

ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHE UNTERSUCHUNG

VORHABEN:	Bebauungsplan Nr. 81 „Erweiterung Gewerbeband Frankfurter Landstraße“ in Bad Nauheim
AUFTRAGGEBER:	Stadt Bad Nauheim Der Magistrat, Fachdienst Stadtentwicklung Parkstraße 36-38 61216 Bad Nauheim
BEARBEITUNG:	KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH Heinrich-Hertz-Str. 2 64295 Darmstadt T +49 6151 885-383
BERICHT:	Prüfung der Belange des Erschütterungsschutzes im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens Nummer: 20260025-805-VSE-1 Bearbeitung: Andreas Malizki Umfang: 17 Seiten Bericht 15 Seiten Anhänge 32 Seiten gesamt Datum: 24.07.2026

Dieser Bericht ist nur für den Auftraggeber im Zusammenhang mit dem oben genannten Planvorhaben bestimmt.
Eine darüberhinausgehende Verwendung, vor allem durch Dritte, unterliegt dem Urheberrecht gemäß UrhG.

INHALT

1.	Sachverhalt und Aufgabenstellung	5
2.	Grundlagen	5
2.1	Bearbeitungsgrundlagen	5
2.1.1	Gesetze, Verordnungen, Normen	5
2.1.2	Planunterlagen	6
3.	Anforderungen an den Immissionsschutz	6
3.1	Erschütterungen	6
3.1.1	Allgemeines Beurteilungsverfahren	6
3.1.2	Anhaltswerte	7
3.1.3	Bewertungsfaktor	8
3.1.4	Beurteilung der Immissionen für städtebauliche Planungen	8
3.2	Sekundärer Luftschall	9
3.2.1	Grundlagen der Beurteilung	9
3.2.2	Anforderungswerte	10
4.	Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise	11
4.1	Prognosemodell	11
4.1.1	Emissionen	11
4.1.2	Transferfunktion T_1	12
4.1.3	Gebäudeübertragungsfunktion	12
4.2	Betriebsparameter der Bahnstrecke	12
4.3	Immissionen	13
4.3.1	Erschütterungen	13
4.3.2	Sekundärer Luftschall	14
5.	Untersuchungsergebnisse	14
5.1	Erschütterungen	15
5.2	Sekundärer Luftschall	15
5.3	Mögliche Schutzmaßnahmen	16
6.	Zusammenfassung	16

ANHANG

Anhang 1	Übersichtslageplan
Anhang 2	Emissionsspektren
Anhang 3	Übertragungsfunktionen
Anhang 4	Betriebsprogramm
Anhang 5	Einwirkungsmatrizen

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen	7
Tabelle 2: Bewertungsfaktoren zur Berücksichtigung unterschiedlicher Zugcharakteristik	8
Tabelle 3: Immissionsrichtwerte für den sekundären Luftschall	10
Tabelle 4: Betriebsprogramm 2030 für die Strecke 3900	13

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Übertragungen von Erschütterungen	11
--	----

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

16. BlmSchV	Verkehrslärmschutzverordnung
24. BlmSchV	Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung
A	Anhaltswert
A _r	Beurteilungsanhaltswert nach DIN 4150-2
A _o	Oberer Anhaltswert nach DIN 4150-2
A _u	Unterer Anhaltswert nach DIN 4150-2
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BlmSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BlmSchV	Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
BVerwG	Bundes-Verwaltungsgericht
dB	Dezibel
f	Frequenz [Hz]
f ₀	Deckeneigenfrequenz [Hz]
FV	Personenfernverkehr
GE	Gewerbegebiete gemäß BauNVO §6
GL	Güterverkehr, Grundlast
GV	Güterverkehr, Güterzug
KB _{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke [-]
KB _{FT_r}	Beurteilungsschwingstärke [-]
L _{ri}	Beurteilungspegels [dB(A)]
L _{sek}	sek. Luftschallpegel des betrachteten Bauteils [dB(A)]
L _v	mittlerer A-bewerteter Körperschallschnellepegel des betrachteten Bauteils [dB(A)]
MQ	Messquerschnitt
MP	Messposition
N	Anzahl von Zügen
NV	Personennahverkehr
r, R	Abstand
StAbw	Standartabweichung
T	Transferfunktion
v	Geschwindigkeit [km/h]
v _{max}	Höchstgeschwindigkeit [km/h]
v ₀	Referenzwert für die Schwingschnelle [5 * 10 ⁻⁸ m/s]

REVISIONSVERZEICHNIS

Fassung	Inhalt	Stand
VSE-1	Erschütterungsprognose	02.07.2026

1. SACHVERHALT UND AUFGABENSTELLUNG

Im Auftrag der Stadt Bad Nauheim soll ein neues Gewerbegebiet entlang der Frankfurter Landstraße in Bad Nauheim entwickelt werden, welches im Norden an das Grundstück grenzt, welches im Geltungsbereich des Bebauungsplans „Auf dem Schützenrain“ liegt. Hierfür wurde der Vorentwurf des Bebauungsplans Nr. 81 „Erweiterung Gewerbeband Frankfurter Landstraße“ erstellt.

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 Betracht 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.

Im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens zum B-Plan „Auf dem Schützenrain“ /15/ wurden messtechnische Untersuchungen der Emissions- und Ausbreitungsbedingungen durchgeführt. Die hierbei gesammelten Erkenntnisse über die Emissions- und Ausbreitungsbedingungen werden auch im vorliegenden Bebauungsplanverfahren angewendet.

Basierend auf den herangezogenen Messergebnissen sowie typischen Übertragungsfunktionen wird zunächst geprüft, ob mögliche erschütterungstechnische Konfliktpotentiale hinsichtlich der zukünftigen Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall für die geplanten Bebauungen 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 Bearbeitungsgrundlagen

2.1.1 Gesetze, Verordnungen, Normen

Der durchgeführten erschütterungstechnischen Untersuchung liegen die folgenden Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Regelwerke zugrunde:

- /1/ Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der aktuell gültigen Fassung
- /2/ 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12.06.1990, in der aktuell gültigen Fassung
- /3/ 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV) vom 04.02.1997, in der aktuell gültigen Fassung
- /4/ Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) in der aktuell gültigen Fassung
- /5/ Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom 23.06.2021, Az: BVerwG 7 A 10.20
- /6/ Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom 21.12.2010, Az: BVerwG 7 A 14.09

- /7/ Eisenbahn-Bundesamt, Verfügung zum Umgang mit betriebsbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall in der Planfeststellung vom 30.01.2017
- /8/ DIN 4150, Teil 1 „Erschütterungen im Bauwesen: Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Dezember 2022
- /9/ DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, August 2025
- /10/ DIN 4150, Teil 3 „Erschütterungen im Bauwesen: Einwirkungen auf bauliche Anlagen“, Dezember 2016
- /11/ DIN 45672, Teil 3 „Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen – Prognoseverfahren auf Basis von Terzspektren“, Mai 2026
- /12/ DB-Richtlinie 820.2050, Erschütterungen und sekundärer Luftschall, Stand vom 15.09.2017

2.1.2 Planunterlagen

Zur Bearbeitung standen nachfolgende Planunterlagen zur Verfügung:

- /13/ Betriebsprogramm der Bahnstrecke 3900, Prognose 2030DT, Bad Nauheim-Friedberg, Verkehrsdatenmanagement, DB AG, Stand vom 15.04.2026
- /14/ Vorentwurf, Bebauungsplan Nr. 81 „Erweiterung Gewerbeband Frankfurter Landstraße“, Stadt Bad Nauheim, Planungsbüro Fischer, Stand vom 22.06.2026
- /15/ Erschütterungstechnische Untersuchung „Prüfung der Belange des Erschütterungsschutzes hinsichtlich der Einwirkungen aus dem Schienenverkehr“, Bericht-Nr. 20178217-VSE-1, KREBS+KIEFER FRITZ AG, Stand vom 26.01.2018

3. ANFORDERUNGEN AN DEN IMMISSIONSSCHUTZ

3.1 Erschütterungen

Für die Beurteilung von Einwirkungen durch verkehrsinduzierte Erschütterungsimmissionen auf den Menschen gibt es derzeit keine gesetzlichen Bestimmungen, in denen Grenzwerte festgelegt sind. Daher werden zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen die in Fachkreisen und der Rechtsprechung /6/ als Beurteilungsgrundlage allgemein anerkannten Anhaltswerte nach DIN 4150-2 /9/ herangezogen. Bei Einhaltung der hierin angegebenen Anhaltswerte kann davon ausgegangen werden, dass die Erschütterungen keine „erheblich belästigenden Einwirkungen“, die als niedrigste Qualifikationsstufe schädlicher Umwelteinwirkungen im Sinne des Immissionsschutzrechtes /1/ anzusehen sind, darstellen.

Bekanntermaßen liegen die schienenverkehrsinduzierten Schwinggeschwindigkeiten deutlich unterhalb der maßgeblichen Anhaltswerte gemäß DIN 4150-3 „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ /10/, so dass das Auftreten von neuen Schäden an Gebäuden erfahrungsgemäß auszuschließen ist.

3.1.1 Allgemeines Beurteilungsverfahren

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

- + die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} ,
- + die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} .

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nennt die Norm zwei Kriterien. Der untere Anhaltswert A_u sowie der obere Anhaltswert A_o sind die Anhaltswerte für die maximale bewertete Schwingstärke. Ist der Wert von KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert A_u , so sind die Anforderungen der Norm erfüllt. Übersteigt der Wert von KB_{Fmax} den unteren Anhaltswert A_u , so ist zu prüfen, ob dieser ebenfalls größer als der obere Anhaltswert A_o ist. Sofern dies der Fall ist, sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten. Beim Unterschreiten des oberen Anhaltswertes A_o ist die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} zu bilden und mit dem Beurteilungsanhaltswert A_r zu vergleichen. Hierbei sind die Besonderheiten bei schienenverkehrsinduzierten Erschütterungen (Kapitel 3.1.4) zu beachten.

