

ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHE UNTERSUCHUNG

BAUVORHABEN: **Bebauungsplan „Am Gronauer Bahnhof“
in Bad Vilbel, OT Gronau**

UMFANG: Ermittlung und Beurteilung der Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall auf geplante Nutzungen im Plangebiet durch den Schienenverkehr auf der Strecke 3745 auf Grundlage der erschütterungstechnischen Messungen

AUFTRAGGEBER: **Stadt Bad Vilbel**
Liegenschaften und Stadtplanung
Postfach 11 50
61101 Bad Vilbel

BEARBEITUNG: **KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH**
Heinrich-Hertz-Straße 2 | 64295 Darmstadt
T 06151 885-383 | F 06151 885-220

AKTENZEICHEN: 20230566-805-VSE-1

DATUM: Darmstadt, 06.06.2024

Dieser Bericht umfasst 25 Seiten und 6 Anhänge mit 16 Blättern. Gesamt: 41 Seiten

Dieser Bericht ist nur für den Gebrauch des Auftraggebers im Zusammenhang mit dem oben genannten Vorhaben bestimmt. Eine darüberhinausgehende Verwendung, vor allem durch Dritte, unterliegt dem Schutz des Urheberrechts gemäß UrhG.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Sachverhalt und Aufgabenstellung | 5 |
| 2 | Grundlagen | 5 |
| 2.1 | Rechtsgrundlagen und Regelwerke | 5 |
| 2.2 | Planunterlagen | 6 |
| 3 | Beschreibung des Planvorhabens | 7 |
| 4 | Anforderungen an den Immissionsschutz | 7 |
| 4.1 | Erschütterungsschutz | 7 |
| 4.2 | Sekundärer Luftschall | 9 |
| 5 | Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise | 10 |
| 5.1 | Prognosemodell | 10 |
| 5.1.1 | Emission | 11 |
| 5.1.2 | Transferfunktion T ₂ | 11 |
| 5.1.3 | Transferfunktion T ₃ | 11 |
| 5.2 | Immissionen | 12 |
| 5.2.1 | Erschütterungen | 12 |
| 5.2.2 | Sekundärer Luftschall | 13 |
| 5.3 | Betriebsparameter der Bahnstrecke | 14 |
| 6 | Durchführung der Erschütterungsmessungen | 14 |
| 6.1 | Emissionsbedingungen | 14 |
| 6.2 | Beschreibung der Messkette | 15 |
| 6.3 | Anordnung der Sensoren | 17 |
| 6.4 | Messdurchführung | 17 |
| 6.5 | Auswertung der Messungen | 18 |
| 7 | Untersuchungsergebnisse | 18 |
| 7.1 | Erschütterungsmessungen | 18 |
| 7.2 | Prognose der Immissionen | 19 |
| 7.2.1 | Erschütterungen | 20 |
| 7.2.2 | Sekundärer Luftschall | 21 |

| | | |
|------------|-----------------------------------|-----------|
| 7.3 | Mögliche Schutzmaßnahmen | 21 |
| 7.3.1 | Aussteifung von Geschossdecken | 21 |
| 7.3.2 | Gebäudelagerung mit $f_e = 10$ Hz | 22 |
| 7.3.3 | Gebäudelagerung mit $f_e = 8$ Hz | 22 |
| 8 | Zusammenfassung | 22 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|--------------|--|----|
| Abbildung 1: | Vorentwurfsplan von BP „Am Gronauer Bahnhof“ | 7 |
| Abbildung 2: | Übertragung von Erschütterungen | 10 |
| Abbildung 3: | Blick auf die Strecke im Bahnhofsbereich | 14 |
| Abbildung 4: | Prinzipskizze der Messanordnung | 16 |
| Abbildung 5: | Auswertung im Frequenzbereich | 18 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------------|--|----|
| Tabelle 1: | Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen | 8 |
| Tabelle 2: | Immissionsrichtwerte für den sekundären Luftschall | 9 |
| Tabelle 3: | Betriebsprogramm 2030 für die Strecke 3745 | 14 |
| Tabelle 4: | Komponenten des eingesetzten Messsystems | 15 |
| Tabelle 5: | Zusammenstellung der Summenpegel L_v in dB | 19 |

Anhänge

| | |
|----------|---------------------------------------|
| Anhang 1 | Lageplan / Messprotokoll |
| Anhang 2 | Emissionen |
| Anhang 3 | Übertragungsfunktionen |
| Anhang 4 | Immissionen |
| Anhang 5 | Immissionen mit 10 Hz Gebäudelagerung |
| Anhang 4 | Immissionen mit 8 Hz Gebäudelagerung |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--------------------|---|
| A | Anhaltswert |
| A _r | Beurteilungsanhaltswert nach DIN 4150-2 |
| A _u | unterer Anhaltswert nach DIN 4150-2 |
| BImSchG | Bundes-Immissionsschutzgesetz |
| BImSchV | Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz |
| 16. BImSchV | Verkehrslärmschutzverordnung |
| dB | Dezibel |
| f | Frequenz [Hz] |
| GE | Gewerbegebiet gemäß § 8 BauNVO |
| Hz | Hertz, Schwingungen je Sekunde |
| IP | Immissionspunkt |
| IRW | Immissionsrichtwert |
| KB _{Fmax} | maximale bewertete Schwingstärke [-] |
| KB _{FTr} | Beurteilungsschwingstärke [-] |
| l | Zuglänge [m] |
| L _{sek,A} | A-bewerteter sekundärer Luftschallpegel [dB(A)], |
| L _{v,A} | A-bewerteter Schwinggeschwindigkeitspegel in [dB(A)] |
| NV | Nahverkehr |
| Q | Querschnitt |
| n | Abnahmeexponent [-] |
| r, R | Abstand |
| R ₀ | Bezugsabstand [m] |
| StAbw | Standardabweichung |
| T | Transferfunktion |
| T _e | Vorbeifahrtzeit |
| v ₀ | Referenzwert für die Schwingschnelle [5 * 10 ⁻⁸ m/s] |
| v(t) | Schwingschnelle |
| WA | Allgemeines Wohngebiet gemäß § 4 der BauNVO |

1 Sachverhalt und Aufgabenstellung

Die Stadt Bad Vilbel beabsichtigt die Aufstellung des Bebauungsplans „Am Gronauer Bahnhof“. Das Plangebiet grenzt im Süden an die Strecke 3745, welche Bad Vilbel mit Glauburg verbindet. Der Abstand der Baugrenze zur Gleisachse der Bahnstrecke beträgt ca.

$$r = 15 \text{ m.}$$

Im Rahmen des Bauplanverfahrens ist also zu untersuchen, welche Erschütterungsimmissionen im Plangebiet durch den Zugbetrieb auf der angrenzenden Bahnstrecke zu erwarten sind. Konkret ist in Anbetracht der Nähe zur Bahnstrecke zu klären, ob das Vorhaben aus Sicht des Erschütterungsschutzes realisierbar ist und/oder ob hierfür besondere bauliche Schutzvorkehrungen an den geplanten schutzwürdigen Nutzungen innerhalb des Plangebiets zur Gewährleistung des Immissionsschutzes zu berücksichtigen sind.

Hierzu werden 4 Messpositionen die auftretenden Erschütterungen messtechnisch erfasst, wobei 2 von diesen Messpositionen an der Baugrenze installiert werden. Anschließend erfolgt die Auswertung der Messsignale und die Beurteilung der Erschütterungen gemäß **DIN 4150-2** 0 und des sekundären Luftschalls nach der **24. BImSchV** 0 unter Berücksichtigung der betrieblichen Randbedingungen und der typischen Übertragungsfunktionen vom Erdreich auf das Gebäudefundament (T_2 -Funktion) sowie der typischen Übertragungsfunktion vom Gebäudefundament auf die Gebäudedecken (T_3 -Funktion).

Basierend auf den Messergebnissen wird zunächst geprüft, ob mögliche erschütterungstechnische Konfliktpotentiale hinsichtlich der zukünftigen Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall für die geplante Bebauung zu erwarten sind. Sollte die Untersuchung zu den Ergebnissen führen, dass grundsätzlich ein Konflikt aufgrund von Immissionen aus Erschütterungen oder sekundärem Luftschall nicht auszuschließen ist, wird anschließend geprüft, welche Maßnahmen zur Konfliktbewältigung bzw. zur Konfliktminimierung in Betracht zu ziehen sind.

2 Grundlagen

2.1 Rechtsgrundlagen und Regelwerke

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

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

16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990, geändert durch Art. 1 der Verordnung vom 18. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2269)

24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV) vom 04. Februar 1997 in ihrer berichtigten Fassung vom 16. Mai 1997

DIN 4150, Teil 1 „Erschütterungen im Bauwesen: Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Dezember 2022

DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, Juni 1999

DIN 45669, Teil 1, „Messung von Schwingungsimmissionen: Schwingungsmesser – Anforderungen und Prüfungen“, Juni 2020

DIN 45669, Teil 2, „Messung von Schwingungsimmissionen: Messverfahren“, Juni 2005

DIN 45672, Teil 1, „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen: Messverfahren für Schwingungen“, Februar 2018

DIN 45672, Teil 2, „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen: Auswerteverfahren“, November 2020

DB-Richtlinie 820.2050, Erschütterungen und sekundärer Luftschall, Stand vom 15.09.2017

2.2 Planunterlagen

Zur Bearbeitung wurden die nachfolgenden Planunterlagen und Schriftsätze herangezogen:

/1/ Bebauungsplan „Am Gronauer Bahnhof“, Vorentwurf, NaturProfil Planung und Beratung, Stand vom 07.06.2023

/2/ Bebauungsplan „Am Gronauer Bahnhof“, Textliche Festsetzungen, NaturProfil Planung und Beratung, Stand vom 07.06.2023

schädlicher Umwelteinwirkungen im Sinne des Immissionsschutzrechtes 0 anzusehen sind, darstellen.

Zur Bewertung der Erschütterungsimmissionen sind gemäß **DIN 4150-2** zwei Beurteilungsgrößen heranzuziehen:

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

Für die Beurteilung schienenverkehrsinduzierter Immissionen nennt die Norm zwei Kriterien. Der untere Anhaltswert **A_u** ist ein Anhaltswert für den **KB_{Fmax}**-Wert. Ist **KB_{Fmax}** kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert **A_u**, so sind die Anforderungen der Norm erfüllt, es gilt als nachgewiesen, dass die schienenverkehrsinduzierten Erschütterungsimmissionen **nicht als erheblich belästigend** einzustufen sind. Übersteigt **KB_{Fmax}** den unteren Anhaltswert **A_u**, so ist die Beurteilungsschwingstärke **KB_{FTr}** zu bilden und mit dem Beurteilungsanhaltswert **A_r** zu vergleichen.

| 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 | 0,40 | 0,20 | 0,30 | 0,15 |
| 2 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind | 0,30 | 0,15 | 0,20 | 0,10 |
| 3 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind | 0,20 | 0,10 | 0,15 | 0,07 |
| 4 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind | 0,15 | 0,07 | 0,10 | 0,05 |
| 5 | Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen | 0,10 | 0,05 | 0,10 | 0,05 |

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen

Das Grundstück, auf dem das Bauvorhaben errichtet werden soll, wird nach dem Bebauungsplan als Allgemeines Wohngebiet ausgewiesen. Das bedeutet, dass zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen die Anforderungswerte gemäß **Tabelle 1**, Zeile 4 heranzuziehen sind.

4.2 Sekundärer Luftschall

Für Einwirkungen aus sekundären Luftschallimmissionen, hervorgerufen von schienengebundenen Verkehrssystemen, existieren derzeit weder vom Gesetzgeber noch in technischen Regelwerken verbindlich vorgegebene Anforderungswerte. Daher ist es erforderlich, sich für eine sachgerechte Beurteilung an andere Gesetze, Verordnungen und Regelwerke auf Grundlage von Plausibilitätsbetrachtungen anzulehnen.

| Zeile | Raumnutzung | L _{ri,T} [dB(A)] | L _{ri,N} [dB(A)] |
|-------------------|---|--|------------------------------|
| 1 | Räume, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden | - | 30 |
| 2 | Wohnräume | 40 | - |
| 3 | Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftliche Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume | 40 | - |
| 4 | Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume | 45 | - |
| 5 | Großraumbüros, Schalterräume, Druckerräume von DV-Anlagen, soweit dort ständige Arbeitsplätze vorhanden sind | 50 | - |
| 6 | Sonstige Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind | entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen | |
| L _{ri,T} | Beurteilungspegel innerhalb von Räumen für den Tag | | |
| L _{ri,N} | Beurteilungspegel innerhalb von Räumen für die Nacht | | |

Tabelle 2: Immissionsrichtwerte für den sekundären Luftschall

In Anlehnung an **24. BImSchV** 0 werden hinsichtlich der Beurteilung des sekundären Luftschalls die aus den Korrektursummanden D abgeleiteten zulässigen Beurteilungspegel im Innenraum (= Korrektursummand D zuzüglich 3 dB(A)) als Beurteilungsmaßstab herangezogen. Hieraus ergeben sich die in **Tabelle 2** aufgeführten Immissionsrichtwerte zur Beurteilung von sekundärem Luftschall.

