

SCHALLIMMISSIONSSCHUTZ
ERSCHÜTTERUNGSSCHUTZ
BAUDYNAMIK & BAUPHYSIK
TECHNISCHE AKUSTIK

Messstelle zur Ermittlung der Emission
und Immission von Geräuschen und
Erschütterungen nach § 26 BImSchG

Schallschutzprüfstelle DIN 4109
Zertifikat: VMPPA-SPG-203-00-HE

Fehlheimer Str. 24 □ 64683 Einhausen
Telefon (06251) 9646-0
Telefax (06251) 9646-46

E-Mail: info@fritz-ingenieure.de
www.fritz-ingenieure.de

Bericht Nr.: **14129-VVE-1**
Datum: **30.04.2015**

ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHE UNTERSUCHUNG

Vorhaben:

H044 Ortsdurchfahrt Leimen

Untersuchungsumfang:

Ermittlung und Beurteilung der Einwirkungen
durch schienenverkehrsinduzierte Immissionen
aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall
auf Menschen in Gebäuden

Auftraggeber:

Rhein-Neckar-Verkehr GmbH
Möhlstraße 27
68165 Mannheim

Sachbearbeiter:

Dipl.-Ing. Rolf Schneider

Qualitätskontrolle:

Dipl.-Phys. Magnus Holz

Umfang des Dokumentes

Textteil: 28 Seiten

| | |
|-----------|----------|
| Anhang 1: | 1 Seite |
| Anhang 2: | 5 Seiten |
| Anhang 3: | 1 Seite |
| Anhang 4: | 3 Seiten |
| Anhang 5: | 1 Seite |
| Anhang 6: | 3 Seiten |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Zusammenfassung | 5 |
| 2 | Sachverhalt und Aufgabenstellung | 6 |
| 3 | Bearbeitungsgrundlagen | 7 |
| 3.1 | Rechtsgrundlagen und Regelwerke | 7 |
| 3.2 | Planunterlagen | 8 |
| 4 | Beschreibung des Planvorhabens | 9 |
| 4.1 | Baumaßnahme | 9 |
| 4.2 | Immissionsschutzrechtliche Einstufung | 9 |
| 4.3 | Bebauung im Einwirkungsbereich | 10 |
| 5 | Anforderungen an den Immissionsschutz | 10 |
| 5.1 | Erschütterungen | 10 |
| 5.1.1 | Beurteilungsverfahren | 11 |
| 5.1.2 | Anhaltswerte | 11 |
| 5.1.3 | Kriterien einer wesentlichen Änderung | 12 |
| 5.2 | Sekundärer Luftschall | 13 |
| 5.2.1 | Grundlagen der Beurteilung | 13 |
| 5.2.2 | Kriterien einer wesentlichen Änderung | 15 |
| 6 | Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise | 15 |
| 6.1 | Prognose | 16 |
| 6.1.1 | Emission | 16 |
| 6.1.2 | Transmission | 17 |
| 6.2 | Immissionen | 18 |
| 6.3 | Betriebsparameter | 20 |
| 6.3.1 | Fahrzeuge, Zugzahlen, Geschwindigkeiten, Oberbau | 20 |
| 6.3.2 | Ermittlung von Einwirkzeiten | 21 |
| 7 | Untersuchungsergebnisse | 22 |
| 7.1 | Erschütterungen – Prognose-Planfall | 23 |
| 7.2 | Sekundärer Luftschall – Prognose-Planfall | 24 |
| 7.3 | Sachverhalt einer „wesentlichen Änderung „ | 25 |
| 8 | Maßnahmen zur Konfliktbewältigung | 26 |

9 Abschließende Bemerkungen **27**

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-------------|---------------------------------|----|
| Abbildung 1 | Übertragung von Erschütterungen | 16 |
|-------------|---------------------------------|----|

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabelle 1 | Anhaltswerte A zur Beurteilung von Erschütterungen | 12 |
|-----------|--|----|

Anhänge

| | |
|----------|---|
| Anhang 1 | Übersichtslageplan |
| Anhang 2 | Emissionen |
| Anhang 3 | Transmissionen |
| Anhang 4 | Immissionen mit Standardoberbau |
| Anhang 5 | Einfügedämmung der oberbautechnische Schutzmaßnahme |
| Anhang 6 | Immissionen mit empfohlener Maßnahme |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--------------------|---|
| A | Anhaltswert |
| A _o | oberer Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-] |
| A _r | Beurteilungs-Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-] |
| A _u | unterer Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-] |
| BImSchG | Bundes-Immissionsschutzgesetz |
| BImSchV | Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz |
| D | Korrektursummand zur Berücksichtigung der Raumnutzung [dB] |
| [dB(A)] | Dezibel, A-bewertet |
| D _E | Einfügedämmung [dB] |
| ΔL | Pegeldifferenz [dB] |
| f | Frequenz [Hz] |
| Hz | Hertz, Schwingungen je Sekunde [s ⁻¹] |
| IP | Immissionsort |
| L _i | A-bewerteter sekundärer Luftschallpegel [dB(A)] |
| L _{r,i} | Beurteilungs-Innenschallpegel [dB(A)] |
| L _{r,sek} | Beurteilungspegel für den sekundären Luftschall [dB(A)] |
| L _{vA} | A-bewerteter Körperschallschnellepegel in Fußbodenmitte [dB(A)] |
| KB _{FTi} | Taktmaximalwert [-] |
| KB _{FTm} | Taktmaximal-Effektivwert [-] |
| KB _{Fmax} | maximale bewertete Schwingstärke [-] |
| KB _{FTr} | Beurteilungsschwingstärke [-] |
| n | Abnahmekoeffizient gemäß DIN 4150-1 [-] |
| N | Anzahl von Zügen [-] |
| r | Abstand [m] |
| ÖPNV | Öffentlicher Personennahverkehr |
| σ | Abstrahlgrad des betrachteten Bauteils [-] |
| v | Schwingschnelle [mm/s] |
| v ₀ | Referenzwert für die Schwingschnelle [5 · 10 ⁻⁸ m/s] |
| v _{max} | Höchstgeschwindigkeit [km/h] |
| VwVfG | Verwaltungsverfahrensgesetz |
| WA | Allgemeines Wohngebiet |

1 Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit dem geplanten baulichen Eingriff in die zwischen Heidelberg und Leimen verkehrende Stadtbahnstrecke wurde geprüft, ob Immissionskonflikte aus vorhabensbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall zu erwarten sind. Die Ergebnisse der Untersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Für insgesamt 3 Gebäude im unmittelbaren direkten Einwirkungsbereich der geplanten Stadtbahnstrecke wurden die zu erwartenden Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall unter Berücksichtigung der messtechnisch erhobenen Übertragungsfunktionen prognostiziert und gemäß den Anforderungen der **DIN 4150-2** bzw. der **24. BImSchV** beurteilt. In 2 der messtechnisch untersuchten Gebäude wird eine Konfliktfreiheit bezüglich erheblich belästigender Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall prognostiziert. Für das dritte Gebäude, welches sich im Nahbereich einer neuen Weichenverbindung befindet können mögliche erhebliche Belästigungen nicht ausgeschlossen werden.
- Durch die neue Weiche und das Heranrücken des neuen zweiten Gleises an die bestehende Bebauung kommt es in dem Weichenbereich zu einer „wesentlichen Erhöhung“ der Immissionen im Prognose-Planfall gegenüber der erschütterungstechnischen Vorbelastung (Prognose-Nullfall). Somit besteht dem Grunde nach ein Rechtsanspruchs auf erschütterungsmindernde Maßnahmen.
- In den restlichen Streckenabschnitten, in denen sich die Abstände zwischen der schutzbedürftigen Bebauung und der nächstgelegenen Gleisachse im Prognose-Plan-Fall gegenüber dem Prognose-Null-Fall reduzieren, können mit dem Standard-Oberbau sowohl die Anhaltswerte der **DIN 4150-2** für Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden als auch die Immissionsrichtwerte in Anlehnung an die **24. BImSchV** für sekundären Luftschall eingehalten oder unterschritten werden.
- Daher empfehlen wir den neuen Weichenbereich in Höhe der Gebäude Römerstraße 47 - 51 mit einem Überstand von mindestens 5 m in alle Richtungen elastisch zu lagern.

- ❑ In dem genannten Streckenabschnitt sind über den Standardoberbau hinausgehende oberbautechnische Maßnahmen, wie z. B. der Einbau von schwingungsdämpfenden Matten unterhalb des Gleiskörpers, zur Reduzierung der von den Gleisanlagen ausgehenden Schwingungsemissionen vorzusehen. Die Maßnahmen sind so auszulegen, dass die Anhaltswerte der für die Immissionsbelastung nach o.g. DIN eingehalten werden.
- ❑ Als Schutzvorkehrung ist es erforderlich, in diesem Abschnitt die Matten oder sonstige elastische Elemente so zu bemessen, dass die Oberbaueigenfrequenz des gewählten Systems $25 \text{ Hz} \pm 2 \text{ Hz}$ beträgt. Die Oberbaueigenfrequenz wird im Folgenden in Kapitel 8 erläutert.

2 Sachverhalt und Aufgabenstellung

Die Rhein-Neckar-Verkehr GmbH plant unter der Invest-Nr. H044 die Erneuerung der Stadtbahntrasse der Linie 23 in Leimen im Bereich zwischen der Haltestelle Kurpfalz-Centrum und der Endhaltestelle Leimen Friedhof. Hierbei soll die eingleisige Trasse bereichsweise auf zwei Gleise erweitert werden.

Beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge kommt es im Kontaktbereich zwischen Rad und Schiene zu Schwingungsanregungen, die auf Störungen des stationären Abrollvorganges zurückzuführen sind. Verantwortlich hierfür sind einerseits Inhomogenitäten der Schiene, andererseits auch das Rad selbst, das in der Regel einen ungleichmäßigen Verschleiß erfährt. Die impulsförmige Anregung des Radsatzes und des Gleiskörpers wiederum hat die Anregung von Eigenschwingungen des Gesamtsystems zur Folge.

Die aus den dynamischen Lasten resultierenden Schwingungen des Gleisoberbaus werden über den Untergrund auf nahe stehende Gebäude übertragen, die ihrerseits zu Schwingungen angeregt werden. Die auftretenden Schwingungsamplituden sind in der Regel so gering, dass Bauwerksschäden als Folge der dynamischen Beanspruchung ausgeschlossen werden können. Dennoch können Schwingungen bereits bei geringen Schwingstärken zu Beeinträchtigungen des Wohlbefindens von Menschen in Gebäuden führen. Über die Geschossdecken werden Schwingungen des Gebäudekörpers auf den Menschen übertragen, die vom Körper direkt als mechanische Schwingungsmissionen wahrgenommen werden. Wei-

terhin führen die in ein Bauwerk eingeleiteten Schwingungen zu einer Schallabstrahlung der Raumbegrenzungsflächen in Form von hörbarem (sekundärem) Luftschall. Selbst Immissionen, die als mechanische Schwingungen nicht mehr spürbar sind, können dann akustisch wahrnehmbar sein.

Geräusche und Erschütterungen zählen gemäß **§ 3** des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (**BImSchG**) /1/ je nach Stärke und Wahrnehmbarkeit zu den Immissionen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen.

Im Rahmen der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung ist zu prüfen, welche Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall beim künftigen Betrieb der Strecke zu erwarten sind und ob diese zu erheblichen Belästigungen von Menschen in Gebäuden führen können. Soweit relevante Konfliktpotentiale festgestellt werden, sind geeignete Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung bzw. zur Minimierung der Immissionskonflikte zu erarbeiten.

Darüber hinaus werden die schienenverkehrsinduzierten Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall im Prognose-Nullfall, das heißt ohne Umsetzung des Planvorhabens, und im Prognose-Planfall, das heißt nach Realisierung des Projektes miteinander verglichen. Hierbei wird geprüft, ob durch das Planvorhaben eine „**wesentliche Änderung**“ der Immissionsbelastung zu erwarten ist.