3.1.2 Anhaltswerte

Die Anhaltswerte A zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in schutzbedürftigen Räumen werden in der DIN 4150-2 jeweils in Abhängigkeit von der Art der baulichen Nutzung der Umgebung des Einwirkungsortes sowie für den Tag- und den Nachtzeitraum unterschieden. In Tabelle 1 sind die wesentlichen Anhaltswerte für Schienenverkehre angegeben.

Aufgrund der vorgesehenen städtebaulichen Entwicklung sollen in dem Plangebiet künftig vorwiegend gewerbliche Nutzungen untergebracht werden. Daher ist die Schutzbedürftigkeit hinsichtlich einwirkender schienenverkehrsinduzierter Erschütterungsimmissionen entsprechend Tabelle 1, Zeile 2, das heißt eine Schutzbedürftigkeit entsprechend der Nutzungen in einem Gewerbegebiet, in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigt.

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	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	6	0,20	0,30	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind	0,30	6	0,15	0,20	0,4	0,10
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	0,20	5	0,10	0,10	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind	0,15	3	0,07	0,10	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0,10	3	0,05	0,10	0,15	0,05

Entsprechend dem Kapitel 6.2 der DIN 4150-2 /9/ sind Anhaltswerte für den Beurteilungszeit nachts nur dann anzusetzen, wenn die betreffenden schutzbedürftigen Räume regelmäßig zum Schlafen in der Nachtzeit verwendet werden. Im Kontext der Ausführungen unter Kapitel 6.4.4 der Norm werden unabhängig der jeweiligen Gebietsnutzung bei nicht vorliegender, regelmäßiger Schlafnutzung für die Beurteilungszeit nachts die Anhaltswerte der Beurteilungszeit tags angesetzt.

3.1.3 Bewertungsfaktor

Bei der Bildung der Beurteilungsschwingstärke infolge betriebsbedingter Erschütterungseinwirkungen sind gemäß DIN 4150-2, Kapitel 6.5.3.3 die in Tabelle 2 dargestellten Bewertungsfaktoren a für die unterschiedlichen Zuggattungen zu berücksichtigen.

Hierbei wird die Art des Zugbetriebes, der Fahrzeugtyp und die Trassenlage berücksichtigt. Der Bewertungsfaktor berücksichtigt außerdem unterschiedlich lange Vorbeifahrten der verschiedenen Zuggattungen. So ist hierin beispielsweise enthalten, dass öffentlicher Personennahverkehr sowie Personenzüge kürzere Vorbeifahrtzeiten als die 30-s-Taktzeit des Taktmaximalwertverfahrens haben. Güterzüge hingegen können auch längere Vorbeifahrtzeiten aufweisen, weshalb die DIN 4150-2 in diesem Zusammenhang eine gesonderte Regelung vorsieht. Die Einwirkdauer der Vorbeifahrt von Güterzügen wird nach folgender Gleichung bewertet:

$$L_{\alpha} = v \cdot 7 \cdot \frac{m}{\text{km/h}}$$

mit

L_{α} fiktive Länge eines Zuges, der unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit v eine Vorbeifahrtsdauer von 30 s hat, [m]

v die Zuggeschwindigkeit, [km/h]

Demnach werden langsame und/oder sehr lange Güterzüge mit einem höheren Bewertungsfaktor ($a = 1,3$) bei der Beurteilung der schienenverkehrsinduzierten Immissionen berücksichtigt.

Tabelle 2: Bewertungsfaktoren zur Berücksichtigung unterschiedlicher Zugcharakteristik

Zeile	Zuggattungen	Bewertungsfaktor		Rechtliche Grundlage des Zugbetriebs
		oberirdisch	unterirdisch	
1	Straßen-, Stadt- und U-Bahnen	0,7	1,0	B0Strab
2	S-Bahnen	0,8	1,0	EBO
3	Personenverkehrszüge (NV, FV)	0,9	1,0	
4	Güterzüge ($l \leq L_{\alpha}$)	1,0	1,0	
5	lange Güterzüge ($l > L_{\alpha}$)	1,3	1,3	

Für Sonderfälle von Fahrzeugen im Personentransport mit sehr kurzen Längen und kurzen Vorbeifahrten sind die Werte nach Tabelle 2, Zeile 1 zu verwenden.

3.1.4 Beurteilung der Immissionen für städtebauliche Planungen

Wird im erschütterungstechnischen Einflussbereich von Schienenverkehrswegen ein Gebiet für städtebauliche Planungen ausgewiesen oder werden neu zu erstellende Gebäude geplant, sind im Rahmen der durchzuführenden Erschütterungsprognosen die Werte für A_u und A_r (tags und nachts) und A_o nach Tabelle 1 in Abhängigkeit der Gebietseinstufung einzuhalten.

Bei schienenverkehrsinduzierten Einwirkungen durch Straßen-, Stadt-, U- und S-Bahnen ist der Wert für A_o (nachts) nach Tabelle 1 in Abhängigkeit der Gebietseinstufung einzuhalten. Bei Schienenverkehrswegen, auf welchen sowohl Güterzüge als auch sonstige Personenverkehrszüge verkehren, ist die Einhaltung für A_o (nachts) nach Tabelle 1 anzustreben. Nach Prüfung möglicher Schutzmaßnahmen kann es in Einzelfällen erforderlich sein, den Betroffenen Erschütterungen bis zu einem oberen Anhaltswert von 0,6 nach Kapitel 6.5.3. der DIN 4150-2 zuzumuten.

3.2 Sekundärer Luftschall

3.2.1 Grundlagen der Beurteilung

Für Einwirkungen aus sekundären Luftschallimmissionen, hervorgerufen von schienengebundenen Verkehrssystemen, existieren derzeit weder vom Gesetzgeber noch in technischen Regelwerken verbindlich vorgegebene Anforderungswerte.

Bei der Beurteilung schienenverkehrsinduzierter sekundärer Luftschallimmissionen ist zunächst zu berücksichtigen, dass es sich hierbei – wenn auch im weiteren Sinne – um Verkehrslärmimmissionen handelt. Demzufolge kann das Bundes-Immissionsschutzgesetz herangezogen werden, das sich in den §§ 41 bis 43 mit Umwelteinwirkungen durch Verkehrsräusche befasst. In § 43 BImSchG /1/ wird die Bundesregierung ermächtigt, erforderliche Vorschriften zu erlassen. Hierbei wird explizit darauf hingewiesen, dass den Besonderheiten des Schienenverkehrs Rechnung zu tragen ist. Dies ist für primäre Luftschallimmissionen mit Erlass der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV /2/) geschehen. Eine Regelung zum sekundären Luftschall gibt es derzeit nicht.

Ein Anhaltspunkt für die Beurteilung sekundärer Luftschallimmissionen ergibt sich aus der Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV /3/), die – wenn auch indirekt – Vorgaben für zulässige Innenraumpegel aus Verkehrslärmimmissionen in Abhängigkeit von der Raumnutzung angibt – auch wenn der sekundäre Luftschall nicht den Regelungen der 24. BImSchV unterliegt. In Anlehnung an die 24. BImSchV ist es dennoch gerechtfertigt, den aus Tabelle 1 der 24. BImSchV (Korrektursummand D zur Berücksichtigung der Raumnutzung) abgeleiteten Innenpegel (Korrektursummand D zuzüglich 3 dB(A)) als Beurteilungsmaßstab auch hinsichtlich sekundären Luftschalls heranzuziehen (siehe hierzu auch Kapitel 3.2.2). Diese zulässigen Innenpegel wurden in der EBA-Verfügung /7/ festgelegt.

Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass das Heranziehen von Anforderungswerten gemäß Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung für die Beurteilung sekundärer Luftschallimmissionen implizit die in der Rechtsprechung allgemein anerkannten Zumutbarkeitsschwellen bei Innenraumpegeln tagsüber von 40 dB(A) für Wohnräume und nachts von 30 dB(A) für Schlafräume berücksichtigt. Der Verordnungsgeber der 24. BImSchV hat diese Zumutbarkeitsschwellen ebenfalls zu Grunde gelegt. Diese wurden vom Bundesverwaltungsgericht bereits in der Zeit vor Inkrafttreten der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) am Maßstab des § 74 (2) Satz 2 VwVfG /4/ bestimmt. Da die 24. BImSchV nicht nur Anforderungswerte für Wohn- und Schlafräume nennt, sondern ebenfalls Anforderungen für andere Nutzungen, sollen diese Anforderungswerte für die Beurteilung sekundärer Luftschallimmissionen hilfsweise herangezogen werden. Ungeachtet dessen ist die maßgebliche Grundlage der Beurteilung die von der Rechtsprechung entwickelten Zumutbarkeitsschwellen, von denen auch der Verordnungsgeber der 24. BImSchV ausgegangen ist. Demgemäß wird vorliegend als Beurteilungsgrundlage zulässiger Innenraumpegel die 24. BImSchV /3/ herangezogen, die in der Verwaltungspraxis durch die Rechtsprechung nicht beanstandet /5/ bzw. ausdrücklich gebilligt /6/ wurde.

3.2.2 Anforderungswerte

In der Anlage zur 24. BImSchV /3/ sind die mathematischen Beziehungen angegeben, nach denen das erforderliche bewertete Schalldämm-Maß der gesamten Außenfläche eines Raumes rechnerisch zu ermitteln ist, wenn auf Grund von Grenzwertüberschreitungen dem Grunde nach ein Rechtsanspruch auf Lärmvorsorgemaßnahmen besteht.

$$L_{r,Nacht/Tag} = D + 3 \text{ dB}$$

mit

D Korrektursummand nach Tabelle 1 der 24. BImSchV zur Berücksichtigung der Raumnutzung, [dB].

