitungsschritte für Rollgeräusche, einschließlich kombinierter Rauheit	32
Bild 9	— Beispiel für ein Verfahren zum Trennen anderer Quellen von Rollgeräuschen mit Verwendung der Differenz in Übertragungsfunktion $L_{HpR, nl}(f)$ für eine Vorbeifahrt mit anderen Quellen und eine Vorbeifahrt ausschließlich mit Rollgeräuschen	32
Bild B.1	— Übertragungswege für Rollgeräusche zwischen Gleis/Fahrzeug und Mikrofon	37
Bild B.2	— Profile von 10 Messortgeometrien für fernes und nahes Gleis (wie in Parameterstudien verwendet)	39
Bild B.3	— Maße der Messortgeometrie	39

Bild B.4 — Kurven für Zusatzdämpfung wie in Tabelle B.2 für zwei Quellenhöhen und zwei Mikrofonhöhen, für eine unbegrenzte Quelle, wie z. B. Rollgeräusche	40
Bild C.1 — Beispiel für die Verteilungsfunktionen für Anteile von Gleis und Fahrzeug zu den Gesamt-Rollgeräuschen	63
Bild C.2 — Beispiel für eine Verteilungsfunktion für Anteile von Rad, Schiene und Schwellen zur Gesamt-Schallleistung von Rollgeräuschen, berechnet nach TWINS	64

Tabellen

Tabelle A.1 — Verschiedene Verfahren für Messungen von Rad- und Schienenrauheit	36
Tabelle B.1 — Geometrien von 10 verschiedenen Standorten, 6 für fernes Gleis (1,5,6,7,8,9) und 4 für nahes Gleis (0,2,3,4)	39
Tabelle B.2 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für eine unbegrenzte Quelle bei 0 m und 0,5 m und eine kürzere Quelle (21,5 m) bei 1 m, 2 m, 4 m und 5 m, gemittelt über sechs Gleisbettgeometrien (fernese Gleis), für Messhöhen 1,2 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	41
Tabelle B.3 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für eine unbegrenzte Quelle bei 0 m und 0,5 m und eine kürzere Quelle (21,5 m) bei 1 m, 2 m, 4 m und 5 m, gemittelt über sechs Geometrien über dem Gleisbett (fernese Gleis), für Messhöhe 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	42
Tabelle B.4 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für eine unbegrenzte Quelle bei 0 m und 0,5 m und eine kürzere Quelle (21,5 m) bei 1 m, 2 m, 4 m und 5 m, gemittelt über sechs Geometrien über dem Gleisbett (fernese Gleis), für Messhöhe 1,2 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	43
Tabelle B.5 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für eine unbegrenzte Quelle bei 0 m und 0,5 m und eine kürzere Quelle (21,5 m) bei 1 m, 2 m, 4 m und 5 m, gemittelt über sechs Geometrien über dem Gleisbett (fernese Gleis), für Messhöhe 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	44
Tabelle B.6 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für eine unbegrenzte Quelle bei 0 m und 0,5 m und eine kürzere Quelle (21,5 m) bei 1 m, 2 m, 4 m und 5 m, gemittelt über sechs Geometrien über dem Gleisbett (fernese Gleis), für Messhöhe 1,2 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	45
Tabelle B.7 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für eine unbegrenzte Quelle bei 0 m und 0,5 m und eine kürzere Quelle (21,5 m) bei 1 m, 2 m, 4 m und 5 m, gemittelt über sechs Geometrien über dem Gleisbett (fernese Gleis), für Messhöhe 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	46
Tabelle B.8 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für eine unbegrenzte Quelle bei 0 m und 0,5 m und eine kürzere Quelle (21,5 m) bei 1 m, 2 m, 4 m und 5 m, gemittelt über vier Geometrien für das nahe Gleis, für Messhöhen 1,2 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	47
Tabelle B.9 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für eine unbegrenzte Quelle bei 0 m und 0,5 m und eine kürzere Quelle (21,5 m) bei 1 m, 2 m, 4 m und 5 m, gemittelt über vier Geometrien für das nahe Gleis, für Messhöhen 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	48
Tabelle B.10 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für eine unbegrenzte Quelle bei 0 m und 0,5 m und eine kürzere Quelle (21,5 m) bei 1 m, 2 m, 4 m und 5 m, gemittelt über vier Geometrien für das nahe Gleis, für Messhöhe 1,2 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	49
Tabelle B.11 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für eine unbegrenzte Quelle bei 0 m und 0,5 m und eine kürzere Quelle (21,5 m) bei 1 m, 2 m, 4 m und 5 m, gemittelt über vier Geometrien für das nahe Gleis, für Messhöhe 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	50
Tabelle B.12 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für eine unbegrenzte Quelle bei 0 m und 0,5 m und eine kürzere Quelle (21,5 m) bei 1 m, 2 m, 4 m und 5 m, gemittelt	

über vier Geometrien für das nahe Gleis, für Messhöhe 1,2 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	51
Tabelle B.13 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für eine unbegrenzte Quelle bei 0 m und 0,5 m und eine kürzere Quelle (21,5 m) bei 1 m, 2 m, 4 m und 5 m, gemittelt über vier Geometrien für das nahe Gleis, für Messhöhe 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	52
Tabelle B.14 — Parameter der Messort-Geometrie für Straßenbahnen	54
Tabelle B.15 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für Straßenbahnen, auf Gleisen mit Schotterbett, nahe Position, für eine unbegrenzte Quelle bei 0,1 m für Messhöhen von 1,2 m und 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	55
Tabelle B.16 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für Straßenbahnen, auf Gleisen mit Schotterbett, ferne Position, für eine unbegrenzte Quelle bei 0,1 m für Messhöhen von 1,2 m und 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	56
Tabelle B.17 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für Straßenbahnen, auf Rasengleisen, nahe Position, für eine unbegrenzte Quelle bei 0,1 m für Messhöhen von 1,2 m und 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	57
Tabelle B.18 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für Straßenbahnen, auf Rasengleisen, ferne Position, für eine unbegrenzte Quelle bei 0,1 m für Messhöhen von 1,2 m und 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	58
Tabelle B.19 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für Straßenbahnen, auf eingebettetem Gleis, nahe Position, für eine unbegrenzte Quelle bei 0,1 m für Messhöhen von 1,2 m und 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	59
Tabelle B.20 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für Straßenbahnen, auf eingebettetem Gleis, ferne Position, für eine unbegrenzte Quelle bei 0,1 m für Messhöhen von 1,2 m und 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	60
Tabelle B.21 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für Straßenbahnen, auf Gleisen mit Betonschwellen, nahe Position, oder für eine unbegrenzte Quelle bei 0,1 m für Messhöhen von 1,2 m und 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	61
Tabelle B.22 — Übertragungsfunktion $L_{HpW}(f)$ für Zusatzdämpfung für Straßenbahnen, auf Gleisen mit Betonschwellen, ferne Position, für eine unbegrenzte Quelle bei 0,1 m für Messhöhen von 1,2 m und 3,5 m über der Schienenoberkante, im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie	62

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17936:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Einleitung

In Europa gibt es mehrere Vorhersageverfahren für Umgebungslärm. Für Lärmkartierung und -planung von Bahnstrecken sind die Vorhersageverfahren in nationalen Rechtsvorschriften oder Rechtsvorschriften der Europäischen Union verankert, wie z. B. Richtlinie 2015/996/EU (CNOSSOS). Ein wesentlicher Aspekt zur Sicherstellung realistischer Ergebnisse ist die Verwendung gültiger Eingangsdaten.

Vorhersageverfahren für Umgebungslärm bestehen aus Quelltermen für Verkehrslärm (Verkehrsgeräusche) und einem Ausbreitungsmodell.

Diese Berechnung von Quellen von Bahnverkehrslärm beruht auf Verkehrsdaten (z. B. Zugtypen, Geschwindigkeiten, Verkehrsfluss, Betriebsdaten) und auf den Begriffen zu Quellen von Fahrzeug-/Gleisgeräuschen.

In diesem Dokument sind Verfahren zur Messung akustischer Eingangsparameter für die Quellterme von Fahrzeug-/Gleisgeräuschen festgelegt. Das Erfassen von Verkehrsflussdaten liegt im Anwendungsbereich dieses Dokuments. Das Verfahren darf verwendet werden, um Daten von unterschiedlichen Quellenarten aus dem Bahnverkehr zu erfassen, innerhalb der praktischen Beschränkungen allgemein verfügbarer Messeinrichtungen und betriebener Eisenbahnen.

Das Dokument deckt die Messung separater physikalischer Quellenarten ab, die im Anwendungsbereich aufgeführt sind.

Jede Quellenart wird bezüglich ihres Frequenzspektrums (bis zu Einzelheiten von Terzbändern), Quellenhöhe und Richtwirkung charakterisiert. Rollgeräusche werden bezüglich ihrer ursächlichen Rad- und Schienenrauheit im Zusammenhang mit Fahrzeug- und Gleis-Übertragungsfunktion beschrieben.

Sofern es gefordert ist, sind in diesem Dokument Einzelheiten zur Ableitung von Übertragungsfunktionen (Transferfunktionen) angegeben, die eine Berechnung von Rollgeräuschen anhand von akustischer Rad-/Schienenrauheit ermöglichen.

Der vollständige Ablauf, der verschiedene Arten von Eingangsgrößen in ein Schema eines Vorhersageverfahrens für Umgebungslärm abbildet, ist in Bild 1 veranschaulicht.

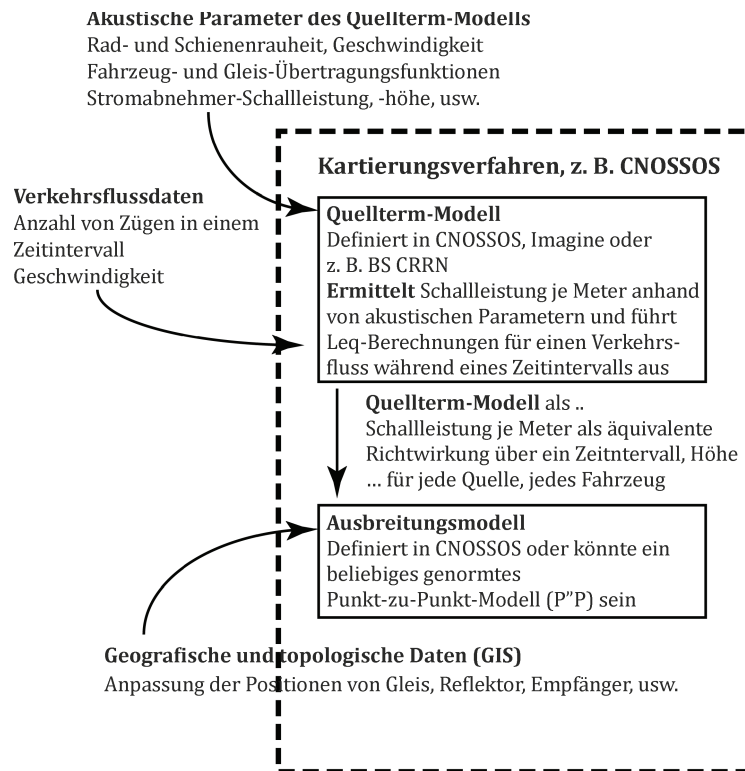


Bild 1 — Elemente des Schemas eines Vorhersageverfahrens für Umgebungslärm

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument behandelt die Begriffe zur Messung von Quelltermen für die Berechnung von Umgebungslärm für Bahnverkehr (einschließlich Stadtbahnen, wie z. B. Straßenbahnen, U-Bahnen, usw.). Es ist anwendbar auf Messungen an in Dienst befindlichen Zügen auf Betriebsgleisen.

Es ist weder anwendbar auf Typ-Abnahmeprüfungen von Bahnfahrzeugen oder Gleisen, noch auf die Ableitung von Quelltermen für Zeitbereich-Modelle.

Die folgenden Quellenarten liegen im Anwendungsbereich:

- Rollgeräusche;
- Antriebsgeräusche;
- aerodynamische Geräusche;
- stoßartige Geräusche (z. B. Schienenstöße, Weichen und Kreuzungen, Flachstellen an Rädern);
- Bremsgeräusche;
- Brückendröhnen;
- Kreischen.

Geräuschemissionen von Schienenfahrzeugen im Stillstand, wie z. B. Leerlauf im Stand und Hilfseinrichtungen auf Rangierhöfen und in Bahnhöfen, werden bezüglich Messverfahren und Betriebsbedingungen in EN ISO 3095:2013 behandelt, und bezüglich der Bestimmung der Schallleistung in ISO 3740:2019, und ISO 3744:2010.

Die Berechnung der Schallausbreitung ist Teil von allgemeinen genormten Ausbreitungsmodellen, die in diesem Dokument nicht behandelt werden.

Geräusche von ortsfesten Anlagen (z. B. Bahnhöfe, Betriebshöfe, Unterwerke) liegen nicht im Anwendungsbereich dieses Dokuments.

Quellterme sind spezifisch für eine Fahrzeugart und eine Gleisart. Der Anwendungsbereich umfasst Messverfahren und -bedingungen und Anforderungen an die Probenahme ein.

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).