3 Bearbeitungsgrundlagen

3.1 Rechtsgrundlagen und Regelwerke

Der durchgeführten erschütterungstechnischen Untersuchungen liegen die folgenden Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Regelwerke zu Grunde:

- /1/ Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der aktuell gültigen Fassung

- /2/ Verwaltungs-Verfahrensgesetz (VwVfG) in der aktuell gültigen Fassung
- /3/ 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990, geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18. Dezember 2014
- /4/ 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV) vom 4. Februar 1997 in ihrer berichtigten Fassung vom 16. Mai 1997
- /5/ Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom 21.12.2010, BVerwG 7 A 14.09
- /6/ DIN 4150, Teil 1 „Erschütterungen im Bauwesen – Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Juni 2001
- /7/ DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, Juni 1999
- /8/ DB-Leitfaden für den Planer, Körperschall- und Erschütterungsschutz, in der aktuell gültigen Fassung
- /9/ Bodendynamik, Grundlagen und Anwendungen; Herausgeber Wolfgang Haupt; 1986
- /10/ Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen, Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Bericht Nr. 107

3.2 Planunterlagen

Zur Bearbeitung wurden die nachfolgenden Planunterlagen und Schriftsätze herangezogen:

- /11/ H044 Ortsdurchfahrt Leimen; Messtechnische Ermittlung der baulastdynamischen Kenndaten in 3 exemplarischen Gebäuden als Basis für

die Erschütterungsprognose, FRITZ GmbH, Bericht Nr. 14129-VME-1 vom 30.04.2015

- /12/ Digitaler Lage- und Katasterplan zur Bestands- und Plansituation der Stadtbahnstrecke im betrachteten Bereich, zur Verfügung gestellt von der Rhein-Neckar-Verkehr GmbH, Stand: 12.11.2012
- /13/ Vorabzüge des Bebauungsplanes für das Gebiet Bergfriedhof
- /14/ Bebauungsplan aus dem Online-Kartendienst der Stadt Leimen sowie Skizze mit ergänzten Gebietsnutzungen, zur Verfügung gestellt von der Stadtverwaltung Leimen am 25.04.2014
- /15/ Angaben zu den ÖV-Fahrten auf der Bestandsstrecke sowie auf der Planstrecke, bereitgestellt von der Rhein-Neckar-Verkehr GmbH, Stand: 24.03.2014

4 Beschreibung des Planvorhabens

4.1 Baumaßnahme

Die derzeitig größtenteils eingleisig verlaufende Bestandsstrecke der Linie 23 soll nach der Haltestelle Kurpfalz Centrum bis zur Haltestelle Moltkestraße zweigleisig ausgebaut werden. Hierbei rückt das neue 2. Gleis in nordöstlicher Richtung bis auf 5 m an die bestehenden Gebäude heran. Im Bereich der Haltestelle Moltkestraße erfolgt der Einbau eines Weichenbereiches. Ab der Nußlocher Straße verläuft das neue Gleis in etwa der gleichen Lage wie das Bestandsgleis. Der Streckenverlauf der Stadtbahntrasse im Bestands- und Planfall ist im Lageplanausschnitt in **Anhang 1** dargestellt. Die Trasse verläuft im Planfall zu einem großen Teil als straßenbündiger Bahnkörper. Die Ausführung im Bereich der Moltkestraße als besonderer Bahnkörper und im Bereich der Nusslocher Straße als Rasengleis ist demgegenüber parallel zur Straße in Seitenlage vorgesehen.

4.2 Immissionsschutzrechtliche Einstufung

Im Untersuchungsbereich besteht durch den ÖPNV bereits eine erschütterungstechnische Vorbelastung, die bei der Anspruchsberechtigung auf erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen berücksichtigt werden muss.

Für den Fall, dass in der umliegenden, schutzbedürftigen Bebauung eine Überschreitung der Anforderungswerte festgestellt wird ist zunächst zu prüfen, ob sich aus dem Planvorhaben eine „wesentliche Erhöhung“ der schienenverkehrsinduzierten Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall ergibt. Nur für den Fall, dass sowohl die Anforderungswerte überschritten werden und gleichzeitig eine „wesentliche Erhöhung“ vorliegt ist die Vorhabenträgerin dem Grunde nach dazu verpflichtet, dem Grundsatz der Konfliktvermeidung bzw. der Konfliktlösung folgend, geeignete Maßnahmen zu ergreifen, mit denen die Verträglichkeit des Vorhabens gewährleistet werden kann.

4.3 Bebauung im Einwirkungsbereich

Die umliegende schutzwürdige Bebauung im Bereich des Planvorhabens befindet sich zum größten Teil im Allgemeinen Wohngebiet (**WA**). In zwei Bereichen der Trasse ist Kerngebiet (**MK**) bzw. Mischgebiet (**MI**) vorhanden. Im Bereich Hirtenwiesenstraße / Nußlocher liegt ein Altenwohnheim, das in einem Sondernutzungsgebiet (**SO**). Bei den Gebäuden handelt es vorwiegend um Wohngebäude.

5 Anforderungen an den Immissionsschutz

5.1 Erschütterungen

Im Gegensatz zu schalltechnischen Problemstellungen existieren derzeit keine gesetzlichen Bestimmungen, in denen Grenzwerte für Erschütterungsimmissionen festgelegt sind. Daher werden die in Fachkreisen allgemein anerkannten Anhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** /7/ zur Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden herangezogen. Bei Einhaltung dieser Anhaltswerte kann davon ausgegangen werden, dass die Erschütterungen keine „erheblich belästigenden“ Einwirkungen darstellen. Erhebliche Belästigungen stellen die niedrigste Qualifikationsstufe schädlicher Umwelteinwirkungen dar.

Die Rechtsgrundlage für Ansprüche auf Schutzmaßnahmen ist in **§ 74 (2) Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG)** /2/ begründet. Hiernach sind dem Träger eines Vorhabens Vorkehrungen oder die Einrichtung und Unterhaltung von Anlagen aufzuerlegen, die zum Wohl der Allgemeinheit oder zur Vermeidung nachteiliger Wirkungen erforderlich sind. Sind solche Vorkehrungen oder Anlagen untunlich, das heißt mit angemessenem Aufwand

zum Schutzzweck nicht realisierbar, oder sind die Maßnahmen mit dem Vorhaben nicht vereinbar, so besteht ein entsprechender Entschädigungsanspruch.

5.1.1 Beurteilungsverfahren

Zur Beurteilung der Erschütterungsimmissionen im Einwirkungsbereich von Bahnanlagen sind gemäß **DIN 4150-2** /7/ zwei Beurteilungsgrößen heranzuziehen:

- ☐ die maximale zeit- u. frequenzbewertete Schwingstärke **KB_{Fmax}**,
- ☐ die Beurteilungsschwingstärke **KB_{FTr}**.

Beide Beurteilungsgrößen sind getrennt für die drei Richtungskomponenten X, Y (horizontal) und Z (vertikal) zu ermitteln. Der jeweils größte der drei Werte ist der Beurteilung zu Grunde zu legen. Die Beurteilung erfolgt anhand der Kriterien **A_u** (für **KB_{Fmax}**) und **A_r** (für **KB_{FTr}**). Ist **KB_{Fmax}** kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert **A_u**, so werden die Anforderungen der Norm erfüllt. Dann gilt als nachgewiesen, dass die schienenverkehrsinduzierten Erschütterungsimmissionen **nicht** als „**erheblich belästigend**“ einzustufen sind. Übersteigt die maximale bewertete Schwingstärke den unteren Anhaltswert, erfolgt die Beurteilung in einem weiteren Prüfschritt auf Basis der Beurteilungsschwingstärke **KB_{FTr}** im Vergleich zu dem Beurteilungsanhaltswert **A_r**. Hierbei kennzeichnet der **KB_{Fmax}**-Wert den Maximalwert aller einzelnen Zugvorbeifahrten. Der **KB_{FTr}**-Wert ist der Mittelwert aller Zugvorbeifahrten über den jeweiligen Beurteilungszeitraum (Tag / Nacht).

5.1.2 Anhaltswerte

Die Anhaltswerte A zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen werden in Tabelle 1 der **DIN 4150-2** jeweils in Abhängigkeit von der Art der baulichen Nutzung der Umgebung des Einwirkungsortes sowie für den Tag- und den Nachtzeitraum festgelegt.

Für oberirdisch geführten Schienenverkehr des ÖPNV nennt die DIN 4150-2 eine Sonderregelung. Gemäß Ziffer 6.5.3.3 dürfen die Au- und Ar-Werte nach DIN 4150-2 um den Faktor 1,5 angehoben werden. Dieser Faktor ist bei den in der Tabelle 1 angegebenen Anhaltswerten bereits berücksichtigt.

Tabelle 1 Anhaltswerte A zur Beurteilung von Erschütterungen

| Zeile | Einwirkungsort | tags | | nachts | |
|-------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | A _u | A _r | A _u | A _r |
| 1 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichtspersonal und Bereitschaftspersonen untergebracht sind | 0,600 | 0,300 | 0,450 | 0,225 |
| 2 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind | 0,450 | 0,225 | 0,300 | 0,15 |
| 3 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind | 0,300 | 0,150 | 0,225 | 0,105 |
| 4 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind | 0,225 | 0,105 | 0,150 | 0,075 |
| 5 | Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen | 0,150 | 0,075 | 0,150 | 0,075 |

5.1.3 Kriterien einer wesentlichen Änderung

Nach der aktuellen Rechtsprechung /5/ müssen sich Betroffene vorhandene Vorbelastungen aus Erschütterungsimmissionen zurechnen lassen, d.h. dass die Vorbelastung bei der Prüfung möglicher Vorsorgeansprüche und bei der Abwägung geeigneter Schutzvorkehrungen zu berücksichtigen ist. In diesem Zusammenhang wird auf die Rechtsprechung des Gerichtes zum primären Luftschall vor Inkraftsetzung der **16. BImSchV** /3/ verwiesen. Demgemäß können nach der gegenwärtigen Rechtslage reale und geldwerte Ausgleichsansprüche beim Vorhandensein erheblich belästigender Erschütterungsimmissionen an baulich geänderten Schienenverkehrswegen nur dann bestehen, wenn die Vorbelastung durch bestehende Bahnanlagen durch das Hinzutreten weiterer Erschütterungseinwirkungen in beachtlicher Weise erhöht wird und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche, unzumutbare Beeinträchtigung liegt. Dies wird auch durch das aktuelle Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes /5/ bestätigt. Unter Punkt

14 des Urteils wird angeführt, dass ein Erschütterungsschutz nur dann verlangt werden kann, wenn die Erschütterungsbelastung durch den Ausbau in **beachtlicher** Weise erhöht und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche, dem Betroffenen billigerweise nicht mehr zumutbare Belastung liegt.

Im Zusammenhang mit der Frage, welche Erhöhung der Erschütterungsimmission eine unzumutbare Beeinträchtigung darstellt, bestätigt das Gericht dass eine Verstärkung der Erschütterungen dann wesentlich ist, wenn diese sich gegenüber der Vorbelastung um mindestens **25 %** erhöht. Hierbei wird die Festsetzung der Größe dieser Wahrnehmungsschwelle durch empirische hinreichend abgesicherte Erkenntnisse gestützt. Die Ergebnisse einer Laborstudie im Auftrag der Deutschen Bahn AG können hierzu herangezogen werden.

Die Untersuchungen der Laborstudie kommen zu dem Ergebnis, dass eine Erschütterungsdifferenz von 25 % Erhöhung "praktisch als Labor-Unterschiedsschwelle" anzusehen ist. Bei der Durchführung der Laboruntersuchungen, bei denen mehrere Probanden Erschütterungssignale zur Beurteilung angeboten wurden, wurden strenge Vergleichsbedingungen mit kurzen Pausen (ca. 3 Sekunden) zwischen den beiden angebotenen Signalen (Reiz- und Vergleich) angewendet. Es wird darauf hingewiesen, dass unter realen Bedingungen die Pausenstruktur zwischen den einzelnen Zugvorbeifahrten wesentlich größer ist, so dass die Wahrnehmung von Erschütterungsdifferenzen bei größeren Reizdifferenzen zu erwarten ist.