Tabelle 3: Immissionsrichtwerte für den sekundären Luftschall

Zeile	Raumnutzung	$L_{ri,Tag}$ [dB(A)]	$L_{ri,Nacht}$ [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, Schallterräume, Druckerräume von DV-Anlagen, soweit dort ständige Arbeitsplätze vorhanden sind	50	-
	Sonstige Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind	entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen	

Unter Berücksichtigung dieses Sachverhaltes können die in Tabelle 3 angegebenen Immissionsrichtwerte für eine Beurteilung des Innenschallpegels gemäß 24. BImSchV abgeleitet werden. Für die geplanten Raumnutzungen der Bürogebäude erfolgt die Beurteilung der sekundären Luftschallimmissionen für den Tagzeitraum unter Zugrundelegung des Anforderungswertes nach Büroräumen. Da es sich im vorliegenden Fall nicht um wohnlich genutzte Gebäude handelt und demnach hierin keine Räume vorliegen werden, die zum Schlafen genutzt werden, bestehen für den Nachtzeitraum grundsätzlich keine gesonderten Anforderungen. Demzufolge werden vorliegend folgende Immissionsrichtwerte zur Beurteilung zugrunde gelegt:

Tag: IRW = 45 dB(A).

4. ARBEITSGRUNDSÄTZE UND VORGEHENSWEISE

4.1 Prognosemodell

Bei der Prognose der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall für schutzwürdige Räume eines Gebäudes wird von der in Abbildung 1 skizzierten Übertragungskette ausgegangen.

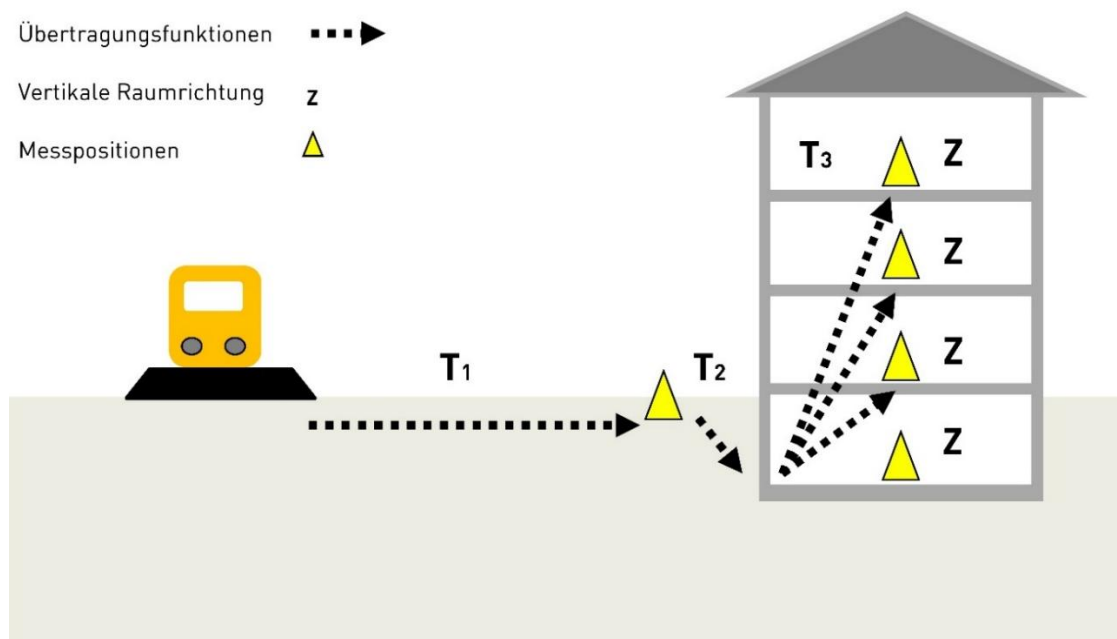


Abbildung 1: Übertragungen von Erschütterungen

Diese berücksichtigt neben den erschütterungstechnischen Quellstärken (Emissionen) und der Ausbreitung der Schwingungen im Untergrund (Transmission T_1) das Schwingungsverhalten der zu untersuchenden Gebäude (Transmission 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, das 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 Hz bis 315 Hz. Das beschriebene Verfahren ist in der DIN 45672-3 /11/ für die Erstellung von Immissionsprognosen von oberirdischen und unterirdischen Schienenverkehrswegen festgelegt.

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

4.1.1 Emissionen

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 Emissions- und Ausbreitungsmessungen gewonnen, die an der Strecke 3900 im Rahmen des nördlich angrenzenden Bebauungsplanverfahrens /15/ ermittelt wurden.

Um die messtechnisch erfassten Emissionen auf die maximal zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit umzurechnen, wird die Gleichung aus der Richtlinie 820.2050 der DB AG zur Abschätzung der Abhängigkeit der Schwingstärke

$$L_{v2} = L_{v1} + 20 * \lg\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

mit

L_{v2} Schwinggeschwindigkeitspegel für die gesuchte Fahrgeschwindigkeit v_2

L_{v1} bekannter Schwinggeschwindigkeitspegel für die Bezugsfahrgeschwindigkeit v_1

v_2 neue Fahrgeschwindigkeit, [km/h]

v_1 Ausgangsfahrgeschwindigkeit, [km/h]

herangezogen.

Die der Beurteilung der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall zugrunde gelegten Emissionsspektren sind in Anhang 2.1 bis Anhang 2.3 dargestellt. Zusätzlich sind in Anhang 2.4 bis Anhang 2.7 geschwindigkeitskorrigierte Emissionsspektren dargestellt.

4.1.2 Transferfunktion T_1

Als Transferfunktion T_1 wird die entfernungsbedingte Amplitudenabnahme der Schwingschnelle als Funktion der Frequenz f zwischen Emissionsort und einem Ort im Erdreich unmittelbar vor einem Gebäude bezeichnet. Diese wird im vorliegenden Fall aus den durchgeführten Ausbreitungsmessungen /15/ entnommen. Die angewandten frequenzabhängigen Exponenten sowie die frequenzabhängigen Dämpfungsgrade der Abnahmebedingung sind in Anhang 3.1 tabellarisch und grafisch dargestellt. Hierbei sind die Werte für jede Terzmittenfrequenz im maßgebenden Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz angegeben.

4.1.3 Gebäudeübertragungsfunktion

Die Gebäudeübertragungsfunktion ΔL_G beschreibt das Übertragungsverhalten vom Erdreich vor dem Gebäude bis zur Geschossdecke. Für die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen im Hinblick auf die Störwirkung von Menschen beim Aufenthalt in Gebäuden sind die Schwingungseinwirkungen in der Raummitte maßgebend. Die Übertragungsfunktion kennzeichnet 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 Konstruktionsweise der Decken.

Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung zur Aufstellung des Bebauungsplans zu Grunde gelegten Übertragungsfunktionen basieren auf statistischen Auswertungen von Messungen /12/, die im Einwirkungsbereich von Bahnstrecken durchgeführt wurden. Die zugrunde gelegten Gebäudeübertragungsfunktionen sind in Anhang 3.2 bis Anhang 3.3 für Stahlbetondecken tabellarisch und grafisch dargestellt. Die Berechnungen der Ausbreitungsmatrizen erfolgen für typische Geschossdeckenresonanzfrequenzen im Bereich zwischen 10 Hz und 80 Hz. Durch die getroffenen Annahmen wird die gesamte typische Bandbreite von Deckenspannweiten abgedeckt.

4.2 Betriebsparameter der Bahnstrecke

Für die vorliegende Untersuchung werden die Zugzahlen für den Prognosehorizont 2030 mit Deutschlandtakt /13/ zugrunde gelegt. Die Zugzahlen sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Betriebsprogramm 2030 für die Strecke 3900

Zugart	Anzahl		v _{max} , [km/h]	L, [m]	α, [-]
	Tag	Nacht			
GV	31	24	100	740	1,3
GV	4	3	120	740	1,0
GL	6	4	100	210	1,0
FV	31	5	160	260	0,9
NV	143	19	160	210	0,9

Gemäß Kapitel 3.1.3 ist für die Güterzüge (GV), die eine maximale Zuggeschwindigkeit von 100 km/h erreichen, den Bewertungsfaktor von 1,3 heranzuziehen, da die fiktive Länge von 700 m kleiner als die tatsächliche Zuglänge von l = 734 m ist.

4.3 Immissionen

4.3.1 Erschütterungen

Als Erschütterungsimmissionen werden die bauwerksbezogenen, gemäß DIN 4150-2 /9/ 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.

Bei Schienenverkehrswegen erfolgt die Beurteilung von KB_{Fmax} anhand A_u und A_o sowie von KB_{FTr} anhand A_r (siehe hierzu Kapitel 3.1). Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} wird aus dem Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} nach der Gleichung

$$KB_{Fmax,Zug} = 1,5 * KB_{FTm,Zug}$$

ermittelt, wobei diese Werte für jede Zuggattung und je Gleis zu bilden sind. Aus den ermittelten maximalen bewerteten Schwingstärken wird anschließend der höchste Wert ermittelt und beurteilt.