Unter Berücksichtigung dieses Sachverhaltes können die in **Tabelle 2** angegebenen Immissionsrichtwerte für eine Beurteilung des Innenschallpegels gemäß **24. BImSchV** abgeleitet werden. Für die geplante Wohnnutzung erfolgt die Beurteilung der sekundären Luftschallimmissionen für den Tagzeitraum unter Zugrundelegung des Anforderungswertes für Wohnräume und

für den Nachtzeitraum unter Zugrundelegung des Anforderungswertes für Schlafräume. Demzufolge werden folgende Immissionsrichtwerte zur Beurteilung zugrunde gelegt:

- Tag: **IRW = 40 dB(A),**
- Nacht: **IRW = 30 dB(A).**

5 Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise

5.1 Prognosemodell

Bei der Prognose der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall für schutzwürdige Räume eines Gebäudes wird von der in **Abbildung 2** skizzierten Übertragungskette ausgegangen.

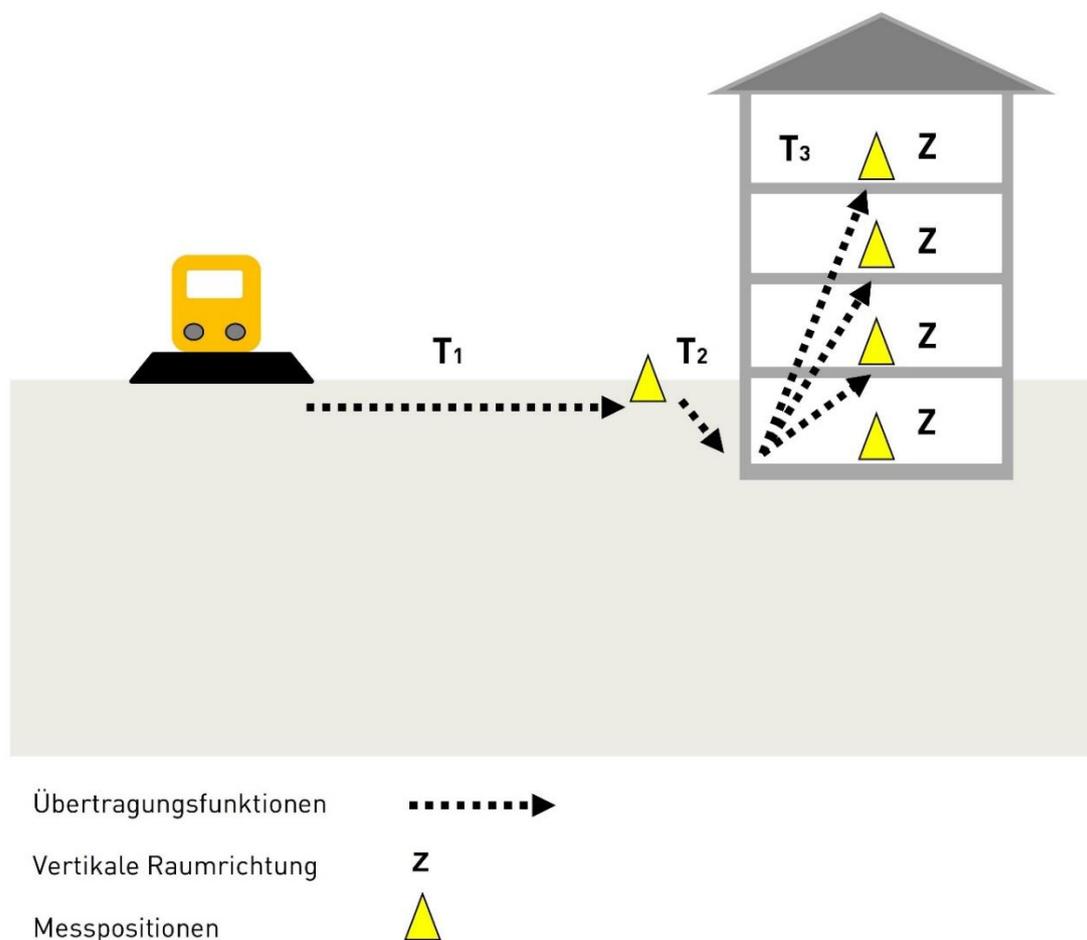


Abbildung 2: Übertragung von Erschütterungen

Diese berücksichtigt neben den erschütterungstechnischen Quellstärken (Emissionen) und der Ausbreitung der Schwingungen im Untergrund (Transmission T_1) das Schwingungsverhalten, der zu untersuchenden Gebäude (Transferfunktionen T_2 und T_3). Die dargestellten Übertragungswege werden separat ermittelt und dann zu einer Gesamtübertragungsfunktion überlagert. Da die Übertragungsfunktionen zum Teil stark frequenzabhängig sind, ist für die Prognose ein Berechnungsverfahren anzuwenden, dass die spektrale Zusammensetzung sowohl der Schwingungsemissionen als auch der einzelnen Transferfunktionen berücksichtigt. Die spektrale Auflösung erfolgt hierbei in Form von Terzbändern im Bereich von 4 bis 315 Hz.

Die der Prognose zu Grunde gelegten Komponenten werden im Folgenden beschrieben.

5.1.1 Emission

Bei oberirdischen Schienenverkehrswegen wird die Emission durch die in einem festgelegten Abstand, in der Regel 8 m, zur Gleisachse im Erdboden gemessenen Schwingstärke charakterisiert. Für die vorliegende Untersuchung wurden die angewandten Emissionsspektren mit Hilfe der durchgeführten Emissionsmessungen gewonnen, die direkt unter anderem an der Baugrenze erfolgten. Es wird also angenommen, dass die Baugrenzen komplett ausgeschöpft werden, sodass die zukünftigen Vorderkante des geplanten Wohngebäudes an der Baugrenze liegt. Daher entfällt die Darstellung der Quellstärken und der Ausbreitung im Untergrund.

5.1.2 Transferfunktion T_2

Die Transferfunktion T_2 beschreibt das Übertragungsverhalten vom Erdreich vor dem Gebäude auf das Geschossfundament. Sie unterliegt selbst bei verschiedenen Gebäudetypen relativ geringeren Schwankungen und weist keine ausgeprägte spektrale Abhängigkeit auf. Erschütterungen werden umso leichter auf ein Gebäude übertragen, je geringer die Gebäudemasse ist. Zu derzeitigen Planungsphase ist eine messtechnische Erhebung der T_2 -Funktion nicht möglich. Daher wurde die Transferfunktion T_2 aus Messungen an vergleichbaren Gebäuden übernommen.

Die grafische und numerische Darstellung findet sich in **Anhang 3.1**. Der vorliegenden Untersuchung wurde eine typische Übertragungsfunktion für Mehrfamiliengebäude zu Grunde gelegt.

5.1.3 Transferfunktion T_3

Die Transferfunktion T_3 beschreibt das Übertragungsverhalten innerhalb der Gebäude vom Fundament auf die Geschossdecken schutzwürdiger Räume. Für die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen im Hinblick auf die Störwirkung von Menschen beim Aufenthalt in Gebäuden sind die Schwingungseinwirkungen in der Raummitte maßgebend. Die Transferfunktion T_3 kenn-

zeichnet im Wesentlichen das Resonanzverhalten einer Decke und weist neben starken spektralen Abhängigkeiten ausgeprägte Maxima im Bereich der Deckeneigenfrequenz auf. Sie ist in hohem Maße gebäudeabhängig und kann stark variieren. Ursächlich hierfür sind vor allem Spannweiten und Konstruktionsweisen der Decken.

Da im Rahmen der erschütterungstechnischen Untersuchung Messungen zur Erhebung von bauphysikalischen Kenndaten in dieser Bauphase nicht möglich sind, wird auf allgemeine Erfahrungsgrundsätze zum Übertragungsverhalten von Geschossdecken zurückgegriffen. Da zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung noch keine Informationen über die geplante Bebauung vorlag, wird daher angenommen, dass es sich bei der Deckenkonstruktion der geplanten Gebäude ausschließlich um Stahlbetondecken handelt. Hierfür wurden die im Folgenden genannten typischen ersten Deckeneigenfrequenzen für Gebäude in Massivbauweise und Stahlbetondeckenkonstruktionen untersucht:

$$f_{0,i} = 12,5 \text{ Hz} \dots 31,5 \text{ Hz}$$

Durch die getroffenen Annahmen wird die typische Bandbreite von Deckenspannweiten abgedeckt. Die verwendete Übertragungsfunktion ist als eine normierte Funktion in **Anhang 3.2** grafisch und tabellarisch dargestellt. Diese basieren auf statistischen Auswertungen von Messungen, die im Einwirkungsbereich von Bahnstrecken durchgeführt wurden. Angegeben ist der Mittelwert zuzüglich der Standardabweichung.

5.2 Immissionen

5.2.1 Erschütterungen

Als Erschütterungsimmissionen werden die bauwerksbezogenen, gemäß **DIN 4150-2 0** in der Mitte von Räumen auftretenden KB-bewerteten Schwingstärken bezeichnet. Da hier die Vertikalkomponente (Z-Richtung) die Horizontalkomponenten (X-, Y-Richtung) übersteigt, werden die Abschätzungen ausschließlich für die Vertikalkomponenten der Erschütterungsimmissionen durchgeführt. Der relevante Frequenzbereich wird in der **DIN 4150-2** auf 80 Hz begrenzt.

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 0** zu beachten.

5.2.2 Sekundärer Luftschall

Im vorliegenden Fall wurde zur Bestimmung des Beurteilungspegels für den sekundären Luftschall die Richtlinie 820.2050 der DB AG 0 herangezogen. Die Berechnung des A-bewerteten sekundären Luftschallpegels erfolgt nach den Gesamtpegel-Korrelationsbeziehungen. Hierin wird ein linearer Zusammenhang zwischen dem A-bewerteten Schwinggeschwindigkeitspegel und dem sekundären Luftschallpegel genannt. Die Abhängigkeiten wurden dabei für verschiedene Deckenkonstruktionsformen (Stahlbetondecken, Holzbalkendecken) beschrieben. Demnach kann zur Ermittlung der Einwirkungen aus sekundärem Luftschall, hervorgerufen durch schienengebundenen Personen- und Güterverkehr, in erster Näherung folgende Beziehung herangezogen werden:

$$L_{\text{sek,A}} = 15,75 + 0,60 \cdot L_{\text{v,A}} \quad [\text{dB(A)}] \text{ bei Stahlbetondecken}$$

mit

$L_{\text{sek,A}}$ A-bewerteter sekundärer Luftschallpegel [dB(A)],

$L_{\text{v,A}}$ A-bewerteter Gesamt-Schwinggeschwindigkeitspegel [dB(A)]

Der Auswertebereich wird bei der Einzalmethode bis 100 Hz beschränkt, da erfahrungsgemäß oberhalb von 80 Hz keine pegelbestimmenden Anteile im Spektrum des sekundären Luftschallpegels vorhanden sind.

Die Einwirkzeit des sekundären Luftschalls, jeweils bezogen auf den Beurteilungszeitraum Tag (06.00 bis 22.00 Uhr) bzw. Nacht (22.00 bis 06.00 Uhr), ergibt sich aus der Gesamtzahl der in dem betreffenden Streckenabschnitt innerhalb des 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 1,5-fachen geometrischen Vorbeifahrtzeit berücksichtigt

$$T_e = 1,5 \cdot l \cdot 3,6 / v$$

mit

T_e Vorbeifahrtzeit [s]

l Zuglänge [m]

v messtechnisch ermittelte Zuggeschwindigkeit [km/h]

5.3 Betriebsparameter der Bahnstrecke

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 0** zu beachten.

Die vorliegende Prognose basiert auf dem Betriebsprogramm für das Prognosejahr 2030, welches dem Projekt „Elektrifizierung Niedertalbahn“ zugrunde gelegt wurde. Gemäß dem Betriebsprogramm verkehren auf der Strecke 3745 ausschließlich Nahverkehrszüge.

| Zugart | Anzahl | | Zuglänge [m] | v [km/h] | Einwirkungszeit [s] |
|--------|--------|-------|-----------------|-------------|---------------------|
| | Tag | Nacht | | | |
| NV | 60 | 8 | 148 | 80 | 10,0 |
| NVDS | 6 | 0 | 135 | 80 | 9,1 |

Tabelle 3: Betriebsprogramm 2030 für die Strecke 3745

6 Durchführung der Erschütterungsmessungen

6.1 Emissionsbedingungen



Abbildung 3: Blick auf die Strecke im Bahnhofsbereich

Die Bahnstrecke 3745 verläuft im Einwirkungsbereich „Gronau“ ebenerdig und ist eingleisig. Die Züge, die von Bad Vilbel kommen, bremsen im Bereich des Plangebiets ab und halten im ca. 50 m weiter gelegenen Bahnhof „Gronau“ an. Die Züge aus Schöneck fahren im Bahnhofsbereich ab und beschleunigen im Bereich des Plangebiets. Daher erfolgt keine Korrektur der Emissionspektren auf die Streckenhöchstgeschwindigkeit von 80 km/h.