5.2 Sekundärer Luftschall

5.2.1 Grundlagen der Beurteilung

Zur Beurteilung des sekundären Luftschalls werden die aus den Korrektursummanden D in Tabelle 1 der **24. BImSchV** abgeleiteten Innenpegel (Korrektursummand D zuzüglich 3 dB(A)) als Beurteilungsmaßstab herangezogen. Die Korrektur von **3 dB** berücksichtigt, dass die Dämmwirkung von Außenbauteilen bei gerichtet einfallendem Schall geringer ausfällt als im diffusen Schallfeld. Die 16. BImSchV sieht einen „Schienenbonus“ als Lästigkeitsabschlag bei der Ermittlung des Beurteilungspegels von schienenverkehrsinduziertem Lärm vor.

Für die Ermittlung und die Beurteilung von Geräuschemissionen aus sekundärem Luftschall bestehen derzeit weder normative Festsetzungen noch gültige Rechtsverordnungen. Daher ist es erforderlich, sich für eine sachgerechte Beurteilung an anderen Gesetzen, Verordnungen und Regelwerken auf Grundlage von Plausibilitätsbetrachtungen zu orientieren. Im vorliegenden Fall werden zur Beurteilung sekundärer Luftschallmissionen Anforderungswerte aus der Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (**24. BImSchV**) /4/ abgeleitet.

Die 24. BImSchV sieht mit dem „Schienenbonus“ einen Lästigkeitsabschlag bei der Ermittlung des Beurteilungspegels von schienenverkehrsinduziertem Lärm vor. Die Anwendung des Schienenbonus in Höhe von 5 [dB(A)] wurde von dem Bundesverwaltungsgericht /5/ bestätigt.

Die Anwendung des Schienenbonus in Höhe von 5 dB(A) wird vom Bundesverwaltungsgericht in einem aktuellen Urteil /5/ bestätigt, in dem sich das Gericht mit der Beurteilung von sekundären Luftschallmissionen befasst. So führt der Senat aus, dass der Berücksichtigung eines Lästigkeitsunterschieds zu Gunsten des Schienenverkehrs im Rahmen der Anwendung von Anforderungswerten der 24. BImSchV für sekundäre Luftschallmissionen nicht die normative Verankerung fehle. Der Schienenbonus sei vielmehr ein Teil eines in sich schlüssigen Regelungskonzeptes.

Durch Artikel 1 des Elften Gesetzes zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ist dieser Abschlag für Schienenbahnen, die ausschließlich der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen vom 11. Dezember 1987 (BGBl. I S. 2648) unterliegen, ab dem 1. Januar 2019 nicht mehr anzuwenden, soweit zu diesem Zeitpunkt für den jeweiligen Abschnitt des Vorhabens das Planfeststellungsverfahren noch nicht eröffnet ist und die Auslegung des Plans noch nicht öffentlich bekannt gemacht wurde.

Daher wurde bei der vorliegenden Untersuchung der Schienenbonus für den sekundären Luftschall **berücksichtigt**.

Die **24. BImSchV** unterscheidet die Anforderungswerte gemäß ihrer Raumnutzung. Im direkten Einwirkungsbereich der geplanten Straßenbahnstrecke befinden sich sowohl Wohngebäude als auch gewerblich genutzte Gebäude. Für die Wohngebäude erfolgt die Beurteilung der sekundären Luftschallmissionen für den Tagzeitraum unter Zugrundelegung

des Anforderungswertes für Wohnräume, für den Nachtzeitraum wird der Anforderungswert für Räume herangezogen, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden. Demzufolge gelten folgende Immissionsrichtwerte für Wohnungen:

$$\begin{aligned} \text{IRW}_{\text{Tag}} &= 40 \text{ dB(A)}, \\ \text{IRW}_{\text{Nacht}} &= 30 \text{ dB(A)}. \end{aligned}$$

5.2.2 Kriterien einer wesentlichen Änderung

Für den sekundären Luftschall wird in Anlehnung an die schalltechnische Problemstellung bei der Bewertung nach **16. BImSchV** /3/ eine Erhöhung der Beurteilungspegel von mindestens **3 dB(A)** als wesentlich erachtet. Ein Anspruch auf Vorsorgemaßnahmen ergibt sich demgemäß infolge einer wesentlichen Erhöhung der Beurteilungspegel bei gleichzeitiger Immissionsrichtwertüberschreitung.

6 Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise

Die Ermittlungen und die Beurteilung verkehrsinduzierter Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall erfolgt in einem zweistufigen Verfahren. Zunächst werden Prognosen für exemplarisch ausgewählte Gebäude erstellt. Um das individuelle Schwingungsverhalten dieser Gebäude berücksichtigen zu können, werden für jeweils drei exemplarische Räume eines Objektes die Übertragungsfunktionen von Geschossdecken durch Messungen ermittelt.

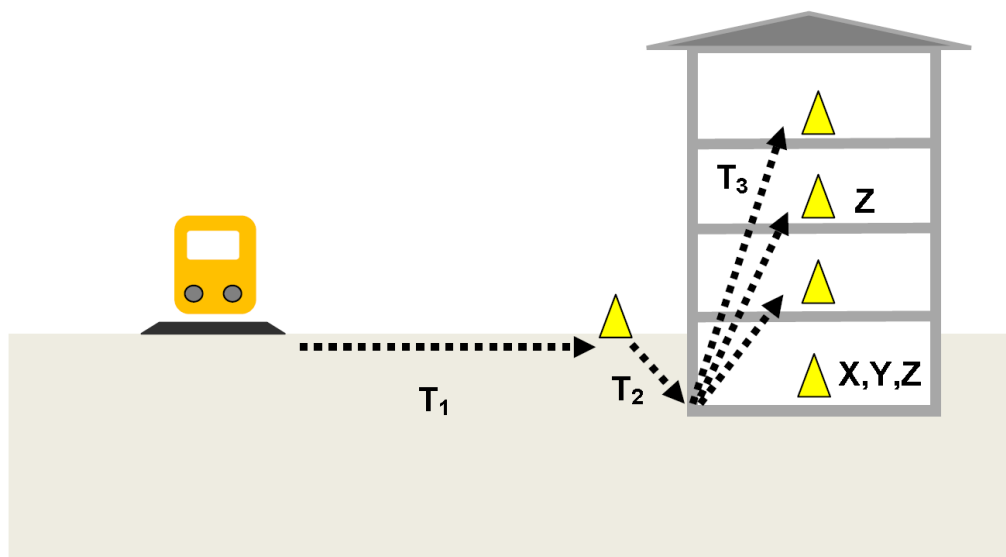
Die Prognosen für die messtechnisch untersuchten Gebäude sind repräsentativ für die umliegende Bebauung. Die Gebäude wurden so ausgewählt, dass für diese bedingt durch die gegebene Bausubstanz bzw. der Lage zur Trasse das größtmögliche Konfliktpotential zu erwarten ist. Sofern für diese Gebäude kein Immissionskonflikt prognostiziert wird, kann davon ausgegangen werden, dass dies auch für die restliche Bebauung im Umfeld der Trasse gilt.

Im Folgenden wird das Vorgehen bei der Prognose von Immissionen aus Erschütterungen und aus sekundärem Luftschall erläutert.

6.1 Prognose

Die Ermittlung der erschütterungstechnischen Beurteilungsgrößen im Untersuchungsraum erfolgt anhand von Ausbreitungsberechnungen für nächstgelegene, exemplarisch ausgewählte Gebäude mit schutzbedürftiger Nutzung im Einwirkungsbereich der Straßenbahntrasse. Die untersuchten Gebäude sind in den Lageplanausschnitten in **Anhang 1** blau gekennzeichnet.

Abbildung 1 Übertragung von Erschütterungen



Hierbei wird ein Quellen- und Ausbreitungsmodell entwickelt, das die Übertragung der Erschütterungen ausgehend von der Quelle (Emittent) bis zum Immissionsort (Gebäude mit schutzwürdigen Nutzungen) abbildet. Bei der Erstellung des Prognosemodells wird von der in **Abbildung 1** skizzierten Übertragungskette ausgegangen. Die dargestellten Übertragungswege werden separat ermittelt und dann zu einer Gesamtübertragungsfunktion überlagert.

6.1.1 Emission

Bei oberirdischen Schienenverkehrswegen wird die **Emission** (Quellstärke) durch die in einem festgelegten Abstand zur Gleisachse im Erdboden gemessenen Schwingstärken charakterisiert. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird ein standardisiertes Emissionsspektrum zu Grunde gelegt. Dieses wurde im Sinne einer oberen Abschätzung als obere Einhüllende aus einer Vielzahl messtechnisch ermittelter Einzelspektren von

Stadt- oder Straßenbahnfahrzeugen mit entsprechendem Oberbau gebildet.

Das für die Prognose herangezogene standardisierte Emissionsspektrum ist in **Anhang 2.1** tabellarisch und graphisch dokumentiert. Für Streckenabschnitte mit unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten wird die Korrekturfunktion in **Anhang 2.2** berücksichtigt. Für Bereiche mit Weichen wurden Korrekturfunktionen zur Berücksichtigung der erhöhten Erschütterungsemissionen angewandt (**Anhang 2.3**).

6.1.2 Transmission

Die entfernungsbedingte Amplitudenabnahme der Schwingschnelle zwischen Emissionsort und einem Ort im Erdreich unmittelbar vor einem Gebäude wird als Transferfunktion T_1 bezeichnet. Diese wird gemäß nachfolgender Gleichung berechnet:

$$T_1 = \left(\frac{R}{R_1} \right)^{-n} e^{(-\alpha(R-R_1))}$$

mit

- n** Exponent, der von Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingungen abhängt;
- α** $\approx 2 \pi D/\lambda$,
Abklingkoeffizient [m^{-1}];
- D** Dämpfungsgrad [%],
- λ** $= c/f$,
Wellenlänge [m];
- c** Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle [m/s],
- f** Frequenz [Hz],
- R_1** Bezugsabstand [m],
- R** Entfernung des Immissionsortes von der Quelle [m].

Aufgrund allgemeiner Erfahrungen kann von **1 %** Dämpfung und von einer Ausbreitungsgeschwindigkeit für die Oberflächenwellen

$$c = 200 \text{ m/s}$$

ausgegangen werden. Der Exponent für den als Linienquelle zu betrachtenden oberirdischen Schienenverkehr liegt bei gerade geführten Streckenabschnitten und Kurvenbereiche gemäß **DIN 4150-1** /6/ zwischen **0,2** und **0,4**. Daher wird dieser Exponent mit

$$n = 0,3$$

berücksichtigt. Im Umfeld von Weichen wird der Exponent auf

$$n = 1,0$$

angehoben, da die resultierenden Erschütterungsemissionen beim Überfahren der Weichenherzstücke eine Punktquelle darstellen.

Die Erschütterungsabnahme, die sich aus der Übertragung der Schwingungen vom Untergrund auf das zu schützende Bauwerk ergibt (**T₂**-Funktion), wird aus Messungen an vergleichbaren Gebäuden herangezogen. Eine graphische Darstellung der **T₂**-Funktion für Gebäude mit ein bis zwei Vollgeschossen findet sich in **Anhang 3**.

Die Schwingungsübertragung vom Gebäudefundament auf die Geschossdecken (**T₃**-Funktionen) innerhalb von Gebäuden wird für die exemplarisch untersuchten Gebäude entsprechend den tatsächlich gegebenen Verhältnissen im Prognosemodells berücksichtigt. Konkret wird mit Hilfe der durch den derzeitigen Schienenverkehr erzeugten Erschütterungsimmissionen die Übertragungsfunktionen der jeweils drei analysierten Räume ermittelt und für die Prognose herangezogen. Die Transferfunktionen **T₃** sind in dem Messbericht vom 30.04.2015 /11/ dokumentiert.

6.2 Immissionen

Als **Erschütterungsimmissionen** werden die bauwerksbezogenen, gemäß **DIN 4150-2** in der Mitte von Räumen ermittelten KB-bewerteten Schwingstärken bezeichnet. Die KB-Bewertung ist eine frequenzbezogene Bezugsbewertungskurve für Erschütterungssignale. Sie wird herangezogen für die Bewertung bei nicht vorgegebener Körperhaltung und setzt sich zusammen aus Elementen der Bewertung von Einwirkungen im Stehen und Sitzen.

Als maßgebende Beurteilungsgröße gemäß **DIN 4150-2** wird in der Vorabschätzung die Beurteilungsschwingstärke **KB_{FT}** ausgewiesen und beurteilt. Da hier die Schwingstärke der Vertikalkomponente (z-Richtung) die der Horizontalkomponenten (x-, y-Richtung) übersteigt, wird die Untersuchung ausschließlich für die Vertikalkomponenten der Erschütterungsmissionen durchgeführt.

