

Grundlegende Anforderungen an die Nachweismessungen zur Bewertung von innovativen Maßnahmen zur Minderung des Schienenlärms im Rahmen des ZIP-Projekts I-LENA (Anlage 2)

Maßnahmen zur Minderung des Rollgeräuschs

DB Netz AG

I.NVS4

Dr. Bernd Asmussen

Vorbemerkung

Das Projekt I-LENA hat das Ziel, innovative Maßnahmen zum Lärmschutz unter realen Bedingungen zu testen. Das vorliegende Dokument enthält grundlegende Anforderungen an die Nachweismessungen. Es basiert auf dem Bericht 08-P-6835-TTZ112 der DB Systemtechnik vom 22.07.2010 und berücksichtigt insbesondere die Einführung der überarbeiteten Schall 03 zum 1.1.2015.

I-LENA fokussiert auf Maßnahmen zur Minderung der Schallabstrahlung an der Infrastruktur. Dazu gehören Maßnahmen am Fahrweg und auf dem Ausbreitungsweg.

An mehreren Abschnitten der Strecken 5500 (München-Regensburg) und 6183 (Berlin-Frankfurt(O)) sollen Maßnahmen zur Minderung des Rollgeräuschs eingebaut und getestet werden. Dieses Dokument beschreibt grundlegende Anforderungen an die anzuwendenden Mess- und Auswerteverfahren und legt die Bedingungen fest, die einzuhalten sind, um repräsentative, nachvollziehbare und auf andere Einbausituationen übertragbare Ergebnisse zu erhalten. Enthalten sind auch Vorgaben für die Dokumentation von Messergebnissen.

Inhaltsverzeichnis

Quellenverzeichnis/Literaturverzeichnis	4
1 Ziel der Nachweisführung	5
1.1 Maßnahmen am Fahrweg	5
1.2 Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg	5
2 Prinzip der Nachweisführung	7
3 Auswahl von Versuchsabschnitten	8
4 Auftragnehmer und Prüfspezifikation	10
5 Messgrößen und Auswertung	11
5.1 Luftschall	12
5.1.1 Meteorologische Voraussetzungen	12
5.1.2 Messpositionen	12
5.1.3 Durchführung und Auswertung der Luftschallmessungen	13
5.1.4 Messgeräte	13
5.1.5 Schienenrauheit	13
5.2 Abklingraten	14
6 Dokumentation	15
6.1 Allgemeine Angaben	15
6.2 Dokumentation von Messungen des Luftschallpegels	15
6.3 Dokumentation von Messungen der Schienenrauheit	16
7 Maßnahmen am Fahrweg	17
7.1 Korrektur der Pegeldifferenzen	18
7.2 Dokumentation	18
8 Maßnahmen am Ausbreitungsweg	19
8.1 Grundlegende Vorgehensweise	19
8.2 Auswahl eines Versuchsabschnitts	19
8.3 Positionen der Mikrofone	19
8.4 Durchführung und Auswertung der Messungen	20
8.5 Korrektur der Pegeldifferenzen	21
8.6 Berechnung von Stundenmittlungspegeln nach Schall 03	22
8.6.1 Beschreibung der Maßnahme durch eine Ersatzschallschutzwand	24
8.7 Dokumentation	24
8.8 Dokumentation der Berechnungsergebnisse nach Schall 03	25

Quellenverzeichnis/Literaturverzeichnis

- [1] Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen –Schall 03; Fassung gültig ab 1.1.2015
- [2] Richtlinie 804.5501 der DB AG “Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken”
- [3] P. Dings, S. van Lier, *Measurement and presentation of wheel and rail roughness*, World Congress of Railway Research, Florenz, November 1997
- [4] EN ISO 3095: 2005 Bahnanwendungen - Akustik - Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen.
- [5] DIN 45642: Juni 2004 Messung von Verkehrsgeräuschen
- [6] DIN EN ISO / IEC 17025: 2005 Allgemeine Anforderung an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien
- [7] EN 60942:2003-05 Elektroakustik - Schallkalibratoren
- [8] EN 15610:2009 Bahnanwendungen - Geräuschemission - Messung der Schienenrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräusch
- [9] EN 15461:2008 Bahnanwendungen - Schallemission - Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Gleisabschnitten bei Vorbeifahrtgeräuschmessungen

1 Ziel der Nachweisführung

Nachweismessungen zur Wirksamkeit innovativer Schallschutzmaßnahmen sind grundsätzlich so zu führen, dass die Wirkung reproduzierbar und auf andere Einbausituationen übertragbar fest gestellt wird. Bei Technologien, die bereits in der Schall03 berücksichtigt sind, sind die Messungen so zu planen, durchzuführen und auszuwerten, dass die Ergebnisse mit den relevanten Korrekturfaktoren verglichen werden können.

Bei noch nicht in der Schall03 abgebildeten Technologien sind die Messungen so zu planen, durchzuführen und auszuwerten, dass aus den Ergebnissen die notwendigen Korrekturfaktoren ermittelt werden können und grundsätzlich eine Anerkennung als schalltechnische Innovation nach Kap. 9 der Schall03 möglich ist.

In der Systematik der Schall 03 ist zwischen Maßnahmen am Fahrweg und Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg zu unterscheiden.

1.1 Maßnahmen am Fahrweg

Maßnahmen am Fahrweg zur Reduktion des Rollgeräuschs können in drei Kategorien eingeteilt werden:

1. Verbesserung der Schienenfahrflächenqualität (z.B. durch Schienenschleifen)
2. Reduktion der Schwingungen von Schiene, Schwelle, Fahrbahnplatte (z.B. Dämpfer, Schienenlager, Formoptimierungen)
3. Absorption der abgestrahlten Schallwellen durch Einbauten im Gleis (z.B. Absorberplatten, Zusatzelemente an der Schiene)

Als Referenz wird ein Schwellengleis im Schotterbett verwendet. Fahrbahnarten mit davon abweichenden akustischen Kenngrößen werden über Pegelkorrekturen c_1 gemäß Tabelle 5.4 [1] erfasst. Korrekturen für einen vom durchschnittlichen Zustand abweichenden Fahrflächenzustand (büg) werden über Pegelkorrekturen c_2 gemäß Tabelle 5.5. [1] vorgenommen. c_1 und c_2 sind in Oktaven im Frequenzbereich von $f=63$ Hz bis $f=8000$ Hz anzugeben.

Für Maßnahmen, die in die oben genannten Kategorien 1. bis 3. fallen, sind die entsprechenden Pegelkorrekturen c_1 bzw. c_2 messtechnisch zu ermitteln.