Die Beurteilungsschwingstärke wird ebenfalls aus den Taktmaximal-Effektivwerten, differenziert nach Zuggattung und Gleis, gemäß Gleichung:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\sum_{Zug=1}^{N_{Zug}} \frac{n_{Zug}}{N_r} (\alpha_{Zug} * KB_{FTm,Zug})^2}$$

ermittelt. Hierbei ist

N_{Zug} die Anzahl der zu unterscheidenden Zugkategorien im jeweiligen Beurteilungszeitraum

n_{Zug} die Anzahl der Züge in einer betrachteten Zugkategorie im jeweiligen Beurteilungszeitraum

N_r die Anzahl der Beurteilungstakte im jeweiligen Beurteilungszeitraum (tags: $N_r = 1920$; nachts: $N_r = 960$)

α_{Zug} der Bewertungsfaktor für die jeweils zu untersuchende Zugkategorie

4.3.2 Sekundärer Luftschall

Im vorliegenden Fall wurde zur Bestimmung des Beurteilungspegels für den sekundären Luftschall die Richtlinie 820.2050 der DB AG /10/ 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:

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

$$L_{\text{sek,A}} = 19,88 + 0,47 \cdot L_{\text{v,A}} \quad [\text{dB(A)}] \text{ bei Holzbalkendecken,}$$

mit

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

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

Die Einwirkzeit des sekundären Luftschalls, jeweils bezogen auf den Beurteilungszeitraum 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 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 (T_{ge}) berücksichtigt

$$T_e = 1,5 \cdot T_{\text{ge}} = \frac{1,5 \cdot l \cdot 3,6}{v_{\text{max}}}$$

mit

T_e Vorbeifahrtzeit, [s]

T_{ge} geometrische Vorbeifahrtzeit, [s]

l Zuglänge, [m]

v_{max} maximale Streckengeschwindigkeit bzw. zugspezifische Höchstgeschwindigkeit [km/h]

Mit diesem Vorgehen wird gewährleistet, dass für jeden Vorbeifahrtsvorgang der energieäquivalente Mittelungspegel abgeschätzt wird.

5. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

In den so genannten „Einwirkungsmatrizen“ werden die maximalen bewerteten Schwingstärken KB_{Fmax} , die Beurteilungsschwingstärken KB_{FTr} und die Beurteilungspegel L_r für den Tagzeitraum in Abhängigkeit vom Abstand r und der Deckeneigenfrequenz f_0 eines schutzbedürftigen Raumes dargestellt. Diese ermöglichen es, die Einhaltung der Anforderungen nach DIN 4150-2 bzw. nach 24. BImSchV an Gebäuden allgemein in Abhängigkeit des Abstandes zur nächstgelegenen Gleisachse und der entsprechenden Gebietseinstufung zu überprüfen. Hierbei werden die messtechnisch ermittelten Emissionen (Anhang 2) sowie die T_1 -Funktionen (Anhang 3.1) zu Grunde gelegt. Für die Transferfunktionen werden die in der Richtlinie /12/ angegebenen Übertragungsfunktion berücksichtigt (Anhang 3.2 und Anhang 3.3).

Die Prognoseberechnungen erfolgen für sämtliche Terzmittenfrequenzen im Bereich von $f_0 = 10 \dots 80$ Hz.

Hiermit sind die typischen Eigenfrequenzen von Geschossdecken in diesem Frequenzband repräsentiert. Ferner werden die Berechnungen für Abstände zum nächstgelegenen Gleis zwischen 10 m und 34 m durchgeführt. Der Abstand r bezieht sich hierbei auf das nächstgelegene Gleis.

Grün hinterlegte Felder bedeuten, dass die jeweils gültigen Anforderungen an den Immissionsschutz erfüllt werden. Gelb kennzeichnet eine Überschreitung der A_u -Werte, so dass der 2. Beurteilungsschritt erforderlich ist. Bei rot hinterlegten Feldern sind die Anforderungen nicht erfüllt.

Sofern die prognostizierten betriebsbedingten Immissionen das Erfordernis von Schutzmaßnahmen aufweisen, werden diese anschließend diskutiert.

5.1 Erschütterungen

Unter Berücksichtigung der ermittelten Erschütterungsemissionen und der angenommenen typischen Übertragungsbedingungen ergeben sich maximale bewertete Schwingstärken und Beurteilungsschwingstärken im Tagzeitraum, die in Anhang 5.1 bzw. Anhang 5.2 ausgewiesen sind.

Der größte Grenzabstand von der nächstgelegenen Gleisachse der Bahnstrecke 3900, bis zu welchem der zugrunde zu legenden Anhaltswert für Gewerbegebiete im Tagzeitraum von

$$A_r = 0,150$$

nicht eingehalten wird und somit ein Immissionskonflikt nicht ausgeschlossen werden kann, beläuft sich auf

$$r \leq 16,0 \text{ m.}$$

Die Abstände der geplanten Bebauungen (von der Gleisachse zu den nächstgelegenen Gebäuden) liegen im Bereich von

$$r = 24,0 \text{ m} \dots 31,0 \text{ m.}$$

Demnach liegen die geplanten gewerblichen Gebäude außerhalb des Betroffenheitskorridors.

Ferner können hier Tiefgaragen errichtet werden. Gegenwärtig liegen noch keine genauen Gebäudeplanungen vor, so dass die Tiefgaragen innerhalb der hierfür vorgesehenen Flächen, die sich bis zur Plangebietsgrenze ausdehnen, geplant werden können. Somit verringert sich der Abstand der geplanten Bebauungen zum nächstgelegenen Gleis auf

$$r \approx 10,5 \text{ m} \dots 15,5 \text{ m.}$$

Sollten die geplanten Tiefgaragen tatsächlich bis zur Plangebietsgrenze gebaut werden, können mögliche Immissionskonflikte nicht ausgeschlossen werden. In diesem Fall müssen gebäudeseitige Schutzmaßnahmen ergriffen werden, um ein Immissionskonflikt zu vermeiden.

5.2 Sekundärer Luftschall

In Anhang 5.3 sind die prognostizierten Immissionen aus sekundärem Luftschall für den Tag ausgewiesen. Für die schutzbedürftigen Nutzungen wird für den Tagzeitraum der Immissionsrichtwert für eine Büronutzung zu Grunde gelegt. Somit gilt im Tagzeitraum ein Immissionsrichtwert von

$$IRW_{\text{Tag}} = 45 \text{ dB(A).}$$

Es ergeben sich Beurteilungspegel in den schutzbedürftigen Räumen der geplanten Bebauungen von bis zu

$$L_{r,\text{Tag}} \leq 35,2 \text{ dB(A)}$$

Somit werden die in Anlehnung an die 24. BImSchV abgeleitete Immissionsrichtwerte im Tagzeitraum unterschritten. Erhebliche Belästigungen infolge der sekundären Luftschallimmissionen können somit ausgeschlossen werden.

5.3 Mögliche Schutzmaßnahmen

Wie bereits oben beschrieben können mögliche Immissionskonflikte nur dann nicht ausgeschlossen werden, wenn die geplanten Tiefgaragen den Grenzabstand zum nächstgelegenen Gleis der Strecke 3900 von

$$r \leq 16,0 \text{ m}$$

unterschreiten. In diesem Fall sind weiterführenden Schutzvorkehrungen einzuplanen, um erhebliche Belästigung infolge der schienenverkehrsinduzierten Erschütterungsmissionen ausschließen zu können.

Aus den dargestellten Ergebnissen wird ersichtlich, dass vor allem im Terzfrequenzband von 12,5 Hz der größte Grenzabstand ermittelt wurde. Dementsprechend führen klassische elastische Gebäudelagerungen mit Kennfrequenzen von 8 Hz bzw. 10 Hz, wie sie beispielsweise mit sogenannten Elastomerlagern hergestellt werden können, aufgrund der hier vorliegenden tieffrequenten Emissionen sogar zur Verstärkung der schienenverkehrsinduzierten Erschütterungseinwirkungen. Solche Gebäudelagerungen müssten aufgrund der gegebenen Umstände noch tiefer

$$f_0 \leq 6,3 \pm 1 \text{ Hz}$$

abgestimmt werden.

Durch das gezielte Aussteifen von Geschossdecken kann erreicht werden, dass zum einen der Schwingungswiderstand der Decken erhöht wird und zum anderen das spektrale Übertragungsverhalten der Decken dahingehend optimiert wird, dass die in das Bauwerk eingeleiteten Schwingungen zu geringeren Schwingungsamplituden der Geschossdecken führen. Im vorliegenden Fall sind Deckenfelder mit höher abgestimmten Deckeneigenfrequenzen (zwischen 16 Hz und 31,5 Hz) günstiger in Bezug auf die sich einstellenden Erschütterungsmissionen, da die Bebauungen bis zu einem Grenzabstand von 12 m vorrücken können.

Ferner kann im Vorfeld eine erschütterungstechnische Analyse der im Boden auftretenden Erschütterungsmissionen auf dem Gründungsniveau sowie auf der Gebäudevorderkante der geplanten Gebäude durchgeführt und die Deckeneigenfrequenzen sowie ggf. mögliche Schutzmaßnahmen in Abhängigkeit der ermittelten Ergebnisse festgelegt werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die erschütterungstechnische Untersuchung für den Bebauungsplan Nr. 81 „Erweiterung Gewerbeband Frankfurter Straße“ in Bad Nauheim belegt, dass infolge der durch den Schienenverkehr hervorgerufenen Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall erhebliche Belästigungen von Menschen im Plangebiet ausgeschlossen werden können, sofern der Grenzabstand zum nächstgelegenen Gleis der Bahnstrecke 3900 eingehalten werden kann.

Für eine Festsetzung der Erschütterungsschutzmaßnahmen im Bebauungsplanung Nr. 81 „Erweiterung Gewerbeband Frankfurter Straße“ in Bad Nauheim kann die folgende Formulierung gewählt werden:

„Zur Minderung der Immissionen aus Erschütterungen werden gebäudeseitige Maßnahmen für Bebauungen mit schutzbedürftigen Nutzungen (Büros usw.) empfohlen, wenn die bahnzugewandte Außenwand der Tiefgaragen einen Abstand von 16 m zur nächstgelegenen Gleisachse unterschreiten. Das mögliche Konfliktpotenzial kann entweder durch die Abstimmung der Deckeneigenfrequenzen

oder durch eine elastische Gebäudelagerung gelöst werden. Mögliche Schutzmaßnahmen sind im Zuge der Gebäudeplanung zu dimensionieren.“

Es wird daher empfohlen, wenn der ermittelte Grenzabstand von 16 m durch die geplanten Tiefgaragen unterschritten wird, die Prognosen im Vorfeld der Baugenehmigungsverfahren auf Basis konkretisierter Gebäudeplanung erneut zu überprüfen und die gegebenenfalls erforderlichen Minderungsmaßnahmen auf diese Planung abzustimmen.