6.2 Beschreibung der Messkette

Das Messsystem – bestehend aus Messsensoren und einem Messverstärker - wurde letztmalig im Juni 2021 mit einem kalibrierten Referenzempfänger im Kopf-an-Kopf-Verfahren für den relevanten Frequenzbereich messtechnisch rückführbar kalibriert. Vor der Durchführung der Messungen wurde die Funktionsfähigkeit der Messgeräte durch kurze Stoßanregungen an den Sensoren auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft. Die in der Messkette eingesetzten Komponenten sind in **Tabelle 3** aufgeführt.

| | |
|------------------------|---|
| GEOPHONE: | elektrodynam. Absolutschwingungsaufnehmer |
| Hersteller: | Western Data Systems |
| Kennfrequenz: | 4,5 ± 0,5 Hz für alle 3 Komponenten |
| Empfindlichkeit: | 0,29 ± 5% V/cm/s für alle 3 Komponenten |
| MESSVERSTÄRKER: | VM-116; 8 Kanäle |
| Hersteller: | Wölfel Monitoring GmbH + Co. KG |
| Frequenzbereich: | 1 ... 315 Hz |
| Meßbereich: | Schwinggeschwindigkeit 0,1 ... 500 mm/s |
| Nachweisgrenze: | mindestens 0,001 mm/s (gem. DIN 45669) |
| Genauigkeitsklasse: | DIN 45669-1 im genannten Frequenzbereich |
| LAPTOP | |
| Hersteller: | Lenovo |
| CPU: | Intel Centrino vPRO |
| A/D-WANDLER | DAQ-Card 6036-E, 16 Kanäle |
| Hersteller: | National Instruments |
| Auflösung: | 16 Bit |
| SOFTWARE: | MEDA |
| Hersteller: | Wölfel Monitoring Systems GmbH + Co. KG |
| Version: | 2021-1 |

Tabelle 4: Komponenten des eingesetzten Messsystems

Die Abtastung der analogen Messsignale erfolgte mit einer Abtastrate von

$$f_s = 1024 \text{ Hz.}$$

Somit bietet die Abtastung die Möglichkeit, die Signale bis zu einer Frequenz von 400 Hz spektral auszuwerten. Gemäß den Empfehlungen von **DIN 45672** 0, 0 erfolgt anschließend, d.h. im Rahmen der Auswertung der Signale, durch eine entsprechende digitale Bandpassfilterung, eine Bandbegrenzung auf

$$f = 4 \text{ Hz bis } 315 \text{ Hz.}$$

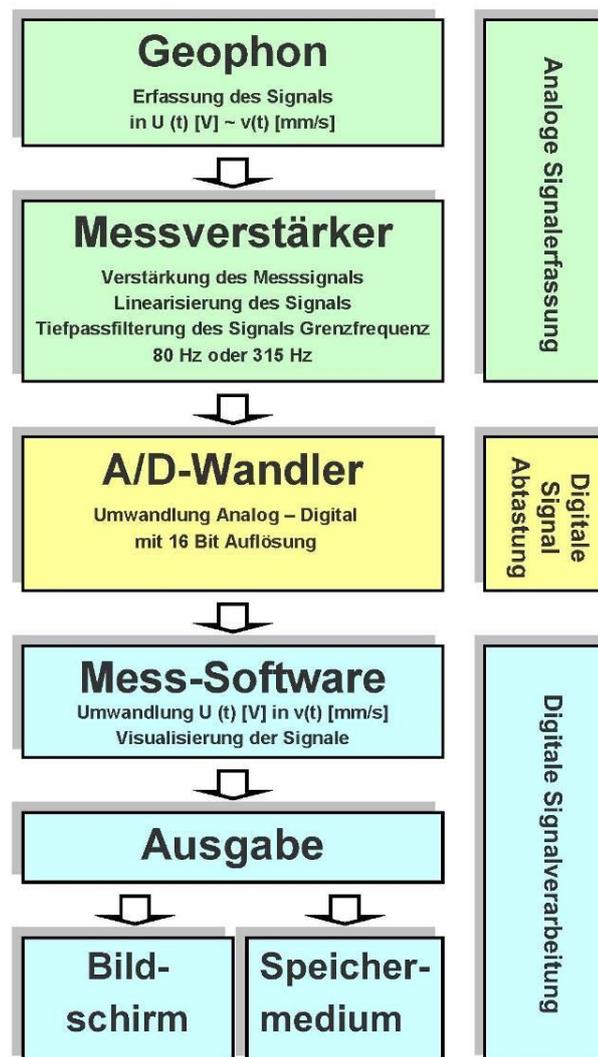


Abbildung 4: Prinzipskizze der Messanordnung

Eine Prinzipskizze der Messanordnung (Messkette) findet sich in **Abbildung 4**. Die Schwingungssensoren (Geophone), die ein geschwindigkeitsproportionales Spannungssignal liefern, sind an

einen Messverstärker angeschlossen, der die nach den einschlägigen Regelwerken erforderliche Signalkonditionierung vornimmt. Anschließend erfolgen die analog/digital-Wandlung und die gemäß den einschlägigen Normen erforderliche digitale Signalverarbeitung. Im Ergebnis erhält man die gemäß **DIN 4150-2** relevanten Beurteilungsgrößen.

6.3 Anordnung der Sensoren

Insgesamt wurden auf dem Plangebiet 4 Messsensoren an den Boden gekoppelt, um die auftretenden schienenverkehrsinduzierten Schwingungen zu messen. Zwei der Messpositionen sind an der Baugrenze ausgewählt worden. Die weiteren Messpositionen dienen der Bestimmung der Ausbreitungsbedingungen, sofern eine Bestimmung von Immissionen in weiteren Entfernungen erforderlich ist.

An allen Messpositionen wurden Vertikalsensoren auf ca. 60 cm langen, in den Boden eingetriebenen Erdspieße montiert und so an den Boden angekoppelt. Die Ankopplung der Sensoren erfolgte gemäß **DIN 45669-2** 0. Die Erdspieße weisen einen x-förmigen Querschnitt auf und haben in dem hier relevanten Frequenzbereich im Boden keine Eigenschwingungen. Um Kontaktresonanzen zu vermeiden, wurden die Sensoren mittels Gewinde, die mit Spannringen gesichert waren, an den Pflöcken befestigt.

Die Lage der einzelnen Messpositionen und die Abstände der einzelnen Schwingungssensoren sind in **Anhang 1.1** dargestellt. Sämtliche auflaufenden Messdaten wurden parallel erfasst, so dass also an allen 4 Messpositionen stets dieselben Bahnvorbeifahren registriert wurden. Die Fotodokumentation sowie die Angaben zu verwendeten Geophonen finden sich in **Anhang 1.2**.

6.4 Messdurchführung

Die Erschütterungsmessungen wurden an insgesamt 4 Messpositionen durchgeführt. Die Registrierung der Schwingungssignale $v(t)$ erfolgte an allen Messpositionen zeitgleich. Die Signale wurden für jedes Ereignis unmittelbar während Durchführung der Messung auf dem Bildschirm des Messrechners angezeigt und auf Plausibilität geprüft. Soweit Störungen festgestellt wurden, wurde die jeweilige Messung verworfen. Sofern Übersteuerungen oder Untersteuerungen für einzelne Kanäle auftraten, wurden die Messungen verworfen, die Aussteuerung angepasst und eine erneute Messung durchgeführt. Des Weiteren wurden der jeweilige Zugtyp protokolliert. Ferner wurde mit einer Radarpistole die Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Züge gemessen. Die einzelnen Vorbeifahrten sind in **Anhang 1.3** dokumentiert. Die gemittelten Geschwindigkeiten sowie die Anzahl der erfassten Zugvorbeifahrten sind in **Anhang 1.4** zusammengefasst.

6.5 Auswertung der Messungen

Zur Ermittlung der Schwingungsanregung im Erdreich erfolgt die Auswertung der Schwinggeschwindigkeit $v(t)$ im Frequenzbereich gemäß **DIN 45672-2** 0. Die Auswertung im Frequenzbereich erfolgt mit Hilfe von Terzanalysen. Hierbei wird der gleitende Effektivwert in Terzbändern mit einer konstanten relativen Breite von 23 % gebildet.

Mit Hilfe der Terzanalyse wird das Spektrum $L_{vFmax}(f_{Tn})$ des Maximal-Terzschnellepegels nach der folgenden Gleichung für jede Sensorposition und jedes Zugereignis ermittelt:

$$L_{vFmax}(f_{Tn}) = 20 \cdot \lg(v_{Fmax}(f_{Tn})/v_0)$$

mit Bezugswert $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ m/s. Die Systematik nach **DIN 45572-2** ist in **Abbildung 5** dargestellt.

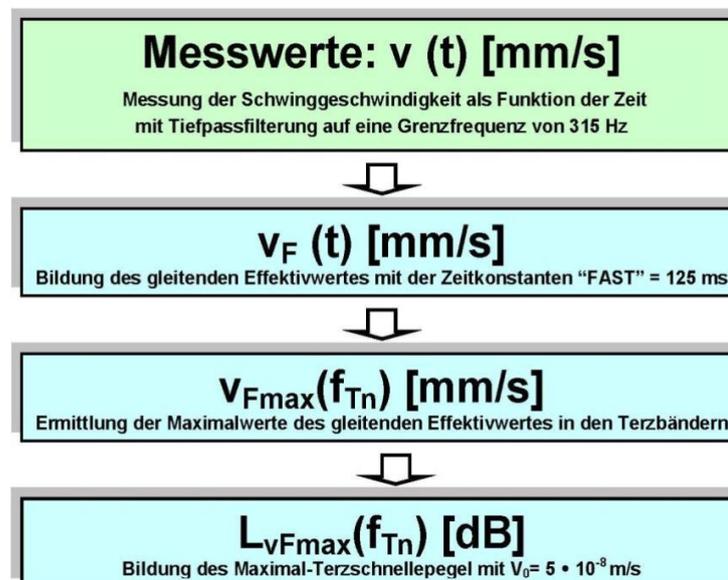


Abbildung 5: Auswertung im Frequenzbereich

7 Untersuchungsergebnisse

7.1 Erschütterungsmessungen

Die Ergebnisse der Emissionsermittlung sind in **Anhang 2** grafisch und tabellarisch dargestellt. Hierbei werden die Emissionsspektren im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz als Mittelwert \pm Standardabweichung bzw. als Mittelwert für jede Messposition angegeben. Zusätzlich werden

jeweils die Anzahl der erfassten Zugereignisse, die gemittelten Zuggeschwindigkeiten, der Abstand zwischen der Messposition und der Gleisachse und die mittleren Summenpegel angegeben.

| Messposition | MP1 | MP2 | MP3 | MP4 | v |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Abstand | 8 m | 15 m | 40 m | 15 m | |
| NV | 70,6 dB | 65,1 dB | 57,5 dB | 71,0 dB | 29 km/h |
| NVDS | 78,5 dB | 76,1 dB | 70,2 dB | 82,5 dB | 28 km/h |

Tabelle 5: Zusammenstellung der Summenpegel L_v in dB

Aus der Tabelle ist zu erkennen, dass die höchsten Summenpegel an der Messposition **MP4** messtechnisch registriert wurden. Die Werte liegen deutlich über den Werten an **MP2**, welche sich in gleicher Entfernung zur Bahnstrecke befindet, und höher als an **MP1**, welche um 7 m geringere Entfernung im Vergleich zu **MP4** aufweist. Das liegt vor allem an den Brems- und Beschleunigungsvorgängen der Züge im Querschnittsbereich des Plangebiet, die zu erhöhten Erschütterungseinwirkungen im Frequenzbereich zwischen 10 Hz und 16 Hz führen. An **MP1** bis **MP3** sind die Emissionen in diesem tieferen Frequenzbereich zwar ebenfalls vorhanden. Da die ankommenden Züge im östlichen Bereich des Plangebiets (**MP4**) stärker bremsen bzw. sich beschleunigen, ist es nicht so ausgeprägt.

7.2 Prognose der Immissionen

Die der Prognose zu Grunde gelegten Übertragungsfunktionen sind in **Anhang 3** angegeben. Die Ergebnisse der Immissionsprognose für Erschütterungen und sekundären Luftschall sind in **Anhang 4** tabellarisch dargestellt. Die Immissionen werden für alle untersuchten Geschosdecken-typen getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum ausgewiesen und beurteilt. **Grün** hinterlegte Felder bedeuten, dass die jeweils gültigen Anforderungen an den Immissionsschutz erfüllt werden. Bei **Rot** hinterlegten Feldern sind die Anforderungen nicht erfüllt.

Für die Beurteilung der zukünftigen schienenverkehrsinduzierten Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall wird das an **MP4** ermittelte Emissionsspektrum für beide zukünftig verkehrenden Zuggattungen herangezogen, da hier die höchsten Emissionen messtechnisch ermittelt wurden. Der Abstand zwischen **MP4** und der Bahnstrecke entspricht dem Abstand zur zukünftigen Gebäudevorderkante. Daher ist eine Abstandskorrektur nicht erforderlich. Sofern die prognostizierten betriebsbedingten Immissionen das Erfordernis von Schutzmaßnahmen ausweisen, werden diese anschließend diskutiert.

7.2.1 Erschütterungen

Unter Berücksichtigung der gemessenen Erschütterungsemissionen und der angenommenen typischen Gebäudeübertragungsfunktionen ergeben sich die in der oberen Tabelle des **Anhang 4.1** ausgewiesenen maximalen bewerteten Schwingstärken im Bereich von

$$\mathbf{KB_{Fmax} = 0,171 \dots 1,800}$$

für den Tag- bzw. für den Nachtzeitraum. Die Schwingstärken liegen zum Teil in einem Bereich des menschlichen Empfindens, der als „gut spürbar“ einzustufen ist. Der für Allgemeine Wohngebiete zulässige untere Anhaltswert wird in **DIN 4150-2**, Tabelle 1 mit

$$\mathbf{A_{u, Tag/Nacht} = 0,200 / 0,100}$$

angegeben. Somit wird für alle geprüften Geschosdeckentypen der untere Anhaltswert der **DIN 4150-2** überschritten. Zur Beurteilung, ob diese Erschütterungsimmissionen im Sinne der **DIN 4150-2** als „erheblich belästigend“ einzustufen sind, wird ein weiterer Beurteilungsschritt, die Bildung der Beurteilungsschwingstärke **KB_{FTr}** erforderlich.