EN ISO 3095:2013, *Akustik — Bahnanwendungen — Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen (ISO 3095:2013)*

EN 15610:2019, *Bahnanwendungen — Akustik — Messung der Schienen- und Radrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräuschen*

EN 17343, *Bahnanwendungen — Allgemeine Begriffe*

CEN/TR 16891:2016, *Bahnanwendungen — Akustik — Messmethode für kombinierte Rauheit, Gleisabklingraten und Übertragungsfunktionen*

EN 61672-1:2013, *Elektroakustik — Schallpegelmesser — Teil 1: Anforderungen*

EN 61672-2:2013, *Elektroakustik — Schallpegelmesser — Teil 2: Baumusterprüfung*

EN IEC 60942:2018, *Elektroakustik — Schallkalibratoren*

EN 61260-1:2014, *Elektroakustik — Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven — Teil 1: Anforderungen*

ISO 3740:2019, *Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources — Guidelines for the use of basic standards*

ISO 3744:2010, *Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane*

ISO 5725-2:2019, *Application of statistics — Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN ISO 3095:2013, EN 17343 und die folgenden Begriffe.

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

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Anzahl der Achsen

N_{ax}

Anzahl der Achsen im gewählten Zug oder Zugteil

3.2

Terzband-Frequenz

f

Mittenfrequenz eines Terz-Frequenzbands, in [Hz]

3.3

Terzband-Wellenlänge

Mittenwellenlänge eines Terz-Wellenlängenbands, in [m]

3.4

Beschleunigungssignal

$a(t)$

Zeitsignal der Schienenbeschleunigung, in [m/s²]

3.5

äquivalentes vertikales Spektrum des Schwingungspegels der Schiene

$L_{aeq,Tp}(f)$

Terzspektrum der über die Vorbeifahrzeit T_p energetisch gemittelten Beschleunigung am Schienenkopf, in dB re 1 [μm/s²]

3.6

Rollgeräuschübertragungsfunktion

$L_{\text{HpR,tot,nl}}(f)$

Übertragungsfunktion in Terzbändern, zwischen dem Schalldruck an einem festen Punkt, 7,5 m, und dem kombinierten effektiven Frequenzspektrum der Rauheit, normiert auf die Achsdichte N_{ax}/l , in [dB re 20 Pa/ $\sqrt{\text{m}}$]

[QUELLE: CEN/TR 16891:2016, 3.14]

3.7

effektive Gesamtrauheit

kombinierte effektive Rauheit

Funktion der akustischen Rauheit, welche das Rollgeräusch anregt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die effektive Gesamtrauheit ist der Effektivwert (RMS, en: root means square) des Spektrums der Schienen- und Radrauheit. Sie wird die effektive Gesamtrauheit, wenn die Auswirkung des Kontaktflächenfilters mit einbezogen wird.

[QUELLE: EN 15610:2019, 3.4]

3.8

kombiniertes effektives Wellenlängenspektrum der Rauheit

$L_{\text{Rtot}}(\lambda)$

Wellenlängenspektrum, in Terzbändern, der kombinierten effektiven Rad-Schiene-Rauheit einschließlich des Kontaktfilters, in dB re 1 [μm]

[QUELLE: CEN/TR 16891:2016, 3.12]

3.9

kombiniertes effektives Frequenzspektrum der Rauheit bei der Geschwindigkeit v

$L_{\text{Rtot}}(f, v)$

Frequenzspektrum, in Terzbändern, der kombinierten effektiven Rad-Schiene-Rauheit einschließlich des Kontaktfilters, in dB re 1 [μm]

[QUELLE: CEN/TR 16891:2016, 3.13]

3.10

direktes Rauheitsmessverfahren

Verfahren zur Messung der akustischen Rauheit, bei dem der Sensor die Rauheit der Fahrfläche misst, so dass entweder die Schienenrauheit oder die Radrauheit unabhängig von möglichen Auswirkungen der Rad-Schiene-Wechselwirkung gemessen wird

[QUELLE: EN 15610:2019, 3.5]

3.11

indirektes Rauheitsmessverfahren

Verfahren zur Messung der akustischen Rauheit, bei dem eine Größe als Folge der Rad-Schiene-Wechselwirkung gemessen wird, wie etwa das Geräusch, die Schienenschwingung oder die Schwingung der Radsatzlager-Gehäuse, wobei auf die ursprüngliche Anregung durch die effektive Gesamtrauheit von Rad-Schiene-Rauheit geschlossen wird

[QUELLE: EN 15610:2019, 3.6]

3.12

Schallleistungspegel

L_W

(oder Schein-Schallleistungspegel)

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses der von einer Schallquelle abgestrahlten Schallleistung P (3.2) zu einem Bezugswert P_0 , angegeben in Dezibel, wobei der Bezugswert P_0 1 pW entspricht

[QUELLE: ISO 3740:2019, 3.3]

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Schein-Schallleistungspegel ist der Schallleistungspegel, der an einem spezifischen Feldmesspunkt abgeleitet wird. In diesem Zusammenhang ist es der Schallleistungspegel, von dem gefordert wird, dass er den Schalldruckpegel im gleisseitigen Messpunkt in Terzbändern oder Oktavbändern i erzeugt.

3.13

Schallleistungspegel je Einheitenlänge

L_W

(Schein-)Schallleistungspegel L_W normiert auf die Zuglänge, in Watt/m

$$L_{W'} = 10 \lg (W/W_0) - 10 \lg (l/l_0) \quad (1)$$

Dabei ist

l_0 eine Länge von 1 m.

3.14

Integrationslänge

l

Länge eines Fahrzeugs oder eines Gleises, über welche der Schalldruck integriert wird

3.15

Schallleistungs-Übertragungsfunktion

$L_{HWR,n}$

Scheinschallleistung je Einheit effektiver (Gesamt-)Rauheit, je Achse, in Terzbändern, analog zu [1], Gleichungen 2.3.8 bis 2.3.10

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Funktion ist auch von der Fahrzeuglänge anhängig.

3.16

Schalldruck-Übertragungsfunktion

$L_{HpR,nl}$

Übertragungsfunktion der effektiven Gesamtrauheit gegenüber dem gleisseitigen Schalldruck, normiert auf die Achsdichte N_{ax}/l

Anmerkung 1 zum Begriff: Grundsätzlich ist dies unabhängig von Zug- oder Fahrzeuglänge und Geschwindigkeit, sofern Rollgeräusche die wesentliche Quelle sind.

[QUELLE: CEN/TR 16891:2016, 3.14]

3.17

akustische Übertragungsfunktion zwischen Schalldruck und Schallleistung

L_{HpW}

Übertragungsfunktion zwischen dem gemessenen Vorbeifahrt-Schalldruckpegel $L_{peq, Tp}$ und dem Scheinschallleistungspegel je Meter $L_{W'}$, in Terzbändern und Oktavbändern

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies schließt nur geometrische Zerstreuung und Bodendämpfung ein, und resultiert aus der Integration über die Vorbeifahrt einer einzelnen oder mehrerer Schallquelle(n) für ein Fahrzeug oder eine Gruppe von Fahrzeugen.

3.18

Verteilungsfunktion

$D(f)$

Satz von zwei oder mehr Frequenzspektren in Terzbändern zur Quantifizierung der Anteile einzelner Quellen, z. B. Fahrzeug oder Gleis, oder Rollgeräusch und andere Quellen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Energiesumme dieser Spektren ist immer null dB in jedem Terzband. Der Anteil (der Beitrag) jeder einzelnen Quelle wird ermittelt durch Subtraktion der Verteilungsfunktion vom Gesamtschallspektrum.

4 Akustische Grundlagen für diese Norm

4.1 Genauigkeit/Unsicherheiten

Die folgenden Faktoren können die Unsicherheit von Quelltermergebnissen beeinflussen:

- Auswahl der Prüflinge von Zügen oder Schienenfahrzeugen, einschließlich Rauheitsabweichungen von Rädern;
- Messorte, einschließlich Abweichungen der Schienenrauheit, Geometrie und Ausbreitungsfaktoren;
- Betriebsbedingungen von Zügen oder Schienenfahrzeugen, einschließlich Geschwindigkeit und aktiven Geräuschquellen.

Weitere Einzelheiten zur Unsicherheit werden in Abschnitt 10 behandelt.

4.2 Frequenzbereich und Spektralbänder

Quellterme für Vorhersagemodelle werden am häufigsten in einem Oktavband von 63 Hz bis 8 000 Hz festgelegt. Daten werden in Terzbändern für 50 Hz bis 10 000 Hz erfasst und im abschließenden Verarbeitungsschritt in Oktavbänder umgerechnet.

4.3 Art der Messungen

Schalldruckmessungen werden *In-Situ* (vor Ort) mit Einzelmikrofonen durchgeführt, von denen eine Schallleistungsgröße abgeleitet wird. Die Schallleistung wird unter Verwendung des tatsächlichen Vorhersagemodells, für welches die Quellterme erforderlich sind, oder eines detaillierteren Modells abgeleitet. Verfahren für diese Berechnung sind in Anhang B beschrieben.

ANMERKUNG Anforderungen an das Modell umfassen sowohl die Reflexion eines nicht lokalen, reaktiven Gleisbetts als auch die Beugung über dem Gleisbett.

5 Messgeräte und Kalibrierung

5.1 Allgemeines

Messungen können sowohl mit temporären, beaufsichtigten Messeinrichtungen durchgeführt werden, als auch mit ortstest installierten, automatisierten, unbeaufsichtigten Messeinrichtungen. Während die meisten Anfor-

derungen an Messgeräte und Kalibrierung für beide Arten von Messeinrichtungen erforderlich sind, bedürfen ortsfeste Einrichtungen einiger zusätzlicher Anforderungen. Außerdem müssen einige bei temporären Einrichtungen durch Aufsichtspersonen übernommene Aufgaben bei ortsfest installierten Messeinrichtungen durch die Messgeräte ausgeführt werden.

Abhängig von der Art der Messung, ist möglicherweise nur eine Auswahl der folgenden Messgeräte erforderlich.

5.2 Geräte für akustische Messungen

Jedes Bauteil des Systems für akustische Messungen muss den Anforderungen für ein Messgerät der Klasse 1 entsprechend den Festlegungen in EN 61672-1:2013, entsprechen.

Die Schallkalibratoren müssen den Anforderungen von Klasse 1 nach EN IEC 60942:2018 entsprechen.

Es müssen Mikrofone mit Freifeld-Kennwerten verwendet werden. Es müssen immer zweckmäßige Mikrofon-Windschutze verwendet werden. Ortsfest installierte Messeinrichtungen müssen für eine dauerhafte Verwendung im Freien geeignet sein, und müssen Vogelabweiser haben.

Wenn Terz-Frequenzband-Analysen gefordert sind, müssen die Filter den Anforderungen von Klasse 1 nach EN 61260-1:2014 entsprechen.

Die Übereinstimmung des Kalibrators mit den Anforderungen nach EN IEC 60942:2018 muss mindestens einmal jährlich verifiziert werden. Die Übereinstimmung des Messgerätesystems mit den Anforderungen nach EN 61672-1:2013 und EN 61672-2:2013 muss mindestens einmal alle zwei Jahre verifiziert werden. Das Datum der letzten Verifizierung der Übereinstimmung mit den maßgeblichen Normen muss aufgezeichnet werden.

5.3 Kalibrierung der Geräte für akustische Messungen

5.3.1 Temporäre Messeinrichtungen

Vor und nach jeder mit einer temporären Messeinrichtung ausgeführten Messreihe muss ein Schallkalibrator auf das (die) Mikrofon(e) angewendet werden, um die Kalibrierung des gesamten Messsystems bei einer oder mehreren Frequenzen über den betreffenden Frequenzbereich zu verifizieren. Wenn die Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Kalibrierungen mehr als 0,5 dB beträgt, oder die Differenz zwischen einem Messwert und einem Nennwert größer als 1,1 dB ist, müssen alle Messergebnisse dazwischen verworfen werden.

5.3.2 Automatisierte Kalibrierung

Bei ortsfest installierten Messeinrichtungen muss die vorgenannt beschriebene manuelle Prüfung mit einem Kalibrator mindestens einmal jährlich durchgeführt werden. Zusätzlich müssen tägliche automatisierte Prüfungen mittels eines der folgenden Verfahren durchgeführt werden.

- 1) Prüfen der Messgeräte durch Bereitstellen eines bekannten elektrischen Signals. Die Differenz zwischen dem Messwert und dem Nennwert darf nicht mehr als 1,1 dB betragen. Dies kann mittels eingebauter akustischer Quellen im Mikrofon (das Signal am Mikrofonausgang muss gleich einem Signal von mindestens 80 dB sein), mittels Kalibrierung mit Ladungsinjektion, mittels elektrostatischer Kalibrierung oder eines beliebigen anderen, gleichwertigen Verfahrens erfolgen.
- 2) Prüfen der Messgeräte durch zusätzliche Messungen (andere Mikrofone oder Quellen) Dafür wird ein zweites Mikrofon installiert. Die Differenz zwischen den Messwerten beider Mikrofone darf 1,5 dB nicht überschreiten.

Wenn die tägliche Prüfung der Messeinrichtung fehlschlägt, müssen alle seit der letzten erfolgreichen täglichen Prüfung erfolgten Messungen verworfen werden.

5.4 Messgeräte für nicht-akustische Messungen

5.4.1 Zeit und Dauer

Das Datum und die Ortszeit jeder Vorbeifahrt müssen aufgezeichnet werden. Die Dauer der Vorbeifahrt des/der betreffenden Zuges/Einheit (über Puffer) muss mit einer Präzision besser als $\pm 0,05$ s gemessen werden.

Die Vorbeifahrtszeit T_p kann anhand der Spitzenwerte an Vorder- und Hinterachse im Zeitsignal von Schwingung oder Schalldruck von Schienen oder Schwellen bestimmt werden, zuzüglich eines Zeitinkrements proportional zum Abstand der ersten und letzten Achse zur Stirnseite bzw. zur Rückseite des Zuges. Alternativ kann ein optischer Präsenzmelder für eine direkte Bestimmung von T_p verwendet werden.