AUFGESTELLT:



Dipl.-Ing. Andreas Malizki

GEPRÜFT UND FREIGEgeben:



Matthias Jäger B. Eng.

ENDE DES BERICHTS

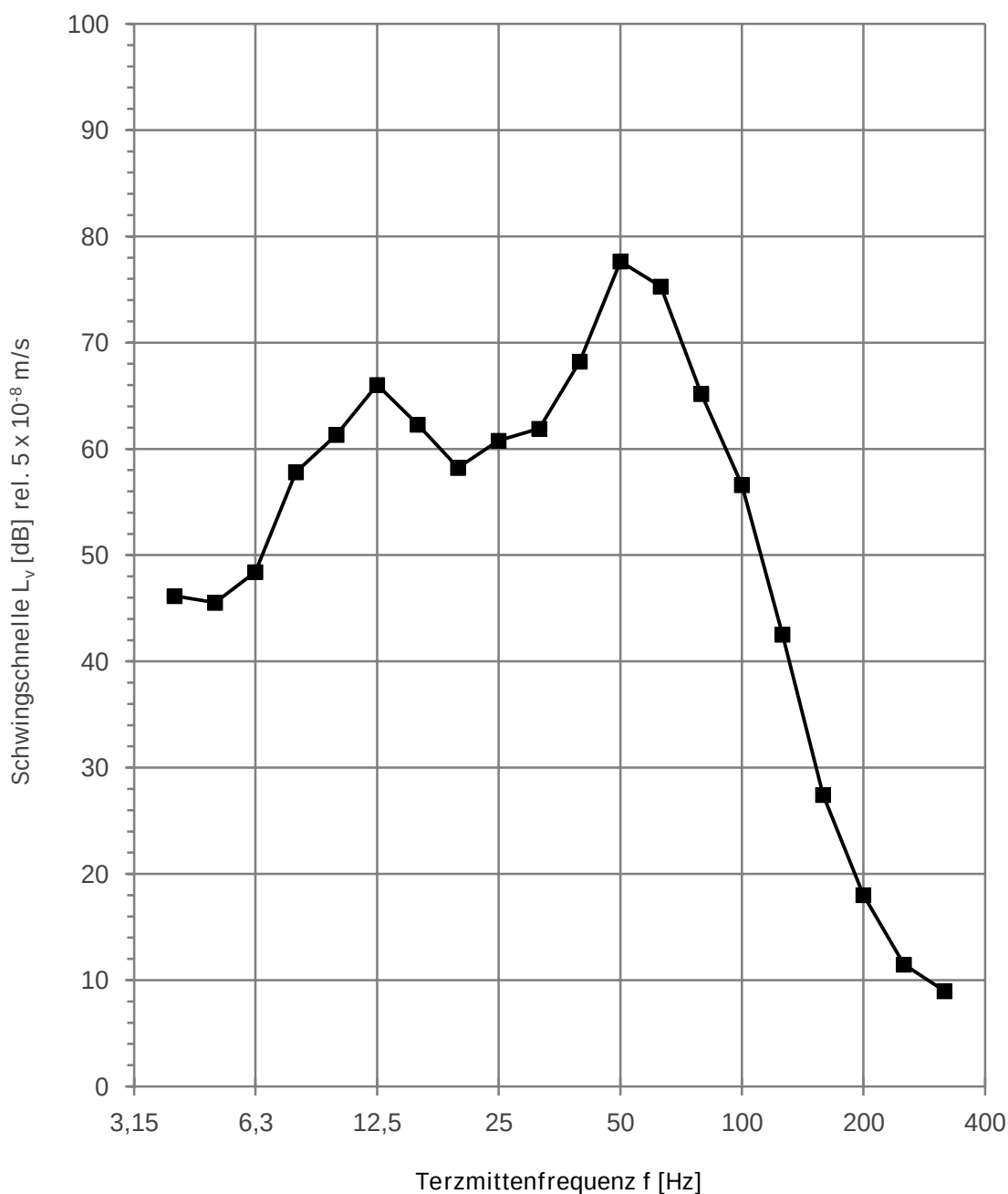
Emissionsspektrum

FV unkorrigiert

Quelle: Erschütterungsmessungen Auf dem Schützenrain, 61231 Bad Nauheim
 KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH, 2017

Abstand 1. Gleisachse: 8,0 [m] Oberbau: Schotter
 Zuggattung: FV Schwellen: Beton
 Geschwindigkeit: 101 [km/h] Schwingrichtung: z

Mittelwert



L_v [dB]	f [Hz]
46,2	4
45,5	5
48,4	6,3
57,8	8
61,3	10
66,0	12,5
62,3	16
58,2	20
60,8	25
61,9	31,5
68,2	40
77,7	50
75,3	63
65,2	80
56,6	100
42,5	125
27,5	160
18,0	200
11,5	250
9,0	315
80,6	Σ

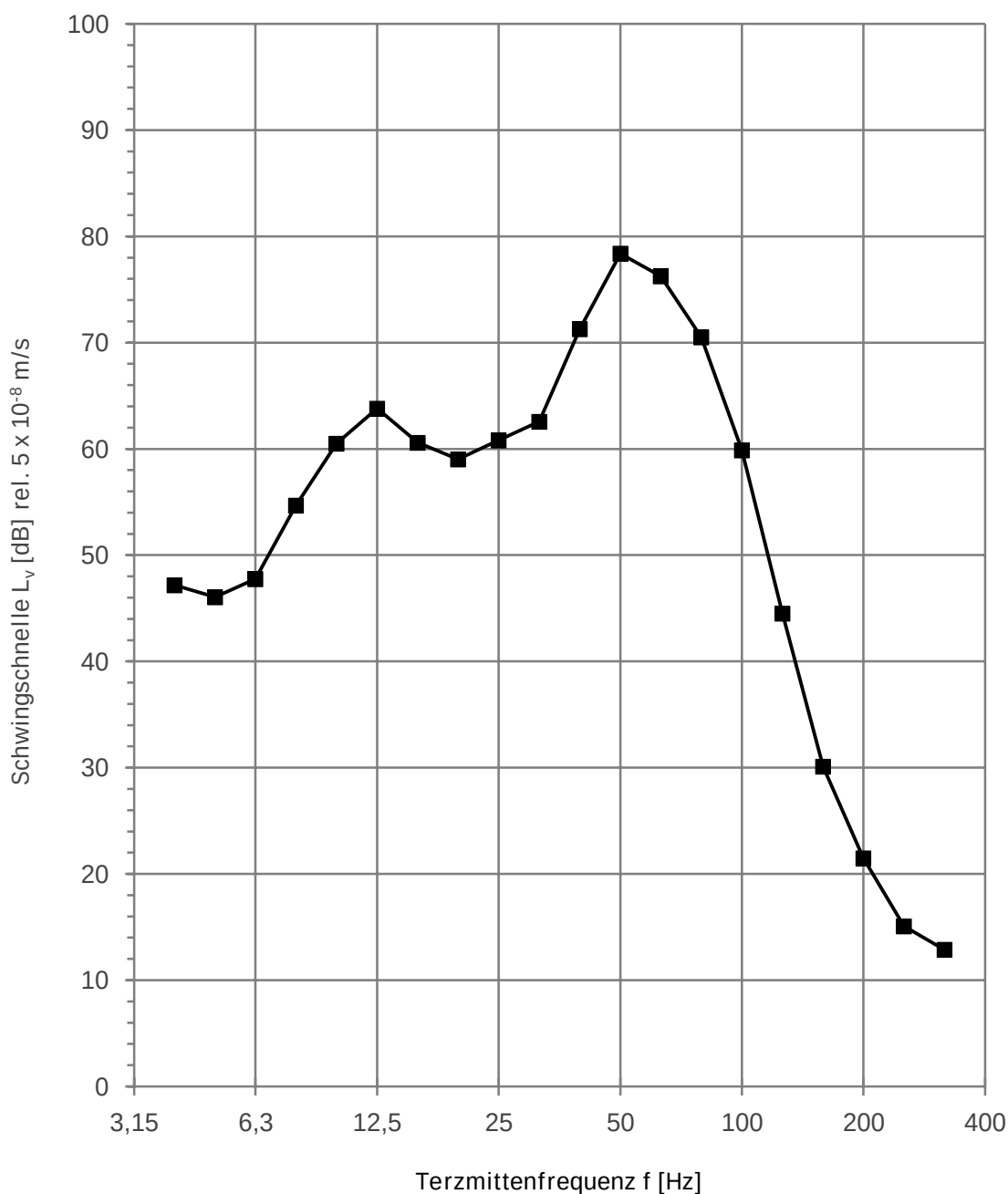
Emissionsspektrum

NV unkorrigiert

Quelle: Erschütterungsmessungen Auf dem Schützenrain, 61231 Bad Nauheim
 KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH, 2017

Abstand 1. Gleisachse: 8,0 [m] Oberbau: Schotter
 Zuggattung: NV Schwellen: Beton
 Geschwindigkeit: 88 [km/h] Schwingrichtung: z

Mittelwert



L_v [dB]	f [Hz]
47,2	4
46,0	5
47,8	6,3
54,7	8
60,5	10
63,8	12,5
60,6	16
59,0	20
60,8	25
62,6	31,5
71,3	40
78,4	50
76,3	63
70,5	80
59,9	100
44,5	125
30,1	160
21,5	200
15,1	250
12,9	315
81,6	Σ