Die Prognose des sekundären Luftschallpegels im Innenraum L_i basiert auf dem zuvor berechneten maximalen zeitbewerteten Körperschallschnellepegel L_v . Dies ist der Maximalpegel der Schwingstärke, der im Gegensatz zum KB_{Fmax} -Wert jedoch keiner KB-Bewertung, sondern einer A-Bewertung unterzogen wird. Diese dient der Anpassung des messtechnisch ermittelten Schalldruckpegels an das menschliche Hörempfinden. Der theoretische Zusammenhang zwischen ermittelter Körperschallschnelle und sekundärem Luftschall kann wie folgt beschrieben werden:

$$L_{sek} = L_v + 10 \log \sigma + 10 \log 4S/A$$

Darin bedeuten

| | |
|-----------|---|
| L_{sek} | sekundärer Luftschall des betrachteten Bauteils [dB(A)], |
| L_v | mittlerer A-bewerteter Körperschallschnellepegel des betrachteten Bauteils [dB(A)], |
| σ | Abstrahlgrad des betrachteten Bauteils [-], |
| S | Fläche des betrachteten Bauteils [m²], |
| A | äquivalente Absorptionsfläche des Raumes [m²]. |

In der Praxis lässt sich die genannte Beziehung jedoch nur schwer anwenden, da die Körperschallschnelle nicht nur in Deckenmitte, sondern von allen betrachteten Bauteilen (also auch Wände und Decke) gemessen werden müssten. Weiterhin ist die Bestimmung des Abstrahlgrades mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Im vorliegenden Fall wird daher zur Bestimmung des sekundären Luftschalls der Leitfaden „Körperschall und Erschütterungsschutz“ der DB AG /8/ herangezogen. Hierin ist ein linearer Zusammenhang zwischen A-bewerteter Körperschallschnelle und sekundärem Luftschallpegel für verschiedene Zugattungen und Deckenkonstruktionen beschrieben. Die hierin angegebenen Regressionsbeziehungen gelten jedoch allgemein für Bahnstrecken. Im Sinne einer oberen Abschätzung werden im vorliegen-

den Fall die Angaben für S-Bahn-Strecken herangezogen. Demnach gelten für den sekundären Luftschall aus dem Betrieb von Straßenbahnfahrzeugen folgende Regressionsbeziehungen:

- $L_i = 17,6 + 0,62 L_{vA}$ [dB(A)] bei Betondecken,
- $L_i = 27,5 + 0,34 L_{vA}$ [dB(A)] bei Holzbalkendecken.

Dabei bedeuten

L_i A-bewerteter sekundärer Luftschallpegel [dB(A)],
 L_{vA} A-bewerteter Körperschallschnellepegel [dB(A)].

Die Ermittlung des A-bewerteten Körperschallschnellepegels L_{vA} erfolgt anhand der messtechnisch ermittelten spektralen Körperschallschnellepegel L_v (maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}). Anstelle der Bewertungsfunktion T_{KB} , mit der bisher die KB-Bewertung des Signals vorgenommen wurde, wird die Funktion T_A für die A-Bewertung angewendet. Im Gegensatz zur Ermittlung der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} , bei der ein Frequenzbereich bis 80 Hz untersucht wird, wird der A-bewertete Körperschallschnellepegel L_{vA} in einem Frequenzbereich bis 315 Hz ermittelt.

6.3 Betriebsparameter

6.3.1 Fahrzeuge, Zugzahlen, Geschwindigkeiten, Oberbau

Für die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärken ist die Kenntnis der Intensität von Schwingungsimmissionen sowie deren Einwirkdauer erforderlich. Die Intensität am Einwirkungsort wird maßgeblich durch die fahrzeugspezifische Emission sowie die gelände- und gebäudespezifische Übertragung geprägt. Hinsichtlich der Erschütterungen ist bei der Ermittlung der Einwirkdauer das 30-Sekunden-Taktverfahren gemäß **DIN 4150-2** zu beachten.

Im gesamten betrachteten Streckenabschnitt ist im Tag- und Nachtzeitraum insgesamt für beide Richtungen sowohl im Prognose-Plan- als auch im Prognose-Nullfall mit einem Stadtbahnaufkommen in Höhe von

$$n_{\text{Tag / Nacht}} = 183 / 23 \text{ Zügen}$$

zu rechnen /15/.

Zusätzlich werden im Prognose-Nullfall aus Heidelberg kommend bis zum Kurpfalz-Centrum und außerdem im Prognose-Planfall bis hin zur Moltkestraße die in diesen Bereichen eingesetzten E-Wagen mit einem Verkehrsaufkommen für beide Richtungen von

$$n_{\text{Tag}} = 4 \text{ Zügen}$$

im Tagzeitraum berücksichtigt.

Die Fahrzeuglänge der verkehrenden Stadtbahnlinie 23 beträgt

$$l = 40,0 \text{ m.}$$

E-Wagen werden mit einer Fahrzeuglänge von

$$l = 30,0 \text{ m}$$

in Ansatz gebracht. Alle Fahrzeuge sind vollständig mit Scheibenbremsen ausgestattet.

Die Höchstgeschwindigkeit beträgt im untersuchten Streckenabschnitt zwischen den Haltestellen Kurpfalzzentrum und Friedhof

$$v = 30 \text{ km/h.}$$

Gemäß den Angaben des Auftraggebers sind die Streckenhöchstgeschwindigkeiten sowie die Längen der eingesetzten Züge im Prognose-Planfall und Prognose-Nullfall gleichzusetzen.

6.3.2 Ermittlung von Einwirkzeiten

6.3.2.1 Erschütterungen

Für die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärke nach Maßgabe der **DIN 4150-2** ist das Taktmaximalverfahren anzuwenden. Hierbei werden die in Zeitfenstern von jeweils 30 s Dauer auftretenden Spitzenwerte der bauwerksbezogenen Schwingstärke herangezogen. Da die Vorbeifahrt eines einzelnen Straßenbahnfahrzeuges bei typischen Geschwindigkeiten und bei typischen Fahrzeuglängen stets deutlich weniger als 30 s in Anspruch nimmt, wird dem Grundsatz des Taktmaximalverfahrens folgend für jede Straßenbahn-Vorbeifahrt eine Einwirkungsdauer von 30 s berücksichtigt.

6.3.2.2 Sekundäre Luftschallimmissionen

Die Einwirkzeit des sekundären Luftschalls, jeweils bezogen auf die Beurteilungszeiträume Tag (06.00 Uhr bis 22.00 Uhr) bzw. Nacht (22.00 Uhr bis 06.00 Uhr), ergibt sich aus der Gesamtzahl der in dem betreffenden Streckenabschnitt innerhalb des jeweiligen Beurteilungszeitraumes verkehrenden Schienenfahrzeuge und deren geschwindigkeitsabhängiger Vorbeifahrtzeit. Um zu berücksichtigen, dass Fahrzeuge bereits vor und auch nach der Vorbeifahrt wahrgenommen werden können, wird bei der Bestimmung der signifikanten Einwirkungszeit einer Zugvorbeifahrt mit der 2-fachen Zuglänge gerechnet. Die Einwirkungszeit T_e einer Zugvorbeifahrt beträgt dabei

$$T_e = 2 \cdot \text{Zuglänge} \cdot 3,6 / v_{\max}$$

mit

v_{\max} maximale Strecken- bzw. zugspezifische Höchstgeschwindigkeit [km/h]

Somit ergeben sich folgende Vorbeifahrtzeiten:

| | |
|-------------------|-----------------------|
| Stadtbahn, RNV 8Z | $T_e = 9,6 \text{ s}$ |
| E-Wagen, M8C | $T_e = 7,2 \text{ s}$ |

7 Untersuchungsergebnisse

Zur Beurteilung der Fragestellung, ob schienenverkehrsinduzierte Erschütterungsimmissionen bzw. sekundäre Luftschallimmissionen im Einwirkungsbereich der geplanten Straßenbahnstrecke geeignet sind, erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden hervorzurufen, werden zunächst 3 der Trasse nächstgelegene Gebäude mit schutzwürdiger Nutzung untersucht. Diese Gebäude weisen Abstände zur nächstgelegenen Gleisachse in einer Größenordnung von

$$R_1 \geq 5 \text{ m}$$

auf. Bei allen 3 exemplarisch untersuchten Gebäuden wird der Trassenabstand im Prognose-Plan-Fall geringer sein als im Prognose-Null-Fall, so dass hier von einer Erhöhung der schienenverkehrsinduzierten Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall auszugehen ist. Die

Gebäude liegen alle auf der Seite, auf der das neue 2. Gleis an die Bebauung heranrückt.

Die Immissionen werden in allen untersuchten Räumen getrennt für den Tag- und den Nachtzeitraum ermittelt und beurteilt.

Die Untersuchungsergebnisse sind in **Anhang 4** dokumentiert. **Grün** hinterlegte Felder bedeuten, dass die jeweils gültigen Anforderungen an den Immissionsschutz erfüllt werden. Bei **rot** hinterlegten Feldern sind die Anforderungen nicht erfüllt. Sind Felder **gelb** gekennzeichnet, so sind weitere Beurteilungsschritte zum Nachweis einer Konfliktfreiheit erforderlich. Erfolgt keine Nutzung des jeweiligen Gebäudes im Beurteilungszeitraum, so sind zwar die Werte ausgewiesen, jedoch farblich nicht hinterlegt.

7.1 Erschütterungen – Prognose-Planfall

In **Anhang 4.1** werden die maximalen bewerteten Schwingstärken **KB_{Fmax}** für alle untersuchten Gebäude ausgewiesen.

Alle messtechnisch untersuchten Gebäude liegen in einem allgemeinen Wohngebiet (**WA**). Somit gelten für den Tag- bzw. Nachtzeitraum ein unterer Anhaltswert von

$$A_u = 0,225 / 0,150$$

Die Gebäude Römerstraße 23 (**IP 1**) und Römerstraße 37 (**IP 2**) befinden sich im gerade geführten Streckenabschnitt ohne Weichenbereich. Das Gebäude Römerstraße 51 (**IP 3**) liegt im Einwirkungsbereich der neuen Weiche nahe der Haltestelle Moltkestraße.

Für die beiden Gebäude, die sich im direkten Einwirkungsbereich einer geraden Streckenführung befinden, wird eine maximale bewertete Schwingstärke von

$$KB_{Fmax} = 0,148$$

prognostiziert. Damit werden die für allgemeine Wohngebiete gültigen unteren Anhaltswerte sowohl im Tag- als auch im Nachtzeitraum unterschritten. Für den **IP 3** im Bereich der Weiche ergeben sich maximale bewertete Schwingstärken von bis zu

$$KB_{Fmax} = 0,420.$$

Diese Schwingstärke überschreitet den anzuwendenden unteren Anhaltswert **A_u** für Allgemeine Wohngebiete (**WA**). Somit ist für dieses Gebäude als weiterer Prüfschritt der Vergleich der Beurteilungsschwingstärke mit dem Beurteilungsanhaltswert erforderlich. Vollständigkeitshalber wird auch für die beiden Gebäude, bei denen der untere Anhaltswert eingehalten wird die zugehörigen Beurteilungsschwingstärken **KB_{FTr}** ausgewiesen. Die Beurteilungsschwingstärken ergeben sich im Tag- bzw. Nachtzeitraum zu maximal

$$KB_{FTr} = 0,043 / 0,021 \text{ (IP1)}$$

$$KB_{FTr} = 0,131 / 0,065 \text{ (IP3)}.$$

Die Beurteilungsanhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** für Gebäude im Allgemeinen Wohngebiet (**WA**) sind

$$A_r = 0,105 / 0,075.$$

Für das Gebäude Römerstraße 51 (**IP 3**), welches sich im Einwirkungsreich der neuen Weiche befindet wird somit der Beurteilungsanhaltswert **A_r** für den Tagzeitraum überschritten. Die Anhaltswerte werden im Tagzeitraum um bis zu **125 %** und im Nachtzeitraum um bis zu **87 %** ausgeschöpft. Somit können für den **IP 3** erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden im Sinne der **DIN 4150-2 nicht** ausgeschlossen werden. Somit ist zu prüfen, ob es für dieses Gebäude zu einer „**wesentlichen Erhöhung**“ der Immissionen im Prognose-Planfall gegenüber der Vorbelastung (Prognose-Nullfall) kommt und somit eine Anspruchsberechtigung auf erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen ausgelöst wird.