5.4.2 Geschwindigkeit, Gleis und Richtung

Die Nummer des vom Zug benutzten Gleises muss zusammen mit der Fahrtrichtung aufgezeichnet werden. Die Geschwindigkeit des Zuges muss während der Vorbeifahrt durchgehend gemessen werden, mit einer Präzision besser als ± 3 km/h für Geschwindigkeiten bis 100 km/h und besser als 3 % der Messwerte für Geschwindigkeiten über 100 km/h.

5.4.3 Meteorologische Parameter

Die Messungen beeinflussende Wetterbedingungen müssen aufgezeichnet werden, einschließlich Temperatur und Windgeschwindigkeit. Wenn die Schienentemperatur möglicherweise aufgrund von Sonneneinstrahlung die Umgebungstemperatur erheblich um mehr als 10 Grad überschreitet, muss dies aufgezeichnet werden.

ANMERKUNG Temperatur kann im Bereich von 0 bis 30 Grad einen Einfluss auf den Rollgeräuschpegel von bis zu 4 dB haben.

5.4.4 Geschwindigkeits- und Gleisparameter

Wenn es möglich ist, sollte die Gleisabklingrate innerhalb von 1 Jahr vor oder nach den Messungen entsprechend den Anforderungen in EN 15461 gemessen werden. Wenn Schienenrauheit direkt gemessen wird, sollte dies nach EN 15610 erfolgen. Wenn Radrauheit direkt zu bewerten ist, sollte diese nach EN 15610 gemessen werden. Sofern es möglich ist, sollten Messungen von Rad- und Schienenrauheit innerhalb von 3 Monaten vor oder nach den Vorbeifahrt-Messungen und ohne zwischenzeitliche Instandhaltung von Gleis oder Radprofil erfolgen.

5.4.5 Kombinierte Rauheit

Die kombinierte Rauheit muss entsprechend den Anforderungen in CEN/TR 16891:2016 gemessen werden.

In diesem Fall dürfen Gleisabklingraten und ein Schwellenwert für die Schienenrauheit anhand von Schienenschwingungen mehrerer Vorbeifahrten ermittelt werden.

6 Art und Weise der Ableitung von Quelltermen

6.1 Allgemeines

Die Schein-Schallleistung, die für Quellterme in Vorhersagemodellen verwendet wird, ist ein Maß für die Stärke einer Quelle, das sich für Schätzungen von Umgebungsgeräuschen bezüglich Langzeitwerten von L_{eq} eignen, die sich aus einem Verkehrsfluss entlang einer Strecke ergeben. Eine Schein-Schallleistung ist ein Schätzwert, der aus Messungen des Schalldruckpegels berechnet wird, die in einem begrenzten Winkelbereich gegenüber der Quelle vorgenommen wurden, wobei ein Richtwirkungsmaß (DI; en: directivity index) angewendet wird, welches aufgrund der Konvention eines bestimmten Berechnungsschemas für Umgebungslärm für alle gleichartigen Quellen angenommen wird. Die Definition einer Schein-Schallleistung schließt deshalb eine Angabe der Richtwirkungsmaße ein, welche aufgrund von Messungen in ihrer Schätzung angenommen werden. Folglich weichen diese möglicherweise in Abhängigkeit vom Vorhersagemodell voneinander ab.

Das Symbol L_W wird hier für die Schein-Schallleistung verwendet, wobei berücksichtigt wird, dass sie abweichende Definitionen für spezifische Vorhersagemodelle hat.

ANMERKUNG Es wird weder ein Versuch unternommen die tatsächliche Schallleistung über eine umschließende Oberfläche zu integrieren, noch wird die angenommenen Richtwirkung normiert, um die vollständige Schallleistung der Quelle zu berücksichtigen. Die angenommene Schallleistung ist folglich nicht direkt auf die wahre Schallleistung der Quelle bezogen.

Da Quellterme von einer oder mehreren Mikrofonpositionen abgeleitet werden, erfolgt die Ausbreitung zurück zur geforderten Quellenhöhe mittels einer Übertragungsfunktion L_{HpW} , welche entweder in tabellarischer Form angegeben oder berechnet wird.

Dieser Abschnitt legt folglich die Anforderungen zum Schätzen eines Schallleistungsspektrums einer Quelle anhand der Schalldruck-Messungen dar.

6.2 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise beim Ableiten des „Schein“-Schallleistungspegels vom Schalldruck ist wie folgt.

$L_{peq,Tp}$ wird entweder in der Mikrofonhöhe 3,5 m oder 1,2 m über der Schienenoberkante gemessen. 7,5 m von der Gleismittellinie für jedes Fahrzeug (d. h. jedes einzelnen Reisezugwagens oder Güterwagens). Das Fahrzeug sollte für Messungen der Quellen, die an Fahrzeugen wiederholt werden (z. B. Rollgeräusche) an beiden Seiten des Zuges gleich sein. Für spezifische Quellen (z. B. Kühlgebläse oder Motoren) sind „leise Fahrzeuge“ erforderlich.

Messungen müssen über einem ebenen Gleisschotterbett (festgelegt $\pm 0,1$ m in der Schotterhöhe mindestens 4,5 m von der Gleismittellinie), einschließlich Schienen, ausgeführt werden. Böschungen mit Aufwärtsneigung vom Gleis aus, sind immer zu vermeiden.

ANMERKUNG Die Auswirkungen der Bodendämpfung können mit größerer Sicherheit bestimmt werden, wenn es einen Gleisbett-Randstreifen gibt und eine Bodengeometrie über den Randstreifen hinaus.

In Abhängigkeit von Unsicherheitsanforderungen und praktischen Erwägungen müssen Messungen an allen folgenden Positionen vorgenommen werden:

Für die geringste Unsicherheit, Qualität A, wird eine Mikrofonposition in einer Höhe von 3,5 m bevorzugt. Die Unsicherheit des Schritts der Abschätzung von L_W anhand von L_p wird für eine Quellenhöhe von 0,5 m als $\sigma_H = \pm 3$ dB, für eine Höhe von 1 m, 2 m oder 4 m als ± 2 dB bewertet. Für Straßenbahnen mit Radverkleidungen und Fahrgestell, ist die niedrigere Mikrofonposition in einer Höhe von 1,2 m annehmbar.

Die Mikrofonposition in einer Höhe von 1,2 m führt zu einer größeren Unsicherheit. Ergebnisse müssen im Prüfbericht für Qualität B, Unsicherheit von $\{\sigma_H = \pm 4$ dB für alle Quellenhöhen) in jedem Terzband, angegeben werden.

Sofern Messungen an Standorten erfolgen, die nicht der Geometrie (2) entsprechen, ist eine Berechnung von L_{HpW} erforderlich. Die Unsicherheit ist dann nicht durch die Norm definiert, und muss im Prüfbericht für Qualität C (= individuell, wird als geringere Unsicherheit erwartet, wenn eine Berechnung für die genaue Geometrie erfolgt), einschließlich des angewendeten Verfahrens angegeben werden.

Die „Schein“-Schallleistung $L_{W'}(f)$ muss als ein Terzbandspektrum geschätzt werden als

$$L_{W'}(f_{to}) = L_p(f) - L_{HpW}(f) \quad (2)$$

Die Übertragungsfunktion L_{HpW} wird bestimmt wie nachgenannt und in Anhang B beschrieben.

Die Messung sollte für mindestens 3 Züge oder Schienenfahrzeuge des gleichen Typs wiederholt werden, die mit Geschwindigkeiten innerhalb von ± 8 % fahren. [8 % entspricht 1 dB, wie aus $30 \log_{10}(v)$ folgt]. Die Stan-

Standardabweichung σ_M des gemessenen Pegels von L_{peq,T_p} muss für den A-bewerteten Gesamtpegel berechnet werden.

Die Unsicherheit in der Messung des Schein-Schallleistungsspektrums muss dann berechnet werden als

$$\sigma_W = \sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_M^2} \quad (3)$$

Die Übertragungsfunktion $L_{H_{pW}}$ wird mit einer der folgenden Möglichkeiten bestimmt:

- a) anhand von Tabellen, die in Anhang B enthalten sind, in Abhängigkeit von der Messortgeometrie und Quelle-/Empfängerpositionen;
- b) mittels Berechnung mit einem zweckmäßigen Modell, unter Berücksichtigung von direkter Messung, indirekter Messung und von Beugungspfaden (siehe Anhang B);
- c) unter Anwendung einer Übertragungsfunktion, die vom betreffenden Vorhersagemodell abgeleitet wurde. Dabei werden jedoch Standorteinflüsse möglicherweise nicht ordnungsgemäß berücksichtigt.

Das angewendete Verfahren sollte einschließlich der Unsicherheit im Prüfbericht angegeben werden.

6.3 Richtwirkung

Die Richtwirkung von Quellen ist in Vorhersagemodellen eingeschlossen und kann zwischen diesen abweichen. Bei der Ermittlung der Übertragungsfunktion von Schalldruck auf Schallleistung $L_{H_{pW}}$, muss dies berücksichtigt werden, indem es bei der Integration über die Vorbeifahrt der Quelle einbezogen wird. Die in Anhang B enthaltenen Tabellen umfassen die Richtwirkung, sofern festgelegt.

6.4 Verteilung über Quellenhöhen

Die folgenden Grundsätze sind auf die Verteilung von Schallleistung über 2 oder mehr Quellenhöhen anwendbar.

Die Energiesumme von Quellenanteilen bei jeder Quellenhöhe sollte gleich dem Gesamtgeräusch in der (den) Messposition(en) sein.

Die Zuordnung zu jeder Quellenhöhe sollte von der Kenntnis der Position der Quellen abhängig sein. Die spektrale Verteilung jeder Quelle darf auf bekannten Kenngrößen der Quellen beruhen.

Alternativ darf für die Bestimmung der Beiträge in den festgelegten Quellenhöhen eine spezifische Mikrofonanordnung verwendet werden. Das angewendete Verfahren (hier nicht festgelegt) sollte in den Prüfbericht aufgenommen werden.

7 Messverfahren

7.1 Allgemeines

Die Auswahl der Messorte ist abhängig von der Art der Quelle, davon ob sich ein Fahrzeug im Stillstand oder in Bewegung befindet, von seinen Betriebsbedingungen und vom Geschwindigkeitsbereich, sofern es sich in Bewegung befindet. Aber auch praktische Erwägungen müssen berücksichtigt werden, wie z. B. Zugänglichkeit und Repräsentativität.

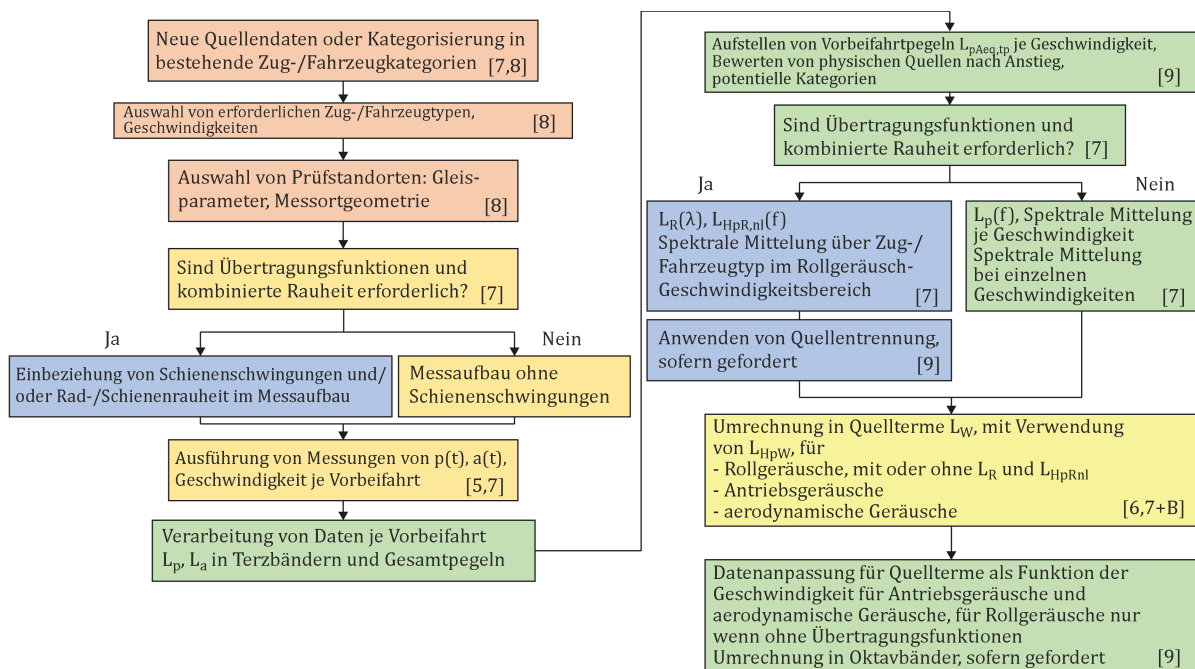
Es sind möglicherweise mehrere Messorte erforderlich, um das Erfassen ausreichender Daten von in Betrieb befindlichen Zügen bei verschiedenen Geschwindigkeiten zu ermöglichen. Messortanforderungen sind in 8.2 dargelegt.