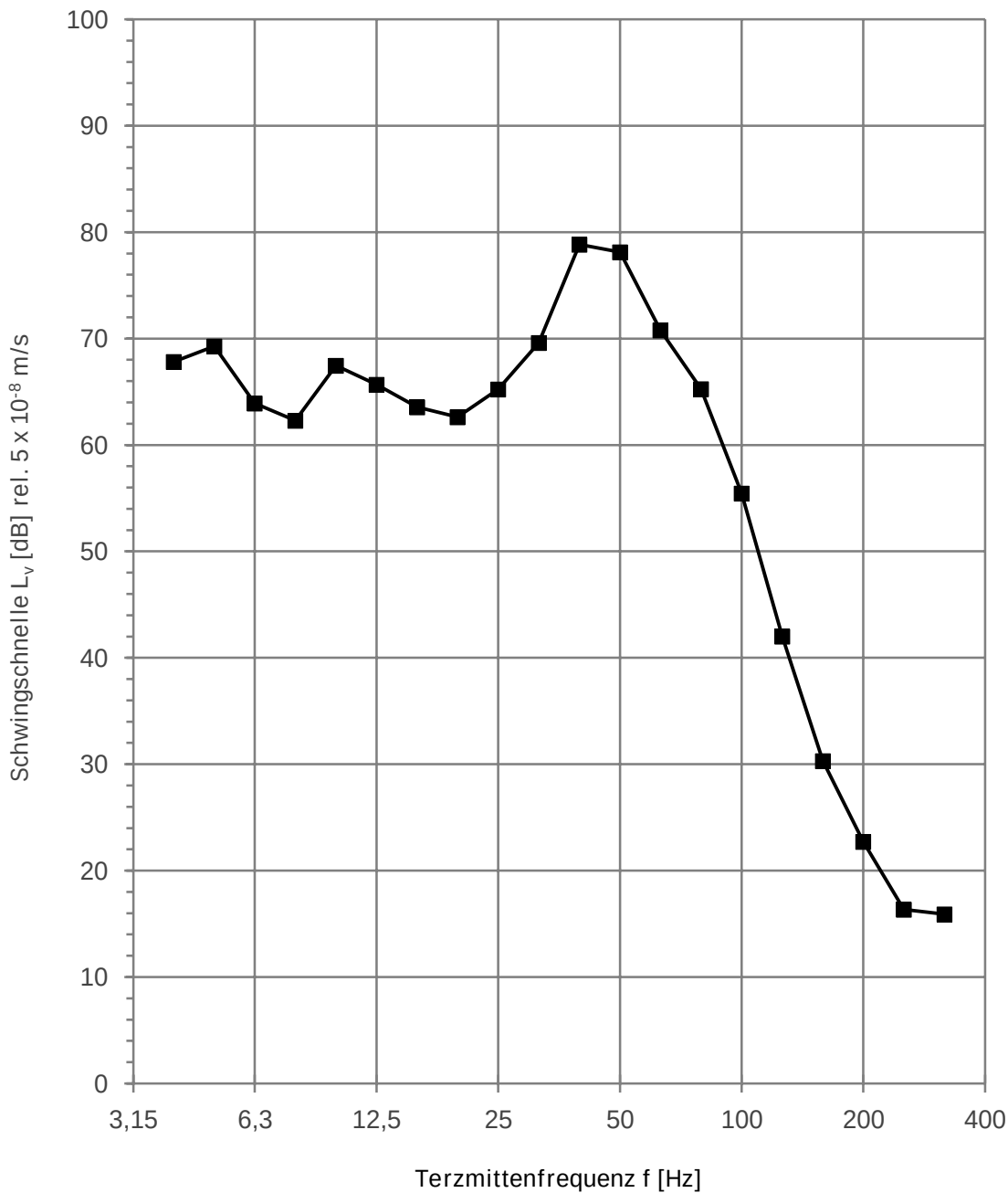
Emissionsspektrum

GV unkorrigiert

Quelle: Erschütterungsmessungen Auf dem Schützenrain, 61231 Bad Nauheim
 KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH, 2017

Abstand 1. Gleisachse: 8,0 [m] Oberbau: Schotter
 Zuggattung: GV Schwellen: Beton
 Geschwindigkeit: 79 [km/h] Schwingrichtung: z

Mittelwert



L_v [dB]	f [Hz]
67,8	4
69,3	5
63,9	6,3
62,3	8
67,5	10
65,7	12,5
63,6	16
62,6	20
65,2	25
69,6	31,5
78,8	40
78,1	50
70,8	63
65,3	80
55,4	100
42,0	125
30,3	160
22,7	200
16,4	250
15,9	315
83,1	Σ

Emissionsspektrum

FV korrigiert

$v_{\max} = 160 \text{ km/h}$

Prognose-Nullfall /-Planfall

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	FV	FV
K2		Geschwindigkeit	101 km/h	160 km/h
K3	Fahrweg	Kurvenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	nein
K5		Weiche	nein	nein
K6		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10	Tunnel	Tunnelform		
K11		Bauweise		
K12		Gleise		
K13		Fahrbahn		
K14	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
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	46,2	45,5	48,4	57,8	61,3	66,0	62,3	58,2	60,8	61,9	68,2	77,7	75,3	65,2	56,6	42,5	27,5	18,0	11,5	9,0	80,6

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}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
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	50,2	49,5	52,4	61,8	65,3	70,0	66,3	62,2	64,8	65,9	72,2	81,7	79,3	69,2	60,6	46,5	31,5	22,0	15,5	13,0	84,6

Emissionsspektrum

NV korrigiert

$v_{\max} = 160 \text{ km/h}$

Prognose-Nullfall /-Planfall

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	NV	NV
K2		Geschwindigkeit	88 km/h	160 km/h
K3	Fahrweg	Kurvenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	nein
K5		Weiche	nein	nein
K6		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10	Tunnel	Tunnelform		
K11		Bauweise		
K12		Gleise		
K13		Fahrbahn		
K14	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
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	47,2	46,0	47,8	54,7	60,5	63,8	60,6	59,0	60,8	62,6	71,3	78,4	76,3	70,5	59,9	44,5	30,1	21,5	15,1	12,9	81,6

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}	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
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	52,4	51,2	53,0	59,9	65,7	69,0	65,8	64,2	66,0	67,8	76,5	83,6	81,4	75,7	65,1	49,7	35,3	26,7	20,3	18,1	86,8

Emissionsspektrum

GV korrigiert

$V_{\max} = 100 \text{ km/h}$

Prognose-Nullfall /-Planfall

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	GV	GV
K2		Geschwindigkeit	79 km/h	100 km/h
K3	Fahrweg	Kurvenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	nein
K5		Weiche	nein	nein
K6		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10	Tunnel	Tunnelform		
K11		Bauweise		
K12		Gleise		
K13		Fahrbahn		
K14	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
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	67,8	69,3	63,9	62,3	67,5	65,7	63,6	62,6	65,2	69,6	78,8	78,1	70,8	65,3	55,4	42,0	30,3	22,7	16,4	15,9	82,9

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}	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
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	69,9	71,3	66,0	64,4	69,5	67,7	65,6	64,7	67,3	71,6	80,9	80,2	72,8	67,3	57,5	44,1	32,4	24,8	18,4	18,0	85,0

Emissionsspektrum

GV korrigiert

$v_{\max} = 120 \text{ km/h}$

Prognose-Nullfall /-Planfall

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	GV	GV
K2		Geschwindigkeit	79 km/h	120 km/h
K3	Fahrweg	Kurvenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	nein
K5		Weiche	nein	nein
K6		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10	Tunnel	Tunnelform		
K11		Bauweise		
K12		Gleise		
K13		Fahrbahn		
K14	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
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	67,8	69,3	63,9	62,3	67,5	65,7	63,6	62,6	65,2	69,6	78,8	78,1	70,8	65,3	55,4	42,0	30,3	22,7	16,4	15,9	82,9

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}	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
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	71,5	72,9	67,6	65,9	71,1	69,3	67,2	66,2	68,9	73,2	82,5	81,8	74,4	68,9	59,1	45,7	33,9	26,4	20,0	19,6	86,6