Für die beiden Gebäude im geraden Streckenabschnitt ohne Weichenbereich können erhebliche Belästigungen infolge der zukünftigen schienenverkehrsinduzierten Immissionen ausgeschlossen werden.

7.2 Sekundärer Luftschall – Prognose-Planfall

Die Prognoseergebnisse zu den künftig zu erwartenden sekundären Luftschallimmissionen sind in **Anhang 4.3** dargestellt und werden mit den Anforderungswerten in Anlehnung an die **24. BImSchV** verglichen. Beurteilungs-Innenschallpegel, die diese Anforderungen unterschreiten, sind **grün** dargestellt. Sofern die Anforderungswerte überschritten werden, ist

der entsprechende Wert **rot** hinterlegt. Erfolgt keine Nutzung des jeweiligen Gebäudes im Beurteilungszeitraum, so sind zwar die Werte ausgewiesen, jedoch farblich nicht hinterlegt.

Für die exemplarisch gemessenen Gebäude ergeben sich maximale Beurteilungspegel tags bzw. nachts von maximal

$$L_{r,T/N} = 32,4 / 26,2 \text{ dB(A)}$$

Bei der Beurteilung von Wohnhäusern sind die Anforderungswerte an den zulässigen Beurteilungspegel aus sekundärem Luftschall für Wohnräume am Tag bzw. für Schlafräume in der Nacht von

$$IRW_{\text{Tag/Nacht}} = 40 / 30 \text{ dB(A)}.$$

anzuwenden.

Die Berechnungsergebnisse in **Anhang 4.3** belegen, dass die prognostizierten Pegel des sekundären Luftschalls die in Anlehnung an die **24. BImSchV** herangezogenen Immissionsrichtwerte in allen exemplarisch untersuchten Gebäuden deutlich unterschreiten. Erhebliche Belästigungen infolge der zukünftigen sekundären Luftschallimmissionen sind somit für die exemplarisch untersuchten Gebäude **nicht** zu erwarten.

Da die untersuchten Gebäude repräsentativ für die vorhandene im Nahbereich der Trasse gelegene Bebauung sind, können diese Ergebnisse auf die restliche Bebauung extrapoliert werden. Somit sind im gesamten im gesamten Untersuchungsbereich erhebliche Belästigungen infolge der zukünftig zu erwartenden schienenverkehrsinduzierten sekundären Luftschallimmissionen ausgeschlossen.

7.3 Sachverhalt einer „wesentlichen Änderung“

Die Prognoseergebnisse für die exemplarischen Gebäude haben gezeigt, dass für die Gebäude in den Streckenabschnitten ohne Weiche die Anforderungen der **DIN 4150-2** erfüllt werden und somit der Prüfung des Sachverhaltes der wesentlichen Änderung entfallen kann. Eine Anspruchsberechtigung auf erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen besteht daher nicht. Dieses Ergebnis lässt sich auf die Gesamtheit aller im geraden Streckenabschnitt ohne Weichenbereiche gelegenen Gebäude über-

tragen. Für die Gebäude im Weichenbereich hingegen ergibt sich durch den neuen Weichenbereich in Verbindung mit dem Heranrücken des nächstgelegenen Gleises an die Gebäude eine Erhöhung der Erschütterungsimmissionen um mehr als **25%** im Prognose-Planfall gegenüber dem Prognose-Nullfall. Die neue Weiche alleine führt bereits zu einer Erhöhung der Erschütterungsimmissionen um mehr als **80%** und somit zu einer Anspruchsberechtigung auf erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen.

8 Maßnahmen zur Konfliktbewältigung

Gegenüber dem Standardoberbau sind im Bereich der neuen Weiche nahe der Haltestelle Moltkestraße der Linie 23 in der Römerstraße erschütterungsmindernde elastische Lagerungen im Bereich der Weichen durchzuführen. Die 1. Systemeigenfrequenz des gewählten Oberbausystems (Oberbaueigenfrequenz) sollte dabei unter Betriebslast im Bereich von

$$f_0 = 25 \text{ Hz} \pm 2 \text{ Hz}$$

liegen. Die typische Einfügedämmung eines solchen Systems ist in **Anhang 5** dargestellt. Hierbei ist die Oberbaueigenfrequenz die Schwingung je Sekunde, die für das Gesamtsystem, bestehend aus den Schienen, der Gleistragplatte sowie den elastischen Komponenten (Matten) bei Anregung durch den Schienenverkehr resultiert. Eine graphische Darstellung des Einsatzbereichs der elastischen Lagerung findet sich in dem Lageplanausschnitt des **Anhang 1**.

Die Ergebnisse für das messtechnisch untersuchte Gebäude (**IP 3**) unter Berücksichtigung der vorher beschriebenen Schutzmaßnahme finden sich in **Anhang 6**. Wie in der oberen Tabelle des **Anhang 6.1** zu sehen ist, ergibt sich eine maximale bewertete Schwingstärke von

$$KB_{Fmax} = 0,120.$$

Dieser Wert unterschreitet den anzuwendenden unteren Anhaltswert für Gebäude im Allgemeinen Wohngebiet (**WA**). In der unteren Tabelle des gleichen Anhangs ist die Beurteilungsschwingstärke ausgewiesen. Diese ergeben sich im Tag- bzw. im Nachtzeitraum zu

$$KB_{FTr} = 0,067 / 0,051.$$

Dies bedeutet eine maximale Ausschöpfung des Beurteilungsanhaltswertes von **64%** im Tag- und **67%** im Nachtzeitraum. Somit können unter Berücksichtigung der empfohlenen oberbautechnischen Schutzmaßnahme auch im Weichenbereich die Anforderungen der **DIN 4150-2** erfüllt werden.

Vorhabensbedingte erhebliche Belästigungen infolge schienenverkehrsinduzierter Erschütterungen und sekundärem Luftschall können unter Berücksichtigung der weiterführenden oberbautechnischen Maßnahmen für alle im Einwirkungsbereich der geplanten Straßenbahnstrecke gelegenen Gebäude ausgeschlossen werden.

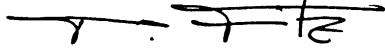
9 Abschließende Bemerkungen

Die erschütterungstechnische Untersuchung belegt, dass infolge der zukünftig durch den Schienenverkehr hervorgerufenen Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall unter Berücksichtigung der empfohlenen Schutzmaßnahme **keine** vorhabenbedingten „erheblichen Belästigungen“ von Menschen in Gebäuden im Sinne des **BImSchG** /1/ zu erwarten sind.

Für eine Auflage bzw. Nebenbestimmung zu Erschütterungsschutzmaßnahmen im Planfeststellungsbeschluss kann die folgende Formulierung gewählt werden:

*„Um die Anforderungen der **DIN 4150-2** an den Erschütterungsschutz im gesamten Einwirkungsbereich des Vorhabens einzuhalten, werden in Teilbereichen des Planvorhabens Ortsdurchfahrt Leimen weiterführende oberbautechnische Maßnahmen erforderlich, die die Übertragung von schienenverkehrsinduzierten Schwingungen gegenüber dem geplanten Standardoberbau reduzieren. Im Bereich des neuen Weichenbereichs nahe der Haltestelle Moltkestraße ist die Gleisanlage mit einer elastisch gelagerten Gleis-
tragplatte oder ein im Hinblick auf den Erschütterungsschutz vergleichbaren Oberbausystem auszuführen.“*

Die Oberbaueigenfrequenz des Systems ist auf $25 \text{ Hz} \pm 2 \text{ Hz}$ abzustimmen. Hierbei ist in beide Richtungen ein Überstand von mindestens 5 m zu allen Weichenbereichen einzuhalten.“



Dipl.-Phys. Peter Fritz



Dipl.-Ing. Rolf Schneider

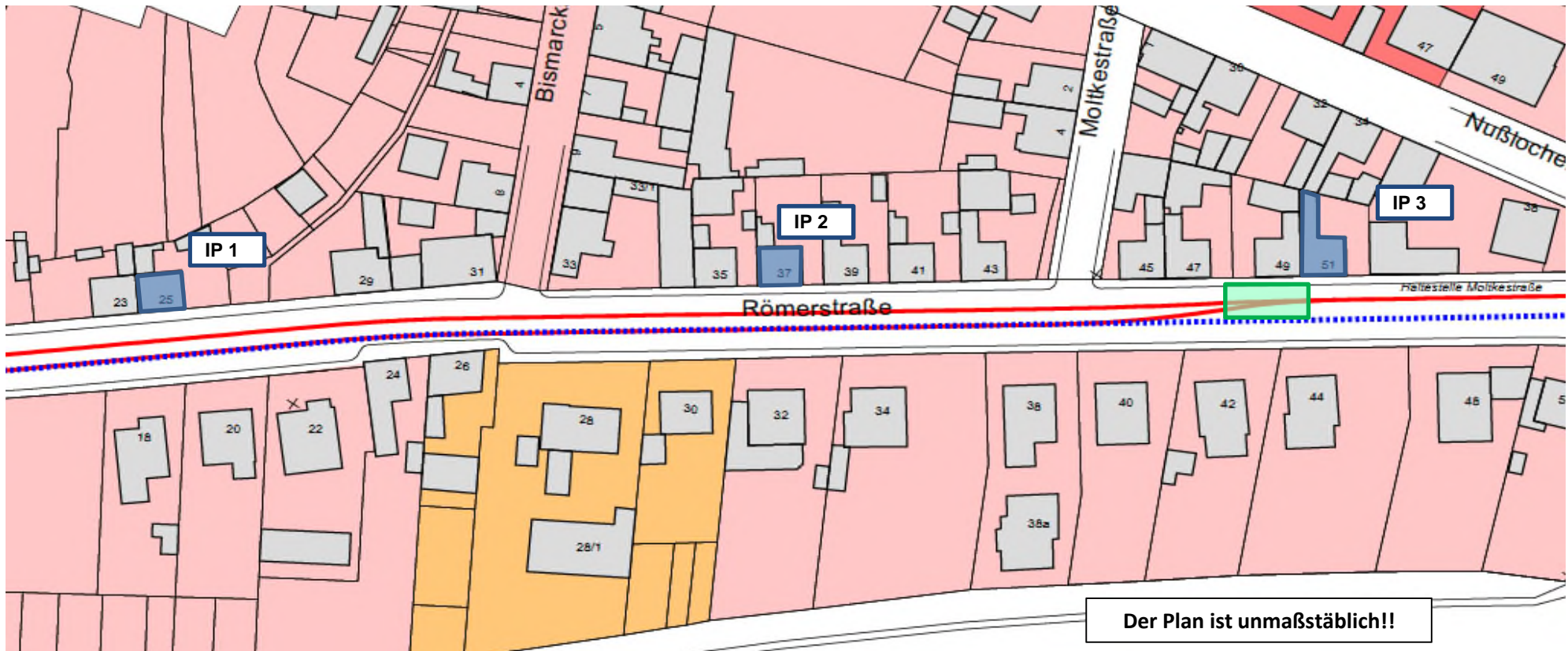


ANHANG

Lageplanausschnitt

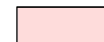
Ausgewählte exemplarische Gebäude - Bereich Schutzmaßnahme

X:\Projekte\2014\14129-VVSE-RNV-OD Leimen\C-Bearbeitung\B- Prognose Erschütterungen\Anhang 1 Lageplan.xls\IP