In der mittleren Tabelle des **Anhang 4.1** sind zudem die prognostizierten Beurteilungsschwingstärken dargestellt. Es ergeben sich Beurteilungsschwingstärken von maximal

$$\mathbf{KB_{FTr, Tag/Nacht} = 0,127 / 0,043.}$$

Der für Allgemeine Wohngebiete zulässige Beurteilungsanhaltswert wird in **DIN 4150-2**, Tabelle 1 mit

$$\mathbf{A_{r, Tag/Nacht} = 0,100 / 0,070}$$

angegeben. Die prognostizierten Beurteilungsschwingstärken **KB_{FTr}** schöpfen die Beurteilungsanhaltswerte maximal zu

$$\mathbf{p_{Tag/Nacht} = 181 \% / 96 \%}$$

aus. Dementsprechend werden die Beurteilungsanhaltswerte für die Deckeneigenfrequenzen von 10 Hz bis 20 Hz am Tag nicht eingehalten. Für die Deckeneigenfrequenz von 25 Hz und 31,5 Hz wird der Beurteilungsanhaltswert für den Tagzeitraum hingegen eingehalten. Im Nachtzeitraum wird für alle untersuchten Räume der nächtliche Beurteilungsanhaltswert eingehalten.

Somit werden die Anforderungen der **DIN 4150-2** für die 4 von 6 untersuchten Deckeneigenfrequenzen nicht erfüllt. Gebäudeseitigen Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungseinwirkungen sind also erforderlich.

7.2.2 Sekundärer Luftschall

In **Anhang 4.1** sind in der unteren Tabelle die prognostizierten Immissionen aus sekundärem Luftschall für den Tag bzw. für die Nacht ausgewiesen. Es ergeben sich Beurteilungspegel maximal von bis zu

$$L_{r, \text{Tag/Nacht}} = 17,4 \text{ dB(A)} / 10,8 \text{ dB(A)}.$$

Die in Anlehnung an die **24. BImSchV** zur Beurteilung herangezogenen Immissionsrichtwerte werden um mindestens

$$\Delta L_{r, \text{Tag/Nacht}} = - 21,2 \text{ dB(A)} / - 17,6 \text{ dB(A)}$$

unterschritten und somit mit sicherem Abstand eingehalten. Erhebliche Belästigungen infolge der sekundären Luftschallimmissionen können daher ausgeschlossen werden.

7.3 Mögliche Schutzmaßnahmen

Im vorherigen Kapitel wurde festgestellt, dass bei den gegebenen Abstandsverhältnissen für die Bebauung ohne weiterführende Schutzvorkehrungen erhebliche Belästigung infolge der schienenverkehrsinduzierten Erschütterungsimmissionen nicht ausgeschlossen werden können. Die prognostizierten Immissionen aus Erschütterungen überschreiten die gültigen Beurteilungswerte der **DIN 4150-2**. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob und ggf. in welchem Umfang Konfliktvermeidung bzw. ggf. eine Konfliktminimierung erreicht werden kann.

7.3.1 Aussteifung von Geschossdecken

Wie bereits festgestellt wurde, werden aufgrund von Bremsvorgängen im Querschnittsbereich des Plangebiets hohe Erschütterungseinwirkungen im Frequenzbereich von 10 Hz bis 16 Hz hervorgerufen. Für die Deckeneigenfrequenzen, die in diesem Frequenzbereich sowie in den benachbarten Terzbändern liegen, können aufgrund von Resonanzeffekten erhebliche Belästigungen nicht ausgeschlossen werden.

Durch das gezielte Aussteifen von Geschossdecken kann erreicht werden, dass zum einen der Schwingungswiderstand der Decken erhöht wird und zum anderen das spektrale Übertragungs-

verhalten der Decken dahingehend optimiert wird, dass in das Bauwerk eingeleiteten Schwingungen zu geringeren Schwingungsamplituden der Geschosdecken führen. Somit können Immissionskonflikte dann sicher ausgeschlossen werden, wenn durch Maßnahmen in Gebäuden gewährleistet wird, dass in sämtlichen schutzbedürftigen Räumen nur Geschosdeckeneigenfrequenzen im Bereich von über

$$f_e \geq 25 \text{ Hz.}$$

7.3.2 Gebäudelagerung mit $f_e = 10 \text{ Hz}$

Sofern eine Aussteifung der Gebäudedecken auf mindestens 25 Hz nicht möglich ist, ist eine elastische Gebäudelagerung mit einer Kennfrequenz von

$$f_0 \leq 10 \pm 1 \text{ Hz}$$

vorzunehmen. Die Ergebnisse unter Berücksichtigung solcher Lagerung sind im **Anhang 5** angegeben. Die Ergebnisse für die Beurteilungsschwingstärken (mittlere Tabelle des Anhangs) zeigen, dass eine Gebäudelagerung mit der Kennfrequenz von 10 Hz vorliegend kontraproduktiv ist, da aufgrund der Resonanzeffekten die Erschütterungseinwirkungen bei allen untersuchten Deckeneigenfrequenzen erhöht werden.

7.3.3 Gebäudelagerung mit $f_e = 8 \text{ Hz}$

Eine weitere Schutzmaßnahme ist eine elastische Gebäudelagerung mit einer Kennfrequenz von

$$f_0 \leq 8 \pm 1 \text{ Hz.}$$

Die Ergebnisse unter Berücksichtigung solcher Lagerung sind im **Anhang 6** angegeben. Es zeigt sich, dass die Erschütterungseinwirkungen für alle Deckeneigenfrequenzen ab 12,5 Hz reduziert werden. Dennoch werden die Anhaltswerte für den Tag bei 12,5 Hz deutlich und bei 16 Hz geringfügig überschritten. Für diese Deckeneigenfrequenzen sind die Anforderungen der Norm somit nicht eingehalten.

Die Immissionen für alle Decken, deren Deckeneigenfrequenz mindesten 20 Hz aufweist, werden deutlich reduziert, sodass die Anforderungen der Norm eingehalten sind.

8 Zusammenfassung

Die erschütterungstechnische Untersuchung belegt, dass innerhalb des Geltungsbereichs des Bebauungsplans erhebliche Belästigungen infolge der schienenverkehrsinduzierten Immissio-

nen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall **nicht** zu erwarten sind, soweit die festgesetzten Maßnahmen zum Immissionsschutz umgesetzt werden.

- Aufgrund von tieffrequenten Erschütterungseinwirkungen im Bereich von 10 Hz bis 16 Hz, die durch die im Querschnitt des Plangebiets ausgeführten Brems- und Beschleunigungsvorgänge im geplanten Mehrfamiliengebäude hervorgerufen werden können, ist es zur Gewährleistung gesunder Wohnverhältnisse erforderlich gebäudeseitige Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Erhebliche Belästigungen durch die Immissionen aus sekundärem Luftschall sind hingegen, auch ohne zusätzliche bauliche Maßnahmen, nicht zu erwarten.

- Zunächst ist zu empfehlen, die hier geplante Bebauung durch eine baulastische Erhöhung der Deckeneigenfrequenzen so auszusteifen, dass alle Deckeneigenfrequenzen von schutzwürdigen Nutzungen (Wohn- und Schlafräume oder Ähnliches) im Bereich von über

$$f_0 \geq 25 \text{ Hz}$$

liegen.

- Grundsätzlich ist eine elastische Gebäudelagerung zur Reduzierung der Immissionen aus Erschütterungen möglich. Eine Gebäudelagerung mit der Kennfrequenz von 10 Hz führt im vorliegenden aufgrund der Resonanzeffekten zur Erhöhung der Erschütterungs- immissionen und ist daher nicht zu empfehlen.

- Unter Berücksichtigung einer elastischen Gebäudelagerung mit einer Kenneigenfrequenz von etwa

$$f_0 = 8 \pm 1 \text{ Hz}$$

und gleichzeitiger Optimierung der Deckeneigenfrequenzen von schutzwürdigen Räumen auf

$$f_e \geq 20 \text{ Hz}$$

können die Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall deutlich reduziert werden, so dass die Anhaltswerte im Tag- bzw. im Nachtzeitraum unterschritten werden.

- Für eine Festsetzung der Erschütterungsschutzmaßnahmen im Bebauungsplan „Am Gronauer Bahnhof“ kann die folgende Formulierung gewählt werden:

„Um die Anforderungen der DIN 4150-2 an den Erschütterungsschutz einzuhalten, ist das Wohngebäude im Allgemeinen Wohngebiet so zu konzipieren, dass die Deckeneigenfrequenzen von schutzwürdigen Nutzungen (Wohn- und Schlaf-räume oder Ähnliches) mindestens 25 Hz aufweisen.

Alternativ kann eine elastische Lagerung der Kennfrequenz von 8 Hz eingesetzt werden. Die Deckenfelder von schutzwürdigen Nutzungen sind so zu konzipieren, dass die Deckeneigenfrequenzen mindestens 20 Hz aufweisen.“

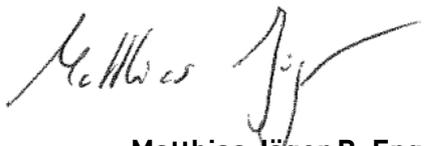
- Ferner kann es empfehlenswert sein, die Prognosen im Vorfeld des Baugenehmigungsverfahrens auf Basis einer nochmals konkretisierten Gebäudeplanung erneut zu überprüfen und die gegebenenfalls erforderlichen Maßnahmen auf diese Planung abzustimmen.

AUFGESTELLT:



Dipl.-Phys. Andreas Malizki

GEPRÜFT UND FREIGEgeben:



Matthias Jäger B. Eng.

ENDE DES BERICHTS

ANHÄNGE

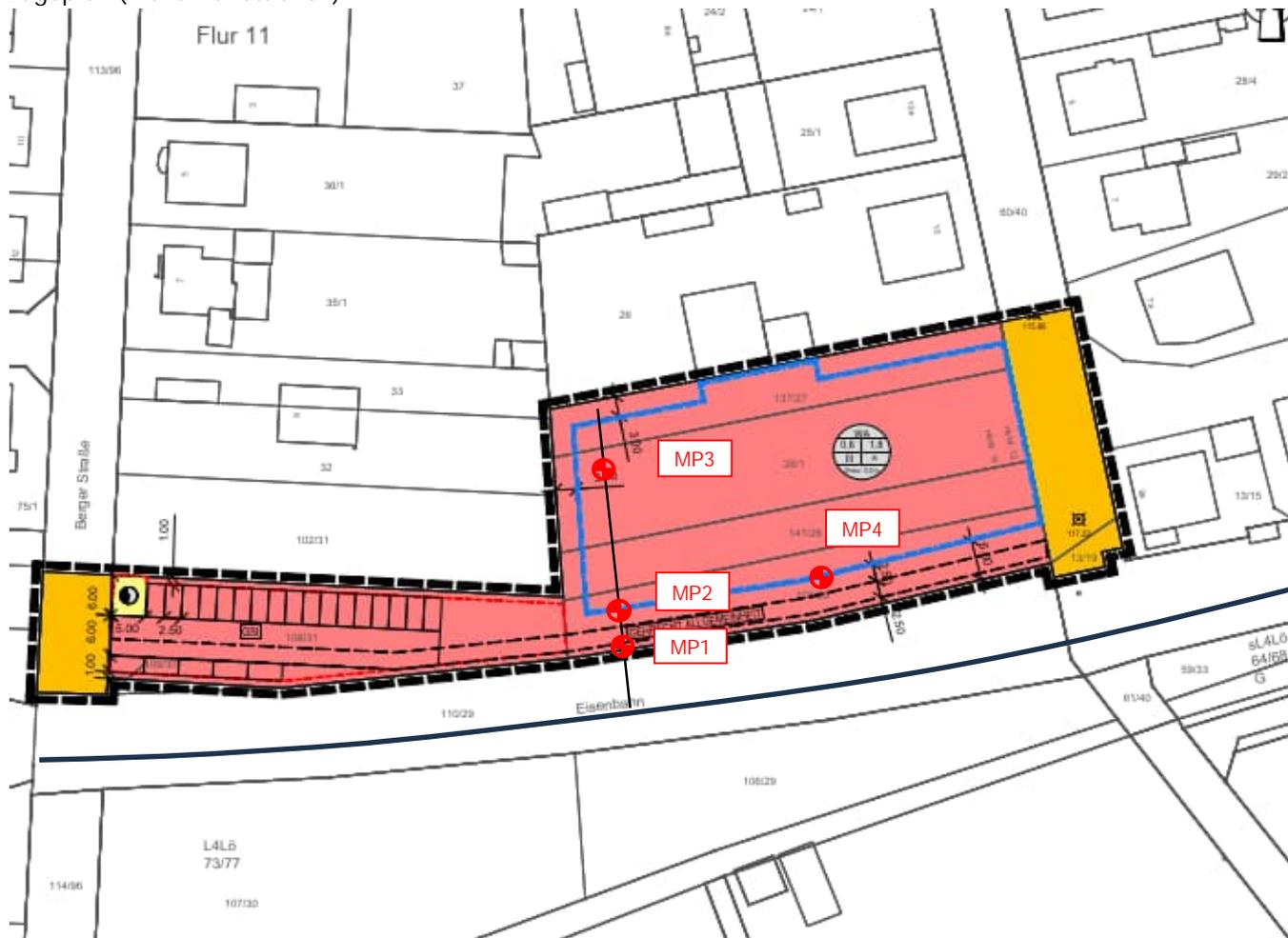
Messprotokoll Erschütterungen

Beschreibung des Messortes

Objektadresse: Bachwiesenstrasse
 Gronau Bad Vilbel

Datum: 22.11.2023

Lageplan (nicht maßstäblich)