Da der Aufwand zur Messung der Stärke einer Quelle sehr schnell zu groß werden kann, ist es wichtig einen Ausschluss von Quellen zu ermöglichen, sofern nachgewiesen werden kann, dass diese weder maßgeblich noch typisch sind. Vor der Charakterisierung jeder einzelnen Quelle sollte eine Bewertung in Bezug darauf vorgenommen werden, welche Geräuschquellen und Betriebsbedingungen für das betreffende Fahrzeug maßgeblich sind, wobei diese Bewertung auf der Grundlage von Kenntnissen zum Fahrzeug und seiner Bauweise und/oder von verfügbaren Messungen erfolgt. Quellen, deren Stärke die der anderen nicht um mehr als 3 dB in einem oder mehr Terzbändern überschreiten, dürfen ausgeschlossen werden. Dies tritt z. B. möglicherweise bei tonalen Antriebsgeräuschen, Bremsgeräuschen oder Kurvenkreischen auf.

Aufgrund vieler potentieller Unsicherheiten beim Erfassen von Quellendaten, wird eine Validierung der resultierenden Quellterme empfohlen, indem diese in das betreffende Vorhersagemodell eingegeben und die Ergebnisse mit Messungen an anderen Standorten) verglichen werden.

In Bild 2 ist ein Flussdiagramm mit den verschiedenen Schritten im Verfahren der Ermittlung von Quelltermen dargestellt, in dem auch jeweils der entsprechende Abschnitt in diesem Dokument angegeben ist.

Der erforderliche Aufwand ist davon abhängig, ob neue Quellendaten ermittelt werden, oder lediglich ein Vergleich ausgeführt wird, um zu bewerten, ob ein neuer Zugtyp in die bestehende Kategorie passt.



— Legende

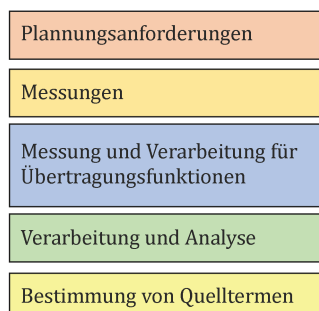


Bild 2 — Flussdiagramm des Verfahrens zur Ermittlung von Eisenbahn-Quelltermen, mit Angabe betreffender Abschnittsnummern

7.2 Rollgeräusche

7.2.1 Allgemeines

Rollgeräusche werden aufgrund von Körperschall (strukturbedingte Schwingungen) von Schienen, Schwellen, Rädern und in einigen Fällen auch von Aufbauten des Fahrzeugs abgestrahlt. Sie werden durch die kombinierte Rad- und Schienenrauheit verursacht.

Für das in der RICHTLINIE (EU) 2015/996 [1] beschriebene Vorhersagemodell sind die Größen der Quellterme in 2.3 der Richtlinie aufgeführt, und in Anhang G, Tabelle G1, Tabelle G2 und Tabelle G3 sind einige Eingangswerte (Vorgabewerte) vorgegeben. Eingangswerte für das Harmonoise/IMAGINE-Modell sind in [2] enthalten.

7.2.2 Messschritte

Die Schallleistungsspektren von Rollgeräuschen von Fahrzeug oder Gleis dürfen im Allgemeinen anhand der effektiven Gesamtrauheit (kombinierte Rauheit) und der Fahrzeug- und Gleis-Übertragungsfunktionen (Transferfunktionen) berechnet werden. Diese werden durch Messungen ermittelt, die in den folgenden Schritten ausgeführt werden:

- 1) Zuggeschwindigkeiten und Betriebsbedingungen werden so gewählt, dass Rollgeräusche mit Sicherheit die dominante Quelle sind. Das heißt, es liegen keine erheblichen Antriebsgeräusche oder aerodynamische Geräusche vor. Die Messungen müssen bei konstanter Geschwindigkeit von mindestens 60 km/h für herkömmliche Züge und Hochgeschwindigkeitszüge und mindestens 40 km/h für Stadtbahnen (Straßenbahnen und U-Bahnen), jedoch nicht höher als 250 km/h, erfolgen. Es müssen mindestens drei verschiedene Geschwindigkeiten gemessen werden (z. B. niedrigere Geschwindigkeit, Höchstgeschwindigkeit und eine repräsentative dazwischenliegende Geschwindigkeit, je nachdem wie es an einem oder mehreren Messort(en) möglich ist.
- 2) Die auf den Messort und den Fahrzeugtyp anwendbare effektive Gesamtrauheit $L_{Rtot}(f)$ wird als Funktion der Frequenz bestimmt, in Terzbändern für jede Vorbeifahrt bei einer Geschwindigkeit v , wie in Anhang A dargelegt.

- 3) Der Schalldruck $L_{peq,Tp}(f)$ wird gemessen, in Terzbändern für jede Vorbeifahrt bei einer Geschwindigkeit v .

Siehe die nachgenannten Geschwindigkeitsempfehlungen in 7.3.

Die Gesamt-Übertragungsfunktion $L_{HpR,nl,tot}(f)$ von kombinierter Rauheit und Schalldruck wird bestimmt als:

$$L_{HpR,tot,nl}(f) = L_{peq,Tp}(f) - L_{Rtot}(f, v) - 10 \lg(N_{ax}/\ell) \quad (4)$$

ANMERKUNG 1 Diese Gesamt-Übertragungsfunktion ist unabhängig von Rauheit, Geschwindigkeit, Zuglänge und Anzahl der Achsen, sofern nur Rollgeräusche vorhanden sind. Sie charakterisiert die vibroakustischen Eigenschaften des Fahrzeugs, des Gleises und des Ausbreitungsbereichs.

- 4) Die Gesamt-Übertragungsfunktion wird für die gemessenen Geschwindigkeiten arithmetisch gemittelt.

Sofern einzelne Ergebnisse für die Übertragungsfunktion in einzelnen Terzbändern von anderen um mehr als 5 dB abweichen, sollte eine größere Anzahl von Messungen ausgeführt oder einzelne Messungen verworfen werden.

- 5) Die Gesamt-Schallleistungs-Übertragungsfunktion $L_{HWR,tot,nl}(f)$ wird nach Anhang B anhand von $L_{HpR,tot,nl}(f)$ berechnet.
- 6) Die Fahrzeug-Übertragungsfunktion $L_{WR,VEH,nl}(f)$ und die Gleis-Übertragungsfunktion $L_{WR,TR,nl}(f)$ wird durch Anwendung einer Trennung auf die Gesamt-Übertragungsfunktion $L_{WR,tot,nl}(f)$, wie in Anhang C beschrieben, bestimmt.

Die Übertragungsfunktion (Transferfunktion) von kombinierter Rauheit auf den Schalldruck, normiert auf die Achsdichte $L_{\text{HpR,nl}}$, wird nach CEN/TR 16891 bestimmt.

Diese kann umgerechnet werden auf die Gesamt-Übertragungsfunktion von kombinierter Rauheit auf Schalldruck je Achse $L_{\text{HWR,n}}(f)$ für eine bestimmte Fahrzeuglänge ℓ oder auf die Achsdichte N/ℓ , $L_{\text{HWR,nl}}$. Für den einfachen Fall einer zylindrischen Quelle entlang der Gleismittellinie mit einem Messabstand r :

$$L_{\text{HWR,n}}(f) = L_{\text{HpR,nl}}(f) + 10 \lg(2\pi r) \quad (5)$$

für den Freifeldterm (geometrische Zerstreuung),

und

$$L_{\text{HWR,n}}(f) = L_{\text{HpR,nl}}(f) - L_{\text{HpW}}(f) \quad (6)$$

wenn auch Reflexion und Bodendämpfung berücksichtigt werden.

Der Schallleistungspegel der Rollgeräusche eines Zuges oder eines Schienenfahrzeugs $L_{\text{W}}(f)$ in Terzbändern wird ermittelt, indem der Logarithmus zur Basis 10 ($10 \lg$) der Anzahl der Achsen oder der Achsdichte, wie zweckmäßig, und die kombinierte Rauheit $L_{\text{R,TOT}}(f)$ bei der festgelegten Zuggeschwindigkeit zur Übertragungsfunktion hinzugefügt wird.

$$L_{\text{WTR}}(f) = L_{\text{R,TOT}}(f) + L_{\text{HWR,TR}}(f) + 10 \times \lg(N_{\text{ax}}) \quad (7)$$

$$L_{\text{WVEH}}(f) = L_{\text{R,TOT}}(f) + L_{\text{HWR,VEH}}(f) + 10 \times \lg(N_{\text{ax}}) \quad (8)$$

Rollgeräusche werden für den Radanteil üblicherweise der Höhe der Achsquelle zugeschrieben und/oder für den Gleisanteil dem Gleis, je nach Vorhersagemodell.

Verfahren für kombinierte Rauheit sind in Anhang A beschrieben. Verfahren zur Berechnung von Schallleistung anhand des Schalldrucks sind in Abschnitt 6 und Anhang B dargelegt. Trennungungsverfahren für Rollgeräusche von Fahrzeug und Gleis sind in Anhang C.

Richtwirkung und Zuschreibung zu verschiedenen Quellenhöhen werden nach 7.3 bestimmt.

Für Vorhersagemodelle, die keine Übertragungsfunktionen erfordern, wird der Schalldruckpegel $L_{\text{peq,Tp}}$ für Vorbeifahrten oberhalb der erwähnten Geschwindigkeiten gemessen. Die Schallleistung wird nach Abschnitt 6 und Anhang B für jede Geschwindigkeit in Oktavbändern bestimmt und interpoliert, um einen geschwindigkeitsabhängigen Ausdruck für $L_{\text{W}}(f)$ zu erhalten, wie es durch das betreffende Vorhersagemodell gefordert wird. Sofern es erforderlich ist, werden eine Fahrzeug-Gleis-Aufteilung, nach Anhang C, und eine Zuordnung der Quellenhöhe, wie in 7.3, angewendet.

ANMERKUNG 2 Vorhersagemodelle, wie z. B. IMAGINE und CNOSSOS, erfordern eine Übertragungsfunktion und kombinierte Rauheit zur Rollgeräusch-Berechnung.

Es wird empfohlen Messungen bei 70 – 100 – 160 km/h für konventionelle Züge, bei 60 – 80 – 100 oder 70 – 100 – 120 km/h für Güterzüge, oder bei 40 – 60 – 80 km/h für Stadtbahnen durchzuführen. Andere Geschwindigkeiten dürfen ebenfalls verwendet werden, sofern sichergestellt ist, dass Rollgeräusche die stärkste Quelle sind.

Zuggeschwindigkeit und Vorbeifahrtszeit T_{p} müssen für jede Vorbeifahrt aufgezeichnet werden.

Da der Geschwindigkeitsbereich möglicherweise an einem Messort begrenzt ist, ist die Verwendung von Messungen von verschiedenen Messorten zulässig, sofern die Gleisart, die Gleisabklingraten und die Messortgeometrie gleich sind. Wenn sich diese unterscheiden, wird eine Korrektur durch Messung oder Berechnung vorgenommen.

Der äquivalente Schalldruckpegel $L_{pAeq,Tp}$ von mindesten drei Vorbeifahrten von einem oder mehr Zügen oder Schienenfahrzeugen muss bei jeder Geschwindigkeit gemessen werden. Dabei darf es sich um unterschiedliche einzelne Fahrzeuge handeln, aber diese müssen die gleiche Bauart aufweisen, und sie dürfen keine Flachstellen an Rädern haben, sofern dies nicht Bestandteil der charakteristischen Streuung ist. Der Schalldruckpegel in Terzbändern wird für jede Vorbeifahrt aufgezeichnet.

7.2.3 Rauheit des Netzes und der Fahrzeugflotte

Effektive Gesamtrauheit zur Verwendung in Vorhersagemodellen wird anhand der mittleren Schienenrauheit im Netz und der mittleren Radrauheit der betreffenden Fahrzeugkategorie bestimmt.

Die Schienenrauheit im Netz darf direkt anhand der Schienenrauheit an mehreren Stellen, gemessen nach EN 15610, bestimmt werden, oder indirekt anhand von Messungen an Bord (siehe Anhang A).

Die Radrauheit der Fahrzeugflotte darf anhand von direkten Messungen an Rädern nach EN 15610 bestimmt werden, oder indirekt durch Ableitung der Rauheit von Messungen der Schienenschwingung (wie in CEN/TR 16891 und Anhang A).

7.3 Antriebsgeräusche und Geräusche von Einrichtungen

7.3.1 Allgemeines

Antriebs- und Ausrüstungsgeräusche umfassen alle Geräusche vom Triebfahrzeug und von Hilfseinrichtungen bei allen Bedingungen, wie z. B. Stillstand, konstante Geschwindigkeit, Beschleunigung, Bremsen. Dies schließt zum Beispiel Dieselmotoren, Kühlgebläse, Elektromotoren und Wechselrichter, Transformatoren, Übertragungseinrichtungen und andere ein. Üblicherweise sind diese Quellen vorwiegend bei niedrigen Geschwindigkeiten maßgeblich, können aber auch bei hohen Geschwindigkeiten einen Anteil haben.

Die Quellterme für Antriebsgeräusche und Geräusche von Einrichtungen dürfen entweder nach EN ISO 3095, für Stillstands- und Beschleunigungsbedingungen oder durch Anwendung gelockerter Standort- und Betriebsbedingungen an Start- und Stopp-Punkten, z. B. Bahnhöfe oder Signalstandorte.

7.3.2 Quellenpegel für Antriebsgeräusche/Geräusche von Einrichtungen nach EN ISO 3095

Der Schallleistungspegel für Fahrzeugstillstand wird bestimmt anhand der gemittelten Schalldruckpegel um das Fahrzeug herum, gemessen nach EN ISO 3095, und durch Anwendung der Gleichung in Abschnitt 5 dieser Norm. Die Schalldruckdaten dürfen anhand von Typprüfungsdaten ermittelt werden. Alternativ darf der Schallleistungspegel auch von einer sehr langsamen Vorbeifahrt mit Mikrofonen auf einer beliebigen Seite des Zuges abgeleitet werden. Der Messzyklus darf sich von EN ISO 3095 unterscheiden, sofern dies notwendig ist, um einen vollständigen Arbeitszyklus einzelner Komponenten mit der spezifischen Dauer (z. B. Kompressor, Gebläse, Abblasventile) zu berücksichtigen.