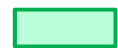


Immissionsort

— Gleise Planung



Allgemeines Wohngebiet



Bereich oberbautechnische Maßnahme

- - - Gleise Bestand



Mischgebiet

unkorrigiertes Emissionsspektrum

Stadtbahnfahrzeug

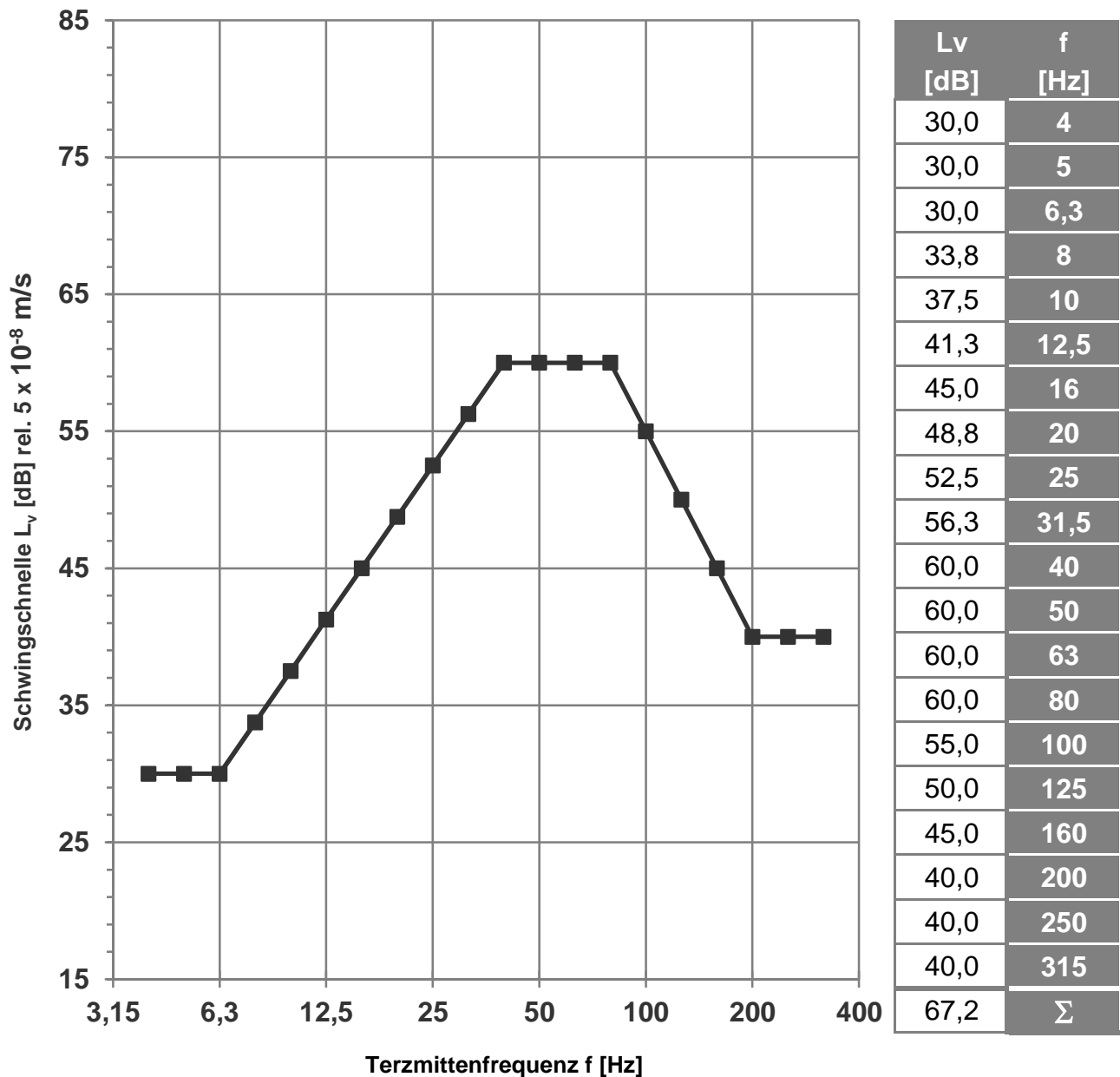
X:\Projekte\2014\14129-VVSE-RNV-OD Leimen\C-Bearbeitung\B- Prognose Erschütterungen\Anhang 2 Emissionen.xls\ANHANG 2.1

Quelle: Standardisiertes Emissionsspektrum auf Grundlage durchgeführter Quellstärkenmessungen an Stadtbahnen auf Rasengleis, fester Fahrbahn bzw. offener Oberbau

Geschwindigkeit: 50 km/h

Messposition: 8 m von nächstgelegener Gleisachse

Schwingrichtung: z



Referenz:

$$v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$$

Korrekturfunktion

Geschwindigkeit

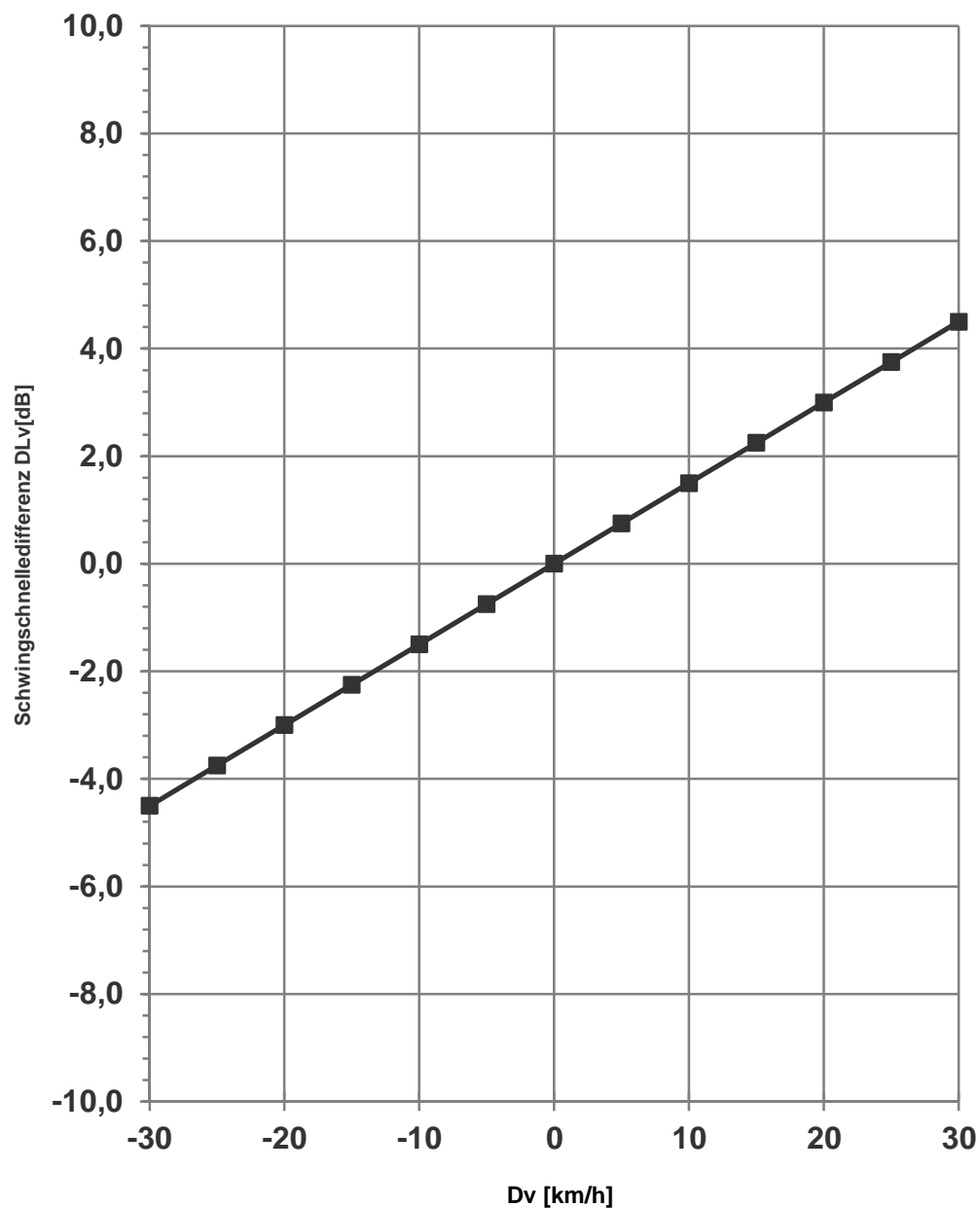
X:\Projekte\2014\14129-VVSE-RNV-OD Leimen\C-Bearbeitung\B- Prognose Erschütterungen\Anhang 2 Emissionen.xls\Korrektur -v

Quelle: empirisch

Bezugsspektrum A

Bezugsspektrum B

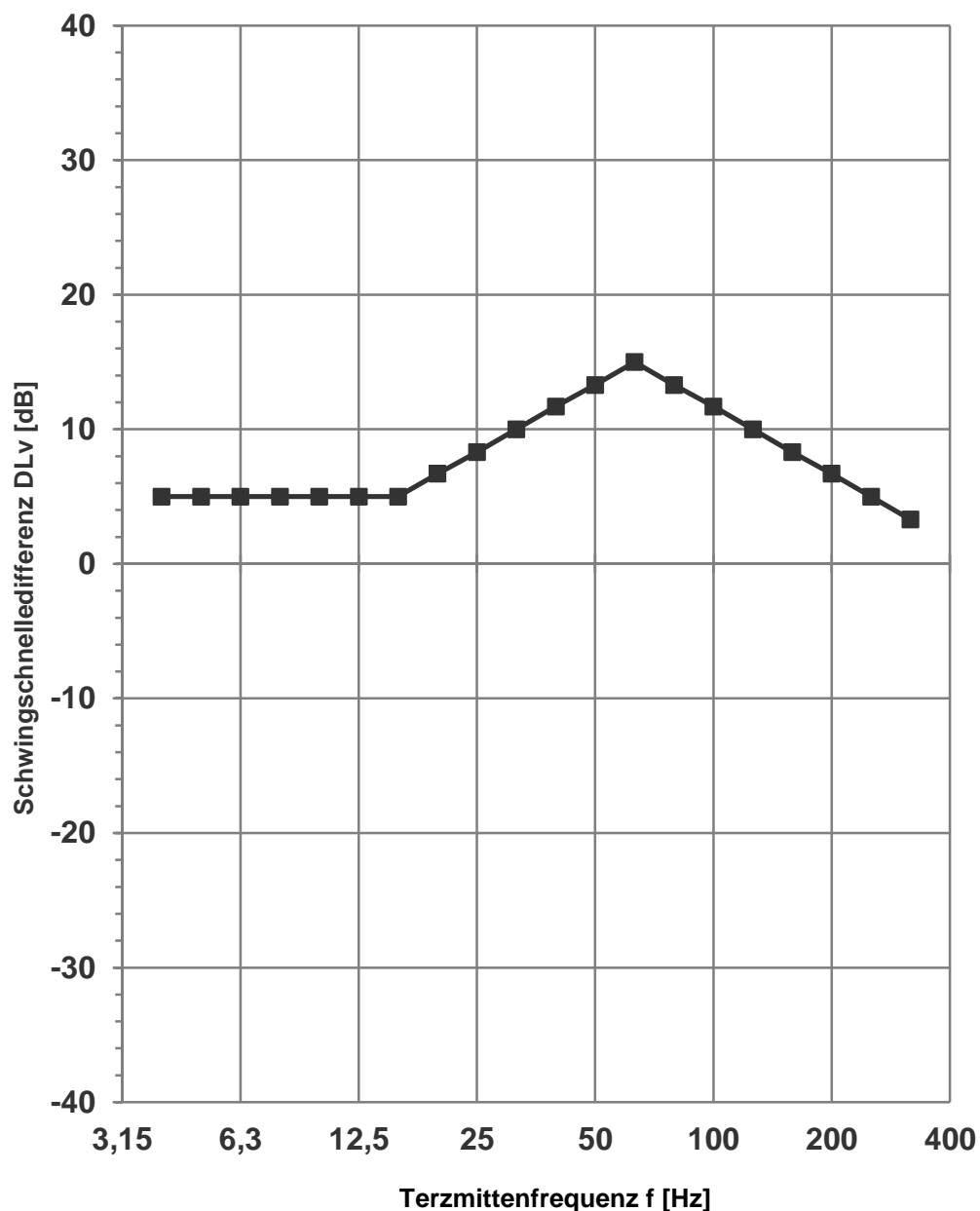
Schwingrichtung: vertikal (z)



| ΔL_v [dB] | Δv [km/h] |
|----------------------|----------------------|
| -4,5 | -30 |
| -3,8 | -25 |
| -3,0 | -20 |
| -2,3 | -15 |
| -1,5 | -10 |
| -0,8 | -5 |
| 0,0 | 0 |
| 0,8 | 5 |
| 1,5 | 10 |
| 2,3 | 15 |
| 3,0 | 20 |
| 3,8 | 25 |
| 4,5 | 30 |