1.2 Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg

Bei innovativen Schallschutzmaßnahmen auf dem Ausbreitungsweg ist grundsätzlich zu prüfen, ob eine Beschreibung als Hindernis im Schallweg entsprechend den Rechenvorschriften im Kap. 7 der Schall 03 die Wirksamkeit angemessen abbildet. Konventionelle Schallschutzwände, die der Richtlinie 804.5501 "Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken" [2] der DB AG entspre-

chen, werden bei Berechnungen von Beurteilungspegeln nach Schall 03 als Hindernis im Ausbreitungsweg entsprechend ihrer Geometrie abgebildet. Es ist absehbar, dass dieses Verfahren bei innovativen Lösungen wie z.B. Beugungskanten oder gleisnahen niedrigen Wandausführungen zu falschen Werten führen kann, die die Wirkung einer Maßnahme entweder über- oder unterschätzen. Gemäß Kap. 9.1.7 der Schall 03 sind in diesem Fall „Abschirmeinrichtungen und ähnliche Maßnahmen ... in Zuordnung zu den bestehenden Regelungen zu beschreiben“ [1]. Unter Berücksichtigung dieser Maßgabe wird in Kap. 8 ein Verfahren beschrieben, mit dem die Höhe H_E einer Ersatzschallschutzwand bestimmt werden kann, die in einer Entfernung von 3,8 m von der Gleisachse aufgestellt ist und mindestens die gleiche Wirkung hat. Als „mindestens gleiche Wirkung“ wird festgelegt, dass durch Messungen nachgewiesen ist, dass die nach Schall 03 für das Prüfgleis berechneten Beurteilungspegel für Immissionsorte in einem Abstand von 25 m von der Gleisachse in Höhen von 1,2 m, 3,5 m, 6,3m, 9,1m über Schienenoberkante hinter der Ersatzschallschutzwand der Höhe H_E nicht überschritten werden. Die Höhen von 3,5 m, 6,3m und 9,1m können als repräsentativ für EG, 1. OG und 2. OG eines Gebäudes angesehen werden.

2 Prinzip der Nachweisführung

Der akustische Effekt einer Maßnahme am Fahrweg oder am Ausbreitungsweg wird durch den Vergleich der Schallemissionen von Schienenfahrzeugen bei Vorbeifahrt ermittelt. Die Anforderungen der DIN 45642 [8] sind zu berücksichtigen. Die Nachweisführung soll grundsätzlich auf zwei Arten geschehen:

1. Es werden zwei räumlich benachbarte Versuchsabschnitte eingerichtet, die sich nur um die zu untersuchende Maßnahme unterscheiden. Wenn ein Schienenfahrzeug beide Versuchsabschnitte mit gleicher Geschwindigkeit durchfährt, entspricht die Differenz zwischen den an beiden Abschnitten ermittelten Schallemissionen des Fahrzeugs dem akustischen Effekt der Maßnahme für dieses Fahrzeug und diese Geschwindigkeit. Da der akustische Effekt abhängig von der Zugart, vom Zug (Betriebsbedingungen und Radrauheiten) und den Vorbeifahrtgeschwindigkeiten variieren kann, werden die Pegeldifferenzen für verschiedene Züge, Zugarten und Geschwindigkeiten ermittelt und statistisch ausgewertet.
2. Es wird eine Referenzmessung zeitnah vor Einbau der zu untersuchenden Maßnahme durchgeführt. Für verschiedene Züge, Zugarten und Geschwindigkeiten werden Beurteilungspegel ermittelt. Die Messung wird an gleichem Ort nach Einbau der Maßnahme wiederholt und aus den Pegeldifferenzen der akustische Effekt ermittelt.

In begründeten Ausnahmefällen kann die Nachweisführung auf eine der beiden Arten beschränkt werden. Die Gründe hierfür sind zu dokumentieren.

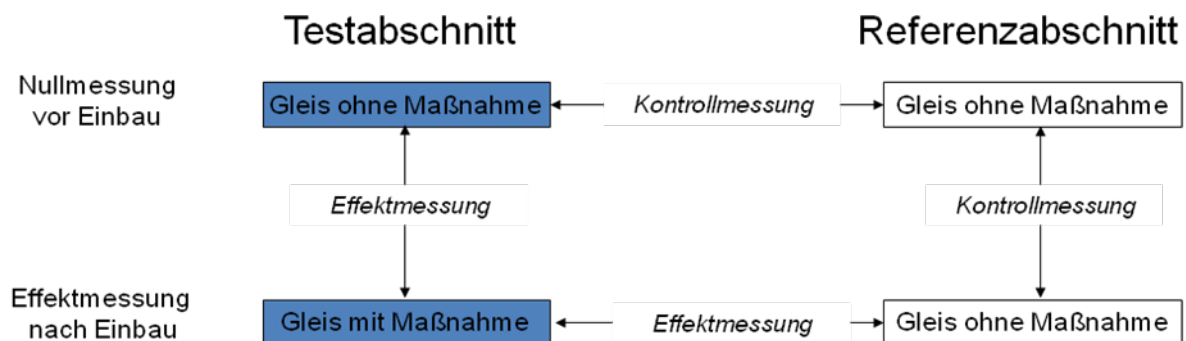


Abb. 2.1: *Prinzip der Nachweisführung: An einem Testabschnitt und einem benachbarten Referenzabschnitt werden vor und nach Einbau einer Maßnahme zum Schallschutz Messungen des Luftschalls durchgeführt.*

3 Auswahl von Versuchsabschnitten

Alle I-LENA Versuchsabschnitte wurden so ausgewählt, dass sie für akustische Messungen geeignet sind. Sie befinden sich in freien geraden Streckenabschnitten. Ausgenommen hiervon sind Maßnahmen, die sich ausdrücklich auf bestimmte Gleislagen (z.B. Kurven, Brücken etc.) beziehen.

Für die Messpositionen sind folgende wesentliche Anforderungen einzuhalten:

- Im Bereich des Dreiecks zwischen Gleis und Mikrofon, welches sich entlang des Gleises zu jeder Seite bis zum zweifachen Mikrofonabstand ausdehnt, muss der Messplatz so beschaffen sein, dass freie Schallausbreitung besteht. Der Bereich muss frei von schallabsorbierenden Gegenständen (z.B. Schneedecke, hoher Bewuchs) oder reflektierenden Oberflächen (z.B. Wasser, Eis, Asphalt oder Beton) sein.
- Der Kreis um jeden Mikrofonstandort mit einem Radius, der das Dreifache des Abstands Mikrofon-Gleisachse beträgt, muss frei von reflektierenden Gegenständen wie Schutzwänden, Hügeln, Felsen, Brücken oder Gebäuden sein.
- Versuchsabschnitte mit bzw. ohne Maßnahme sollen in unmittelbarer Nachbarschaft liegen.
- Die Versuchsabschnitte müssen vor den Versuchen einen identischen und homogenen Oberbau besitzen. Hierzu sind die Versuchsabschnitte ggf. zu stopfen. Eine einheitliche Schienenfahrflächenqualität ist sicherzustellen und nachzuweisen. Der Rauheitspegel $L_{\lambda CA}$ [3] als Einzahlwert zur Bewertung der Schienenrauheit soll um nicht mehr als 1 dB auf den Versuchsabschnitten variieren. Gegebenenfalls muss ein Schienenschleifen (vorzugsweise ein BüG-konformes Verfahren) vor Beginn der Versuche erfolgen.
- Im Bereich der Versuchsabschnitte dürfen sich keine Bahnübergänge befinden.