Der Schallleistungspegel für Beschleunigung wird anhand des mittleren Schalldruckpegels bestimmt, der über mehrere Positionen entlang des Gleises, wie in EN ISO 3095, oder mehr Positionen energetisch gemittelt wurde. Der Schallleistungspegel wird durch Anwendung der Gleichung in Abschnitt 8 bestimmt.

Der Schallleistungspegel für konstante Geschwindigkeit wird entweder vom Leerlaufpegel oder vom Beschleunigungspegel abgeleitet. Er darf an höhere Geschwindigkeiten angepasst und extrapoliert werden, sofern dies angemessen auf der Grundlage von allen Quellen einschließenden Messungen ausgeführt werden kann.

7.3.3 Quellenpegel für Antriebsgeräusche/Geräusche von Einrichtungen mit Anwendung der Erfassung statistischer Daten

Messungen werden mit einem oder mehr Mikrofon(en) vorgenommen, die an den Punkten mit den erwarteten Schallpegelhöchstwerten angeordnet werden. Geeignete Stellen sind entlang einer ansteigenden Böschung, an Beschleunigungspunkten in Bahnhöfen oder anderen Stellen mit Start-/Stoppvorgängen mit relativ niedrigen Geschwindigkeiten unter 30 km/h und schwankenden Betriebsbedingungen. Gemessene Schallpegel werden

entweder gemittelt, um einen einzelnen Kennwert für Antriebsgeräusche zu erhalten, oder logarithmisch als eine Funktion der Geschwindigkeit interpoliert, um ein geschwindigkeitsabhängiges Spektrum zu erhalten.

Fremdgeräusche müssen auf ein Mindestmaß beschränkt werden, z. B. von Rollgeräuschen und stoßartige Geräusche von Weichen und Kreuzungen. Antriebsgeräusche und Geräusche von Einrichtungen überwiegen häufig bei Geschwindigkeiten unter 30 km/h, wobei dies jedoch möglicherweise nicht immer der Fall ist.

Quellen von Antriebsgeräuschen, die nur bei höheren Geschwindigkeiten zum Tragen kommen, können durch Vergleich mit den Rollgeräuschen bewertet werden, sofern sie im Vergleich zu den Rollgeräuschen innerhalb einiger Terzbänder eine Erhöhung um mehr als 3 dB verursachen.

Antriebsgeräusche und Geräusche von Einrichtungen werden üblicherweise der Höhe von Achsquellen, mittleren Höhen und der Höhe der Fahrzeugoberkante zugeschrieben.

7.3.4 Quellentrennung

Wenn Antriebsgeräusche mit Rollgeräuschen vermischt sind und eine Trennung erforderlich ist, darf das in Abschnitt 9, Bild 9 dargelegte Verfahren angewendet werden.

7.4 Stoßartige Geräusche

Quellen stoßartiger Geräusche schließen Schienenstöße, Weichen und Kreuzungen ein. Der Quellenpegel kann charakterisiert werden, indem ein erhöhter Pegel der kombinierten Rauheit auf die Rollgeräusch-Übertragungsfunktion angewendet wird. Wenn das Vorhersagemodell Rauheit nicht berücksichtigt, kann eine Korrektur ΔL_W anhand der Differenz des Schalldruckpegels mit und ohne Stöße am selben Gleis bestimmt werden.

Messungen erfolgen an zwei Stellen: an einem Querschnitt mit Stößen und an einem Querschnitt ohne Stöße, für mindesten 10 Vorbeifahrten verschiedener Züge mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

Die Rauheit von Stößen $L_{R,impact}(\lambda)$ kann mit Messungen des Vorbeifahrgeräuschs eines Fahrzeugs mit und ohne Schienenstößen ermittelt werden. Auch die effektive Gesamtrauheit für die Vorbeifahrt ohne Schienenstoß $L_{R,roll}$ muss ermittelt werden. Der normierte Pegel der Rauheit von Stößen $L_{R,impact,nl}$ für 1 Schienenstoß je 100 m wird in Terz-Frequenzbändern ermittelt durch:

$$L_{R,impact,nl} = L_{R,roll} + L_{peqT,p,impact} - L_{peq,Tp,roll} - 10 \lg(N_{ax}/\ell) - 20 \quad (6)$$

Dabei ist N_{ax} die Gesamtanzahl der bei der Vorbeifahrt gemessenen Achsen und ℓ ist die Gesamtlänge des Zuges.

Die Rauheit von Stößen als Funktion der Wellenlänge λ $L_{R,impact}(\lambda)$ wird durch Umrechnung aus dem Frequenz- in den Wellenlängenbereich ermittelt, entsprechend der Beschreibung in CEN/TR 16891.

Die Rauheit von Stößen als Funktion der Wellenlänge wird über alle Vorbeifahrten arithmetisch gemittelt.

Für Schienenstöße, Weichen und Kreuzungen liegen möglicherweise unterschiedliche charakteristische Rauheiten von Stößen vor, da sich die Geometrie und Stoßamplituden möglicherweise unterscheiden.

Stoßartige Geräusche werden üblicherweise Quellenhöhen von Gleis und Achse zugeschrieben.

7.5 Kurvenkreischen

Wenn Kreischen hörbar oder in einem Spektrum als Töne vorhanden ist, jedoch nicht mittels Terzbandanalyse erkennbar ist, muss es nicht berücksichtigt werden. Sein Auftreten und seine Schwere ist stark abhängig von Rad-/Schiene-Parametern, Geschwindigkeit und meteorologischen Bedingungen, weshalb zu seiner Bewertung eine Langzeitüberwachung empfohlen wird.

Wenn Kreischen berücksichtigt werden soll, z. B. aufgrund von beobachtetem Auftreten oder bestimmten kritischen Situationen, wird der Quellenpegel wie folgt bestimmt.

Geräusche von Kurvenkreischen werden a) an einer Reihe charakteristischer Punkte und b) in einer Kurve mit einem Radius von höchstens 500 m gemessen, oder in festgelegten Kategorien, wie vom Verfahren gefordert. Ein Mikrofon wird im Abstand von 7,5 m angeordnet, auf beiden Seiten der Kurve, an deren engstem Punkt oder an dem Punkt, an dem das Kreischen auftritt (siehe Bild 3).

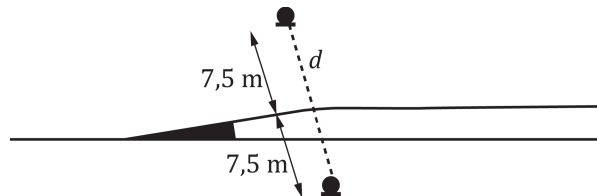


Bild 3 — Mikrofonpositionen zur Messung von Kurvenkreischen an Punkten

Die Schienenoberfläche muss trocken sein. Es gibt keine Anforderungen an die Schienenrauheit, es sollte jedoch keine starke Abnutzung oder Rissbildung an der Schiene vorhanden sein.

Der Vorbeifahrtpegel $L_{\text{peq,Tp}}(f)$ wird gemessen. Für jede Geschwindigkeit werden fünf Vorbeifahrten erfasst. Es werden 2 bis 3 charakteristische Geschwindigkeiten angewendet: 10 km/h, 20 km/h, und 40 km/h für Punkte, 80 km/h (sofern anwendbar) und die für eine Kurve zulässige Höchstgeschwindigkeit. Es werden nur Vorbeifahrten mit hörbarem Kreischen berücksichtigt. Sofern es möglich ist, können die 5 Vorbeifahrten mittels Hin- und Herfahrten (3 in eine Richtung, 2 in die andere) durchgeführt werden.

Die Ergebnisse für jede Geschwindigkeit werden arithmetisch gemittelt. Die Ergebnisse von jedem Mikrofon werden arithmetisch gemittelt. Da Kurvenkreischen nicht jederzeit auftritt, wird eine Wahrscheinlichkeit von 50 % angenommen, so dass der gemessene Mittelwert um 3 dB reduziert wird. Wenn bessere Daten zur Wahrscheinlichkeit eines Auftretens im Laufe der Zeit verfügbar sind, z. B. in Bezug auf Wetterbedingungen, dürfen diese alternativ angewendet werden.

An Punkten vorgenommene Messungen enthalten möglicherweise erhebliche Anteile von stoßartigen Geräuschen oder anderen Quellen. Die Kreischgeräusche sollten getrennt werden, in dem die tonalen Komponenten im Spektrum ausgewählt werden. Die Messergebnisse ergeben $L_{\text{psqueal,i}}$ für Punkte und für eine Kurve mit einem bestimmten Radius. Die Pegel können für Geschwindigkeit und Kurvenradius annähernd mit der folgenden Gleichung umgerechnet werden:

$$L_{\text{peq,i,squeal}} = L_{\text{peq,l,squeal}}(v_0, R_0) + 20 \lg(v/v_0) - 20 \lg(R/R_0) \quad (7)$$

Diese Gleichung darf zum Ableiten von Kreischgeräuschpegeln bei anderen Geschwindigkeiten oder Radien verwendet werden, jedoch nicht mehr als ein Faktor von 10 für Geschwindigkeit oder Radius.

Der Quellenpegel wird anhand des Schalldruckpegels des Kreischens nach Abschnitt 8 bestimmt.

Kurvenkreischen wird üblicherweise der Quellenhöhe der Achse zugeschrieben.

7.6 Brückendröhnen

Brückendröhnen ist der zusätzliche Lärm, der von Unterbauten stammt (z. B. Beton/Stahl). Es muss als eine zusätzliche Übertragungsfunktion von der kombinierten Rauheit gemessen werden (z. B. Messung unterhalb der Brücke). Brückendröhnen ist definiert als die Geräusche, die von jeglichen Gleisunterbauten abgestrahlt werden, und die sich von den Rollgeräuschen auf dem Gleis an beiden Enden unterscheiden. Der Quellenpegel aufgrund einer Brücke ist abhängig von der Rad-/Schienenrauheit, dem Schientyp und seiner Befestigung auf dem Brückendeck, dem Brückendeck und seiner Tragstruktur, Verkleidungselementen und den akustischen

Eigenschaften des Raums unterhalb der Brücke, die möglicherweise zu einer weiteren Verstärkung des Brückendröhnens führen.

Das Gleis auf der Brücke weist möglicherweise einen anderen Unterbau und ein anderes Befestigungssystem auf als der angrenzende Gleisabschnitt. Außerdem unterscheidet sich die Rauheit auf der Brücke möglicherweise vom angrenzenden durchgehenden Gleis. Demzufolge können Schwingung und Schallemission der Schiene auf der Brücke stärker sein als vor und nach dieser.

Der Schalldruckpegel von der Brücke muss in einem Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie und an einem Querschnitt vor der Brücke, sofern es möglich ist in der Mitte der Brücke und in Höhen von 3,5 m oberhalb und 3,5 m unterhalb der Schienenoberfläche gemessen werden. Sofern dies praktisch nicht durchführbar ist, dürfen Messungen alternativ in verschiedenen Höhen oder in einem größeren Abstand vorgenommen werden, wobei Ausbreitungseigenschaften und Fremdgeräusche berücksichtigt werden und eine diesbezügliche Korrektur vorgenommen wird.

Wenn die Übertragungsfunktion der gesamten Brücke einschließlich des Gleises ermittelt wird, werden mindestens 5 Vorbeifahrten unterschiedlicher Züge bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten herangezogen, ohne Messungen entlang angrenzender Gleise.

Wenn die Rauheit nicht berücksichtigt wird, müssen 3 bis 5 Vorbeifahrten jeder Zugkategorie und jeder Geschwindigkeit herangezogen werden, die für die Verkehrszusammensetzung maßgeblich sind, sowohl auf der Brücke als auch entlang des angrenzenden durchgehenden Gleises.

Der Schallleistungspegel wird anhand des Schalldruckpegels nach Abschnitt 8 bestimmt.

Alternativ darf die gesamte Wirkung der Brücke durch Verwendung einer Übertragungsfunktion berücksichtigt werden (Rollgeräusche + Geräusche vom Unterbau der Brücke).

Brückendröhnen wird üblicherweise der Quellenhöhe des Gleises zugeschrieben und als Monopol modelliert.

7.7 Bremsgeräusche

7.7.1 Allgemeines

Bremsgeräusche schließen Quietschen und andere Geräusche von Einrichtungen ein, die möglicherweise während des Abbremsens bis zum Stillstand auftreten. Sie können auch zusätzliche Geräusche während einer Verlangsamung bei höheren Geschwindigkeiten einschließen, z. B. von einigen Bremssystemen wie Klotzbremsen oder Energierückgewinnungssystemen.

Wenn Bremsgeräusche hörbar oder in einem Spektrum als Töne vorhanden sind, jedoch nicht mittels Terzbandanalyse erkennbar ist, müssen sie nicht berücksichtigt werden.

7.7.2 Quellenpegel für Bremsgeräusche nach EN ISO 3095

Der Schalldruckpegel, der nach EN ISO 3095:2013 bestimmt wurde, darf zur Bestimmung des Schallleistungspegels für Geräusche von Abbremsen bis zum Stillstand verwendet werden. $L_{eq,Tp}$ wird verwendet und in einen Schallleistungspegel umgerechnet.