Quelle: Handbuch Schall und Erschütterungen beim Schienennahverkehr
Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. (STUVA), Köln
F. Krüger, 1993
Tabelle 11.1: Mittlere relative Einflüsse verschiedener Parameter

Schwingrichtung: vertikal (z)



| ΔL_v [dB] | f [Hz] |
|----------------------|-----------|
| 5,0 | 4 |
| 5,0 | 5 |
| 5,0 | 6,3 |
| 5,0 | 8 |
| 5,0 | 10 |
| 5,0 | 12,5 |
| 5,0 | 16 |
| 6,7 | 20 |
| 8,3 | 25 |
| 10,0 | 31,5 |
| 11,7 | 40 |
| 13,3 | 50 |
| 15,0 | 63 |
| 13,3 | 80 |
| 11,7 | 100 |
| 10,0 | 125 |
| 8,3 | 160 |
| 6,7 | 200 |
| 5,0 | 250 |
| 3,3 | 315 |

Prognosespektrum

Gerade - $v_{\max} = 30 \text{ km/h}$

X:\Projekte\2\2014\14129-VVSE-RNV-OD Leimen\IC-Bearbeitung\B- Prognose Erschütterungen\Anhang 2 Emissionen.xls\Gerade-v-30

| | | Parameter | Ausgangs-Spektrum A | Prognose-Spektrum P |
|-----|-----------|-------------------|---------------------------|---------------------------|
| K1 | Betrieb | Zuggattung | Stadtbahn | Stadtbahn, RNV 8Z, M8C |
| K2 | | Geschwindigkeit | 50 km/h | 30 km/h |
| K3 | Fahrweg | Kurvenbereich | nein | nein |
| K4 | | Weichenbereich | nein | nein |
| K5 | | Oberbau | Rillensch. a. Betonplatte | Rillensch. a. Betonplatte |
| K6 | Tunnel | Tunnelform | | |
| K7 | Bauwerk | Wandstärke | | |
| K8 | | Tunnelgründung | | |
| K9 | | Bodenverhältnisse | | |
| K10 | | Emissionspunkt | 8 m Punkt | 8 m Punkt |
| K11 | Sonstiges | Meßverfahren | Max-Hold | Max-Hold |
| K12 | | | | |
| K13 | | | | |
| K14 | | | | |
| K15 | | | | |

Ausgangsspektrum in dB

Referenz: $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

| f[Hz] | 4 | 5 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | Σ |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| A | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 33,8 | 37,5 | 41,3 | 45,0 | 48,8 | 52,5 | 56,3 | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 55,0 | 50,0 | 45,0 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 67,2 |

Berücksichtigte Korrekturen in dB

| f[Hz] | 4 | 5 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| L_{K1} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K2} | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 |
| L_{K3} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K4} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K5} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K6} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K7} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K8} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K9} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K10} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K11} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K12} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K13} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K14} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K15} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Prognosespektrum in dB

Referenz: $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

| f[Hz] | 4 | 5 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | Σ |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| P | 27,0 | 27,0 | 27,0 | 30,8 | 34,5 | 38,3 | 42,0 | 45,8 | 49,5 | 53,3 | 57,0 | 57,0 | 57,0 | 57,0 | 52,0 | 47,0 | 42,0 | 37,0 | 37,0 | 37,0 | 64,2 |

Prognosespektrum

Weiche - $v_{\max} = 30 \text{ km/h}$

X:\Projekte2\2014\14129-VVSE-RNV-OD Leimen\IC-Bearbeitung\B- Prognose Erschütterungen\Anhang 2 Emissionen.xls\Weiche v-30

| | | Parameter | Ausgangs-Spektrum A | Prognose-Spektrum P |
|-----|-------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|
| K1 | Betrieb | Zuggattung | Stadtbahn | ST 13, ST 14 |
| K2 | | Geschwindigkeit | 50 km/h | 30 km/h |
| K3 | Fahrweg | Kurvenbereich | nein | nein |
| K4 | | Weichenbereich | nein | ja |
| K5 | | Oberbau | Rillensch. a. Betonplatte | Rillensch. a. Betonplatte |
| K6 | Tunnel Bauwerk | Tunnelform | | |
| K7 | | Wandstärke | | |
| K8 | | Tunnelgründung | | |
| K9 | | Bodenverhältnisse | | |
| K10 | | Emissionspunkt | 8 m Punkt | 8 m Punkt |
| K11 | Sonstiges | Meßverfahren | Max-Hold | Max-Hold |
| K12 | | | | |
| K13 | | | | |
| K14 | | | | |
| K15 | | | | |

Ausgangsspektrum in dB

Referenz: $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

| f[Hz] | 4 | 5 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | Σ |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| A | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 33,8 | 37,5 | 41,3 | 45,0 | 48,8 | 52,5 | 56,3 | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 55,0 | 50,0 | 45,0 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 67,2 |

Berücksichtigte Korrekturen in dB

| f[Hz] | 4 | 5 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| L_{K1} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K2} | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 | -3,0 |
| L_{K3} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K4} | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 6,7 | 8,3 | 10 | 11,7 | 13,3 | 15 | 13,3 | 11,7 | 10 | 8,3 | 6,7 | 5,0 | 3,3 |
| L_{K5} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K6} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K7} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K8} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K9} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K10} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K11} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K12} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K13} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K14} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L_{K15} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Prognosespektrum in dB

Referenz: $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

| f[Hz] | 4 | 5 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | Σ |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| P | 32,0 | 32,0 | 32,0 | 35,8 | 39,5 | 43,3 | 47,0 | 52,5 | 57,8 | 63,3 | 68,7 | 70,3 | 72,0 | 70,3 | 63,7 | 57,0 | 50,3 | 43,7 | 42,0 | 40,3 | 77,0 |

Übertragungsfunktion

Erdreich - Fundament (T2)

X:\Projekte2\2014\14129-VVSE-RNV-OD Leimen\C-Bearbeitung\B- Prognose Erschütterungen\Transferfunktion 2 und 3.xls\T2-Funktion

Quelle

In Anlehnung an "Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen, Landesamt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Nr. 107"

J. Melke, 1992

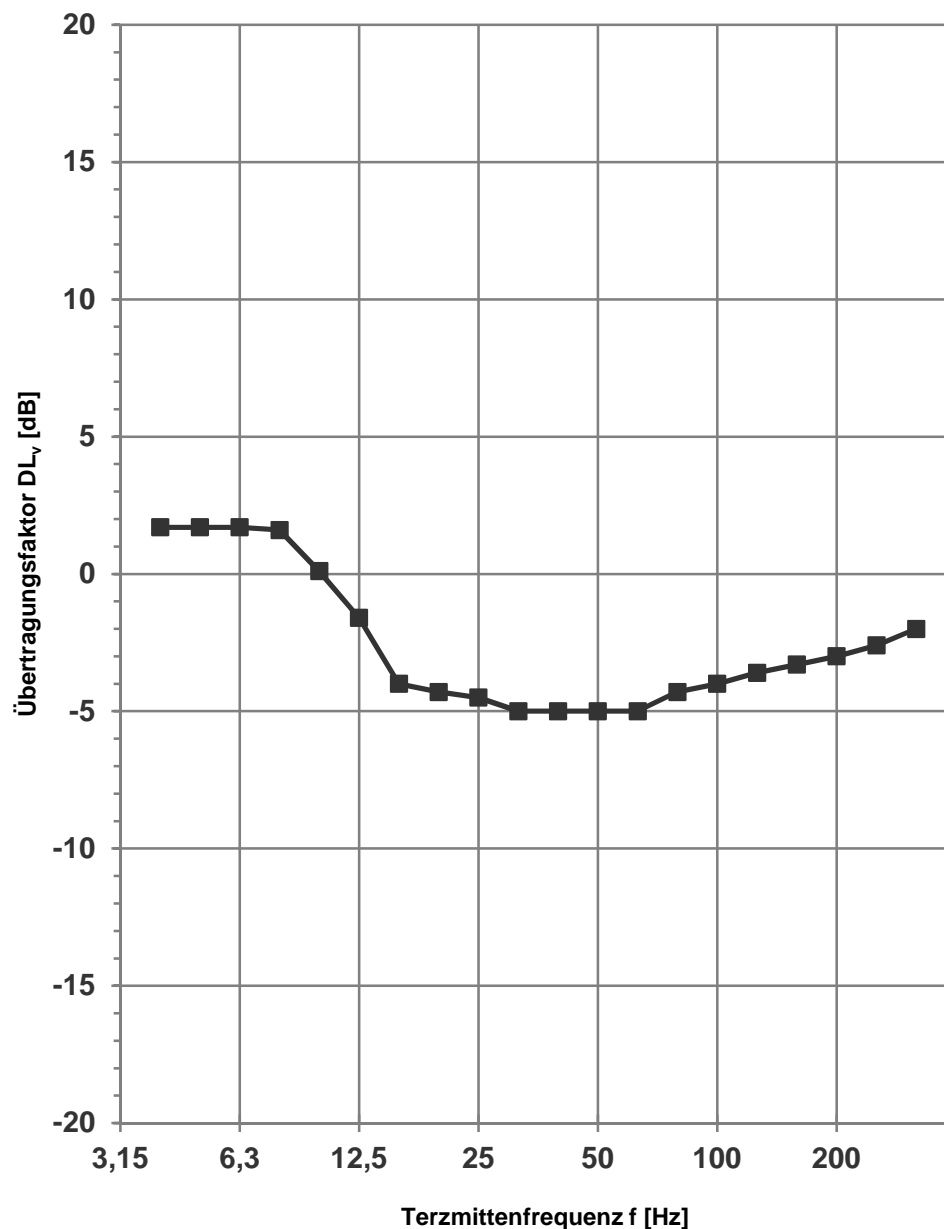
Bild 7.5: Typische Minderung bei Übertragung von Erschütterungen vom Erdreich auf das Gebäudefundament

Gebäudetyp

ein- und zwei geschossige Gebäude in Massivbauweise

Schwingrichtung

vertikal (z)



| DL_v [dB] | f [Hz] |
|----------------|-----------|
| 1,7 | 4 |
| 1,7 | 5 |
| 1,7 | 6,3 |
| 1,6 | 8 |
| 0,1 | 10 |
| -1,6 | 12,5 |
| -4,0 | 16 |
| -4,3 | 20 |
| -4,5 | 25 |
| -5,0 | 31,5 |
| -5,0 | 40 |
| -5,0 | 50 |
| -5,0 | 63 |
| -4,3 | 80 |
| -4,0 | 100 |
| -3,6 | 125 |
| -3,3 | 160 |
| -3,0 | 200 |
| -2,6 | 250 |
| -2,0 | 315 |

1. Schritt der Beurteilung gemäß DIN 4150-2

| IP Nr. | Gebäude | Nutzung | r [m] | maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} | | | | | |
|--------|----------------|---------|-------|---|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | | | | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht |
| 1 | Römerstraße 23 | WA | 5 | 0,115 | 0,115 | 0,091 | 0,091 | 0,148 | 0,148 |
| 2 | Römerstraße 37 | WA | 5 | 0,130 | 0,130 | 0,086 | 0,086 | 0,070 | 0,070 |
| 3 | Römerstraße 51 | WA | 9 | 0,420 | 0,420 | 0,212 | 0,212 | 0,208 | 0,208 |

2. Schritt der Beurteilung gemäß DIN 4150-2

| IP Nr. | Gebäude | Nutzung | r [m] | Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} | | | | | |
|--------|----------------|---------|-------|---|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | | | | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht |
| 1 | Römerstraße 23 | WA | 5 | 0,025 | 0,013 | 0,000 | 0,000 | 0,043 | 0,021 |
| 2 | Römerstraße 37 | WA | 5 | 0,037 | 0,019 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | Römerstraße 51 | WA | 9 | 0,131 | 0,065 | 0,066 | 0,033 | 0,065 | 0,032 |

IP Immissionsort

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]

KB_{Fmax} maximale bewertete Schwingstärke [-]

KB_{FTr} Beurteilungsschwingstärke [-]



Die Anforderungen der **DIN 4150-2** werden erfüllt.