+ Messposition
 MP Messpunkt
 MQ Messquerschnitt
 m Abstand

Allgemeine Angaben zu den Messpunkten

| Messposition | Lage | Abstand 1. Gleis | Ankopplung |
|--------------|----------|------------------|--------------------------|
| 1 | Freifeld | 8,0 m | an Erdreich mit Erdspieß |
| 2 | Freifeld | 15,0 m | an Erdreich mit Erdspieß |
| 3 | Freifeld | 40,0 m | an Erdreich mit Erdspieß |
| 4 | Freifeld | 15,0 m | an Erdreich mit Erdspieß |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Messprotokoll Erschütterungen Dokumentation der Messsensoren

Messposition 1: 8,0 m



Messposition 2: 15,0 m



Messposition 3: 40,0 m



Messposition 4: 15,0 m



| Kanal | Mess- position | Mess- richtung | Sensor Nr. | Kalibrier- faktor | Mess- bereich [mm/s] |
|-------|-------------------|-------------------|------------|----------------------|----------------------------|
| 8 | 1 | z | V12 | 0,98 | 0,5 |
| 2 | 2 | z | V25 | 0,98 | 0,5 |
| 4 | 3 | z | V21 | 0,99 | 0,2 |
| 5 | 4 | z | V19 | 1,00 | 0,5 |
| | | | | | |
| | | | | | |

Messprotokoll Erschütterungen

Dokumentation der einzelnen Zugvorbeifahrten

Objektadresse: Bachwiesenstrasse
 Gronau Bad Vilbel

Datum: 22.11.2023
 Zeitraum: 11:49 bis 17:09

| Messung Nr.: | Uhrzeit | Zuggattung | Gleis Nr. | v [km/h] | Richtung B = Bad Vilbel S = Schöneck | Bemerkung |
|--------------|---------|------------|-----------|----------|--|---------------|
| 01 | 11:49 | NV | 1 | 23 | B | |
| 02 | 12:08 | NV | 1 | 30 | S | |
| 03 | 12:53 | NV | 1 | 29 | B | |
| 04 | 13:08 | NV | 1 | 31 | S | |
| 05 | 13:39 | NV | 1 | 30 | S | |
| 06 | 13:53 | NV | 1 | 28 | B | |
| 07 | 14:06 | NV | 1 | 31 | S | |
| 08 | 14:17 | NV | 1 | 29 | B | Störung |
| 09 | 14:49 | NV | 1 | 32 | B | |
| 10 | 15:06 | NV | 1 | 31 | S | |
| 11 | 15:41 | NV | 1 | 34 | S | |
| 12 | 15:49 | NV | 1 | 29 | B | |
| 13 | 16:06 | NV | 1 | 27 | S | |
| 14 | 16:41 | NV | 1 | 31 | S | Störung |
| 15 | 16:49 | NV | 1 | 27 | B | |
| 16 | 17:09 | NVDS | 1 | 28 | S | doppelstöckig |
| 17 | | | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | | | | | |
| 20 | | | | | | |
| 21 | | | | | | |
| 22 | | | | | | |
| 23 | | | | | | |
| 24 | | | | | | |
| 25 | | | | | | |
| 26 | | | | | | |
| 27 | | | | | | |
| 28 | | | | | | |
| 29 | | | | | | |
| 30 | | | | | | |
| 31 | | | | | | |
| 32 | | | | | | |
| 33 | | | | | | |
| 34 | | | | | | |
| 35 | | | | | | |
| 36 | | | | | | |
| 37 | | | | | | |
| 38 | | | | | | |
| 39 | | | | | | |
| 40 | | | | | | |

Messprotokoll Erschütterungen

Übersicht Geschwindigkeit, Anzahl Vorbeifahrten

Objektadresse: Bachwiesenstrasse
 Gronau Bad Vilbel

Datum: 22.11.2023
 Zeitraum: 11:49 bis 17:09

Gemessene Durchschnittsgeschwindigkeit v [km/h]

| | Zuggattung | | | | | | | |
|------------|------------|-------|------|-------|----|-------|---|-------|
| | NV | | NVDS | | FV | | S | |
| Gleis | 29 | +/- 3 | 28 | +/- 0 | - | +/- 0 | - | +/- 0 |
| Mittelwert | 29 | +/- 3 | 28 | +/- 0 | - | +/- 0 | - | +/- 0 |

Anzahl der messtechnisch erfassten Zugvorbeifahrten je Gleis

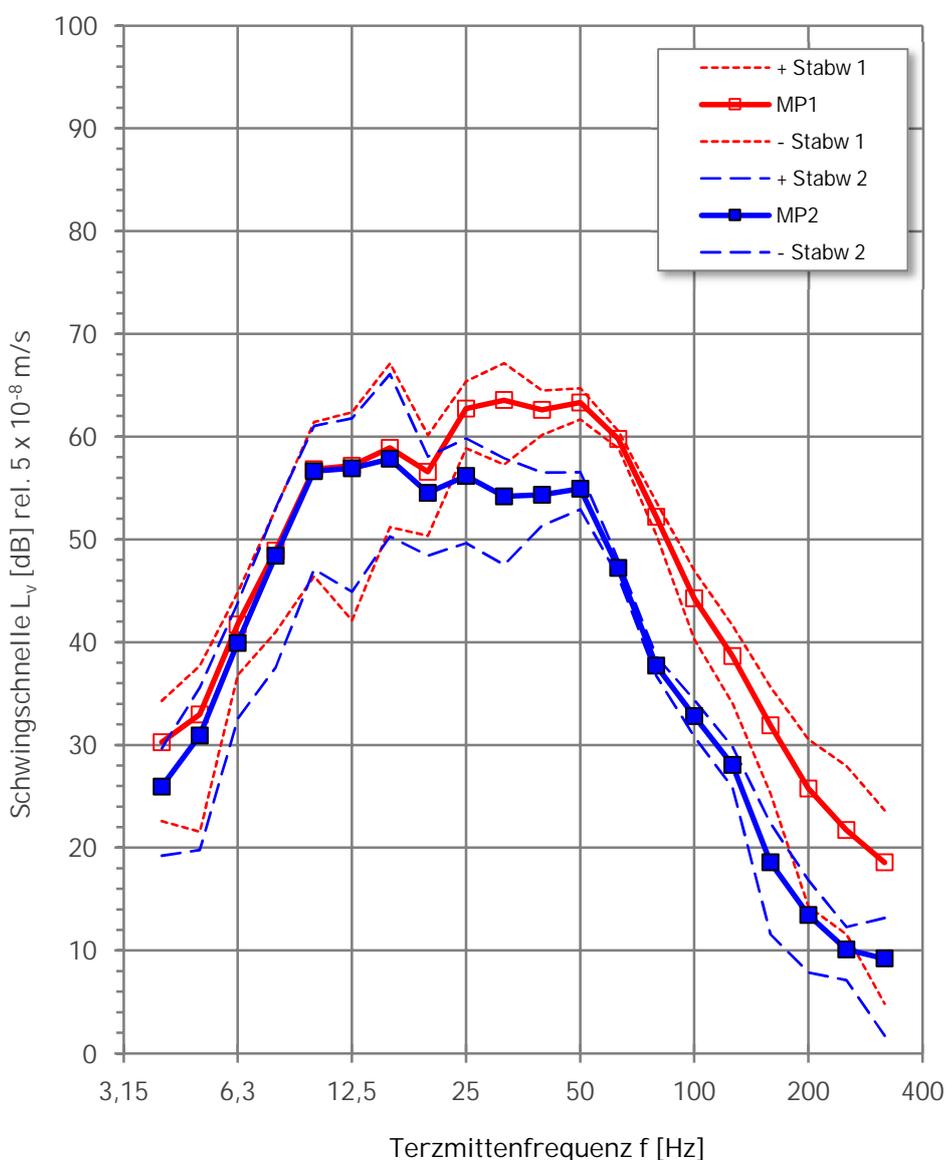
| | Zuggattung | | | | | | | |
|-------|------------|--|------|--|----|--|---|--|
| | NV | | NVDS | | FV | | S | |
| Gleis | 15 | | 1 | | 0 | | 0 | |
| Summe | 15 | | 1 | | 0 | | 0 | |

Emissionsspektrum Nahverkehr (NV)

Messung: Emissions- und Ausbreitungsmessungen an der Strecke 3745
 Bereich Bad Vilbel 22.11.2023

| | | | | |
|------------------|-----|-----------|---------------|---------|
| | MP1 | MP2 | | |
| Anzahl der Züge: | 15 | 15 | Messposition: | 1 2 |
| Geschwindigkeit: | 29 | 29 [km/h] | Sensor: | V12 V25 |
| Abstand: | 8,0 | 15,0 [m] | Kanal: | 8 2 |

Mittelwert +/- StAbw



| MP1 | MP2 | f |
|---------|---------|------|
| Lv [dB] | Lv [dB] | [Hz] |
| 30,3 | 25,9 | 4 |
| 33,0 | 30,9 | 5 |
| 41,7 | 39,9 | 6,3 |
| 48,9 | 48,4 | 8 |
| 56,8 | 56,6 | 10 |
| 57,2 | 56,9 | 12,5 |
| 58,9 | 57,8 | 16 |
| 56,6 | 54,5 | 20 |
| 62,7 | 56,2 | 25 |
| 63,6 | 54,2 | 31,5 |
| 62,6 | 54,3 | 40 |
| 63,3 | 54,9 | 50 |
| 59,8 | 47,2 | 63 |
| 52,2 | 37,7 | 80 |
| 44,3 | 32,8 | 100 |
| 38,6 | 28,1 | 125 |
| 31,9 | 18,6 | 160 |
| 25,8 | 13,5 | 200 |
| 21,7 | 10,1 | 250 |
| 18,6 | 9,2 | 315 |
| 70,6 | 65,1 | Σ |

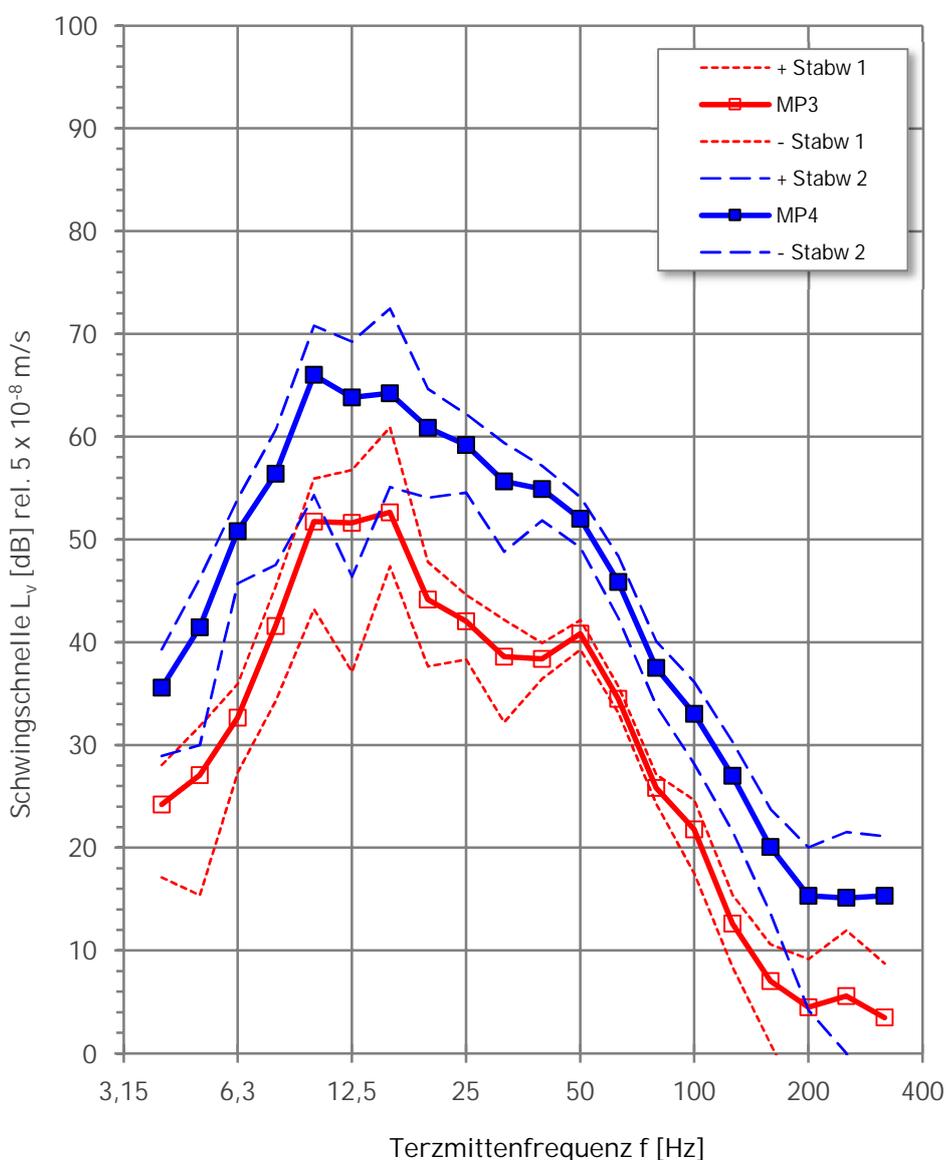
Referenz:
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Emissionsspektrum Nahverkehr (NV)