Dieses Ergebnis ist nur anwendbar auf Abbremsen von 30 km/h bis zum Stillstand.

7.7.3 Quellenpegel für Bremsgeräusche an beliebigen Standorten

Wenn Bremsgeräusche aus praktischen Gründen an anderen Messorten gemessen werden, sollten dies möglichst unter den Bedingungen nach EN ISO 3095:2013 erfolgen. Die Mikrofonpositionen sollten sich an der Stelle befinden, an welcher der Zug tatsächlich bremst, oder in deren Nähe, und wo möglicherweise die höchsten Schallpegel zu erwarten sind.

7.7.4 Quellenpegel für Bremsgeräusche bei Geschwindigkeit

Wenn Quellenpegel für Bremsgeräusche von höheren Geschwindigkeiten gefordert werden, sollten Messungen unter Befolgung der Prüfung bei konstanter Geschwindigkeit nach EN ISO 3095:2013 erfolgen, wobei der Zug jedoch während der Vorbeifahrt bremst. Geschwindigkeit von Zugstirnseite und Zugende bei der Vorbeifahrt und die Verlangsamung (Abbremsen) sollten aufgezeichnet werden. Mindestens 3 Vorbeifahrten mit Bremsvorgängen sollten für Geschwindigkeitsbereiche von 60 km/h bis 100 km/h und für 100 km/h bis 160 km/h (abhängig vom Zugtyp) gemessen werden.

Wenn die Differenz zu Geräuschpegeln bei konstanter Geschwindigkeit geringer als 3 dB ist, dürfen die Bremsgeräusche bei Geschwindigkeit vernachlässigt werden.

Sofern Daten zu Statistiken der Dauer und des Auftretens von Bremsgeräuschen verfügbar sind, dürfen diese für die Quellenpegel berücksichtigt werden. Beispielsweise darf eine Reduzierung des Schallleistungspegels um 3 dB angewendet werden, wenn ein Auftreten von Bremsgeräuschen in lediglich der Hälfte der Zeit bekannt ist.

Bremsgeräusche werden üblicherweise der Quellenhöhe der Achse zugeschrieben.

7.8 Aerodynamische Geräusche

Aerodynamische Geräusche aufgrund der Bewegung des Zuges sind vor allem für hohe Geschwindigkeiten, üblicherweise über 250 km/h, maßgeblich, und sie werden von verschiedenen Quellen an der Frontseite und am Ende des Zuges, an der Unterseite des Zuges, an Zwischenräumen zwischen Wagen, an Stromabnehmern und deren Aussparungen und anderen verursacht. Da aerodynamische Geräusche häufig mit Rollgeräuschen und Antriebsgeräuschen vermischt werden, sind besondere Verfahren erforderlich, um sie zu trennen.

Schalldruck wird nach EN ISO 3095:2013 bei konstanter Geschwindigkeit gemessen, wobei es in der Praxis Einschränkungen durch Zug- und Messortverfügbarkeit und Geschwindigkeitsbereiche gibt. Es dürfen Typprüfungspektren bei Höchstgeschwindigkeit und anderen Geschwindigkeiten nach EN ISO 3095:2013 verwendet werden. Das Spektrum des Gesamt-Schalldruckpegels wird mit dem verglichen, welches anhand der kombinierten Rauheit und der Übertragungsfunktion der Gesamt-Rollgeräusche für die bestimmte Zug-Gleis-Kombination berechnet wurde.

Die Gesamtgeräusche aller aerodynamischen Quellen setzen sich aus den Teilen des Spektrums zusammen, welche das berechnete Rollgeräuschspektrum um mehr als 1 dB überschreiten. In jenen Frequenzbändern, in denen dies nicht der Fall ist, werden aerodynamische Geräusche mit 7 dB oder mehr unter dem Rollgeräuschpegel angenommen, wenn kein Beitrag von Antriebsgeräuschen vorliegt. Ein Flussdiagramm zur Trennung anderer Quellen von den Rollgeräuschen ist in Abschnitt 9, Bild 9 angegeben.

Aerodynamische Geräusche werden üblicherweise der Quellenhöhe der Achse, und Quellenhöhen der Mitte, des Daches und des Stromabnehmers zugeschrieben.

8 Anforderungen an die Probenahme

8.1 Praktische Gültigkeit

Die Gültigkeit von Quelldaten ist abhängig von der Repräsentativität der gemessenen Züge für die Fahrzeugflotte oder einen Teil der Flotte. Quellterme werden üblicherweise für eine Gruppe von Zugtypen mit gemeinsamen akustischen Eigenschaften angewendet, wie z. B. Radtyp, Achsdichte, Bremsart, Antriebseigenschaften und anderen.

Sofern eine Vielfalt von Typen einer Kategorie zugeordnet werden soll, sind mehr Vorbeifahrten erforderlich. Dies kann erreicht werden durch eine Kombination von beaufsichtigten Messungen und unbeaufsichtigten Überwachungsmessungen.

Sofern ein neuer Zugtyp einer bestehenden Zugkategorie zugeordnet werden soll, ist eine Bewertung der Quellterme entsprechend der Beschreibung in dieser Norm erforderlich, wobei sie in den Unsicherheitsbereich innerhalb ± 2 dB bei Gesamtpegeln und innerhalb ± 3 dB in Terzbändern zwischen 100 Hz und 4 000 Hz fallen.

ANMERKUNG In einigen Fällen dürfen neue Zugtypen einer bestehenden Zugkategorie zugeordnet werden, sofern die akustischen Eigenschaften gleich denen der betreffenden Kategorie sind (z. B. Bremsentyp, Radtypen, Antriebssystem, usw.).

8.2 Anforderungen und Auswahl von Messorten

Messorte sollten die Anforderungen an Geometrie und Messpositionen nach EN ISO 3095:2013 erfüllen. Schienenrauheit und Gleisabklingraten sollten repräsentativ für das betreffende Bahnnetz sein, müssen jedoch nicht zwingend TSI entsprechen. Messorte mit Böschungen und kurvigen Gleisen sollten (außer bei Messungen von Kurvenkreischen) vermieden werden. Es wird empfohlen Messungen über einem Gleisbett am fernen Gleis durchzuführen. Wenn das nahe Gleis gemessen wird, vergrößert sich die Unsicherheit in Quelltermen. Die Anzahl von zu verwendenden Messorten ist abhängig von den verfügbaren Geschwindigkeiten für den (die) betreffenden Zugtyp(en).

Vorzugsweise sollten Messungen an mehreren topografisch unterschiedlichen Messortpositionen durchgeführt werden, um Faktoren wie Alter und Abnutzung zu berücksichtigen und Repräsentativität sicherzustellen.

Wenn der Zweck die Bestimmung der Schallquellenterme von Gleisen ist, insbesondere Gleis-Übertragungsfunktion für Rollgeräusche, dann sind mindestens 3 Messorte erforderlich, um eine ausreichende Repräsentativität dieses Gleistyps im Bahnnetz sicherzustellen. Diese Standorte sollten gleiche Arten von Schienen, Schwellen, Befestigungssystemen, Zwischenlagen und Gleisbetten aufweisen.

Wenn das verwendete Vorhersagemodell vorausgewählte Kategorien enthält, dürfen jegliche neue Gleisarten dahingehend bewertet werden, ob sie gleichwertige Eigenschaften wie eine bestehende Gleiskategorie aufweisen.

8.3 Zugauswahl

Eine ausreichende Anzahl von im Einsatz befindlichen Zügen sollte gemessen werden, einschließlich von mindestens drei verschiedenen Zügen des gleichen Typs. Diese sollten repräsentativ für den durchschnittlichen Instandhaltungszustand sein.

Langzeit-Messungen (Überwachungsmessungen) werden empfohlen, um den Zustand der mittleren Radrauheit im Laufe der Zeit zu berücksichtigen.

8.4 Zuggeschwindigkeiten

Die Zuggeschwindigkeit sollte auf der Grundlage relevanter Quellen ausgewählt werden, je nach Art z. B.:

- 20 km/h bis 80 km/h für Antriebsgeräusche;
- 50 km/h bis 250 km/h für Rollgeräusche;
- > 250 km/h für aerodynamische Geräusche.

Aerodynamische Geräusche sind möglicherweise bereits im Schallspektrum unter 500 Hz bei Geschwindigkeiten über 120 km/h vorhanden, ohne den Gesamtschallpegel zu dominieren.

Geschwindigkeiten aufeinander folgende Vorbeifahrten müssen nicht gleich sein, sofern sie im (in den) betreffenden Geschwindigkeitsbereich(en) liegen.

In der Praxis sind möglicherweise nur spezifische Geschwindigkeiten an einem Standort verfügbar, wobei in diesem Fall Messungen an mehreren Standorten erforderlich sind.

8.5 Anzahl von Vorbeifahrten

Die Anzahl geforderter Vorbeifahrten beruht auf den Anforderungen zur ausreichenden Charakterisierung der Fahrzeugflotte, wobei Datenausreißer ausgeschlossen werden, wenn erforderlich. Üblicherweise sind drei bis fünf Vorbeifahrten eines Zugtyps bei verfügbaren oder ausgewählten Geschwindigkeiten erforderlich. Diese haben nicht die gleichen Zugeinheiten. Ob Vorbeifahrten mit intermittierenden Ereignissen, z. B. Flachstellen an Rädern oder Kurvenkreischen einbezogen werden ist abhängig davon, wie häufig diese im bestimmungsgemäßen Betrieb sind. In diesem Fall ist eine größere Anzahl von Vorbeifahrten erforderlich, um die Unsicherheit zu reduzieren.

9 Datenverarbeitung

Als ein erster Schritt werden alle Vorbeifahrtpegel als Funktion der Geschwindigkeit in einem Graphen mit logarithmischer Skala eingetragen, wie in Bild 4 und Bild 5 dargestellt. Dies ermöglicht eine Veranschaulichung der Gesamt-Geschwindigkeitsabhängigkeit und gibt Hinweise auf den Einfluss unterschiedlicher Quellen, und für Rollgeräusche die Auswirkungen von Rad-/Schienenrauheit.

Im Allgemeinen, jedoch nicht in allen Fällen, neigen Rollgeräusche zu annähernd $30 \lg(v)$ für die Zuggeschwindigkeit v , während Antriebsgeräusche $\{0 \dots 20\} \lg(v)$ und Geräusche von Einrichtungen $\{50 \dots 60\} \lg(v)$ entsprechen können.

Dieser Graph kann verwendet werden, um die Geschwindigkeitsbereiche jeder Quellenart zu bewerten, und wenn Rollgeräusche die überwiegende Quelle sind. Er kann auch verwendet werden, um potentielle, getrennte Zugkategorien hinsichtlich ihrer Quellen oder der Rauheit und des Zustands von Rad/Schiene (z. B. auf der Grundlage des Bremsentyps) zu identifizieren.

Messdaten müssen repräsentativ für Langzeitbetrieb mehrerer im Einsatz befindlicher Züge sein. Nicht repräsentative Ausreißer dürfen verworfen werden.

Wenn Geschwindigkeitsabhängigkeit mittels einer Kurvenanpassung ermittelt werden soll, ist eine ausreichende Anzahl von Datenproben bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten erforderlich, welche bei großer Streuung größer sein muss. Dies ist möglicherweise insbesondere bei Zügen mit veränderlichem Zugverband und veränderlichen Schienenfahrzeugtypen der Fall, insbesondere bei Güterzügen.

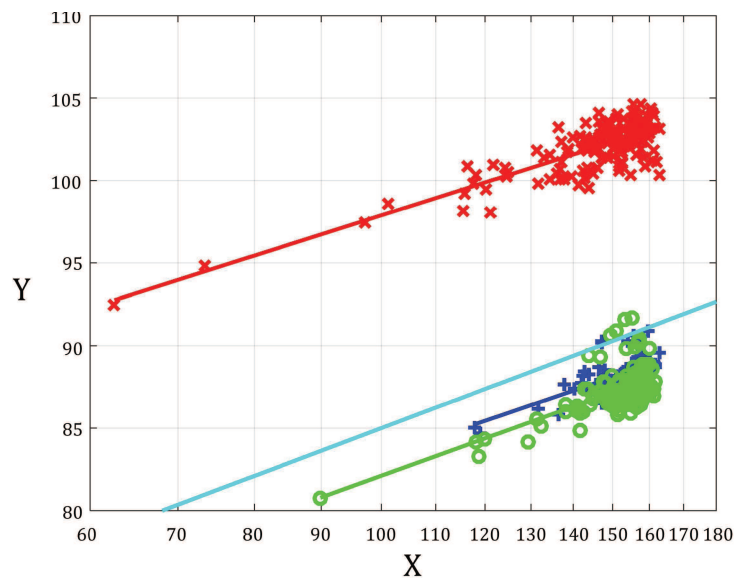
Vorsicht ist bei Geschwindigkeiten geboten, bei welchen Antriebsgeräusche möglicherweise überwiegen, da mehr als eine Kurvenanpassung angewendet werden müsste, und geringe Datenprobenmengen bei niedrigeren Geschwindigkeiten eine Kurvenanpassung möglicherweise verzerren.

Bei der Bewertung der Daten für eine Kurvenanpassung können entweder alle Datenpunkte verwendet werden, wie in Bild 4 und Bild 5 dargestellt, oder der Mittelwert bei jeder Geschwindigkeit, wie in Bild 6 dargestellt.

Es darf entweder arithmetische Mittelung oder energetische Mittelung angewendet werden, in Abhängigkeit von Datenauswahl und -anwendung.