Die Versuchsabschnitte sollen zudem folgende Eigenschaften haben:

- Das Gleis muss im Bereich der Messung ohne Stoßstellen, Laschen oder Isolierstößen und frei von sichtbaren Oberflächenbeschädigungen wie Brandstellen oder Narben sein, die durch die Kompression fremden Materials zwischen Rad und Schiene verursacht sind.
- Es dürfen keine hörbaren Stoßgeräusche infolge Schweißstellen oder lockerer Schwellen auftreten.
- Länge mindestens jeweils 140 m.
- Steigung/Gefälle ≤ 0.5 ‰.
- Kurvenradius > 5000 m, keine Überhöhung (außer bei Maßnahmen gegen akustische Auffälligkeiten in Kurven)
- Die Pegelminderung durch Boden- und Meteorologiedämpfung (D_{BM}) nach Schall 03 im Bereich der Messebenen soll möglichst gleich sein und im Bereich von -1,0 dB bis +1,5 dB liegen. Differenzen zwischen den D_{BM} -Werten der einzelnen Messebenen müssen in der Auswertung berücksichtigt werden.

- Das Hintergrundgeräusch soll während aller Vorbeifahrten der Fahrzeuge vernachlässigbar sein. Der Höchstwert von $L_{pAeq,T}$ mit $T=20$ s des Fremdgeräuschs über alle Messpunkte muss mindestens 10 dB unter dem von $L_{pAeq,Tp}$ liegen, der während der Zugvorbeifahrt gemessen wird. Für die Frequenzanalyse muss diese Differenz mindestens 10 dB in jedem interessierenden Frequenzband betragen. Werden die Messungen bei Bedingungen durchgeführt, bei denen die Pegeldifferenz von 10 dB geringfügig unterschritten wird, so ist ein typisches A-bewertetes Terzspektrum des Hintergrundgeräuschs zu erstellen und zu dokumentieren, um die Gültigkeit der Messungen zu belegen

4 Auftragnehmer und Prüfspezifikation

Der für die Durchführung und Auswertung von Messungen beauftragte Auftragnehmer soll als Prüflabor gemäß DIN EN ISO / IEC 17025 akkreditiert sein. Der Auftragnehmer erstellt eine Prüfspezifikation und stimmt sie mit der DB Netz AG (I.NVS4) ab.

Die Prüfspezifikation muss folgende wesentliche Punkte enthalten:

- Aussagen zur Übereinstimmung der Messbedingungen an den geplanten Messorten mit den Vorgaben aus Kapitel 5 und ggf. Begründung von Abweichungen
- Ablaufplan mit den durchzuführenden Messungen und der Anzahl der mindestens zu messenden Zugvorbeifahrten für jede Zuggattung einschließlich der erwarteten Geschwindigkeiten
- Aufstellung der voraussichtlich einzusetzenden Mess- und Datenerfassungsgeräte
- Zu erfassende Messgrößen und deren weitere Auswertung

5 Messgrößen und Auswertung

Der akustische Effekt einer Maßnahme wird aus der Differenz gemessener Luftschallpegel auf Versuchsabschnitten mit Maßnahme (Testabschnitt) und ohne Maßnahme (Referenzabschnitt) sowie aus der Differenz gemessener Luftschallpegel auf Testabschnitten nach und vor Einbau der Maßnahme ermittelt. Dazu sind grundsätzlich folgende messtechnischen Untersuchungen durchzuführen:

- Messungen des Schalldruckpegels mittels ortsfester Mikrofone seitlich vom Gleis während der Vorbeifahrt von Regelzügen oder von Versuchszügen
- Messungen der Rauheit der Schienenfahrflächen in den Versuchsabschnitten

Zusätzlich oder alternativ können im Einzelfall beispielsweise erforderlich sein:

- Rollgeräuschkammessung mit dem Schallmesswagen (SMW) zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften der Teststrecken. Teststrecken, auf denen die Rauheit der Schienenfahrfläche maßgeblichen Einfluss auf die Bewertung der Schallminderungstechnologien hat, sollen während der I-LENA Messkampagnen regelmäßig (ca. alle 6 Monate) mit dem SMW befahren werden.
- Messungen der dynamischen Eigenschaften des Oberbaus (Abklingraten, z.B. bei Maßnahmen, die das Schwingungsverhalten von Schiene und Schwelle verändern)
- Indirekte Messung der kombinierten Rad- und Schienenrauheit mittels Beschleunigungsaufnehmern am Schienenfuß

In diesem Kapitel werden allgemeine Anforderungen an Durchführung und Auswertung von Messungen festgelegt. Diese werden in den Kapiteln 7-8 für die Anwendungsfälle „Maßnahmen am Fahrweg“ und „Maßnahmen am Ausbreitungsweg“ weiter detailliert.

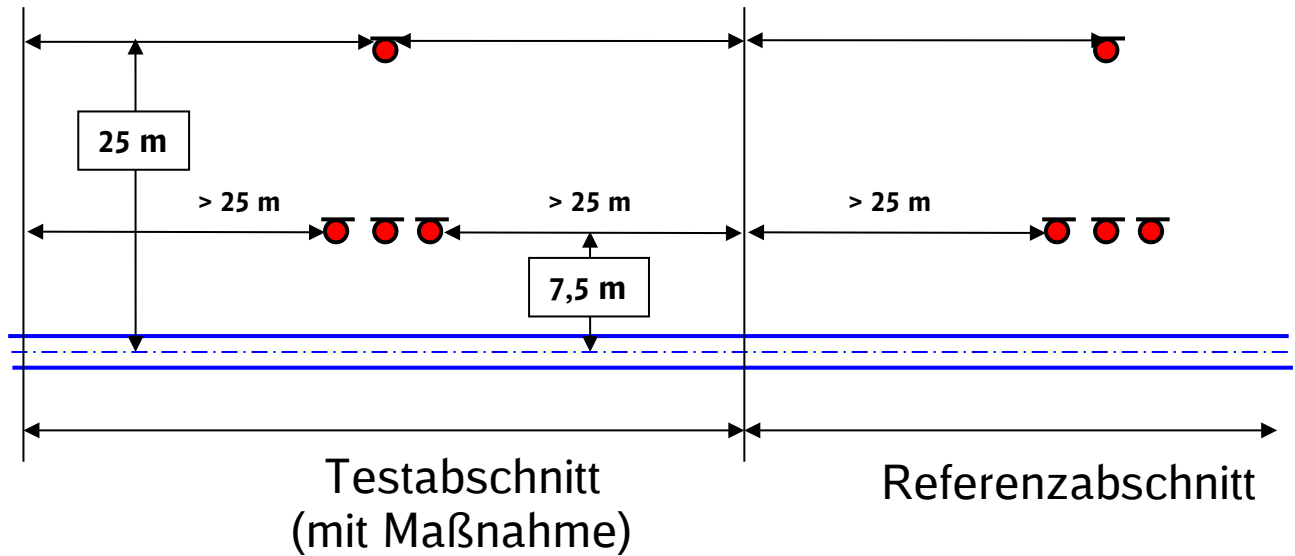


Abb. 5.1: Anordnung von Test- und Referenzabschnitt sowie der Mikrofonpositionen in jeweils drei Messebenen.

5.1 Luftschall

Grundsätzlich gelten die Anforderungen der DIN EN ISO 3095 [4]. Im Einzelfall erforderliche Abweichungen sind zu begründen.