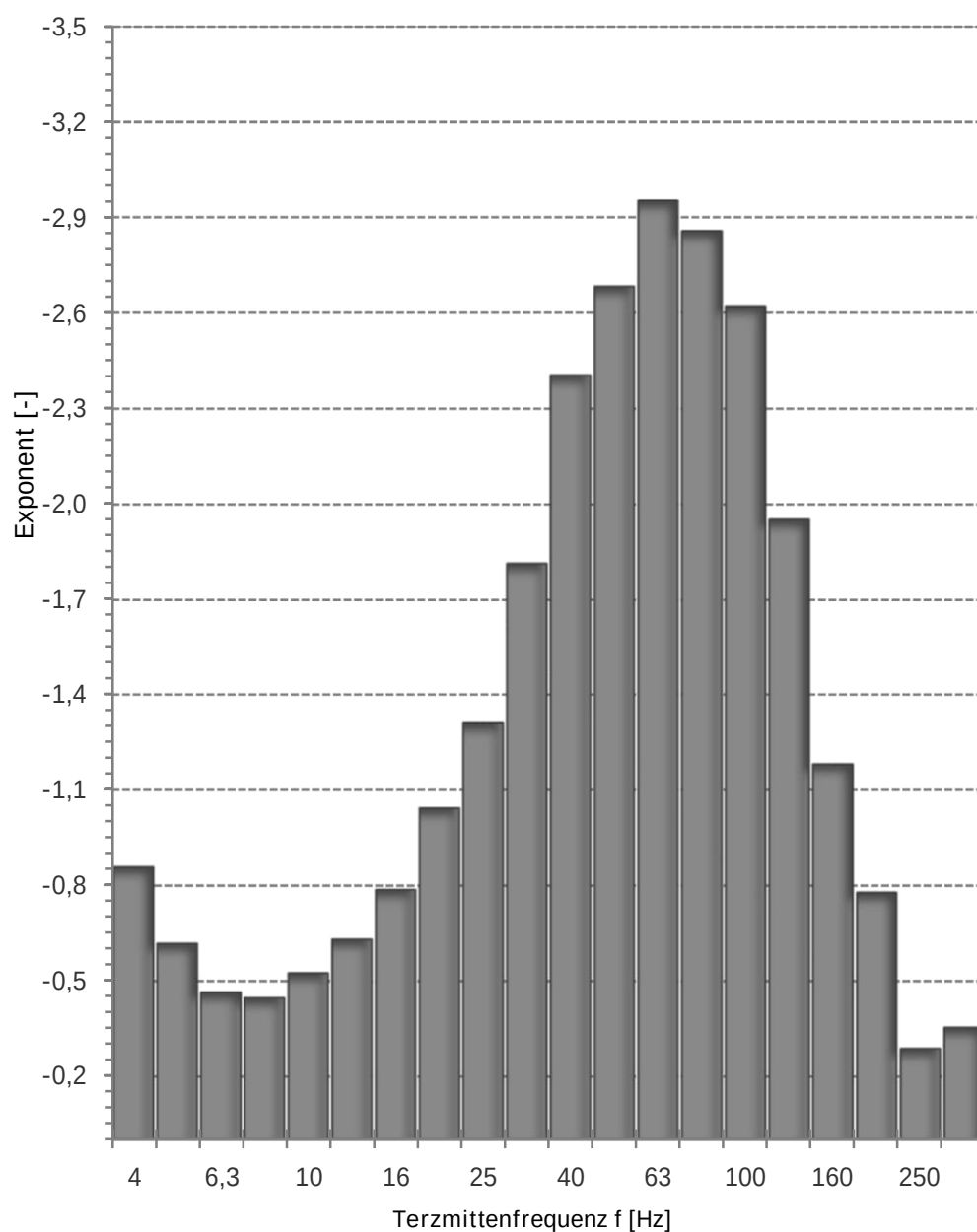
Übertragungsfunktion

Abnahmeexponente

Quelle: Erschütterungsmessungen Auf dem Schützenrain, 61231 Bad Nauheim
 KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH, 2017

Bereich: Bad Nauheim

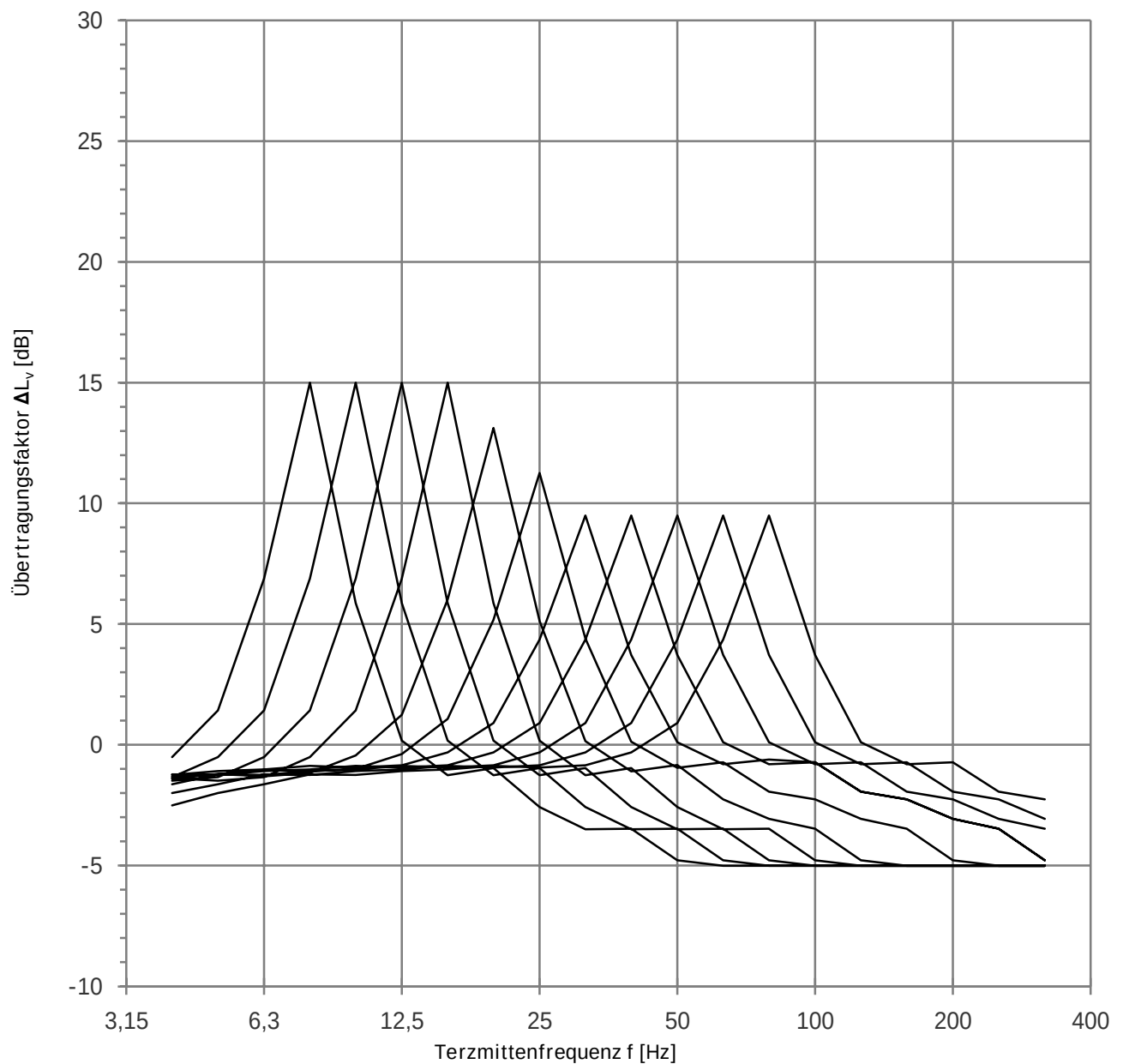
Querschnitte: Bad Nauheim



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

Übertragungsfunktionen ΔL_G für Gebäude mit Holzbalkendecken

Quelle: Erschütterungen und sekundärer Luftschall, DB AG-Richtlinie 800.25ff
(Ausgabe: September 2017, RiL 820.2050, Seite 23-24)
Körperschall-Pegeldifferenz [dB]
zwischen Raum und Erdboden (vorn Gebäude)



Übertragungsfunktionen ΔL_G für Gebäude mit Betondecken

Quelle: Erschütterungen und sekundärer Luftschall, DB AG-Richtlinie 800.25ff
 (Ausgabe: September 2017, RiL 820.2050, Seite 23-24)
 Körperschall-Pegeldifferenz [dB]
 zwischen Raum und Erdboden (vorm Gebäude)

f [Hz]	Gebäudeübertragungsfunktionen ΔL_G , [dB]										
	8 Hz	10 Hz	12,5 Hz	16 Hz	20 Hz	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	62,5 Hz	80 Hz
4	-0,5	-1,3	-1,5	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,2	-1,6	-2,0	-2,5
5	1,4	-0,5	-1,3	-1,5	-1,2	-1,2	-1,1	-1,3	-1,2	-1,6	-2,0
6,3	6,9	1,4	-0,5	-1,3	-1,3	-1,0	-1,0	-1,1	-1,3	-1,2	-1,6
8	15,0	6,9	1,4	-0,5	-1,2	-1,1	-0,9	-1,0	-1,1	-1,3	-1,2
10	5,9	15,0	6,9	1,4	-0,4	-1,0	-0,9	-0,9	-1,0	-1,1	-1,3
12,5	0,2	5,9	15,0	6,9	1,2	-0,4	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-1,1
16	-1,3	0,2	5,9	15,0	6,0	1,1	-0,3	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0
20	-1,0	-1,3	0,2	5,9	13,1	5,2	0,9	-0,3	-0,9	-0,9	-0,9
25	-2,6	-1,0	-1,3	0,2	5,1	11,3	4,4	0,9	-0,3	-0,9	-0,9
31,5	-3,5	-2,6	-1,0	-1,3	0,2	4,4	9,5	4,4	0,9	-0,3	-0,9
40	-3,5	-3,5	-2,6	-1,0	-1,1	0,1	3,7	9,5	4,4	0,9	-0,3
50	-4,8	-3,5	-3,5	-2,6	-0,8	-1,0	0,1	3,7	9,5	4,4	0,9
63	-5,0	-4,8	-3,5	-3,5	-2,3	-0,7	-0,8	0,1	3,7	9,5	4,4
80	-5,0	-5,0	-4,8	-3,5	-3,1	-1,9	-0,6	-0,8	0,1	3,7	9,5
100	-5,0	-5,0	-5,0	-4,8	-3,5	-2,3	-0,7	-0,7	-0,8	0,1	3,7
125	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-4,8	-3,1	-1,9	-1,9	-0,7	-0,8	0,1
160	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-3,5	-2,3	-2,3	-1,9	-0,7	-0,8
200	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-4,8	-3,1	-3,1	-2,3	-1,9	-0,7
250	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-3,5	-3,5	-3,1	-2,3	-1,9
315	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-4,8	-4,8	-3,5	-3,1	-2,3

Betriebsprogramm

Prognose-Planfall 2030DT

Strecke: 3900 Bad Nauheim - Friedberg (Hess)
Streckenabschnitt: Frankfurter Landstraße, Bad Nauheim
Richtung: beide Richtungen

Zugart	Anzahl		Zuglänge [m]	v _{max} [km/h]	Vorbeifahrtzeit [s]
	Tag	Nacht			
GV	31	24	740	100	26,6
GV	4	3	740	120	22,2
GL	6	4	210	100	7,6
FV	31	5	260	160	5,9
NV	143	19	210	160	4,7
Summe:	215	55			