Es ist ein weiterer Prüfschritt gemäß **DIN 4150-2** erforderlich.



Die Anforderungen der **DIN 4150-2** werden **nicht** erfüllt.



Nutzung Art der baulichen Nutzung in Anlehnung an die BauNVO

WA Allgemeines Wohngebiet

prozentuale Ausschöpfung der Beurteilungsanhaltswerte A_r

| IP Nr. | Gebäude | Nutzung | r [m] | prozentuale Ausschöpfung [%] A_r | | | | | |
|-----------|----------------|---------|-------|---------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | | | | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht |
| 1 | Römerstraße 23 | WA | 5 | 24% | 17% | 0% | 0% | 41% | 28% |
| 2 | Römerstraße 37 | WA | 5 | 36% | 25% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 3 | Römerstraße 51 | WA | 9 | 125% | 87% | 63% | 44% | 62% | 43% |

IP Immissionsort
r Abstand zur nächstgelegten MI
 A_r Beurteilungsanhaltswert

 Die Ausschöpfung der Beurteilungsanhaltswerte ist kleiner oder gleich 100 %
 Die Ausschöpfung der Beurteilungsanhaltswerte ist größer als 100 %

Nutzung Art der baulichen Nutzung in Anlehnung an die BauNVO

WA Allgemeines Wohngebiet

Sekundäre Luftschallimmissionen

Prognose-Planfall mit Standardoberbau

X:\Projekte2\2014\14129-VVSE-RNV-OD Leimen\C-Bearbeitung\B- Prognose Erschütterungen\Immissionen.xls]4.3

| IP Nr. | Gebäude | Nutzung | r [m] | Beurteilungs-Innenschallpegel L _{ri} [dB(A)] | | | | | |
|-----------|----------------|---------|-------|--|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | | | | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht |
| 1 | Römerstraße 23 | WA | 5 | 22,0 | 16,0 | 20,9 | 14,8 | 21,4 | 15,4 |
| 2 | Römerstraße 37 | WA | 5 | 24,1 | 18,0 | 21,2 | 15,2 | 20,9 | 14,8 |
| 3 | Römerstraße 51 | WA | 9 | 32,4 | 26,3 | 23,8 | 17,7 | 23,7 | 17,7 |

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]

L_{ri} Beurteilungs-Innenschallpegel [dB(A)]



Die Anforderungen der **24. BImSchV** sind erfüllt.



Die Anforderungen der **24. BImSchV** sind **nicht** erfüllt.

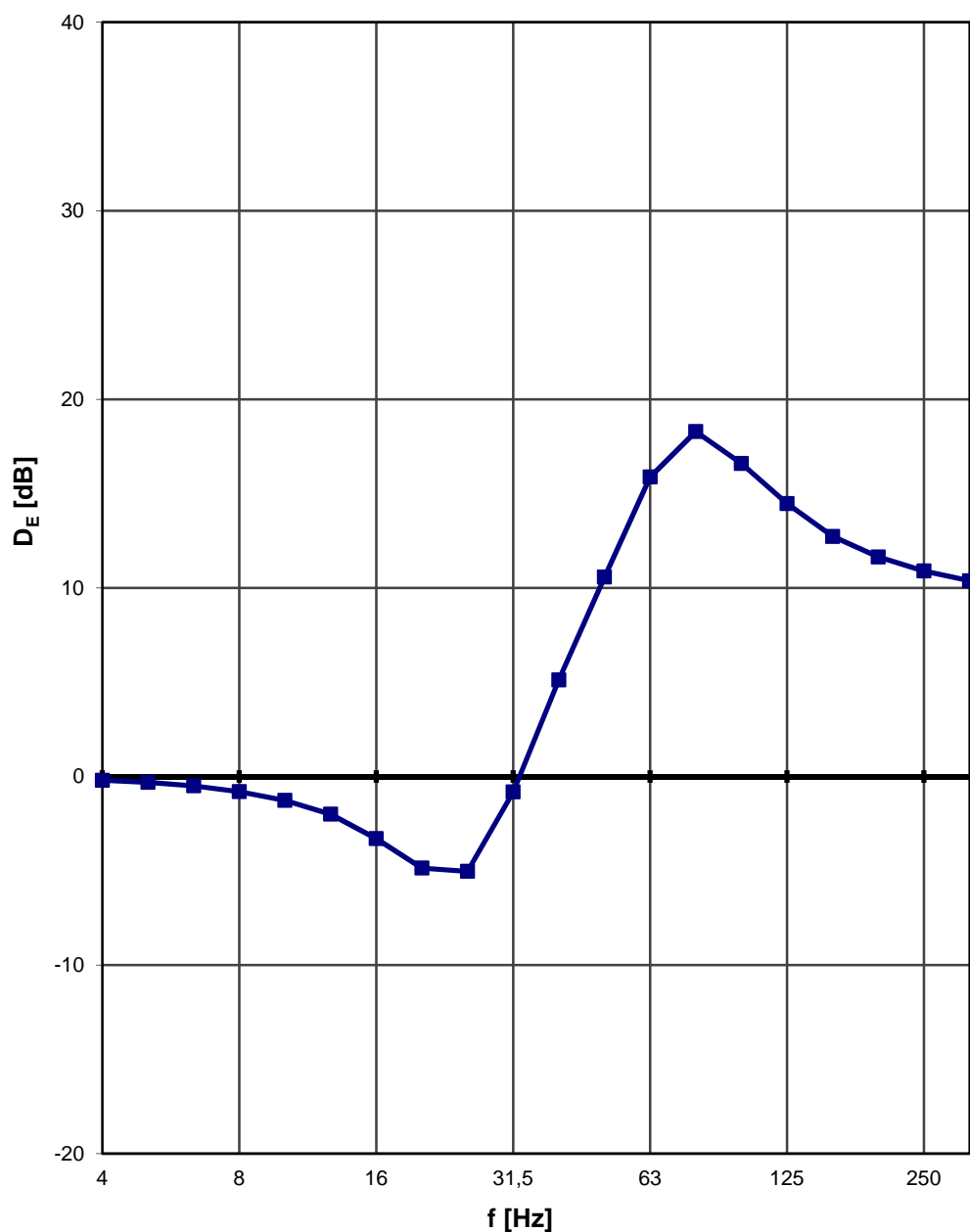
Nutzung Art der baulichen Nutzung in Anlehnung an die BauNVO

WA Allgemeines Wohngebiet

Projekt: OD Leimen

Eigenfrequenz f_0 : 25 Hz

Dämpfung D: 0,3



| D_E [dB] | f [Hz] |
|---------------|-------------|
| -0,2 | 4 |
| -0,3 | 5 |
| -0,5 | 6,3 |
| -0,8 | 8 |
| -1,3 | 10 |
| -2,0 | 12,5 |
| -3,3 | 16 |
| -4,9 | 20 |
| -5,0 | 25 |
| -0,8 | 31,5 |
| 5,1 | 40 |
| 10,6 | 50 |
| 15,9 | 63 |
| 18,3 | 80 |
| 16,6 | 100 |
| 14,5 | 125 |
| 12,7 | 160 |
| 11,6 | 200 |
| 10,9 | 250 |
| 10,4 | 315 |

Erschütterungsimmissionen

Prognose-Planfall mit empfohlener Maßnahme

X:\Projekte\2014\14129-VVSE-RNV-OD Leimen\C-Bearbeitung\B- Prognose Erschütterungen\Immissionen.xls\6.1

1. Schritt der Beurteilung gemäß DIN 4150-2

| IP Nr. | Gebäude | Nutzung | r [m] | maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} | | | | | |
|--------|----------------|---------|-------|---|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | | | | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht |
| 1 | Römerstraße 23 | WA | 5 | 0,115 | 0,115 | 0,091 | 0,091 | 0,148 | 0,148 |
| 2 | Römerstraße 37 | WA | 5 | 0,130 | 0,130 | 0,086 | 0,086 | 0,070 | 0,070 |
| 3 | Römerstraße 51 | WA | 9 | 0,111 | 0,111 | 0,120 | 0,120 | 0,113 | 0,113 |

2. Schritt der Beurteilung gemäß DIN 4150-2

| IP Nr. | Gebäude | Nutzung | r [m] | Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} | | | | | |
|--------|----------------|---------|-------|---|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | | | | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht |
| 1 | Römerstraße 23 | WA | 5 | 0,025 | 0,013 | 0,000 | 0,000 | 0,043 | 0,021 |
| 2 | Römerstraße 37 | WA | 5 | 0,037 | 0,019 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | Römerstraße 51 | WA | 9 | 0,035 | 0,043 | 0,067 | 0,051 | 0,000 | 0,000 |

Immissionsorte, die sich nicht im direkten Einflussbereich einer erschütterungsmindernden Maßnahme befinden, werden in grauer Schrift dargestellt.

IP Immissionsort

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]

KB_{Fmax} maximale bewertete Schwingstärke [-]

KB_{FTr} Beurteilungsschwingstärke [-]



Die Anforderungen der **DIN 4150-2** werden erfüllt.



Es ist ein weiterer Prüfschritt gemäß **DIN 4150-2** erforderlich.



Die Anforderungen der **DIN 4150-2** werden **nicht** erfüllt.

Nutzung Art der baulichen Nutzung in Anlehnung an die BauNVO

WA Allgemeines Wohngebiet

Erschütterungsimmissionen

Prognose-Planfall mit empfohlener Maßnahme



X:\Projekte2\2014\14129-VVSE-RNV-OD Leimen\C-Bearbeitung\B- Prognose Erschütterungen\Immissionen.xls\6.2

prozentuale Ausschöpfung der Beurteilungsanhaltswerte A_r

| IP Nr. | Gebäude | Nutzung | r [m] | prozentuale Ausschöpfung [%] A_r | | | | | |
|-----------|----------------|---------|-------|---------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | | | | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht |
| 1 | Römerstraße 23 | WA | 5 | 24% | 17% | 0% | 0% | 41% | 28% |
| 2 | Römerstraße 37 | WA | 5 | 36% | 25% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 3 | Römerstraße 51 | WA | 9 | 33% | 57% | 64% | 67% | 0% | 0% |

Immissionsorte, die sich nicht im direkten Einflussbereich einer erschütterungsmindernden Maßnahme befinden, werden in grauer Schrift dargestellt.

IP Immissionsort
r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]
 A_r Beurteilungsanhaltswert

 Die Ausschöpfung der Beurteilungsanhaltswerte ist kleiner oder gleich 100 %
 Die Ausschöpfung der Beurteilungsanhaltswerte ist größer als 100 %

Nutzung Art der baulichen Nutzung in Anlehnung an die BauNVO
 WA Allgemeines Wohngebiet

Sekundäre Luftschallimmissionen

Prognose-Planfall mit empfohlener Maßnahme

X:\Projekte2\2014\14129-VVSE-RNV-OD Leimen\C-Bearbeitung\B- Prognose Erschütterungen\Immissionen.xls\6.3

| IP Nr. | Gebäude | Nutzung | r [m] | Beurteilungs-Innenschallpegel L _{ri} [dB(A)] | | | | | |
|-----------|----------------|---------|-------|--|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | | | | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht |
| 1 | Römerstraße 23 | WA | 5 | 22,0 | 16,0 | 20,9 | 14,8 | 21,4 | 15,4 |
| 2 | Römerstraße 37 | WA | 5 | 24,1 | 18,0 | 21,2 | 15,2 | 20,9 | 14,8 |
| 3 | Römerstraße 51 | WA | 9 | 22,2 | 16,1 | 18,8 | 12,7 | 18,8 | 12,8 |

Immissionsorte, die sich nicht im direkten Einflussbereich einer erschütterungs-mindernden Maßnahme befinden, werden in grauer Schrift dargestellt.

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]

L_{ri} Beurteilungs-Innenschallpegel [dB(A)]



Die Anforderungen der **24. BImSchV** sind erfüllt.



Die Anforderungen der **24. BImSchV** sind **nicht** erfüllt.

Nutzung Art der baulichen Nutzung in Anlehnung an die BauNVO

WA Allgemeines Wohngebiet