5.1.1 Meteorologische Voraussetzungen

Messungen dürfen nur bei Witterungsbedingungen erfolgen, die zu keinem signifikanten Fremdgeräusch führen. Die Fläche zwischen Mikrofonen und Gleis darf nicht mit Nässe gesättigt oder mit Schnee bedeckt sein. Temperatur, Luftfeuchte, Luftdruck und Windgeschwindigkeit und -richtung sind zu dokumentieren.

5.1.2 Messpositionen

An jedem Versuchsabschnitt ist möglichst in der Mitte ein „Messquerschnitt“ auszuwählen. Der Abstand zu den Enden soll 70 m nicht unterschreiten. Zu jedem Messquerschnitt gehören drei Messebenen. Die Messebenen sollen untereinander 7,5 m Abstand haben.

In jeder Messebene wird ein Messpunkt in 7,5 m Entfernung zur Gleisachse und 1,2 m über Schienenoberkante gewählt. In der mittleren Messebene wird zusätzlich ein Messpunkt in 25 m Entfernung zur Gleisachse und 3,5 m über Schienenoberkante gewählt.

Die Messpunkte an den Versuchsabschnitten liegen auf der gleichen Seite des Gleises. Es soll nicht über andere Gleise hinweg gemessen werden. Zur Veranschaulichung siehe Abb. 5.1.

5.1.3 Durchführung und Auswertung der Luftschallmessungen

An allen Messpunkten wird für jede vermessene Vorbeifahrt der Vorbeifahrtexpositionspegel TEL nach DIN EN ISO 3095 [4] bestimmt. Sofern nicht explizit anders angegeben, ist im Frequenzbereich zwischen 63 Hz und 8000 Hz zu messen. Für Test- und Referenzabschnitt wird getrennt für den 7,5 m Messpunkt der TEL für die Vorbeifahrt des Zuges durch arithmetische Mittelung der Werte an den drei Messebenen berechnet. Ist die Pegeldifferenz zwischen den höchsten und niedrigsten Werten, die gemittelt werden sollen, größer als 0,5 dB, wird die Messung verworfen.

Systematische Differenzen zwischen den Messebenen durch unterschiedliche Einflüsse von Boden- und Meteorologiedämpfung sind durch entsprechende Korrekturwerte D_{BM} gemäß Schall 03 zu berücksichtigen.

Die Messwerte sind abhängig von der Zugklasse nach Geschwindigkeit zu klassifizieren.

Für die Geschwindigkeitsklassen gilt folgende Festlegung:

- Für Geschwindigkeiten bis zu $v = 100$ km/h dürfen die Geschwindigkeiten innerhalb einer Klasse um höchstens + 5 % vom Mittelwert abweichen
- Für Geschwindigkeiten oberhalb von $v = 100$ km/h dürfen die Geschwindigkeiten innerhalb einer Klasse um höchstens + 5km/h vom Mittelwert abweichen

Für die Mindestanzahl von gültigen Zugvorbeifahrten in jeder Geschwindigkeitsklasse gelten die Anforderungen der DIN 45642 [5].

Generell sollte die Geschwindigkeit jedes Zuges sowohl bei der Einfahrt in den Untersuchungsabschnitt als auch bei der Ausfahrt bestimmt werden. Bei Differenzen bis 5 % sind beide Werte arithmetisch zu mitteln. Bei Differenzen oberhalb von 5 % sind die Messwerte zu verwerfen.

Die weiteren Auswerteschritte sind in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

5.1.4 Messgeräte

Das Prüfmittelmanagement soll den Vorgaben der Norm DIN EN ISO / IEC 17025 [6] entsprechen und die Messapparaturen die Anforderungen der EN ISO 3095:2005 [4] erfüllen. Die Mikrofone sollen horizontal und senkrecht zum Gleis ausgerichtet und mit einem geeigneten Windschirm ausgestattet werden. Die Kalibrierung der gesamten Messeinrichtungen, vor Beginn bzw. nach Beendigung einer Messreihe, soll mit einem Schallkalibrator der Klasse 1 nach EN 60942 [7] durchgeführt werden. Die Differenzen zwischen den Kalibrierungen vor Beginn bzw. nach Beendigung einer Messreihe dürfen nicht 0,5 dB überschreiten.

Die Zuggeschwindigkeit ist mit einer Messunsicherheit von weniger als 5% zu erfassen.

5.1.5 Schienenrauheit

Auf unterschiedlichen Abschnitten gemessene Luftschallpegel sind selbst bei identischen Zügen nur dann vergleichbar, wenn die akustischen Rauheiten der Schienen nahezu identisch sind. Da dies im Allgemeinen nicht vorausgesetzt werden kann, sind auf allen Versuchsabschnitten in zeitlicher Nähe (innerhalb einer Zeitspanne von maximal einem Monat) zu den Luftschallmessungen die Schienenrauheiten zu messen.

Die Rauheitsmessungen erfolgen im Bereich der Messquerschnitte, die für Luftschallmessungen am Abschnitt mit Maßnahme und am Referenzabschnitt vorgesehen sind sowohl vor als auch nach Einbau der Maßnahme. Auf eine Wiederholung der Rauheitsmessung nach Einbau der Maßnahme kann in begründeten Fällen verzichtet werden. Die Gründe für den Verzicht sind zu dokumentieren. Zeigen sich signifikante Unterschiede bei den Schallpegelmessungen am Referenzabschnitt vor und nach Einbau der Maßnahme, so sind Rauheitsmessungen auch nach Einbau der Maßnahme durchzuführen. Die Messung der Schienenrauheit und die Auswertung der Messwerte erfolgen entsprechend den Vorgaben der EN 15610 [8]. Der Wellenlängenbereich muss mindestens die Wellenlängen $0,003\text{m} < \lambda < 0,10\text{ m}$ einschließen.

5.2 Abklingraten

Beim Abrollen des Rades auf der Schiene werden Rad, Schiene und Schwelle zu Schwingungen angeregt, was wiederum zur Abstrahlung von Schallwellen führt. Daher ist die Dämpfung der Schiene ein entscheidender Parameter für den Beitrag der Schiene zum Rollgeräusch.

Bei Maßnahmen zur Minderung der Schallabstrahlung, welche das Schwingverhalten der Schiene beeinflussen (z.B. Schienendämpfer), besteht ein Zusammenhang zwischen der Veränderung der Gleisabklingraten („Track decay rates“ - TDR) und der Veränderung der Schallabstrahlung. Daher ist es erforderlich, zur Bewertung solcher Schallschutzmaßnahmen in Ergänzung zum Luftschall die Abklingraten der Schiene zu messen.

Es werden die Gleisabklingraten sowohl der vertikalen als auch der transversalen Biege- welle in der Schiene in Längsrichtung gemessen. Messung und Auswertung erfolgen gemäß den Vorgaben der Norm EN 15461 [9]. Die vertikalen und transversalen Gleisabklingraten sind an folgenden Positionen zu messen:

- im Testabschnitt vor Einbau der Maßnahme
- im Referenzabschnitt vor Einbau der Maßnahme
- im Testabschnitt nach Einbau der Maßnahme

Die Ergebnisse sind in einem Prüfbericht entsprechend den Anforderungen der EN 15461 [9] zu dokumentieren. Für jede der beiden Schwingungsrichtungen „vertikal“ und „transversal“ sind die gemessenen Abklingraten im Testabschnitt vor und nach Einbau der Maßnahme in graphischer Form als Terzspektren in einem gemeinsamen Diagramm darzustellen. Für die Form der Darstellung gelten die Anforderungen aus Abschnitt 9.2 der EN 15461 [9].