In Bild 7 ist ein Vergleich zwischen einer arithmetischen Mittelung und einer energetischen Mittelung dargestellt. Energetische Mittelung führt zu höheren Ergebnissen als sie von einer Langzeit-Messung von L_{eq} erwartet würden. Arithmetische Mittelwerte neigen dazu, nicht mit Langzeitmessungen von L_{eq} zu korrespondieren, bieten jedoch möglicherweise einen statistischen Mittelwert für einen kleineren Probenumfang von Zügen.

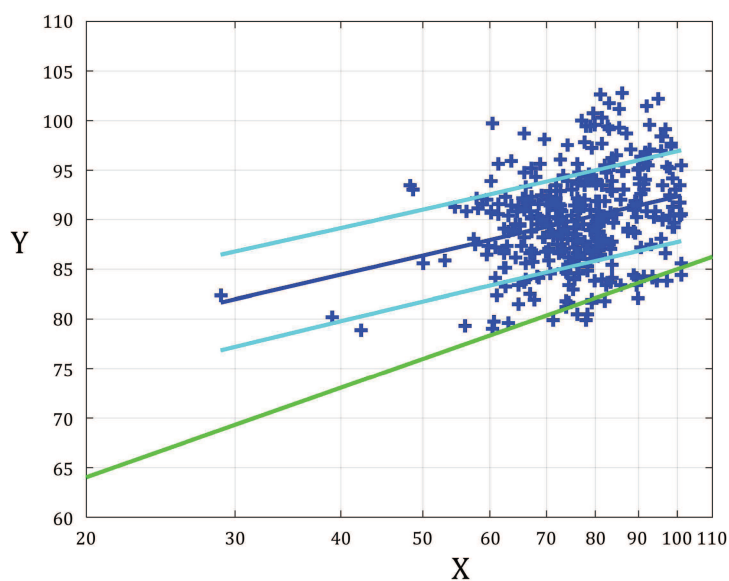
Die in Bild 4 bis Bild 7 dargestellten Daten dienen lediglich der Veranschaulichung spezifischer Messungen von Zügen und sind nicht für eine allgemeine Anwendung vorgesehen.



Legende

- X Geschwindigkeit [km/h]
- Y $L_{pAeq,Tp}$ dB re 20 [µPa]
- + l11 Scheibenbremse
- Anpassung ($n = 97$)
- × Bremse CI Blockbremse
- Anpassung ($n = 154$)
- M6 Scheibenbremse
- Anpassung ($n = 190$)
- $30 \lg v + 25$

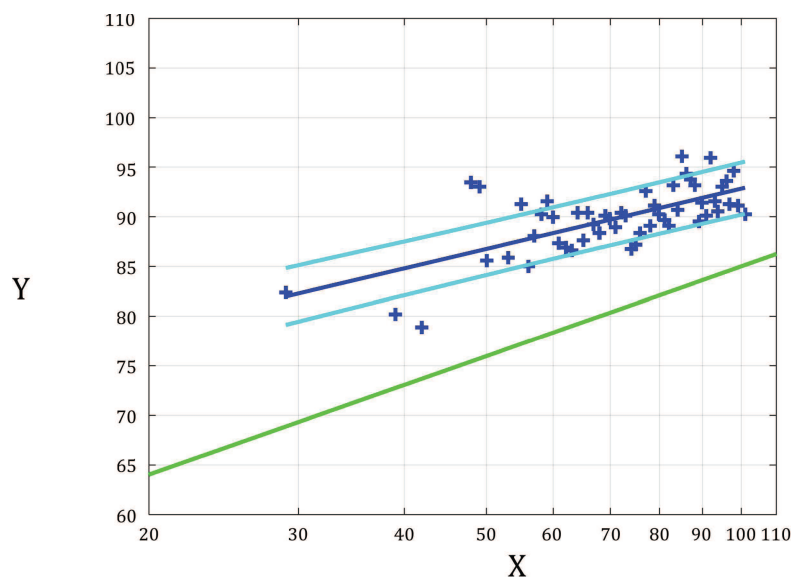
Bild 4 — Gemessene Vorbeifahrt-Schalldruckpegel von drei Reisezugtypen im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie, als Funktion der Zuggeschwindigkeit und mit linearen Kurvenanpassungen für jede Geschwindigkeit auf einer logarithmischen Geschwindigkeitsskala Zum Vergleich ist eine Linie für $30 \lg v$ dargestellt.



Legende

- X Geschwindigkeit [km/h]
- Y $L_{pAeq,Tp}$ dB re 20 [µPa]
- + Güterzug
- Anpassung ($n = 366$)
- $+\sigma$
- $-\sigma$
- $30 \lg v + 25$

Bild 5 — Gemessene Vorbeifahrt-Schalldruckpegel von mehreren Güterzügen im Abstand von 7,5 m von der Gleismittellinie, als Funktion der Zuggeschwindigkeit und mit einer linearen Kurvenanpassung auf einer logarithmischen Geschwindigkeitsskala, mit Standardabweichung (Sigma), und mit Anstieg für $30 \lg v$ zum Vergleich



Legende

X Geschwindigkeit [km/h]

Y $L_{pAeq,Tp}$ dB re 20 [μ Pa]

+ Güterzug

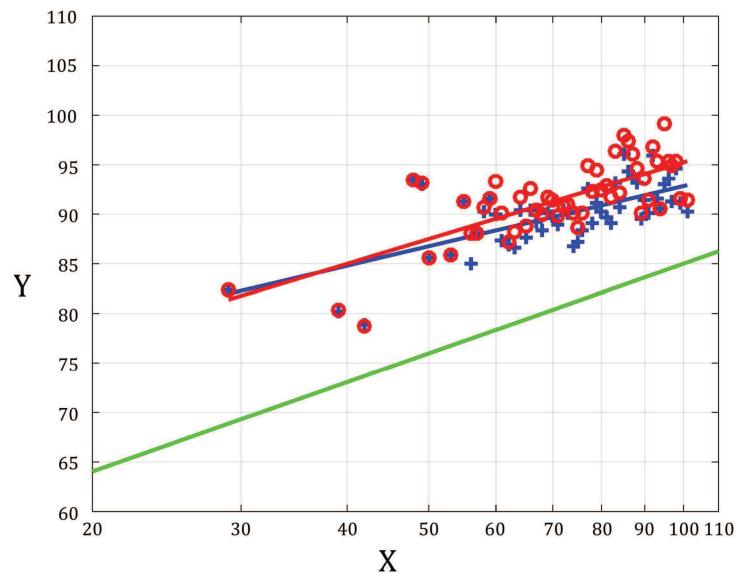
— Anpassung ($n = 53$)

+ σ

- σ

— $30 \lg v + 25$

Bild 6 — Arithmetisch gemittelte Vorbeifahrtdaten je Geschwindigkeit, mit einer linearen Kurvenanpassung mit Angabe einer einzelnen Standardabweichung und einer Linie für $30 \lg v$ zum Vergleich



Legende

- X Geschwindigkeit [km/h]
- Y $L_{pAeq,Tp}$ dB re 20 [µPa]
- + arithmetischer Mittelwert je Geschwindigkeit für einen Güterzug
- Anpassung ($n = 53$)
- energetischer Mittelwert je Geschwindigkeit für einen Güterzug
- Anpassung ($n = 53$)
- $30 \lg v + 25$

Bild 7 — Arithmetisch und energetisch gemittelte Vorbeifahrt Daten je Geschwindigkeit zum Vergleich, mit linearer Kurvenanpassung und Anstieg für $30 \lg v$ zum Vergleich

Wenn nicht repräsentative Ausreißer verworfen werden, muss dies nach ISO 5725-2:2019 (Prüfung nach Grubb) erfolgen.

Wenn einzelne Ausreißer bei niedrigeren Geschwindigkeiten Auswirkungen auf die Kurvenanpassung haben, dürfen diese ausgenommen oder separat angepasst werden, sofern im betreffenden Geschwindigkeitsbereich ausreichende Daten verfügbar sind.

Wenn kombinierte Rauheit für Rollgeräusche und ihre Übertragungsfunktionen bestimmt werden, darf dem Ablaufdiagramm in Bild 8 gefolgt werden.

Kombinierte Rauheit und Übertragungsfunktionen werden arithmetisch über mehrere Geschwindigkeiten gemittelt, bei welchen Rollgeräusche überwiegen.

Wenn Messungen an mehr als einem Messort erfolgen, sollten diese arithmetisch gemittelt werden.

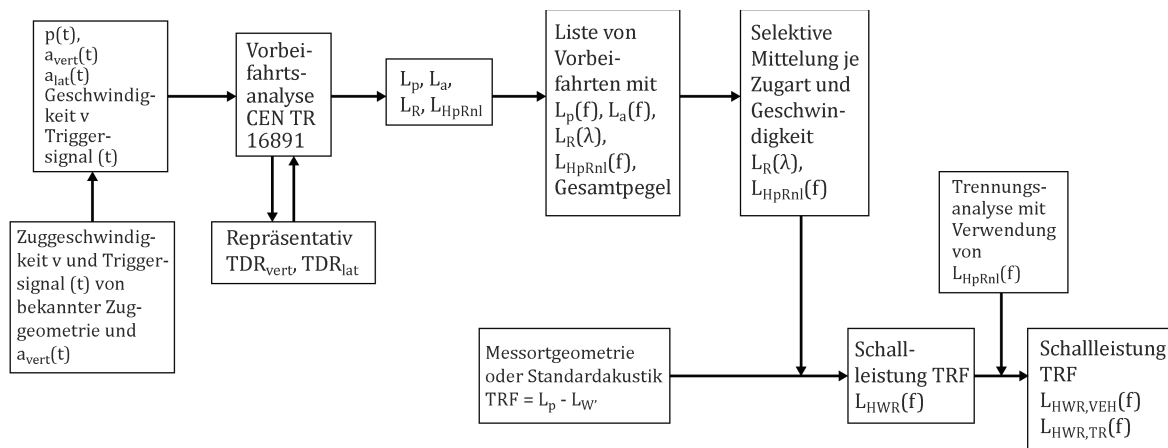


Bild 8 — Beispiel für Verarbeitungsschritte für Rollgeräusche, einschließlich kombinierter Rauheit

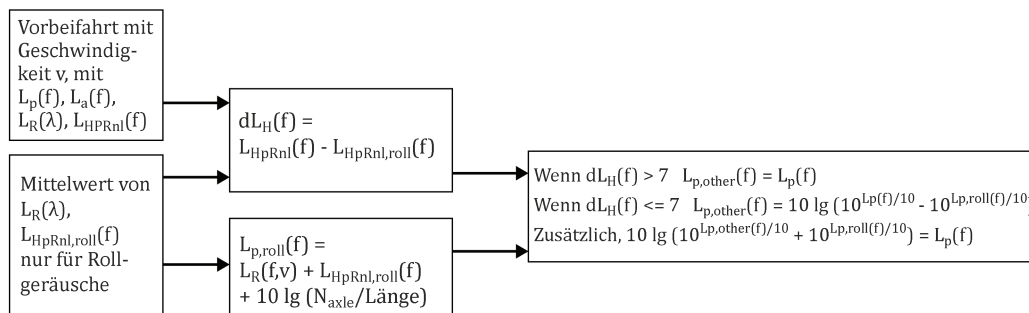


Bild 9 — Beispiel für ein Verfahren zum Trennen anderer Quellen von Rollgeräuschen mit Verwendung der Differenz in Übertragungsfunktion $L_{HpR,nl}(f)$ für eine Vorbeifahrt mit anderen Quellen und eine Vorbeifahrt ausschließlich mit Rollgeräuschen

Wenn eine Trennung anderer Quelle gefordert wird, z. B. Antriebsgeräusche oder aerodynamische Geräusche, darf das in Bild 9 dargelegte Verfahren angewendet werden. Dafür sind Daten für eine Vorbeifahrt für mindestens eine Geschwindigkeit erforderlich, bei der Rollgeräusche im gesamten Spektrum überwiegen, und für eine Vorbeifahrt einschließlich anderer Quellen, z. B. Antriebsgeräusche oder aerodynamische Geräusche. Das Rollgeräuschspektrum $L_{p,roll}(f)$ für die Vorbeifahrt einschließlich anderer Quellen wird ermittelt durch Umrechnung des Spektrums der kombinierten Rauheit auf die betreffende Geschwindigkeit $L_R(f,v)$, und durch Hinzufügen der Rollgeräusch-Übertragungsfunktion $L_{HpR,nl,roll}(f)$ und der Achsdichtekorrekturen $10 \lg(N_{axle}/Länge)$. Die Differenz zwischen der Übertragungsfunktion $L_{HpR,nl}(f)$ und der Rollgeräusch-Übertragungsfunktion $L_{HpR,nl,roll}(f)$ weist auf die Stärke anderer Quellen bezüglich Rollgeräuschen hin. Der Pegel anderer Quellen $L_{p,other}(f)$ wird nach Bild 9 bestimmt. Die Unsicherheit im Schätzwert für die anderen Quellen ist geringer, wenn andere Quellen stärker überwiegen. Dies ist der Fall für einen hohen Wert von dL_H und für glatte Schienen und Räder.

10 Unsicherheiten

Unsicherheiten der Ergebnisse für Quellterme sind abhängig von den folgenden Parametern:

- Repräsentativität der gemessenen Schienenfahrzeugtypen, einschließlich ihres Instandhaltungszustands.

Mindestens 3 einzelne Züge oder Schienenfahrzeuge werden empfohlen, vorzugsweise 5 oder mehr;

- Variabilität bei den gemessenen Zügen, sowohl zwischen einzelnen Zügen als auch zwischen Betriebsbedingungen während einer Vorbeifahrt.