Messung: Emissions- und Ausbreitungsmessungen an der Strecke 3745
 Bereich Bad Vilbel 22.11.2023

| | | | | |
|------------------|------|-----------|---------------|---------|
| | MP3 | MP4 | | |
| Anzahl der Züge: | 15 | 15 | Messposition: | 3 4 |
| Geschwindigkeit: | 29 | 29 [km/h] | Sensor: | V21 V19 |
| Abstand: | 40,0 | 15,0 [m] | Kanal: | 4 5 |

Mittelwert +/- StAbw



| MP3 | MP4 | f |
|---------|---------|------|
| Lv [dB] | Lv [dB] | [Hz] |
| 24,2 | 35,6 | 4 |
| 27,1 | 41,5 | 5 |
| 32,7 | 50,8 | 6,3 |
| 41,6 | 56,4 | 8 |
| 51,7 | 66,0 | 10 |
| 51,6 | 63,8 | 12,5 |
| 52,6 | 64,2 | 16 |
| 44,1 | 60,9 | 20 |
| 42,0 | 59,2 | 25 |
| 38,6 | 55,6 | 31,5 |
| 38,4 | 54,9 | 40 |
| 40,8 | 52,0 | 50 |
| 34,5 | 45,9 | 63 |
| 25,8 | 37,5 | 80 |
| 21,8 | 33,0 | 100 |
| 12,6 | 27,0 | 125 |
| 7,0 | 20,1 | 160 |
| 4,5 | 15,3 | 200 |
| 5,6 | 15,1 | 250 |
| 3,5 | 15,3 | 315 |
| 57,5 | 71,0 | Σ |

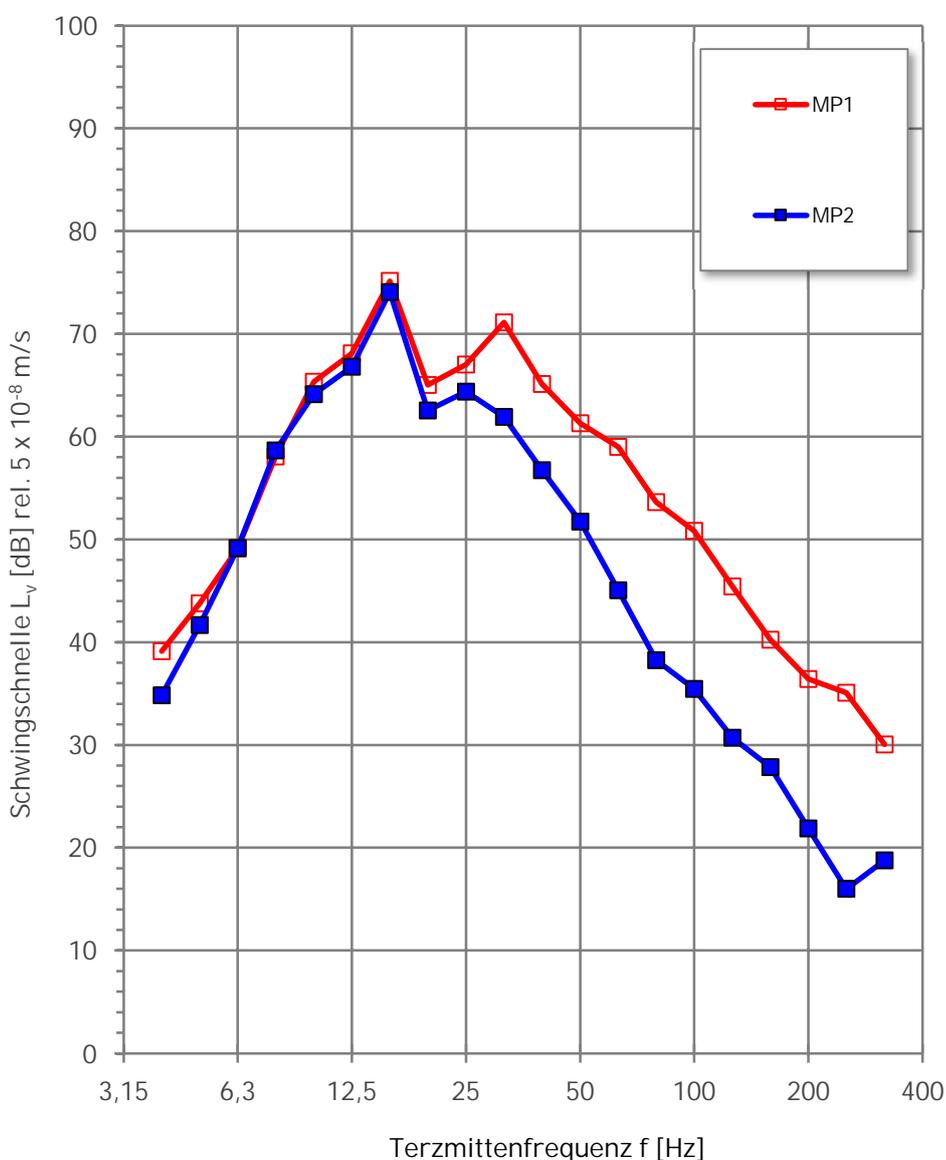
Referenz:
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Emissionsspektrum Doppelstöckiger Nahverkehr (NVDS)

Messung: Emissions- und Ausbreitungsmessungen an der Strecke 3745
 Bereich Bad Vilbel 22.11.2023

| | | | | |
|------------------|-----|-----------|---------------|---------|
| | MP1 | MP2 | | |
| Anzahl der Züge: | 1 | 1 | Messposition: | 1 2 |
| Geschwindigkeit: | 28 | 28 [km/h] | Sensor: | V12 V25 |
| Abstand: | 8,0 | 15,0 [m] | Kanal: | 8 2 |

Mittelwert



| MP1 | MP2 | f |
|---------|---------|------|
| Lv [dB] | Lv [dB] | [Hz] |
| 39,1 | 34,8 | 4 |
| 43,8 | 41,7 | 5 |
| 49,1 | 49,1 | 6,3 |
| 58,1 | 58,6 | 8 |
| 65,3 | 64,1 | 10 |
| 68,1 | 66,8 | 12,5 |
| 75,1 | 74,1 | 16 |
| 65,0 | 62,6 | 20 |
| 67,0 | 64,4 | 25 |
| 71,1 | 61,9 | 31,5 |
| 65,1 | 56,7 | 40 |
| 61,3 | 51,7 | 50 |
| 59,0 | 45,1 | 63 |
| 53,6 | 38,2 | 80 |
| 50,8 | 35,5 | 100 |
| 45,4 | 30,7 | 125 |
| 40,2 | 27,8 | 160 |
| 36,4 | 21,9 | 200 |
| 35,1 | 16,0 | 250 |
| 30,1 | 18,8 | 315 |
| 78,5 | 76,1 | Σ |

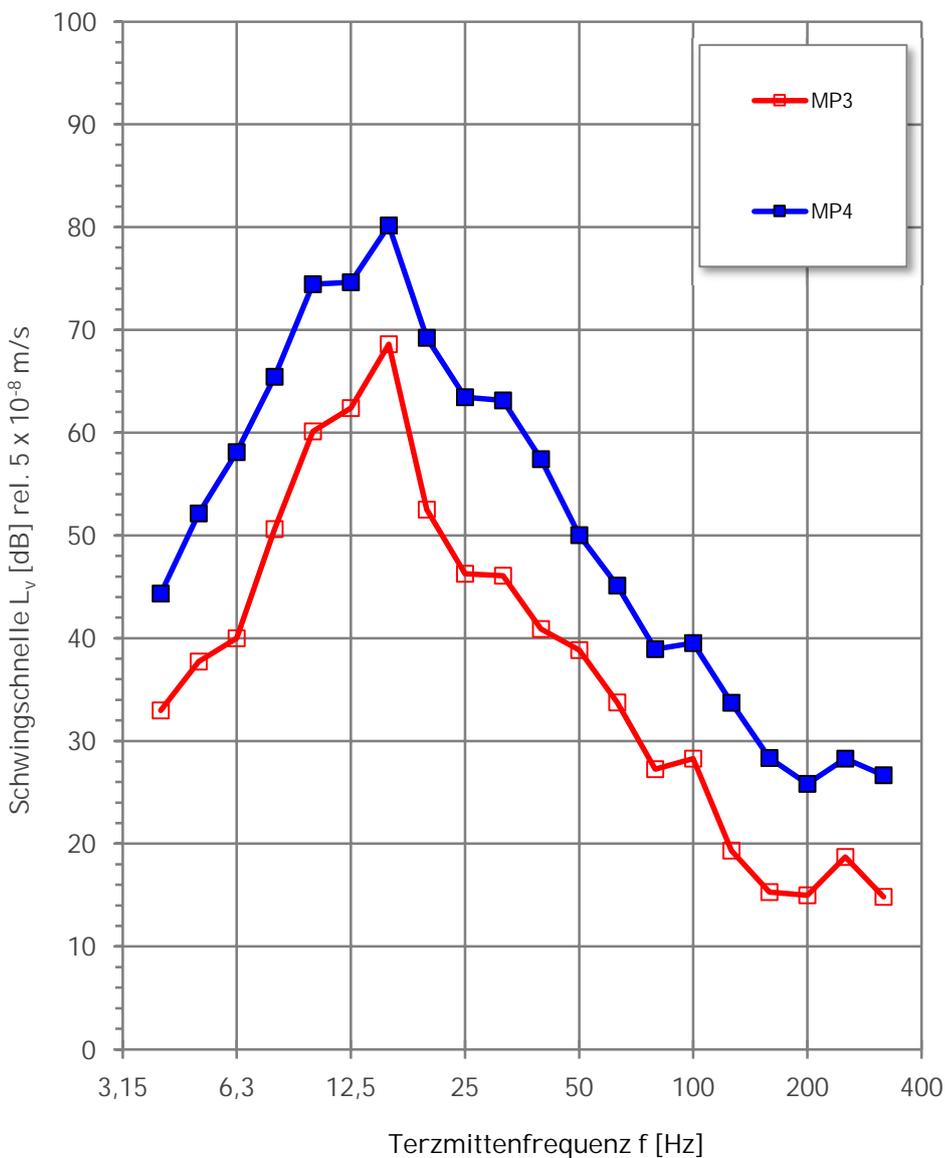
Referenz:
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Emissionsspektrum Doppelstöckiger Nahverkehr (NVDS)

Messung: Emissions- und Ausbreitungsmessungen an der Strecke 3745
 Bereich Bad Vilbel 22.11.2023

| | | | | |
|------------------|------|-----------|---------------|---------|
| | MP3 | MP4 | | |
| Anzahl der Züge: | 1 | 1 | Messposition: | 3 4 |
| Geschwindigkeit: | 28 | 28 [km/h] | Sensor: | V21 V19 |
| Abstand: | 40,0 | 15,0 [m] | Kanal: | 4 5 |

Mittelwert



| MP3 | MP4 | f |
|---------|---------|------|
| Lv [dB] | Lv [dB] | [Hz] |
| 33,0 | 44,3 | 4 |
| 37,7 | 52,1 | 5 |
| 40,0 | 58,1 | 6,3 |
| 50,6 | 65,4 | 8 |
| 60,1 | 74,4 | 10 |
| 62,4 | 74,6 | 12,5 |
| 68,6 | 80,2 | 16 |
| 52,5 | 69,2 | 20 |
| 46,3 | 63,4 | 25 |
| 46,1 | 63,1 | 31,5 |
| 40,9 | 57,4 | 40 |
| 38,8 | 50,0 | 50 |
| 33,7 | 45,1 | 63 |
| 27,2 | 38,9 | 80 |
| 28,3 | 39,5 | 100 |
| 19,3 | 33,7 | 125 |
| 15,3 | 28,3 | 160 |
| 15,0 | 25,8 | 200 |
| 18,7 | 28,3 | 250 |
| 14,8 | 26,7 | 315 |
| 70,2 | 82,5 | Σ |