6 Dokumentation

6.1 Allgemeine Angaben

Durchführung und Auswertung der Messungen sind in einem Prüfbericht zu dokumentieren. Der Prüfbericht muss unter Hinweis auf dieses Dokument und die anzuwendenden Normen alle wichtigen Einzelheiten (inklusive Skizzen und Fotos) zu folgenden Punkten enthalten:

- Art der Prüfung
- Datum, Ort, Name und Anschrift der Messstelle
- Messeinrichtung mit Datum der letzten Kalibrierung
- Ort der Prüfung (Lageplan) und Position der Messpunkte
- Beschreibung der Versuchsabschnitte (Oberbau, Vorbereitung der Abschnitte, Geländeprofile, Messpositionen, Fotos)
- Meteorologische Bedingungen (Umgebungstemperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Niederschlag)
- Störgeräuschpegel
- Prüfablauf (Messprotokoll)
- Mess- und Ergebnisgrößen einschließlich der angewendeten Korrekturen und Auswertalgorithmen
- Begründung für verworfene Messwerte
- Ergebnis der Prüfung

sowie alle weiteren Informationen, die zur Beurteilung der Prüfung und der Ergebnisse dienen können.

6.2 Dokumentation von Messungen des Luftschallpegels

Die Ergebnisse von Messungen des Luftschallpegels sind vollständig in tabellarischer Form zu dokumentieren. Für jede gemessene Vorbeifahrt und für jeden Immissionsort sind anzugeben:

- Zugart mit Baureihe des Triebfahrzeugs,
- Zuggeschwindigkeit,
- Bremsart
- Vorbeifahrtexpositionspegel TEL mit den zugehörigen Zeitdauern T und T_p gemäß EN ISO 3095 [4],
- Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h}$,
- alle weiteren für die Beurteilung der Vorbeifahrt wichtigen Angaben.

Die Pegel sind jeweils als Terzspektrum und als Summenpegel zu dokumentieren. Alle Messergebnisse sind dauerhaft auf einem geeigneten Speichermedium zu sichern.

Weitere Anforderungen an die Dokumentation sind in den nachfolgenden Kapiteln enthalten.

6.3 Dokumentation von Messungen der Schienenrauheit

Die Ergebnisse der Rauheitsmessungen sind entsprechend den Vorgaben aus Kap. 9 und Kap. 10 der EN 15610 [8] zu dokumentieren.

Zusätzlich sind zu dokumentieren:

1. Für jede Messebene der Luftschallmessungen das gemittelte Rauheitsspektrum als Oktavspektrum für Vormessung und Nachmessung
2. Für jede Messebene der Luftschallmessungen der Rauheitspegel $L_{\lambda,CA}$ [3] als Einzahlwert zur Bewertung der Schienenrauheit.

7 Maßnahmen am Fahrweg

Es gelten die allgemeinen Vorgaben aus Abschnitt 5.1.3. Die über die drei Messebenen (s. Abb. 5.1) gemittelten A-bewerteten äquivalenten Dauerschalldruckpegel während der Vorbeifahrtzeit $L_{pAeq, Tp}$ sind für jeden Mikrofonabstand getrennt den Zugkategorien IC, RE und Güterzug sowie Geschwindigkeitsklassen zuzuordnen. Anschließend sind folgende Differenzen einschließlich ihrer Standardabweichungen zu bilden:

$$\Delta L_{j,k}^{N-V} = (1/N_{j,k}) \sum_n (TEL_{j,k,n,Nach} - TEL_{j,k,n,Vor}) \quad (7.1.a)$$

$$\Delta L_{j,k}^{N-NR} = (1/N_{j,k}) \sum_n (TEL_{j,k,n,Nach} - TEL_{j,k,n,Nach,Ref}) \quad (7.1.b)$$

$$\Delta L_{j,k}^{V-VR} = (1/N_{j,k}) \sum_n (TEL_{j,k,n,Vor} - TEL_{j,k,n,Vor,Ref}) \quad (7.1.c)$$

$$\Delta L_{j,k}^{NR-VR} = (1/N_{j,k}) \sum_n (TEL_{j,k,n,Nach,Ref} - TEL_{j,k,n,Vor,Ref}) \quad (7.1.d)$$

Es bedeuten:

j	Zugkategorieindex (ICE, IC, RE, G-Zug)
k	Geschwindigkeitsklasse
n	Nr. der Zugvorbeifahrt
$N_{j,k}$	Zahl der Zugvorbeifahrten der Zugkategorie j in der Geschwindigkeitsklasse k
$TEL_{j,k,n,Vor}$	Vorbeifahrtexpositionspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k im Testabschnitt vor Einbau der Maßnahme
$TEL_{j,k,n,Nach}$	Vorbeifahrtexpositionspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k im Testabschnitt nach Einbau der Maßnahme
$TEL_{j,k,n,Vor,Ref}$	Vorbeifahrtexpositionspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k im Referenzabschnitt vor Einbau der Maßnahme
$TEL_{j,k,n,Nach,Ref}$	Vorbeifahrtexpositionspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k im Referenzabschnitt nach Einbau der Maßnahme

Die Differenzen aus Gl. (7.1) sind als Summenpegel, Terzspektren zu berechnen. Da die Schall03 Oktavspektren für die Berechnung des Beurteilungspegels zugrunde legt, sind ggf. auch Oktavspektren zu berechnen. Dies ist im Einzelfall festzulegen.

Die Differenzen $\Delta L_{j,k}^{N-V}$ und $\Delta L_{j,k}^{N-NR}$ bewerten den Effekt der Maßnahme, in dem sie die Messergebnisse am Testabschnitt vor und nach Einbau der Maßnahme vergleichen bzw. in dem sie die Messergebnisse an Test- und Referenzabschnitt vergleichen.

Die Differenzen $\Delta L_{j,k}^{V-VR}$ und $\Delta L_{j,k}^{NR-VR}$ dienen zur Korrektur der Ergebnisse, da Test- und Referenzabschnitt im Allgemeinen nicht exakt gleichwertig sind (z.B. auf Grund unterschiedlicher Schienenrauheiten) oder wo eine signifikante Veränderung des Gleises oder des Rollmaterials zwischen Vor- und Nachmessung stattgefunden hat.

Anmerkung: Da die Schallemission von Güterzügen stark vom Anteil an Wagen mit Verbundstoffbremsen abhängt, lässt sich der Effekt einer Minderungsmaßnahme für Güterzüge i. A. nicht aus dem vorher/nachher Vergleich ableiten. Daher können die Messergebnisse für Güterzüge nur für den Vergleich Testabschnitt-Referenzabschnitt verwendet werden. Dies gilt zumindest für die derzeit laufende Phase der Umrüstung von Güterwagen.