Dies sollte anhand von Messungen bewertet werden, z. B. welcher prozentuale Anteil von Vorbeifahrten Flachstellen an Rädern oder andere Besonderheiten aufweist, die zu höheren Geräuschpegeln führen;

- Standorteigenschaften, insbesondere Schienenrauheit, aber einschließlich anderer Gleisparameter, Gleiszustand und Messortgeometrie. Diese können Ergebnisse beeinflussen und sollten bei der Verallgemeinerung für das gesamte Bahnnetz berücksichtigt werden, da Gleis- und Standorteigenschaften möglicherweise unterschiedlich sind;
- Anzahl von Vorbeifahrten und Geschwindigkeiten. Eine ausreichende Anzahl von Vorbeifahrten ist erforderlich, um einen stabilen Mittelwert zu erhalten, bei Geschwindigkeiten, die den geforderten Bereich abdecken. Für im Einsatz befindliche Züge sind möglicherweise Geschwindigkeiten an einem Standort festgelegt, was zu mehr Messorten führt;
- Anzahl verschiedener Züge oder Schienenfahrzeuge. Abhängig von der zu charakterisierenden Kategorie und der in dieser einbezogenen Anzahl von verschiedenen einbezogenen Zugtypen, ist eine ausreichende Anzahl von Vorbeifahrten für jeden Typ erforderlich;
- Anteile von mehr als einer Quelle. Die für jede physische Quelle bestimmten Quellterme können eine gewisse Unsicherheit enthalten, die vom Anteil (Beitrag) anderer Quellen abhängig ist;
- das angewendete Mittelungsverfahren. Probenumfang, Verwerfen von Ausreißern und Art der Mittelung wirken sich möglicherweise auf die Unsicherheit aus;
- Verfahren zur Ableitung von Quelltermen (Schein-Schallleistung und Übertragungsfunktion). Das Verfahren, mit dem die Schallleistung vom Schalldruck abgeleitet wird, anhand der durch Zusatzdämpfung (Überdämpfung) eingebrachten Unsicherheiten, die potentiell groß sein können. Diese können mittels geeigneter Messortgeometrie, einschließlich Messungen über Gleisbetten und Anwendung hoher Mikrofonpositionen (3,5 m), auf ein Mindestmaß gesenkt werden;
- sowohl die Auswahl von Messpositionen als auch Quellenpositionen beeinflussen die Unsicherheit. Für sehr niedrige Quellenpositionen nahe 0 m, eine niedrige Position des Empfängermikrofons und Vorbeifahrtmessungen für das nahe Gleis besteht eine Neigung zu größeren Unsicherheiten.

Die Gesamtunsicherheit kann durch einen Vergleich von Ergebnissen von mehreren Messorten und Zügen bewertet werden, wobei Überwachungsverfahren angewendet werden.

11 Prüfbericht

Das Folgende muss im Prüfbericht enthalten sein:

- Zweck der Messungen und für welches Vorhersagemodell die Quelltermdaten vorgesehen sind, z. B. EU-Vorhersagemodell oder ein nationales Modell. Kategorie oder Kategorien von Zugtypen, für welche Quellterme zu bestimmen sind;
- Verweisung auf diese Norm und ihre Versionsnummer, welche Teile angewendet wurden;
- Verweisung auf andere Normen, die ebenfalls im Anwendungsbereich der Messungen angewendet werden;
- welche Abweichungen vom/von den Verfahren vorlagen und welche nicht bestimmungsgemäßen Eigenschaften beobachtet wurden, sofern zutreffend;
- Datum und Messort der Messungen;
- Beschreibung des Messorts/der Messorte einschließlich Gleisbett- und Messortgeometrie, Typen von Schienen, Schwellen, Befestigungssystemen und Zwischenlagen und ihre Steifigkeit, sofern bekannt;

- Beschreibung des Messaufbaus einschließlich Positionen von Mikrofonen und Schwingungsaufnehmer, Bezeichnung und Benummerung von Kanälen;
- Beschreibung von verwendeten Messeinrichtungen, einschließlich Datenabtastfrequenz, verwendetem Frequenzbereich, Kalibrierverfahren und Maßnahmen zur Beseitigung oder Minimierung der Auswirkungen von anderen Quellen, die nicht von der betreffenden Vorbeifahrt stammen;
- Beschreibung der gemessenen Bahnfahrzeuge, einschließlich ihrer Länge, Anzahl von Einheiten und Wagen je Einheit, Anzahl von Achsen und ihren Positionen, Positionen von Antriebssystemen, auf dem Dach befindlichen Einrichtungen einschließlich Stromabnehmeraussparungen, Raddurchmessern und Merkmalen, wie z.B. elastischen Elementen, integrierten Scheibenbremsen, Bremsentyp (Scheibenbremsen, Grauguss-Bremsklötze, Verbundstoff-Bremsklötze oder andere). Jegliche Informationen zu bekannten Schallquellen die für den Vorbeifahrtpegel maßgeblich sind;
- für jede Vorbeifahrt, Zugtyp, Geschwindigkeit, Gleisnummer, Richtung und Zeit;
- für jede Vorbeifahrt gemessene Gesamtpegel und Terzbandspektren von Schalldruck und Schwingung für die gemessene Vorbeifahrt. Graphische Darstellung der Gesamtpegel $L_{pAeq,Tp}$ als Funktion der Geschwindigkeit auf einer logarithmischen Skala;
- für jede Vorbeifahrt das Wellenlängenspektrum der kombinierten effektiven Rauheit $L_R(\lambda)$, das Spektrum der Gesamtschalldruck-Übertragungsfunktion $L_{HpR,nl}(f)$;
- vertikale und laterale Gleisabklingraten und angewendetes Verfahren und Abschnitt;
- sofern zutreffend, Verfahren und Ergebnisse direkter Messungen von Schienen- und Radrauheit;
- Verfahren und Abschnitt, das/der zur Ableitung der mittleren kombinierten Rauheit verwendet wurde, mittlere Übertragungsfunktionen und Ergebnisse;
- Verfahren und Abschnitt, das/der zur Bestimmung von Schein-Schallleistung-Quelltermen für Rollgeräusche verwendet wurden, sofern zutreffend einschließlich Schallleistung-Übertragungsfunktionen für Rollgeräusche $L_{HWRnVEH}(f)$, $L_{HWRnTR}(f)$, und Fahrzeug-/Gleis-Verteilungsfunktionen, und Ergebnisse;
- Verfahren und Abschnitt, das/der zur Bestimmung von Schein-Schallleistungs-Quelltermen für Antriebsgeräusche und aerodynamische Geräusche verwendet wurde, und Ergebnisse.

Anhang A (informativ)

Verfahren zur Bestimmung der effektiven Gesamtrauheit

A.1 Allgemeines

Rollgeräusche werden durch die effektive Gesamtrauheit angeregt (siehe Literaturhinweis [1]). Diese besteht in der Energiesumme von Rad- und Schienenrauheit, gefiltert durch die Kontaktfläche. Ein repräsentativer Wert für die effektive Gesamtrauheit in Vorhersagemodellen kann anhand von Messungen bestimmt werden. Die Rauheit kann wie folgt bestimmt werden:

- direkt, mit Messungen der Schienen- und Radoberflächenprofile und Berechnung der effektiven Gesamtrauheit;
- indirekt, mit Messungen von Rollgeräuschen und/oder Schienenschwingungen und Umrechnung des Messergebnisses zurück in die effektive Gesamtrauheit (d. h. als ein inverses Messverfahren).

Ob das direkte oder das indirekte Messverfahren angewendet wird, wird häufig durch praktische Überlegungen bestimmt. Die direkten Messverfahren sind geeignet für Messungen einer geringen Anzahl von Rädern und Gleisen über eine kurze Strecke, erfordern jedoch einen Zugang zu den einzelnen Gleisen oder Fahrzeugen. Wenn die kombinierte Rauheit mehrerer Fahrzeuge oder großer Gleisabschnitte bestimmt werden soll, ist dies nicht zweckmäßig. In solchen Fällen sind indirekte Messverfahren zweckmäßiger für eine umfangreichere Datenerfassung.

A.2 Direktes Verfahren mit Erfordernis für Zugang zu Gleis und Fahrzeug

Verfahren zur direkten Messung der Rauheit an der Schienenoberfläche müssen zusammen mit Verfahren zur direkten Messung der Radrauheit verwendet werden.

Das Messverfahren und Anforderungen für die Messeinrichtungen für Messungen der Schienen- und Radrauheit sind in EN 15610:2019 enthalten. Das Verfahren zum Kombinieren ist einschließlich des Einflusses der Länge der Kontaktfläche in EN 15610:2019, Anhang C, beschrieben.

A.3 Indirektes Messverfahren mit Anwendung von Schienenschwingungen — Gleisseitiges Verfahren

Ein Verfahren für das gleisseitige indirekte Messverfahren ist in CEN/TR 16891:2016 enthalten. Dieses Verfahren wird verwendet, um die kombinierte Rad-Schiene-Rauheit (und Gleisabklingraten) von Schienenschwingungen während der Vorbeifahrt eines Zuges zu bestimmen.

A.4 Prüfverfahren

Fahrzeugbasierte Einrichtungen, die für Untersuchungen langer Gleisabschnitte geeignet sind, werden zunehmend verfügbar. Mit diesen darf entweder die Schienenrauheit direkt oder die kombinierte Rauheit indirekt gemessen werden.

Alle diese Prüfverfahren erfordern getrennte Messungen der Radrauheit. In Tabelle A1 sind Anwendbarkeit und Stand von aktuellen Technologien angegeben.

Tabelle A.1 — Verschiedene Verfahren für Messungen von Rad- und Schienenrauheit

	Direkt	Indi- rekt	Lokal	Prü- fung	An Fahrzeug (V) oder Gleis (T) montiertes Gerät	Stand der Entwicklung in der Normung
Abtastender Verschiebungs- Messaufnehmer	x		x	x	T	EN 15610
Wagen mit Beschleunigungsaufnehmer	x		x		T	EN 15610
Messsonde eines am Fahrzeug montierten Beschleunigungsaufnehmers auf der Schiene	x			x	V	EN 15610 (Gerät muss validiert werden)
Laser	x			x	V	In Erarbeitung
Messung der Radrauheit	x					EN 15610
Mikrofon unter dem Fahrwerk		x		x	V	Kein genormtes Verfahren
Schienen- Beschleunigungsaufnehmer		x	x		T	CEN/TR 16891

Anhang B (informativ)

Berechnung der Schein-Schallleistung anhand des Schalldrucks

B.1 Definition

Das Spektrum der Schein-Schallleistung je Einheitslänge in Terzbändern $L_{W'}(f)$ wird berechnet anhand von

$$L_{W'}(f) = L_{\text{peq,Tp}}(f) - L_{\text{HpW}}(f) \quad (8)$$

Dabei ist $L_{\text{HpW}} = L_{\text{peq,Tp}}(f) - L_{W'}(f)$ die Übertragungsfunktion zwischen dem mittleren Schalldruck der Vorbeifahrt und der Schein-Schallleistung je Meter. Diese Übertragungsfunktion kann entsprechend der Art ihrer Berechnung angewendet werden für eine erweiterte Quelle, wie z. B. Rollgeräusche und aerodynamische Geräusche unter dem Fahrzeug, oder für einzelne Quellen an einem Wagen (oder Lokomotiven), wie z. B. Antriebsgeräuschen und aerodynamischen Geräuschen in höheren Positionen (zwischen Fahrzeugboden und -oberkante). Sie wird dann über die entsprechende Fahrzeuglänge und für die Dauer der Vorbeifahrt dieses Fahrzeugs angewendet.

Die Übertragungsfunktion L_{HpW} ist abhängig vom betreffenden umgebungsbezogenen Vorhersagemodell, da dieses Annahmen zur Richtwirkung von Quellen einschließt. Dies ist bei CNOSSOS der Fall, in welchem sowohl laterale als auch vertikale Richtwirkung einbezogen ist. Wenn die Richtwirkung allseitig (omnidirektional) ist und die Ausbreitung im Freifeld erfolgt, ist L_{HpW} konstant und beträgt für einen Abstand von 7,5 m $L_{\text{HpW}} = -10 \lg(2 \pi 7,5) = -16,7 \text{ dB}$. Bei nicht allseitiger Richtwirkung kann dieser Wert um etwa 2 dB bis 4 dB geringer sein.

B.2 Berechnungsverfahren

Sofern eine Berechnung erfolgt, sollte das angewendete Verfahren auf dem Nachzeichnen von Strahlen, einschließlich Fresnelzone, beruhen, und die drei wesentlichen Übertragungswege berücksichtigen, wie in Bild B.1 dargestellt:

- 1) den direkten Weg;
- 2) den reflektierten Weg;
- 3) die Beugung über der Gleisbettkante.

Eine Berücksichtigung der Beugung über der Gleisbettkante ist nicht erforderlich, sofern Messungen über das gesamte Gleisbett (fernes Gleis) hinweg erfolgen.

Die Richtwirkung einer Quelle sollte bei der Integration über Quellenpositionen berücksichtigt werden.

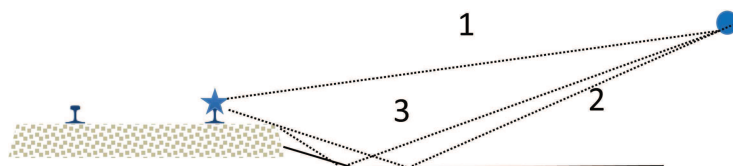


Bild B.1 — Übertragungswege für Rollgeräusche zwischen Gleis/Fahrzeug und Mikrofon