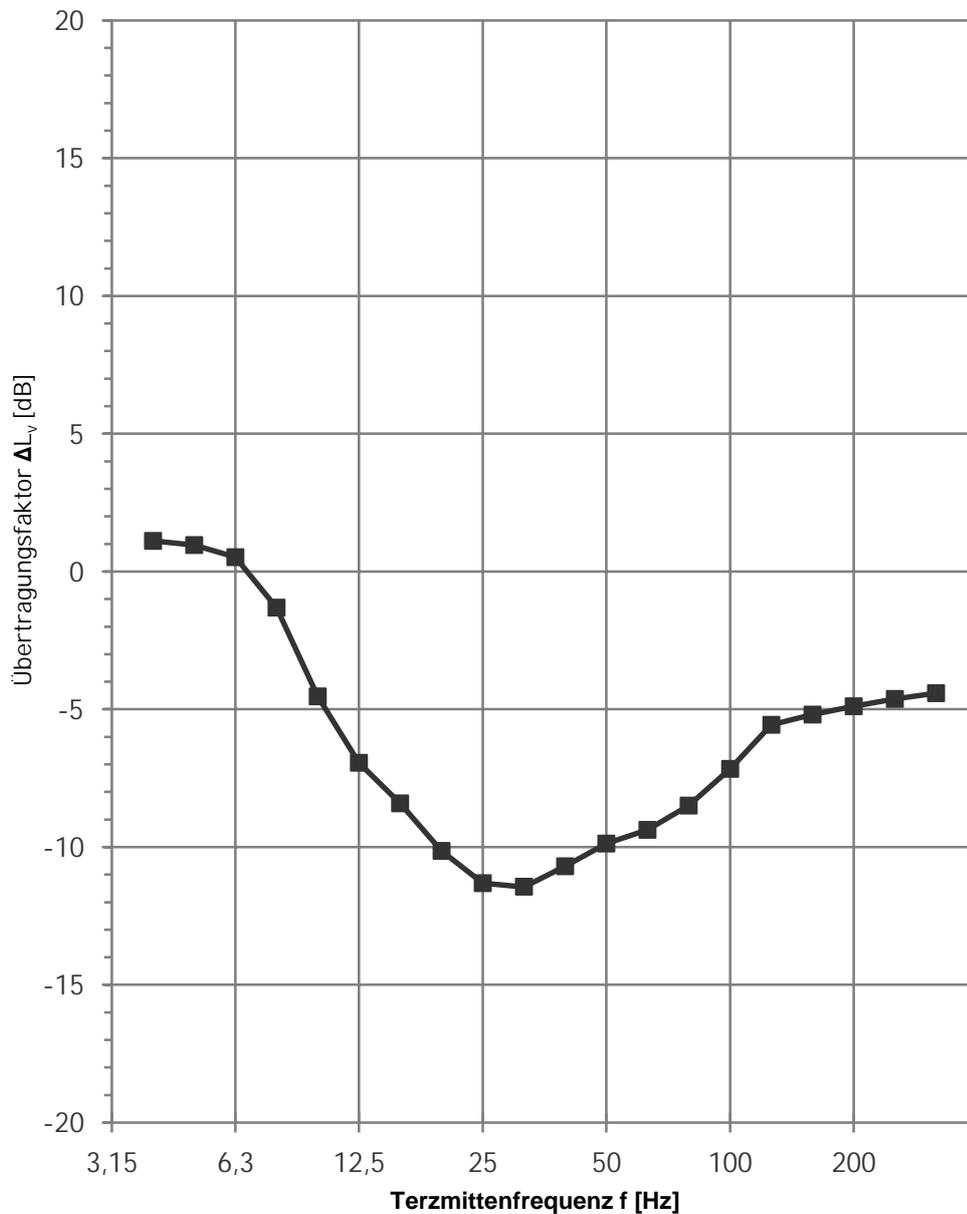
Referenz:
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Übertragungsfunktion Erdreich - Fundament (T2)

Quelle: Statistische Auswertung der vorliegenden Messergebnisse
 für 112 Bebaungen
 KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Gebäudetyp: Mehrfamilienhäuser
 Schwingrichtung: vertikal (z)

Mittelwerte



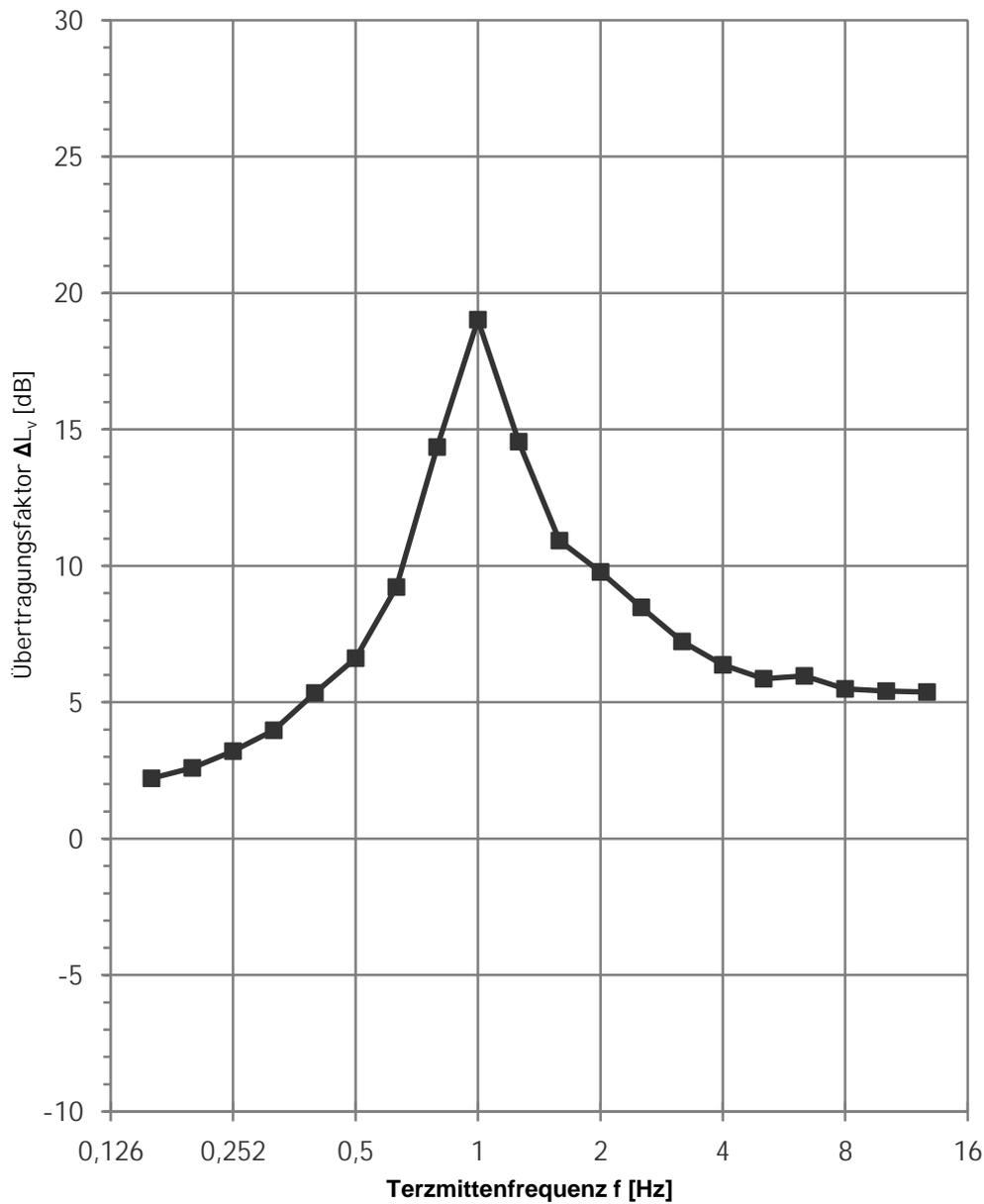
| ΔL_v [dB] | f [Hz] |
|----------------------|-----------|
| 1,1 | 4 |
| 1,0 | 5 |
| 0,5 | 6,3 |
| -1,3 | 8 |
| -4,5 | 10 |
| -6,9 | 12,5 |
| -8,4 | 16 |
| -10,1 | 20 |
| -11,3 | 25 |
| -11,4 | 31,5 |
| -10,7 | 40 |
| -9,9 | 50 |
| -9,4 | 63 |
| -8,5 | 80 |
| -7,2 | 100 |
| -5,6 | 125 |
| -5,2 | 160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

Normierte Übertragungsfunktion Fundament - Geschossdecke (T3)

Quelle: Statistische Auswertung der vorliegenden Messergebnisse
 für 469 Bebaungen
 KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Deckenart: Stahlbetondecke
 Schwingrichtung: vertikal (z)

Mittelwert + Standardabweichung



| ΔL_v [dB] | f/f0 [-] |
|----------------------|-------------|
| 2,2 | 0,16 |
| 2,6 | 0,2 |
| 3,2 | 0,252 |
| 4,0 | 0,32 |
| 5,3 | 0,4 |
| 6,6 | 0,5 |
| 9,2 | 0,64 |
| 14,4 | 0,8 |
| 19,0 | 1 |
| 14,6 | 1,26 |
| 10,9 | 1,6 |
| 9,8 | 2 |
| 8,5 | 2,52 |
| 7,2 | 3,2 |
| 6,4 | 4 |
| 5,9 | 5 |
| 6,0 | 6,4 |
| 5,5 | 8 |
| 5,4 | 10 |
| 5,4 | 12,6 |

Beurteilung der Immissionen sekundärer Luftschall und Erschütterungen

Strecke: 3745 Gebäude: Bachwiesenstraße, Gronau
 Raum 1: EG, Schlafen Deckenart 1: Betondecke Deckeneigenfrequenz 1: 10,0 Hz
 Raum 2: 1. OG, Schlafen Deckenart 2: Betondecke Deckeneigenfrequenz 2: 12,5 Hz
 Raum 3: 2. OG, Schlafen Deckenart 3: Betondecke Deckeneigenfrequenz 3: 16,0 Hz

| Anforderungen sek. Luftschall [dB(A)] | | | | | | Anforderungen Erschütterungen [KB] | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| IRW _{1,T} | IRW _{1,N} | IRW _{2,T} | IRW _{2,N} | IRW _{3,T} | IRW _{3,N} | Gebietsnutzung | A _{u,T} | A _{o,T} | A _{r,T} | A _{u,N} | A _{o,N} | A _{r,N} |
| 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | Wohngebiet | 0,15 | 3,00 | 0,07 | 0,10 | 0,60 | 0,05 |

Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2 - 1. Beurteilungsschritt

| Gleis | Maximale bewertete Schwingstärke KBF _{max} | | | | | | Schutz- maß- nahme | Anforderungen eingehalten? | | | | | |
|--------|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|----------------------------|---|--------|---|--------|---|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 1,547 | 0,523 | 1,582 | 0,435 | 1,800 | 0,363 | keine | ? | ? | ? | ? | ? | ? |
| gesamt | 1,547 | 0,523 | 1,582 | 0,435 | 1,800 | 0,363 | | ? | ? | ? | ? | ? | ? |

Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2 - 2. Beurteilungsschritt

| Gleis | Beurteilungsschwingstärke KBF _{Tr} | | | | | | Schutz- maß- nahme | Ausschöpfung KB _{FTr} [%] | | | | | |
|--------|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|------------------------------------|-----|--------|-----|--------|-----|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 0,127 | 0,048 | 0,117 | 0,040 | 0,119 | 0,033 | keine | 181% | 96% | 167% | 79% | 170% | 66% |
| gesamt | 0,127 | 0,048 | 0,117 | 0,040 | 0,119 | 0,033 | | 181% | 96% | 167% | 79% | 170% | 66% |

Beurteilung nach 24. BImSchV

| Gleis | sekundärer Luftschall Beurteilungspegel L _r [dB(A)] | | | | | | Schutz- maß- nahme | Differenz zum IRW [dB(A)] | | | | | |
|--------|--|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|---------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 15,5 | 8,9 | 16,1 | 9,4 | 17,1 | 10,1 | keine | -24,5 | -21,1 | -23,9 | -20,6 | -22,9 | -19,9 |
| gesamt | 15,5 | 8,9 | 16,1 | 9,4 | 17,1 | 10,1 | | -24,5 | -21,1 | -23,9 | -20,6 | -22,9 | -19,9 |

Beurteilung der Immissionen sekundärer Luftschall und Erschütterungen

Strecke: 3745 Gebäude: Bachwiesenstraße, Gronau
 Raum 1: EG, Schlafen Deckenart 1: Betondecke Deckeneigenfrequenz 1: 20,0 Hz
 Raum 2: 1. OG, Schlafen Deckenart 2: Betondecke Deckeneigenfrequenz 2: 25,0 Hz
 Raum 3: 2. OG, Schlafen Deckenart 3: Betondecke Deckeneigenfrequenz 3: 31,5 Hz

| Anforderungen sek. Luftschall [dB(A)] | | | | | | Anforderungen Erschütterungen [KB] | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| IRW _{1,T} | IRW _{1,N} | IRW _{2,T} | IRW _{2,N} | IRW _{3,T} | IRW _{3,N} | Gebietsnutzung | A _{u,T} | A _{o,T} | A _{r,T} | A _{u,N} | A _{o,N} | A _{r,N} |
| 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | Wohngebiet | 0,15 | 3,00 | 0,07 | 0,10 | 0,60 | 0,05 |

Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2 - 1. Beurteilungsschritt

| Gleis | Maximale bewertete Schwingstärke KBF _{max} | | | | | | Schutz- maß- nahme | Anforderungen eingehalten? | | | | | |
|--------|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|----------------------------|---|--------|---|--------|---|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 1,132 | 0,272 | 0,711 | 0,212 | 0,557 | 0,171 | keine | ? | ? | ? | ? | ? | ? |
| gesamt | 1,132 | 0,272 | 0,711 | 0,212 | 0,557 | 0,171 | | ? | ? | ? | ? | ? | ? |

Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2 - 2. Beurteilungsschritt

| Gleis | Beurteilungsschwingstärke KBF _{Tr} | | | | | | Schutz- maß- nahme | Ausschöpfung KB _{FTr} [%] | | | | | |
|--------|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|------------------------------------|-----|--------|-----|--------|-----|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 0,079 | 0,025 | 0,055 | 0,019 | 0,043 | 0,016 | keine | 114% | 50% | 78% | 39% | 62% | 31% |
| gesamt | 0,079 | 0,025 | 0,055 | 0,019 | 0,043 | 0,016 | | 114% | 50% | 78% | 39% | 62% | 31% |

Beurteilung nach 24. BImSchV

| Gleis | sekundärer Luftschall Beurteilungspegel L _r [dB(A)] | | | | | | Schutz- maß- nahme | Differenz zum IRW [dB(A)] | | | | | |
|--------|--|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|---------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 17,4 | 10,8 | 18,0 | 11,5 | 18,8 | 12,4 | keine | -22,6 | -19,2 | -22,0 | -18,5 | -21,2 | -17,6 |
| gesamt | 17,4 | 10,8 | 18,0 | 11,5 | 18,8 | 12,4 | | -22,6 | -19,2 | -22,0 | -18,5 | -21,2 | -17,6 |

Beurteilung der Immissionen sekundärer Luftschall und Erschütterungen

Strecke: 3745 Gebäude: Bachwiesenstraße, Gronau
 Raum 1: EG, Schlafen Deckenart 1: Betondecke Deckeneigenfrequenz 1: 10,0 Hz
 Raum 2: 1. OG, Schlafen Deckenart 2: Betondecke Deckeneigenfrequenz 2: 12,5 Hz
 Raum 3: 2. OG, Schlafen Deckenart 3: Betondecke Deckeneigenfrequenz 3: 16,0 Hz

| Anforderungen sek. Luftschall [dB(A)] | | | | | | Anforderungen Erschütterungen [KB] | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| IRW _{1,T} | IRW _{1,N} | IRW _{2,T} | IRW _{2,N} | IRW _{3,T} | IRW _{3,N} | Gebietsnutzung | A _{u,T} | A _{o,T} | A _{r,T} | A _{u,N} | A _{o,N} | A _{r,N} |
| 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | Wohngebiet | 0,15 | 3,00 | 0,07 | 0,10 | 0,60 | 0,05 |

Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2 - 1. Beurteilungsschritt

| Gleis | Maximale bewertete Schwingstärke KBF _{max} | | | | | | Schutz- maß- nahme | Anforderungen eingehalten? | | | | | |
|--------|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|----------------------------|---|--------|---|--------|---|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 3,283 | 1,219 | 2,324 | 0,794 | 1,676 | 0,482 | 10 Hz Lagerung | N | N | ? | N | ? | ? |
| gesamt | 3,283 | 1,219 | 2,324 | 0,794 | 1,676 | 0,482 | | N | N | ? | N | ? | ? |

Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2 - 2. Beurteilungsschritt

| Gleis | Beurteilungsschwingstärke KBF _{Tr} | | | | | | Schutz- maß- nahme | Ausschöpfung KB _{FTr} [%] | | | | | |
|--------|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|------------------------------------|------|--------|------|--------|-----|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 0,283 | 0,111 | 0,191 | 0,072 | 0,127 | 0,044 | 10 Hz Lagerung | 404% | 223% | 273% | 145% | 181% | 88% |
| gesamt | 0,283 | 0,111 | 0,191 | 0,072 | 0,127 | 0,044 | | 404% | 223% | 273% | 145% | 181% | 88% |

Beurteilung nach 24. BImSchV

| Gleis | sekundärer Luftschall Beurteilungspegel L _r [dB(A)] | | | | | | Schutz- maß- nahme | Differenz zum IRW [dB(A)] | | | | | |
|--------|--|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|---------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 13,2 | 6,1 | 12,9 | 5,5 | 12,9 | 5,0 | 10 Hz Lagerung | -26,8 | -23,9 | -27,1 | -24,5 | -27,1 | -25,0 |
| gesamt | 13,2 | 6,1 | 12,9 | 5,5 | 12,9 | 5,0 | | -26,8 | -23,9 | -27,1 | -24,5 | -27,1 | -25,0 |

Beurteilung der Immissionen sekundärer Luftschall und Erschütterungen

Strecke: 3745 Gebäude: Bachwiesenstraße, Gronau
 Raum 1: EG, Schlafen Deckenart 1: Betondecke Deckeneigenfrequenz 1: 20,0 Hz
 Raum 2: 1. OG, Schlafen Deckenart 2: Betondecke Deckeneigenfrequenz 2: 25,0 Hz
 Raum 3: 2. OG, Schlafen Deckenart 3: Betondecke Deckeneigenfrequenz 3: 31,5 Hz

| Anforderungen sek. Luftschall [dB(A)] | | | | | | Anforderungen Erschütterungen [KB] | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| IRW _{1,T} | IRW _{1,N} | IRW _{2,T} | IRW _{2,N} | IRW _{3,T} | IRW _{3,N} | Gebietsnutzung | A _{u,T} | A _{o,T} | A _{r,T} | A _{u,N} | A _{o,N} | A _{r,N} |
| 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | Wohngebiet | 0,15 | 3,00 | 0,07 | 0,10 | 0,60 | 0,05 |

Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2 - 1. Beurteilungsschritt

| Gleis | Maximale bewertete Schwingstärke KBF _{max} | | | | | | Schutz- maß- nahme | Anforderungen eingehalten? | | | | | |
|--------|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|----------------------------|---|--------|---|--------|---|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 1,100 | 0,340 | 0,829 | 0,280 | 0,696 | 0,239 | 10 Hz Lagerung | ? | ? | ? | ? | ? | ? |
| gesamt | 1,100 | 0,340 | 0,829 | 0,280 | 0,696 | 0,239 | | ? | ? | ? | ? | ? | ? |

Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2 - 2. Beurteilungsschritt

| Gleis | Beurteilungsschwingstärke KBF _{Tr} | | | | | | Schutz- maß- nahme | Ausschöpfung KB _{FTr} [%] | | | | | |
|--------|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|------------------------------------|-----|--------|-----|--------|-----|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 0,086 | 0,031 | 0,068 | 0,026 | 0,057 | 0,022 | 10 Hz Lagerung | 123% | 62% | 97% | 51% | 82% | 44% |
| gesamt | 0,086 | 0,031 | 0,068 | 0,026 | 0,057 | 0,022 | | 123% | 62% | 97% | 51% | 82% | 44% |

Beurteilung nach 24. BImSchV

| Gleis | sekundärer Luftschall Beurteilungspegel L _r [dB(A)] | | | | | | Schutz- maß- nahme | Differenz zum IRW [dB(A)] | | | | | |
|--------|--|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|---------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 11,3 | 3,9 | 10,2 | 3,2 | 9,6 | 2,6 | 10 Hz Lagerung | -28,7 | -26,1 | -29,8 | -26,8 | -30,4 | -27,4 |
| gesamt | 11,3 | 3,9 | 10,2 | 3,2 | 9,6 | 2,6 | | -28,7 | -26,1 | -29,8 | -26,8 | -30,4 | -27,4 |

Beurteilung der Immissionen sekundärer Luftschall und Erschütterungen

Strecke: 3745 Gebäude: Bachwiesenstraße, Gronau
 Raum 1: EG, Schlafen Deckenart 1: Betondecke Deckeneigenfrequenz 1: 10,0 Hz
 Raum 2: 1. OG, Schlafen Deckenart 2: Betondecke Deckeneigenfrequenz 2: 12,5 Hz
 Raum 3: 2. OG, Schlafen Deckenart 3: Betondecke Deckeneigenfrequenz 3: 16,0 Hz

| Anforderungen sek. Luftschall [dB(A)] | | | | | | Anforderungen Erschütterungen [KB] | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| IRW _{1,T} | IRW _{1,N} | IRW _{2,T} | IRW _{2,N} | IRW _{3,T} | IRW _{3,N} | Gebietsnutzung | A _{u,T} | A _{o,T} | A _{r,T} | A _{u,N} | A _{o,N} | A _{r,N} |
| 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | Wohngebiet | 0,15 | 3,00 | 0,07 | 0,10 | 0,60 | 0,05 |

Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2 - 1. Beurteilungsschritt

| Gleis | Maximale bewertete Schwingstärke KBF _{max} | | | | | | Schutz- maß- nahme | Anforderungen eingehalten? | | | | | |
|--------|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|----------------------------|---|--------|---|--------|---|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 1,844 | 0,679 | 1,278 | 0,436 | 0,957 | 0,278 | 8 Hz Lagerung | ? | N | ? | ? | ? | ? |
| gesamt | 1,844 | 0,679 | 1,278 | 0,436 | 0,957 | 0,278 | | ? | N | ? | ? | ? | ? |

Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2 - 2. Beurteilungsschritt

| Gleis | Beurteilungsschwingstärke KBF _{Tr} | | | | | | Schutz- maß- nahme | Ausschöpfung KB _{FTr} [%] | | | | | |
|--------|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|------------------------------------|------|--------|-----|--------|-----|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 0,158 | 0,062 | 0,105 | 0,040 | 0,073 | 0,025 | 8 Hz Lagerung | 226% | 124% | 150% | 80% | 104% | 51% |
| gesamt | 0,158 | 0,062 | 0,105 | 0,040 | 0,073 | 0,025 | | 226% | 124% | 150% | 80% | 104% | 51% |

Beurteilung nach 24. BImSchV

| Gleis | sekundärer Luftschall Beurteilungspegel L _r [dB(A)] | | | | | | Schutz- maß- nahme | Differenz zum IRW [dB(A)] | | | | | |
|--------|--|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|---------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 9,8 | 2,7 | 9,7 | 2,3 | 9,9 | 2,0 | 8 Hz Lagerung | -30,2 | -27,3 | -30,3 | -27,7 | -30,1 | -28,0 |
| gesamt | 9,8 | 2,7 | 9,7 | 2,3 | 9,9 | 2,0 | | -30,2 | -27,3 | -30,3 | -27,7 | -30,1 | -28,0 |

Beurteilung der Immissionen sekundärer Luftschall und Erschütterungen

Strecke: 3745 Gebäude: Bachwiesenstraße, Gronau
 Raum 1: EG, Schlafen Deckenart 1: Betondecke Deckeneigenfrequenz 1: 20,0 Hz
 Raum 2: 1. OG, Schlafen Deckenart 2: Betondecke Deckeneigenfrequenz 2: 25,0 Hz
 Raum 3: 2. OG, Schlafen Deckenart 3: Betondecke Deckeneigenfrequenz 3: 31,5 Hz

| Anforderungen sek. Luftschall [dB(A)] | | | | | | Anforderungen Erschütterungen [KB] | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| IRW _{1,T} | IRW _{1,N} | IRW _{2,T} | IRW _{2,N} | IRW _{3,T} | IRW _{3,N} | Gebietsnutzung | A _{u,T} | A _{o,T} | A _{r,T} | A _{u,N} | A _{o,N} | A _{r,N} |
| 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | Wohngebiet | 0,15 | 3,00 | 0,07 | 0,10 | 0,60 | 0,05 |

Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2 - 1. Beurteilungsschritt

| Gleis | Maximale bewertete Schwingstärke KBF _{max} | | | | | | Schutz- maß- nahme | Anforderungen eingehalten? | | | | | |
|--------|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|----------------------------|---|--------|---|--------|---|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 0,653 | 0,206 | 0,501 | 0,171 | 0,429 | 0,149 | 8 Hz Lagerung | ? | ? | ? | ? | ? | ? |
| gesamt | 0,653 | 0,206 | 0,501 | 0,171 | 0,429 | 0,149 | | ? | ? | ? | ? | ? | ? |

Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2 - 2. Beurteilungsschritt

| Gleis | Beurteilungsschwingstärke KBF _{Tr} | | | | | | Schutz- maß- nahme | Ausschöpfung KB _{FTr} [%] | | | | | |
|--------|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|------------------------------------|-----|--------|-----|--------|-----|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 0,052 | 0,019 | 0,041 | 0,016 | 0,036 | 0,014 | 8 Hz Lagerung | 74% | 38% | 59% | 31% | 51% | 27% |
| gesamt | 0,052 | 0,019 | 0,041 | 0,016 | 0,036 | 0,014 | | 74% | 38% | 59% | 31% | 51% | 27% |

Beurteilung nach 24. BImSchV

| Gleis | sekundärer Luftschall Beurteilungspegel L _r [dB(A)] | | | | | | Schutz- maß- nahme | Differenz zum IRW [dB(A)] | | | | | |
|--------|--|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|---------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | | | Raum 1 | | Raum 2 | | Raum 3 | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht | | T | N | T | N | T | N |
| 1 | 8,7 | 1,3 | 7,8 | 1,0 | 7,4 | 0,6 | 8 Hz Lagerung | -31,3 | -28,7 | -32,2 | -29,0 | -32,6 | -29,4 |
| gesamt | 8,7 | 1,3 | 7,8 | 1,0 | 7,4 | 0,6 | | -31,3 | -28,7 | -32,2 | -29,0 | -32,6 | -29,4 |