Erschütterungsimmissionen

Maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}

Prognose-Planfall

Tagzeitraum

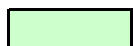
Querschnitt: Gewerbegebiet
 Strecke: 3900
 Ort: Bad Nauheim
 Gebäudeabstand ab: 16,0 m

Schutzmaßnahme: ohne Maßnahme
 Gebietsnutzung: Gewerbegebiet
 Deckenart: Stahlbetondecke
 A_u : 0,30 A_o : 6,00

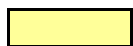
KB_{Fmax} in Abhängigkeit des Gleisabstandes und Deckeneigenfrequenzen von Gebäuden

Abstand r	Deckeneigenfrequenzen [Hz]									
[m]	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
10	1,41	1,30	1,18	1,06	1,11	1,33	1,98	2,07	1,79	1,31
11	1,30	1,19	1,05	0,91	0,93	1,09	1,59	1,60	1,38	1,01
12	1,22	1,10	0,95	0,79	0,80	0,92	1,30	1,27	1,08	0,80
13	1,16	1,03	0,87	0,71	0,71	0,78	1,08	1,03	0,87	0,65
14	1,10	0,97	0,81	0,64	0,63	0,68	0,92	0,85	0,71	0,54
15	1,06	0,92	0,75	0,59	0,57	0,60	0,79	0,71	0,59	0,45
16	1,02	0,88	0,71	0,55	0,52	0,54	0,69	0,62	0,50	0,40
17	0,98	0,85	0,67	0,51	0,48	0,49	0,61	0,54	0,43	0,36
18	0,95	0,81	0,64	0,48	0,44	0,45	0,54	0,48	0,38	0,33
19	0,92	0,78	0,61	0,45	0,42	0,41	0,49	0,44	0,35	0,31
20	0,89	0,76	0,59	0,43	0,39	0,38	0,45	0,40	0,32	0,29
21	0,87	0,73	0,57	0,41	0,37	0,36	0,41	0,37	0,30	0,28
22	0,85	0,71	0,54	0,39	0,35	0,34	0,38	0,34	0,28	0,26
23	0,83	0,69	0,53	0,37	0,33	0,32	0,35	0,32	0,27	0,25
24	0,81	0,67	0,51	0,36	0,32	0,30	0,33	0,30	0,26	0,24
25	0,79	0,66	0,49	0,35	0,31	0,29	0,31	0,28	0,25	0,23
26	0,77	0,64	0,48	0,34	0,29	0,28	0,29	0,27	0,24	0,22
27	0,76	0,63	0,47	0,32	0,28	0,26	0,28	0,25	0,23	0,22
28	0,74	0,61	0,45	0,31	0,27	0,25	0,26	0,24	0,22	0,21
29	0,73	0,60	0,44	0,30	0,26	0,24	0,25	0,23	0,21	0,20
30	0,71	0,59	0,43	0,30	0,26	0,24	0,24	0,23	0,21	0,20
31	0,70	0,57	0,42	0,29	0,25	0,23	0,23	0,22	0,20	0,19
32	0,69	0,56	0,41	0,28	0,24	0,22	0,23	0,21	0,20	0,19
33	0,68	0,55	0,40	0,27	0,23	0,22	0,22	0,20	0,19	0,18
34	0,67	0,54	0,39	0,27	0,23	0,21	0,21	0,20	0,19	0,18

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]



Der untere Anhaltswert A_u wird eingehalten oder unterschritten,
 die Anforderungen der DIN 4150-2 sind im 1. Beurteilungsschritt erfüllt.



Der untere Anhaltswert A_u wird überschritten,
 die Prüfung im 2. Beurteilungsschritt ist erforderlich.



Der obere Anhaltswert A_o wird überschritten,
 die Anforderungen der DIN 4150-2 sind nicht eingehalten.

Erschütterungsimmissionen

Beurteilungsschwingstärke $KB_{FT,r}$

Prognose-Planfall

Tagzeitraum

Querschnitt: Gewerbegebiet

Strecke: 3900

Ort: Bad Nauheim

Gebäudeabstand ab: 16,0 m

Schutzmaßnahme: ohne Maßnahme

Gebietsnutzung: Gewerbegebiet

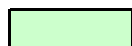
Deckenart: Stahlbetondecke

A_r : 0,15

$KB_{FT,r}$ in Abhängigkeit des Gleisabstandes und Deckeneigenfrequenzen von Gebäuden

Abstand r	Deckeneigenfrequenzen [Hz]									
[m]	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
10	0,19	0,22	0,19	0,16	0,16	0,18	0,25	0,31	0,26	0,19
11	0,18	0,20	0,17	0,14	0,13	0,14	0,20	0,25	0,20	0,15
12	0,17	0,19	0,15	0,12	0,12	0,12	0,16	0,20	0,16	0,12
13	0,16	0,18	0,14	0,11	0,10	0,10	0,14	0,16	0,13	0,10
14	0,15	0,17	0,13	0,10	0,09	0,09	0,12	0,14	0,11	0,09
15	0,14	0,16	0,12	0,09	0,08	0,08	0,10	0,12	0,10	0,08
16	0,14	0,16	0,12	0,08	0,07	0,07	0,09	0,10	0,08	0,07
17	0,13	0,15	0,11	0,08	0,07	0,07	0,08	0,09	0,07	0,06
18	0,13	0,14	0,11	0,07	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06	0,05
19	0,13	0,14	0,10	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05
20	0,12	0,14	0,10	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05
21	0,12	0,13	0,10	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04
22	0,12	0,13	0,09	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
23	0,11	0,12	0,09	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03
24	0,11	0,12	0,09	0,06	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03
25	0,11	0,12	0,08	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
26	0,11	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03
27	0,11	0,11	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
28	0,10	0,11	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
29	0,10	0,11	0,08	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02
30	0,10	0,11	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01
31	0,10	0,10	0,07	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
32	0,10	0,10	0,07	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
33	0,09	0,10	0,07	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
34	0,09	0,10	0,07	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird eingehalten oder unterschritten,
 die Anforderungen der DIN 4150-2 sind erfüllt.



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird überschritten,
 die Anforderungen der DIN 4150-2 sind nicht eingehalten.

Sekundärer Luftschall Beurteilungspegel L_r

Prognose-Planfall Tagzeitraum

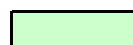
Querschnitt: Gewerbegebiet
 Strecke: 3900
 Ort: Bad Nauheim
 Gebäudeabstand ab: 16,0 m

Schutzmaßnahme: ohne Maßnahme
 Gebietsnutzung: Gewerbegebiet
 Deckenart: Stahlbetondecke
 Immissionsrichtwert: 45 dB(A)

L_r in Abhängigkeit des Gleisabstandes und Deckeneigenfrequenzen von Gebäuden

Abstand r	Deckeneigenfrequenzen [Hz]									
[m]	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
10	28,9	29,2	29,7	29,9	30,9	31,6	33,4	35,2	35,2	34,3
11	27,6	28,0	28,4	28,7	29,6	30,4	32,2	34,0	33,9	33,0
12	26,5	26,8	27,3	27,5	28,5	29,3	31,1	32,8	32,6	31,8
13	25,4	25,8	26,3	26,5	27,5	28,3	30,1	31,8	31,5	30,7
14	24,5	24,8	25,3	25,5	26,5	27,3	29,1	30,8	30,5	29,7
15	23,6	23,9	24,4	24,6	25,6	26,5	28,3	29,9	29,6	28,8
16	22,7	23,1	23,6	23,8	24,8	25,6	27,5	29,0	28,7	27,9
17	22,0	22,3	22,8	23,0	24,0	24,9	26,7	28,2	27,8	27,1
18	21,2	21,6	22,1	22,3	23,3	24,2	26,0	27,5	27,0	26,3
19	20,5	20,9	21,4	21,7	22,7	23,5	25,3	26,8	26,3	25,6
20	19,9	20,2	20,8	21,0	22,0	22,9	24,7	26,1	25,6	24,8
21	19,3	19,6	20,2	20,4	21,4	22,3	24,1	25,5	24,9	24,2
22	18,7	19,1	19,6	19,9	20,9	21,7	23,5	24,9	24,3	23,5
23	18,1	18,5	19,1	19,3	20,3	21,1	22,9	24,3	23,7	22,9
24	17,6	18,0	18,6	18,8	19,8	20,6	22,4	23,7	23,1	22,4
25	17,1	17,6	18,1	18,4	19,4	20,1	21,9	23,2	22,5	21,8
26	16,6	17,1	17,7	17,9	18,9	19,7	21,4	22,7	22,0	21,3
27	16,2	16,7	17,3	17,5	18,5	19,2	20,9	22,2	21,5	20,8
28	15,8	16,3	16,9	17,1	18,1	18,8	20,5	21,7	21,0	20,3
29	15,4	15,9	16,5	16,7	17,7	18,4	20,0	21,2	20,5	19,8
30	15,0	15,5	16,2	16,4	17,3	18,0	19,6	20,8	20,0	19,3
31	14,6	15,2	15,8	16,0	16,9	17,6	19,2	20,4	19,6	18,9
32	14,3	14,9	15,5	15,7	16,6	17,2	18,8	20,0	19,2	18,5
33	13,9	14,6	15,2	15,4	16,3	16,9	18,5	19,6	18,7	18,1
34	13,6	14,3	14,9	15,1	16,0	16,5	18,1	19,2	18,3	17,7

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]



Der Immissionsrichtwert IRW wird eingehalten oder unterschritten,
 die Anforderungen der 24. BImSchV sind erfüllt.



Der Immissionsrichtwert IRW wird überschritten,
 die Anforderungen der 24. BImSchV sind nicht erfüllt.