7.1 Korrektur der Pegeldifferenzen

Im Allgemeinen sind die Beträge der Pegeldifferenzen $\Delta L_{j,k}^{KV-VR}$ und $\Delta L_{j,k}^{NR-VR}$ der Kontrollmessungen ungleich Null. Daher sind die Differenzen $\Delta L_{j,k}^{N-V}$ und $\Delta L_{j,k}^{N-NR}$ entsprechend zu korrigieren:

$$\Delta L_{j,k,korr}^{N-V} = \Delta L_{j,k}^{N-V} - \Delta L_{j,k}^{NR-VR} \quad (7.2.a)$$

$$\Delta L_{j,k,korr}^{N-NR} = \Delta L_{j,k}^{N-NR} - \Delta L_{j,k}^{V-VR} \quad (7.2.b)$$

7.2 Dokumentation

Für die Dokumentation gelten die allgemeinen Vorgaben aus Kapitel 6. Weiterhin sind in tabellarischer Form zu dokumentieren:

- Die Mittelwerte der Pegel $TEL_{j,k,n,Nach}$, $TEL_{j,k,n,Vor}$, $TEL_{j,k,n,Nach,Ref}$, $TEL_{j,k,n,Vor,Ref}$ innerhalb jeder Zugkategorie und Geschwindigkeitsklasse jeweils für die beiden Abstände 7,5 m und 25m.
- Die Differenzen $\Delta L_{j,k}^{N-V}$, $\Delta L_{j,k}^{N-NR}$, $\Delta L_{j,k}^{V-VR}$, $\Delta L_{j,k}^{NR-VR}$, $\Delta L_{j,k,korr}^{N-V}$, $\Delta L_{j,k,korr}^{N-NR}$ separat für jede Zugkategorie und Geschwindigkeitsklasse jeweils für die beiden Abstände 7,5 m und 25m. Die Differenzen sind als Terzspektren (ggf. auch Oktavspektren) und Summenpegel anzugeben.
- Die Zahl $N_{j,k}$ der ausgewerteten Zugvorbeifahrten in der Zugkategorie j und in der Geschwindigkeitsklasse k.
- Die mittlere Geschwindigkeit in jeder Geschwindigkeitsklasse.
- Pegelschriebe repräsentativerer Zugvorbeifahrten für jede Zugkategorie an Test- und Referenzabschnitt.

8 Maßnahmen am Ausbreitungsweg

8.1 Grundlegende Vorgehensweise

Bei Maßnahmen am Ausbreitungsweg, die nicht den Vorgaben der Richtlinie 804.5501 „Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken“ entsprechen (z.B. gleisnahe Schallschutzwände, Beugungskanten, Aufsätze für Solarzellen etc.) sind grundsätzlich zwei Möglichkeiten zu prüfen:

1. Die Maßnahme kann entsprechend ihrer tatsächlichen Geometrie als Hindernis im Ausbreitungsweg gemäß den Vorgaben der Schall 03 beschrieben werden.
2. Es wird die Höhe H_E einer Ersatzschallschutzwand gleicher Wirksamkeit bestimmt.

Dazu werden Messungen des Luftschalls mit in unterschiedlichen Abständen vom Gleis und in unterschiedlichen Höhen positionierten Mikrofonen am Versuchsabschnitt und einem geeignet gewählten Referenzabschnitt vor und nach Einbau der Maßnahme durchgeführt. Daraus wird durch Vergleich von Test- und Referenzabschnitt bzw. durch den Vergleich von Messungen am Testabschnitt vor und nach Einbau der Maßnahme die erzielte Pegelminderung ermittelt. Diese wird mit validierten Rechnungen auf Basis der Richtlinie Schall 03 verglichen, woraus ggf. die Höhe H_E bestimmt werden kann.

8.2 Auswahl eines Versuchsabschnitts

Versuchsabschnitte müssen den Anforderungen aus Kap. 3 entsprechen. Sie müssen mindestens jeweils eine geeignete Messebene im Bereich der Maßnahme (Testabschnitt) und in einem benachbarten Referenzabschnitt ermöglichen.

8.3 Positionen der Mikrofone

Am Test- und am Referenzabschnitt ist jeweils ein Messquerschnitt auszuwählen. Der Abstand zum Ende des Testabschnitts soll jeweils mindestens 70 m betragen. Die Messpunkte an Test- und Referenzabschnitt liegen auf der gleichen Seite des Gleises. Es soll nicht über andere Gleise hinweg gemessen werden. Sowohl im Messquerschnitt am Referenzabschnitt als auch am Messquerschnitt an der Maßnahme sind folgende Mikrofonpositionen erforderlich, um die Richtwirkung der Maßnahme korrekt zu erfassen (s. Abb. 8.1):

- in 7,5 m Entfernung zur Gleisachse in Höhen von 1,2m und 3,5 m
- in 25 m Entfernung zur Gleisachse in Höhen von 1,2m, 3,5 m, 6,3m und 9,1m über Schienenoberkante

Die Höhen von 3,5 m, 6,3m und 9,1m können als Immissionsorte im EG, 1.OG und 2.OG eines fiktiven Gebäudes angenommen werden.

Abhängig von der zu bewertenden Maßnahme können auch zusätzliche Mikrofonpositionen verwendet werden.

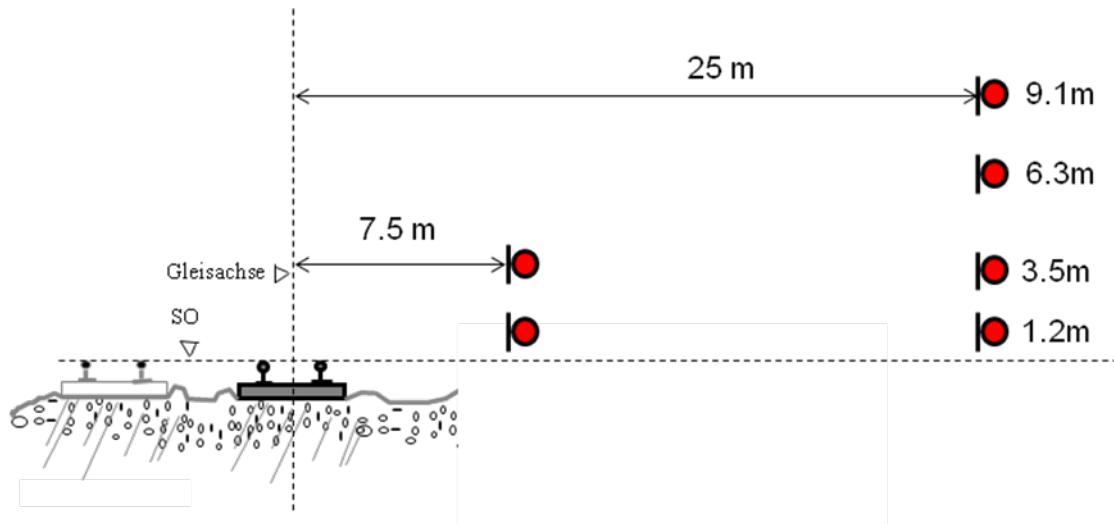


Abb. 8.1: Schematische Darstellung der Mikrofonpositionen am Testabschnitt bzw. Referenzabschnitt

8.4 Durchführung und Auswertung der Messungen

Es gelten die allgemeinen Anforderungen aus Abschnitt 5.1.3 mit der Ausnahme, dass eine Mittelwertbildung über unterschiedliche Mikrofonpositionen nicht erfolgt.

Für jede gemessene Zugvorbeifahrt sind der Vorbeifahrtexpositionspegel TEL und der A-bewertete Stundenmittlungspegel $L_{Am,1h}$ als Oktavspektrum zu ermitteln. Die einzelnen Spektren sind den Zugkategorien ICE, IC, RE und Güterzug sowie Geschwindigkeitsklassen zuzuordnen. Für die Geschwindigkeitsklassen gelten die Festlegungen aus Abschnitt 5.1.3.

Für jeden Immissionsort (Mikrofonposition) sind innerhalb einer Geschwindigkeitsklasse für jede Zugkategorie die Mittelwerte

$$(\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-V} = (1/N_{j,k}) \sum_n (L_{Am,1h,j,k,n,Nach,MP} - L_{Am,1h,j,k,n,Vor,MP}) \quad (8.1.a)$$

$$(\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-NR} = (1/N_{j,k}) \sum_n (L_{Am,1h,j,k,n,Nach,MP} - L_{Am,1h,j,k,n,Nach,Ref,MP}) \quad (8.1.b)$$

$$(\Delta L_{j,k})_{MP}^{V-VR} = (1/N_{j,k}) \sum_n (L_{Am,1h,j,k,n,Vor,MP} - L_{Am,1h,j,k,n,Vor,Ref,MP}) \quad (8.1.c)$$

$$(\Delta L_{j,k})_{MP}^{NR-VR} = (1/N_{j,k}) \sum_n (L_{Am,1h,j,k,n,Nach,Ref,MP} - L_{Am,1h,j,k,n,Vor,Ref,MP}) \quad (8.1.d)$$

zu berechnen.

Es bedeuten:

j	Zugkategorieindex
k	Geschwindigkeitsklasse
n	Nr. der Zugvorbeifahrt
$N_{j,k}$	Zahl der Zugvorbeifahrten der Zugkategorie j in der Geschwindigkeitsklasse k
MP	Mikrofonposition (Immissionsort)
$L_{Am,1h,j,k,n,Vor,MP}$	A-bewerteter Stundenmittelungspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für den Messpunkt MP im Testabschnitt vor Einbau der Maßnahme
$L_{Am,1h,j,k,n,Nach,MP}$	A-bewerteter Stundenmittelungspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für den Messpunkt MP im Testabschnitt nach Einbau der Maßnahme
$L_{Am,1h,j,k,n,Vor,Ref,MP}$	A-bewerteter Stundenmittelungspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für den Messpunkt MP im Referenzabschnitt vor Einbau der Maßnahme
$L_{Am,1h,j,k,n,Nach,Ref,MP}$	A-bewerteter Stundenmittelungspegel Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für den Messpunkt MP im Referenzabschnitt nach Einbau der Maßnahme

Die Differenz $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-V}$ ergibt sich demnach aus dem direkten Vergleich der Messungen an den einzelnen Mikrofonpositionen vor und nach Einbau der Maßnahme.

Die Differenz $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-NR}$ beschreibt die Wirkung der Maßnahme durch den Vergleich der Schallpegel identischer Züge im Bereich der Maßnahme und am Referenzabschnitt.

Die Differenzen $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{V-VR}$ und $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{NR-VR}$ werden zur Korrektur verwendet (s. folgenden Abschnitt).

8.5 Korrektur der Pegeldifferenzen

Im Allgemeinen sind die Beträge der Pegeldifferenzen $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{V-VR}$ und $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{NR-VR}$ der Kontrollmessungen ungleich Null, da Test- und Referenzabschnitt aus akustischer Sicht in der Regel nicht absolut gleichwertig sind bzw. da eine signifikante Veränderung des akustischen Zustands zwischen Vor- und Nachmessung stattgefunden hat. Die Differenzen sind $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-V}$ und $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-NR}$ sind daher entsprechend zu korrigieren:

$$(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-V} = (\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-V} - (\Delta L_{j,k})_{MP}^{NR-VR} \quad (8.2.a)$$

$$(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-NR} = (\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-NR} - (\Delta L_{j,k})_{MP}^{V-VR} \quad (8.2.b)$$

Für die nachfolgenden Auswertungsschritte (Abschnitt 8.6) sind $(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-V}$ und $(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-NR}$ zu verwenden. Die Korrekturen gemäß Gl. (8.2) gehen von der Grundannahme aus, dass zeitliche Veränderungen der Schallemission z.B. wegen Zunahme der Schienenrauheit auf

Test- und Referenzabschnitt gleich erfolgen. Diese Annahme ist auf Basis von Rauheitsmessungen zu überprüfen.

8.6 Berechnung von Stundenmittelungspegeln nach Schall 03

Die Differenzen $(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-V}$ und $(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-NR}$ werden mit den Ergebnissen einer Computersimulation auf der Basis des Ausbreitungsmodells der Schall 03 verglichen, um daraus ggf. die Höhe H_E bestimmen zu können.

Folgende Schritte sind zu durchlaufen:

1. Es ist ein Computermodell für die örtliche Situation von Test- und Referenzabschnitt mittels einer für Ausbreitungsrechnungen nach Schall 03 validierten Software zu erstellen.
2. Als Immissionsorte sind die Mikrofonpositionen an Test- und Referenzabschnitt zu wählen.
3. Die Schallschutzmaßnahme ist entsprechend ihrer Geometrie als Hindernis im Ausbreitungsweg zu modellieren.
4. Für jede Zugkategorie und jede Geschwindigkeitsklasse werden Stundenmittelungspegel als Oktavspektrum (nur bei Auswertung nach Schall 03 neu) und als Summenpegel berechnet. Als Zuglänge wird jeweils die mittlere Länge aller ausgewerteten Züge in der Zugkategorie und Geschwindigkeitsklasse angesetzt. Folgende Pegel sind zu berechnen:

$L_{Am,1h,j,k,MP}^{OM}$ A-bewerteter Stundenmittelungspegel der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für einen Immissionspunkt, der Messpunkt MP im Testabschnitt ohne Maßnahme entspricht

$L_{Am,1h,j,k,MP}^{MM}$ A-bewerteter Stundenmittelungspegel der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für einen Immissionspunkt, der Messpunkt MP im Testabschnitt mit Maßnahme entspricht

$L_{Am,1h,j,k,MP}^{REF}$ A-bewerteter Stundenmittelungspegel der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für einen Immissionspunkt, der Messpunkt MP im Referenzabschnitt entspricht

Sofern zwischen Referenzabschnitt und Testabschnitt ohne Maßnahme keine Unterschiede bestehen, kann auf die Berechnung von $L_{Am,1h,j,k,MP}^{REF}$ verzichtet werden (in diesem Fall identisch mit $L_{Am,1h,j,k,MP}^{MM}$).

5. Es sind für jeden Immissionsort die Differenzen

$$(\Delta L)_{MP,sim}^{N-V} = 1/(N_j N_k) \sum_{j,k} (L_{Am,1h,j,k,MP}^{MM} - L_{Am,1h,j,k,MP}^{OM}) \quad (8.3.a)$$

$$(\Delta L)_{MP,sim}^{N-NR} = 1/(N_j N_k) \sum_{j,k} (L_{Am,1h,j,k,MP}^{MM} - L_{Am,1h,j,k,MP}^{REF}) \quad (8.3.b)$$

als Mittelwerte über alle Zugkategorien j und alle Geschwindigkeitsklasse k zu berechnen. N_j bezeichnet die Zahl der Zugkategorien und N_k die Zahl der Geschwindigkeitsklassen. Die Berechnung von Gl. (8.3b) entfällt, sofern $L_{Am,1h,j,k,MP}^{REF} = L_{Am,1h,j,k,MP}^{OM}$.

6. Die auf Basis der Schall 03 berechneten Pegeldifferenzen $(\Delta L)_{MP,sim}^{N-V}$ und $(\Delta L)_{MP,sim}^{N-NV}$ sind mit den zugehörigen Messwerten $(\Delta L)_{MP,korr}^{N-V}$ und $(\Delta L)_{MP,korr}^{N-NV}$, die durch Mittelwertbildung bezüglich der Zugkategorien j und der Geschwindigkeitsklassen k aus den $(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-V}$ und $(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-NR}$ (s. Abschnitt 8.4) entstehen, zu vergleichen. Für jeden Messpunkt sind die folgenden Bedingungen zu prüfen (8.3b entfällt, sofern $L_{Am,1h,j,k,MP}^{REF} = L_{Am,1h,j,k,MP}^{OM}$):

$$(\Delta L)_{MP,sim}^{N-V} \geq (\Delta L)_{MP,korr}^{N-V} \quad (8.4.a)$$

$$(\Delta L)_{MP,sim}^{N-NR} \geq (\Delta L)_{MP,korr}^{N-NR} \quad (8.4.b)$$

Sind die Bedingungen aus den Gl. (8.4) nicht erfüllt, so führt die Beschreibung der Maßnahme als Hindernis im Ausbreitungsweg zu einer Überschätzung ihrer Wirkung und ist damit ungeeignet für Ausbreitungsrechnungen gemäß der 16. BImSchV. In diesem Fall ist zu prüfen, ob die Beschreibung durch eine Ersatzschallschutzwand mit einer geeignet zu wählenden Höhe H_E möglich ist.

Sind die Bedingungen aus den Gl. (8.4) eingehalten, so ist sichergestellt, dass bei Berücksichtigung der Maßnahme bei Ausbreitungsrechnungen gemäß Schall 03 die berechneten Beurteilungspegel keine Benachteiligung von Immissionsorten verglichen mit konventionellen Schallschutzwänden, die der Richtlinie 804.5501 [2] entsprechen, auftritt. Allerdings verbleibt die Möglichkeit einer Unterschätzung der Wirksamkeit. Auch in diesem Falle ist zu prüfen, ob die Beschreibung durch eine Ersatzschallschutzwand mit einer geeignet zu wählenden Höhe H_E möglich ist.

Anmerkung: Die Bedingungen der Gl. (8.4) sind für alle Oktaven im Frequenzbereich von 63 Hz bis 8 kHz einzuhalten.

8.6.1 Beschreibung der Maßnahme durch eine Ersatzschallschutzwand

Führt die Modellierung einer Schallschutzmaßnahme auf dem Ausbreitungsweg als Hindernis im Sinne der Schall 03 nicht zu befriedigenden Ergebnissen, weil z.B. die Wirkung unter- oder überschätzt wird, so ist alternativ zu prüfen, ob die Modellierung in Form einer Ersatzschallschutzwand möglich ist. Dazu sind die zuvor genannten Schritte 1. – 6. zu durchlaufen, wobei folgende Änderungen zu beachten sind:

- Schritt 3: An Stelle der tatsächlichen Geometrie der Maßnahme wird eine Schallschutzwand einer Höhe H im Abstand von 3,8 m von der Gleisachse im Modell angesetzt.
- Beginnend mit dem Anfangswert $H=0,1$ m ist H iterativ in Schritten von 0,1 m zu erhöhen und für jeden Wert von H ist die Einhaltung der Bedingungen aus Gl. (8.4) zu prüfen.
- Die Iteration wird beendet, sobald mindestens eine der Bedingungen der Gl. (8.4) für mindestens eine Oktave im Frequenzbereich von 63 Hz bis 8 kHz nicht mehr eingehalten ist.

H_E ergibt sich aus der Höhe des letzten Iterationsschritts, bei dem die Bedingungen aus Gl. (8.4) noch eingehalten sind.

8.7 Dokumentation

Für die Dokumentation gelten die allgemeinen Vorgaben aus Kapitel 6. Weiterhin sind in tabellarischer Form zu dokumentieren:

- Die Mittelwerte der Pegel $L_{Am,1h,j,k,n,Nach,MP}$, $L_{Am,1h,j,k,n,Vor,MP}$, $L_{Am,1h,j,k,n,Nach,Ref,MP}$, $L_{Am,1h,j,k,n,Vor,Ref,MP}$ innerhalb jeder Zugkategorie und Geschwindigkeitsklasse für alle Messpunkte MP.
- Die Differenzen $(\Delta L)_{MP}^{N-V}$, $(\Delta L)_{MP}^{N-NR}$, $(\Delta L)_{MP}^{V-VR}$, $(\Delta L)_{MP}^{NR-VR}$, $(\Delta L)_{MP,korr}^{N-V}$, $(\Delta L)_{MP,korr}^{N-NR}$ separat für jede Zugkategorie und Geschwindigkeitsklasse für alle Messpunkte MP. Differenzen sind als Terzspektren, Oktavspektren und Summenpegel anzugeben.
- Die Zahl $N_{j,k}$ der ausgewerteten Zugvorbeifahrten in der Zugkategorie j und in der Geschwindigkeitsklasse k .
- Die mittlere Geschwindigkeit in jeder Geschwindigkeitsklasse.
- Pegelschriebe repräsentativerer Zugvorbeifahrten für jede Zugkategorie an Test- und Referenzabschnitt.

8.8 Dokumentation der Berechnungsergebnisse nach Schall 03

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen sind wie folgt zu dokumentieren:

- Verwendete Software mit Versionsnummer
- Grundlagen der Modellerstellung (Herkunft und Genauigkeit der verwendeten Höhendaten etc.),
- Berechnete Stundenmittelungspegel $L^{OM}_{Am,1h,j,k,MP}$, $L^{MM}_{Am,1h,j,k,MP}$ und $L^{REF}_{Am,1h,j,k,MP}$ pro Mess- bzw. Immissionspunkt für jede Zugkategorie und Geschwindigkeitsklasse als Oktavpegel und Summenpegel,
- Differenzen entsprechend Gl. (8.2a) und Gl. (8.2b) in Kapitel 8.5,
- Bei Prüfung einer Ersatzschallschutzwand: Dokumentation der Ergebnisse aus der Iteration entsprechend Kapitel 8.6.1,
- Bei Differenzen zwischen Messungen und Simulation: Angabe möglicher Ursachen und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise.