


ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHE UNTERSUCHUNG

BAUVORHABEN:	Nordmainische S-Bahn Planfeststellungsabschnitt 1 (oberirdischer Streckenabschnitt) Frankfurt am Main
UMFANG:	Ermittlung und Beurteilung der schienenverkehrsinduzierten Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall
AUFTRAGGEBER:	DB Netz AG Regionalbereich Mitte Fachplanung sonstige Gewerke Pfarrer-Perabo-Platz 4 60326 Frankfurt am Main
BEARBEITUNG:	KREBS+KIEFER FRITZ AG Heinrich-Hertz-Straße 2 64295 Darmstadt T 06151 885-383 F 06151 885-220
AKTENZEICHEN:	20178007-VVE-12
DATUM:	Darmstadt, 20.08.2019



Dipl.-Phys. Peter Fritz
Vorstand

Dieser Bericht umfasst 26 Seiten, 4 Anhänge mit 18 Blättern und 1 Plananlage mit 2 Blättern.

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

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Sachverhalt und Aufgabenstellung	5
3	Bearbeitungsgrundlagen	6
3.1	Rechtsgrundlagen und Regelwerke	6
3.2	Planungsunterlagen	7
4	Beschreibung des Bauvorhabens	8
4.1	Projektbeschreibung	8
4.2	Einwirkungsbereiche	8
4.3	Immissionsschutzrechtliche Einstufung	9
5	Anforderungen an den Immissionsschutz	9
5.1	Erschütterungsschutz	9
5.1.1	Beurteilungsverfahren	10
5.1.2	Anhaltswerte	10
5.1.3	Kriterien einer wesentlichen Änderung	11
5.1.4	Grundrechtsverletzungen durch Erschütterungsimmissionen	11
5.1.5	Lösen von Schutzfällen	12
5.2	Sekundärer Luftschall	12
5.2.1	Beurteilungsverfahren	12
5.2.2	Anforderungswerte	13
5.2.3	Anwendung des „Schienenbonus“	14
5.2.4	Kriterien einer wesentlichen Änderung	15
5.2.5	Lösen von Schutzfällen	15
6	Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise	15
6.1	Prognosemodell	16
6.2	Emissionen	16
6.3	Transmission	17
6.3.1	Transferfunktion T_1	17
6.3.2	Transferfunktion T_2	18
6.3.3	Transferfunktion T_3	18

6.4	Immissionen	18
6.4.1	Erschütterungen	18
6.4.2	Sekundärer Luftschall	19
6.5	Betriebsparameter der Bahnstrecke	20
7	Untersuchungsergebnisse	20
7.1	Prognose-Nullfall	21
7.1.1	Erschütterungen	21
7.1.2	Sekundärer Luftschall	22
7.2	Prognose-Planfall	22
7.2.1	Erschütterungen	22
7.2.2	Sekundärer Luftschall	23
7.3	Prüfung auf wesentliche Änderung	24
7.4	Prüfung auf mögliche Grundrechtsverletzungen	24
7.5	Extrapolation der Untersuchungsergebnisse	24
8	Abschließende Bemerkungen	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übertragung von Erschütterungen	16
--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen	10
Tabelle 2: Immissionsrichtwerte für den sekundären Luftschall	14

Anhänge

Anhang 1	Angabe zu den Gebäuden
Anhang 2	Emissionen
Anhang 3	Übertragungsfunktionen
Anhang 4	Beurteilung der Immissionen

ANLAGE 12.4.2.0.1b Übersichtslagepläne

Abkürzungsverzeichnis

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
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
BVerwG	Bundes-Verwaltungsgericht
c	Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle [m/s]
dB	Dezibel
f	Frequenz [Hz]
f ₀	Deckeneigenfrequenz [Hz]
FV	Personenfernverkehr
GV	Güterverkehr, Güterzug
Hz	Hertz, Schwingung je Sekunde
IP	Immissionspunkt
IRW	Immissionsrichtwert [dB(A)]
KB _{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke [-]
KB _{FTr}	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)]
L _{vA}	A-bewerteter Körperschallschnellepegel in Fußbodenmitte [dB(A)]
MI	Mischgebiet gemäß § 3 BauNVO
N	Anzahl von Zügen
NV	Nahverkehr
PNF	Prognose-Nullfall
PPF	Prognose-Planfall
r, R	Abstand
S	S-Bahn-Verkehr
StAbw	Standardabweichung
T	Transferfunktion
USM	Unterschottermatte
VMN	Vorsorgemaßnahme
v ₀	Referenzwert für die Schwingschnelle [5 * 10 ⁻⁸ m/s]
WA	Allgemeines Wohngebiet

1 Zusammenfassung

Die erschütterungstechnische Untersuchung im Rahmen der Planung zur „Nordmainischen S-Bahn“ im oberirdischen Streckenabschnitt Frankfurt hat unter Berücksichtigung des Prognosehorizonts 2030 zu folgenden Ergebnissen geführt:

- ❑ Im gesamten Untersuchungsbereich besteht eine erschütterungstechnische Vorbelastung durch die vorhandene Bahnstrecke 3660. Relevante Erschütterungsimmissionen treten dabei lediglich an den nächstgelegenen Gebäuden auf. Für diese wurde geprüft, ob es durch den Betrieb der geplanten S-Bahn-Strecke (Strecke 3685) zu einer Erhöhung der gegenwärtig auftretenden Erschütterungsimmissionen kommt und ob diese eine „wesentlichen Änderung“ im Hinblick auf den Immissionsschutz darstellen, die erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen erforderlich machen.
- ❑ Hinsichtlich des sekundären Luftschalls unterschreiten die prognostizierten Beurteilungspegel für alle messtechnisch untersuchten Gebäude die gültigen Immissionsrichtwerte gemäß der 24. BImSchV. Diesbezügliche erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen werden demnach nicht erforderlich.
- ❑ Unter Berücksichtigung der messtechnisch analysierten Emissions- und Ausbreitungsbedingungen im Boden ergeben sich durch den zukünftigen Betrieb der geplanten S-Bahn-Strecke in den messtechnisch untersuchten exemplarischen Gebäuden Erschütterungsimmissionen, die den Sachverhalt einer „wesentlichen Änderung“ gegenüber der Vorbelastung nicht erfüllen. Somit besteht infolge der Einwirkungen aus Erschütterungen kein Anspruch auf erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen.

2 Sachverhalt und Aufgabenstellung

Beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge kommt es im Kontaktbereich zwischen Rad und Schiene zu Schwingungsanregungen, die auf Störungen des stationären Abrollvorganges zurückzuführen sind. Verantwortlich hierfür sind einerseits Inhomogenitäten der Schiene, andererseits auch das Rad selbst, welches in der Regel einen ungleichmäßigen Verschleiß erfährt. Die impulsförmige Anregung des Radsatzes und des Gleiskörpers wiederum hat die Anregung von Eigenschwingungen des Gesamtsystems zur Folge. Auch schwankende Vertikalsteifigkeiten bei Schotteroberbauten mit Schwellen oder bei festen Fahrbahnen sind ursächlich für einen instationären Abrollvorgang.

Die aus den dynamischen Lasten resultierenden Schwingungen des Gleisoberbaus werden über das Erdreich auf nahestehende Gebäude übertragen, die ihrerseits zu Schwingungen angeregt

werden. Die auftretenden Schwingungsamplituden sind in der Regel so gering, dass Bauwerkschäden als Folge der dynamischen Beanspruchung ausgeschlossen werden können. Dennoch können Schwingungen bereits bei geringen Schwingstärken zu Beeinträchtigungen des Wohlbefindens von Menschen in Gebäuden führen. Über die Geschossdecken werden Schwingungen des Gebäudekörpers auf den Menschen übertragen, die vom Körper direkt als mechanische Schwingungsmissionen wahrgenommen werden. Weiterhin führen die in ein Bauwerk eingeleiteten Schwingungen zu einer Schallabstrahlung der Raumbegrenzungsflächen in Form von hörbarem (sekundärem) Luftschall. Selbst Immissionen, die als mechanische Schwingungen nicht mehr spürbar sind, können dann akustisch wahrnehmbar sein.

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

Im Rahmen der Planung für das Planvorhaben „Nordmainische S-Bahn“ ist daher zu prüfen, ob die Einwirkungen aus Erschütterungen bzw. sekundärem Luftschall, hervorgerufen vom zukünftigen Betrieb, zu erheblichen Belästigungen von Menschen in Gebäuden führen können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im gesamten Untersuchungsraum eine erschütterungstechnische Vorbelastung durch die vorhandene Bahnstrecke besteht. Sofern zukünftig Erschütterungs- oder sekundäre Luftschallimmissionen zu erwarten sind, die die Beurteilungsanhaltswerte gemäß DIN 4150-2 bzw. die Immissionsrichtwerte in Anlehnung an die 24. BImSchV überschreiten, sind die Belastungen im Planfall der gegebenen Vorbelastung (Nullfall) gegenüberzustellen. Anhand dieses Vergleichs wird dann geprüft, ob die geplante Baumaßnahme zu einer „wesentlichen Änderung“ führt, das heißt zu einer erheblichen Erhöhung der Immissionen gegenüber der Vorbelastungssituation.

Soweit relevante Konfliktpotentiale festgestellt werden, sind geeignete Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung bzw. zur Minimierung der Immissionskonflikte zu erarbeiten.

3 Bearbeitungsgrundlagen

3.1 Rechtsgrundlagen und Regelwerke

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

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

- /2/ 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)
- /3/ 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 24. BImSchV) vom 04. Februar 1997 in ihrer berichtigten Fassung vom 16. Mai 1997
- /4/ Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) in der aktuell gültigen Fassung
- /5/ Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom 21.12.2010, Az: BVerwG 7 A 14.09
- /6/ Eisenbahn-Bundesamt, Verfügung zum Umgang mit betriebsbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall in der Planfeststellung vom 30.01.2017
- /7/ DIN 4150, Teil 1 „Erschütterungen im Bauwesen: Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Juni 2001
- /8/ DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, Juni 1999
- /9/ DB-Richtlinie 820.2050, Erschütterungen und sekundärer Luftschall, Stand vom 15.09.2017
- /10/ Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen, Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Bericht Nr. 107
- /11/ Messbericht-Erschütterungen „Messtechnische Erhebung der Ausbreitungsbedingungen im Planfeststellungsabschnitt Frankfurt (oberirdischer Streckenabschnitt), Anlage 12.4.2 - Teil 2, Bericht Nr. 08500-VME-5 vom 28.01.2013, FRITZ GmbH Beratende Ingenieure VBI

3.2 Planungsunterlagen

- /12/ Achsdaten der Strecken 3660 und 3685 in digitaler Form, DB ProjektBau GmbH, Regionalbereich Ost, Bautechnik, Berlin, Stand Oktober 2009
- /13/ Allgemeines Liegenschaftskataster für das Umfeld der Nordmainischen S-Bahn in digitaler Form, zur Verfügung gestellt von DB ProjektBau GmbH, Regionalbereich Mitte, Frankfurt am Main
- /14/ Höhenpunkte trassennah im digitalen Format, zur Verfügung gestellt von DB ProjektBau GmbH, Regionalbereich Mitte, Frankfurt am Main

- /15/ Höhenlinien im Umfeld der Nordmainischen S-Bahn, Auszug aus den Amtlichen Topographischen Karten TOP 25
- /16/ Betriebskonzept – Prognose für das Jahr 2030, DB Netz AG, Regionalbereich Mitte, Frankfurt am Mai
- /17/ Angaben zu den Bebauungsplänen im Umfeld der Nordmainischen S-Bahn sowie Auszüge aus dem Flächennutzungsplan 2007, Planungsauskunftssystem des Stadtplanungsamtes Frankfurt am Main, www.planAS-frankfurt.de
- /18/ Angaben zu Neubauten im Umfeld der Bahnanlage, DB Netz AG, Regionalbereich Mitte, Frankfurt am Main

4 Beschreibung des Bauvorhabens

4.1 Projektbeschreibung

Der regionale Nahverkehrsplan 2004 bis 2009 des Rhein-Main-Verkehrsverbundes sieht im Maßnahmenbereich der S-Bahn und des Regionalverkehrs unter anderem den Vollausbau der Nordmainischen S-Bahn zwischen dem Anschluss an die Konstablerwache in Frankfurt am Main (Abzweig Grüne Straße) und Hanau Hbf vor. Dieser umfasst den Neubau einer unterirdischen Streckenführung (2-gleisig) zwischen dem vorhandenen Abzweig Grüne Straße bis östlich des Danziger Platzes in Frankfurt-Ost sowie den Neubau von zwei gesonderten S-Bahn-Gleisen in oberirdischer Streckenführung bis Wilhelmsbad. Der oberirdische Streckenabschnitt wird bis Wilhelmsbad nördlich der vorhandenen Fernbahnstrecke 3660 geführt. In Teilbereichen sind hierzu auch bauliche Eingriffe in die vorhandenen Fernbahngleise erforderlich. Ab Wilhelmsbad wird eine zweigleisige Verbindung südlich der vorhandenen Strecke gebaut, auf der künftig die Fernbahnstrecke geführt wird. Die S-Bahn wird in diesem Abschnitt die bestehende Fernbahnstrecke nutzen.

Der in dieser Untersuchung zu betrachtende Abschnitt „Frankfurt am Main“ bezieht sich auf die oberirdisch verlaufende Strecke von Frankfurt-Ostend (S-Bahn-km 54,3+50) über Frankfurt-Riederwald und Frankfurt-Fechenheim bis ca. S-Bahn-km 60,2+94.

4.2 Einwirkungsbereiche

In den Übersichtslageplan in Anlage 12.4.2.0.1b sind die im Einwirkungsbereich der Bahnanlage gelegenen Siedlungsflächen in den Ortslagen Frankfurt-Ostend, Frankfurt-Riederwald und Frankfurt-Fechenheim dargestellt.

Die Gebietsnutzungen von Siedlungsflächen wurden in den Plänen farblich gekennzeichnet. Weiterhin wurden dort besonders schützenswerte Sondernutzungen, das heißt Krankenhäuser, Altenheime, Schulen oder Kindergärten, entsprechend hervorgehoben soweit diese im Untersuchungsraum vorhanden sind.

Die Einstufung der Gebietsnutzungen wurde auf der Grundlage rechtskräftiger Bebauungspläne oder ersatzweise nach der Schutzwürdigkeit von Siedlungsflächen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Nutzung vorgenommen.

4.3 Immissionsschutzrechtliche Einstufung

Im gesamten Untersuchungsraum besteht eine erschütterungstechnische Vorbelastung durch die vorhandene Bahnstrecke. Sofern zukünftig Erschütterungs- oder sekundäre Luftschallimmissionen zu erwarten sind, die die Beurteilungsanhaltswerte gemäß DIN 4150-2 /8/ bzw. die Immissionsrichtwerte in Anlehnung an die 24. BImSchV /3/ überschreiten, sind die Belastungen im Planfall der gegebenen Vorbelastung (Bestand bzw. Prognose-Nullfall) gegenüberzustellen. Anhand dieses Vergleichs wird dann aufgezeigt, ob die geplante Baumaßnahme zu einer „wesentlichen Änderung“ führt, das heißt zu einer erheblichen Erhöhung der Immissionen gegenüber der Vorbelastungssituation.

5 Anforderungen an den Immissionsschutz

5.1 Erschütterungsschutz

Für die Beurteilung von Einwirkungen durch verkehrsinduzierte Erschütterungsimmissionen gibt es derzeit keine gesetzlichen Bestimmungen, in denen Grenzwerte festgelegt sind. Daher werden zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen die in Fachkreisen als Beurteilungsgrundlage allgemein anerkannten Anhaltswerte nach DIN 4150-2 /8/ 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.

Die Rechtsgrundlage für Ansprüche auf Schutzmaßnahmen ist in § 74 (2) Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) /4/ begründet. Hiernach sind dem Träger eines Vorhabens Vorkehrungen oder die Einrichtung und Unterhaltung von Anlagen aufzuerlegen, die zum Wohl der Allgemeinheit oder zur Vermeidung nachteiliger Wirkungen erforderlich sind. Sind solche Vorkehrungen oder Anlagen untunlich, das heißt mit angemessenem Aufwand zum Schutzzweck nicht realisierbar,

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

5.1.1 Beurteilungsverfahren

Zur 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.

5.1.2 Anhaltswerte

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

Die Anhaltswerte A zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten 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 Anhaltswerte angegeben.

5.1.3 Kriterien einer wesentlichen Änderung

Nach der Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichtes /5/ müssen sich Betroffene vorhandene Vorbelastungen aus Erschütterungsimmissionen zurechnen lassen, d.h. dass die Vorbelastung bei der Prüfung möglicher Vorsorgeansprüche und bei der Abwägung geeigneter Schutzvorkehrungen zu berücksichtigen ist. In diesem Zusammenhang wird auf die Rechtsprechung des Gerichtes zum primären Luftschall vor Inkraftsetzung der 16. BImSchV /2/ verwiesen. Demgemäß können nach der gegenwärtigen Rechtslage reale und geldwerte Ausgleichsansprüche beim Vorhandensein erheblich belästigender Erschütterungsimmissionen an baulich geänderten Schienenverkehrswegen nur dann bestehen, wenn die Vorbelastung durch bestehende Bahnanlagen durch das Hinzutreten weiterer Erschütterungseinwirkungen in beachtlicher Weise erhöht wird und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche, unzumutbare Beeinträchtigung liegt. Dies wird auch durch das Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes /5/ bestätigt. Unter Punkt 14 des Urteils wird angeführt, dass ein Erschütterungsschutz nur dann verlangt werden kann, wenn die Erschütterungsbelastung durch den Ausbau in beachtlicher Weise erhöht und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche, dem Betroffenen billigerweise nicht mehr zumutbare Belastung liegt.

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

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

5.1.4 Grundrechtsverletzungen durch Erschütterungsimmissionen

Im Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes /5/ geht das Gericht auf eine mögliche Grenze zur Eigentums- bzw. Gesundheitsverletzung aufgrund von Erschütterungsimmissionen ein. Konkret weist das Gericht darauf hin, dass eine Zumutbarkeitsschwelle bei Beurteilungsschwingstärken (KB_{FTr} -Werte) von mindestens 0,3 am Tag und 0,23 in der Nacht liegen muss. Das bedeutet, dass den Betroffenen ohne Weiteres die Erschütterungsimmissionen bis zum 1,5-fachen Anhaltswert für Industriegebiete zugemutet werden kann.

Des Weiteren führt das Gericht hinsichtlich der Erheblichkeit der Änderung der Erschütterungsintensitäten hierzu, dass bei einer hohen Vorbelastung ggf. die Prüfung der Anpassung der Wahrnehmbarkeitsschwelle erforderlich ist. Jedoch sieht das Gericht keine Veranlassung die Erheblichkeitsschwelle von 25 % zu korrigieren, wenn die durch einzelnen Zugvorbeifahrten hervorgerufenen KB_{Fmax} -Werte in der Größenordnung von 1,6 liegen. Die Unbewohnbarkeit einer Wohnung wird beim Überschreiten von deutlich über 3,5 erreicht.

Weiterhin wird in der aktuellen EBA-Verfügung /6/ aufgeführt, dass in Abschnitten mit Beurteilungsschwingstärken KB_{FTr} von 1,1 tags und 0,7 nachts, die durch die bestehende Vorbelastung zu Stande kommen, ist der vorhabenbezogene Anstieg der Erschütterungsimmissionen gutachterlich besonders zu untersuchen und unter Berücksichtigung des Einzelfalls im Hinblick auf den Eigentums- und Gesundheitsschutz in der Abwägung über zu treffende Schutzmaßnahme zu betrachten.

5.1.5 Lösen von Schutzfällen

Sofern nach Realisierung des Bauvorhabens die Erschütterungsimmissionen aus dem Schienenverkehr im Vergleich zum Prognose-Nullfall um mehr als 25 % zunehmen, ist eine sorgfältige Abwägung von Erschütterungsvorsorgemaßnahmen durchzuführen. Hierbei wird geprüft, unter welchen Voraussetzungen bestehende Konflikte gelöst werden können. Gemäß der EBA-Verfügung /6/ gilt bei einer Änderung des bestehenden Schienenverkehrsweges ein Schutzfall als „gelöst“, wenn die vorhabenbedingte Zunahme der Erschütterungsimmissionen auf unter 25 % gesenkt wird.

5.2 Sekundärer Luftschall

5.2.1 Beurteilungsverfahren

Für Einwirkungen aus sekundären Luftschallimmissionen, hervorgerufen von schienenengebundenen 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.

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 Verkehrsgeräusche befasst. In § 43 BImSchG /1/ wird die Bundesregierung ermächtigt, erforderliche Vorschriften zu erlassen. Hierbei wird explizit darauf hingewiesen, dass den Besonderheiten des Schienenver-

kehrs 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 streng genommen nicht den Regelungen der 24. BImSchV unterliegt, da deren Anwendung die Überschreitung der Immissionsgrenzwerte nach § 2 der 16. BImSchV durch den Bau oder die wesentliche Änderung einer öffentlichen Straße oder eines Schienenverkehrsweges voraussetzt. In Anlehnung an die 24. BImSchV scheint 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 5.2.2).

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 tags 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 entwickelte Zumutbarkeitsschwelle, von denen auch der Verordnungsgeber der 24. BImSchV ausgegangen ist.

5.2.2 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.

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

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

5.2.3 Anwendung des „Schienenbonus“

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

Durch Artikel 1 des 11. Gesetzes zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ist dieser Abschlag ab dem 1. Januar 2015 jedoch nicht mehr anzuwenden, soweit zu diesem Zeitpunkt das Planfeststellungsverfahren noch nicht eröffnet ist und die Auslegung des Plans noch nicht öffentlich bekannt gemacht wurde.

Die Abschaffung des Schienenbonus gilt damit uneingeschränkt für alle Vorhaben des Neubaus bzw. der wesentlichen Änderung von Schienenwegen der Eisenbahn im Sinne der 16.BImSchV (Planfeststellungsverfahren, Plangenehmigungsverfahren, ...), die nach dem 01. Januar 2015 planrechtlich eingeleitet werden.

Das Planfeststellungsverfahren für die Nordmainische S-Bahn wurde bereits in 2014 eingeleitet. Daher ist in der vorliegenden Untersuchung der Schienenbonus für den sekundären Luftschall anzuwenden.

5.2.4 Kriterien einer wesentlichen Änderung

Für den sekundären Luftschall wird in Anlehnung an die schalltechnische Problemstellung bei der Bewertung nach 16. BlmSchV /2/ eine Erhöhung der Beurteilungspegel von mindestens 3 dB(A) als wesentlich erachtet. Ein Anspruch auf Vorsorgemaßnahmen ergibt sich demgemäß infolge einer wesentlichen Erhöhung der Beurteilungspegel bei gleichzeitiger Immissionsrichtwertüberschreitung.

5.2.5 Lösen von Schutzfällen

Sobald die Immissionen aus sekundärem Luftschall nach Realisierung des Bauvorhabens im Vergleich zum Prognose-Nullfall um mehr als 3 dB zunehmen, ist sorgfältig zu prüfen, unter welchen Voraussetzungen bestehende Konflikte gelöst werden können. Gemäß der EBA-Verfügung /6/ gilt bei einer Änderung des bestehenden Schienenverkehrsweges ein Schutzfall als „gelöst“, wenn die vorhabenbedingte Zunahme der Immissionen aus sekundärem Luftschall auf unter 3 dB gesenkt wird.

6 Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise

Ausgangspunkt der erschütterungstechnischen Untersuchung ist die Festlegung repräsentativer Untersuchungsobjekte. Im vorliegenden Fall wurden 7 Gebäude im Abschnitt Frankfurt der Nordmainischen S-Bahn ausgewählt, die sich im direkten Einwirkungsbereich der Bahnstrecke befinden. Die Bebauungsdichte im Einwirkungsbereich der Bahntrasse ist im oberirdischen Bereich des Abschnitts Frankfurt gering. In einer Korridorbreite von bis zu 25 m befinden sich insgesamt lediglich 7 schutzbedürftige Gebäude. Von den insgesamt 7 messtechnisch untersuchten Objekten liegen 3 Gebäude innerhalb dieses Korridors. Dies bedeutet eine Quote von 43 %. Die 4 ausgewählten Gebäude haben einem Abstand im Bereich von 33 m bis 58 m. Die ausgewählten Gebäude wurden so festgelegt, dass auf Grund der gegebenen Abstandsverhältnisse zur Trasse und der vorhandenen Bausubstanz, ein mögliches Konfliktpotential nicht ausgeschlossen werden kann. Die Gebäude wurden ferner unter dem Aspekt ausgewählt, dass diese repräsentativ für die umliegende Gebäudestruktur sind.

Im Falle einer Konfliktfreiheit bei diesen „kritischen“ Immissionsorten kann davon ausgegangen werden, dass auch an der übrigen Bebauung keine erheblichen Belästigungen durch Erschütterungen und sekundären Luftschall auftreten werden. Die untersuchten Objekte sind im Übersichtslageplan in Anlage 12.4.2.0.1b farbig gekennzeichnet.

Bei allen ausgewählten Gebäuden wurden, soweit dies möglich war, jeweils drei Räume in verschiedenen Geschossebenen untersucht. Die tatsächlich vorhandene Nutzung der untersuchten Räume, deren Geschosslage sowie die jeweilige Deckenkonstruktion sind in Anhang 1 angegeben

6.1 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.

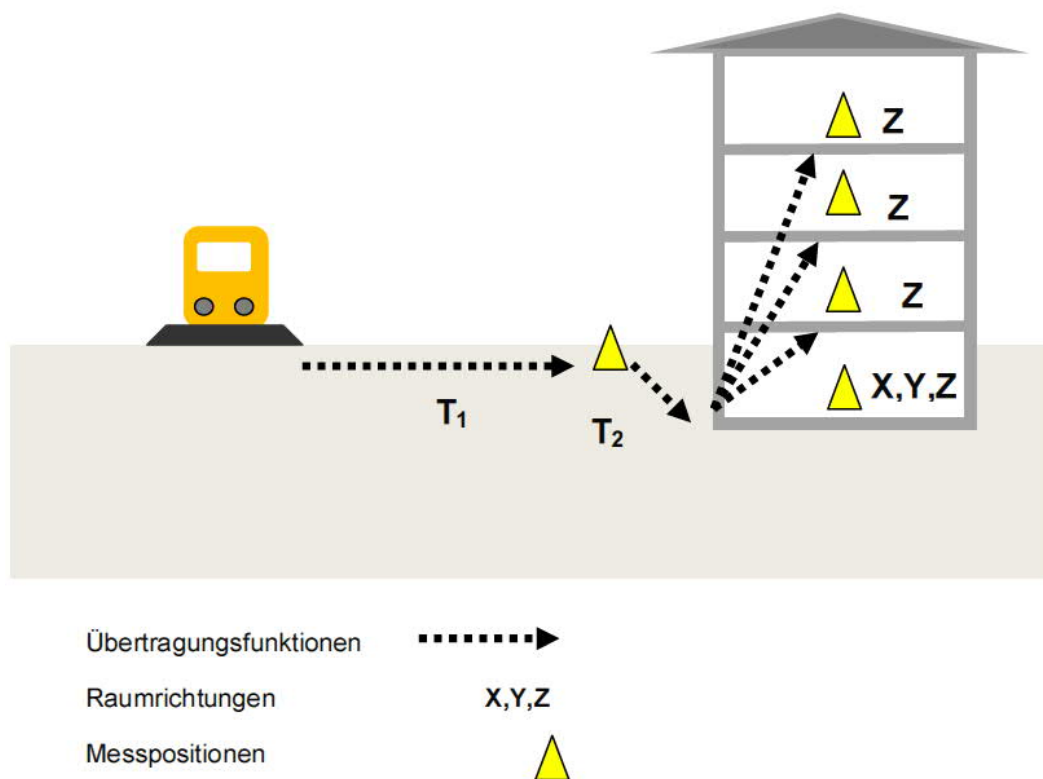


Abbildung 1: Übertragung von Erschütterungen

Diese berücksichtigt neben den erschütterungstechnischen Quellstärken (Emissionen) und der Ausbreitung der Schwingungen im Untergrund (Transmission T_1) das Schwingungsverhalten der zu untersuchenden Gebäude (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 bis 315 Hz.

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

6.2 Emissionen

Bei oberirdischen Schienenverkehrswegen wird die Emission durch die in einem festgelegten

Abstand zur Gleisachse im Erdboden gemessenen Schwingstärke charakterisiert. Für die vorliegende Untersuchung wurden im Jahr 2012 /11/ im Bereich von Frankfurt am Main Emissions- und Ausbreitungsmessungen durchgeführt. Die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten der Züge wurden hierbei auf die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit hochgerechnet.

Die nunmehr praktizierte Berücksichtigung der zulässigen Streckenhöchstgeschwindigkeit bei der Emissionsermittlung stellt eine obere Abschätzung dar, da hierbei unberücksichtigt bleibt, dass zum Beispiel S-Bahn-Züge im Bereich der Haltepunkte verzögert bzw. beschleunigt werden. Auch die registrierten mittleren Vorbeifahrtgeschwindigkeiten von Zügen des Personenfernverkehrs und des Güterverkehrs liegen stets unterhalb der zulässigen Strecken Höchstgeschwindigkeit. Gleichwohl wird dies im vorliegenden Fall unterstellt.

Die für die Prognose herangezogenen Emissionsspektren sind in Anhang 2.1 bis Anhang 2.4 tabellarisch und grafisch dokumentiert. Als Oberbaukonzept ist wie im Bestand ein Schotteroberbau mit Betonschwellen vorgesehen. Die angewandte Geschwindigkeitskorrekturfunktion ist in Anhang 2.5 dokumentiert. Die korrigierten Emissionsspektren finden sich in Anhang 2.6 bis Anhang 2.10.

6.3 Transmission

Der Übertragungsweg von schienenverkehrsinduzierten Schwingungen auf die für die Beurteilung relevanten Geschossdecken eines Gebäudes wird in einzelne Übertragungsfunktionen (Transferfunktionen) untergliedert:

6.3.1 Transferfunktion T_1

Als Transferfunktion $T_1(f)$ wird die entfernungsbedingte Amplitudenabnahme der Schwingstärke 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 /11/ entnommen. Die angewandten Exponenten der Abnahmebedingung sind in Anhang 3.1 tabellarisch und grafisch dargestellt. Hierbei sind die Exponenten für jede Terzmittenfrequenz im maßgebenden Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz angegeben. Die Exponenten werden hierbei für jede Ortslage gemittelt. Die Berechnung der T_1 -Funktion erfolgt dann spektral nach der folgenden Gleichung:

$$T_1(f) = 20 \cdot \text{LOG}(R_0/R) \cdot -n(f) \quad [\text{dB}]$$

mit:

R_0 Bezugsabstand [m]

- R Abstand Gebäude zur Gleisachse [m]
n(f) Exponent der Abnahmebeziehung als Funktion der Frequenz [-]

6.3.2 Transferfunktion T_2

Die Transferfunktion T_2 beschreibt das Übertragungsverhalten vom Boden auf das Gebäudefundament. 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. In der derzeitigen Planungsphase ist eine messtechnische Erhebung der T_2 -Funktion nicht möglich. Daher wurde die Transferfunktion aus vergleichbaren Gebäuden /10/ übernommen. Eine grafische und tabellarische Darstellung findet sich in Anhang 3.2 und Anhang 3.3.

6.3.3 Transferfunktion T_3

Die Transferfunktion T_3 beschreibt das Übertragungsverhalten innerhalb des Gebäudes vom Fundament auf die Geschossdecken schutzbedürftiger Räume. 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.

Da die Transferfunktion T_3 maßgebend Einfluss auf das Prognoseergebnis nimmt, werden diese Übertragungsfunktionen an den exemplarischen Gebäuden aus den Ergebnissen der Beweissicherungsmessungen ermittelt. Hierzu wurden an bis zu 3 Geschossdecken der untersuchten Gebäude die Biegeeigenfrequenzen der Geschossdecken messtechnisch bestimmt. Es wurde in 3 Räumen das Übertragungsverhalten der Gebäude vom Fundament auf die Geschossdecken der Gebäude bei Zugvorbeifahrten auf der bestehenden Strecke bestimmt. Die Erschütterungsmessungen zur Erhebung der bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäude wurden im Zeitraum vom 09.09.2008 bis 25.09.2008 durchgeführt.

6.4 Immissionen

6.4.1 Erschütterungen

Als Erschütterungsimmissionen werden die bauwerksbezogenen, gemäß DIN 4150-2 /8/ 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 /8/ zu beachten.

6.4.2 Sekundärer Luftschall

Im vorliegenden Fall wurde zur Bestimmung des Beurteilungspegels für den sekundären Luftschall die Richtlinie 820.2050 der DB AG /9/ 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 Einzahlmethode 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

$$T_e = 1,5 \cdot \text{Zuglänge} \cdot 3,6 / v_{\text{max}}$$

mit

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

6.5 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 zugspezifische Emission sowie die gelände- und gebäudespezifische Übertragung geprägt.

Die vorliegende Untersuchung wurde auf der Grundlage eines für den Ausbau prognostizierten Betriebskonzeptes für das Jahr 2030 erstellt /16/. Eine Zusammenfassung der relevanten Verkehrsdaten für den Null- und Planfall findet sich differenziert nach Strecken in Anhang 2.11 und Anhang 2.12.

7 Untersuchungsergebnisse

Maßgeblich für die Beurteilung der Frage, ob schienenverkehrsinduzierte Erschütterungsimmissionen bzw. sekundäre Luftschallimmissionen im Bereich der vorhandenen bzw. geplanten Bahnanlage geeignet sind, erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden hervorzurufen, werden die zu den Gleisachsen nächstgelegenen Gebäude.

Die im Abschnitt Frankfurt untersuchten Gebäude weisen im Nullfall einen Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse von

$$d = 19 \dots 69 \text{ m}$$

auf. Zukünftig werden durch den Neubau der S-Bahn-Strecke bzw. durch die in Teilbereichen erforderliche Eingriffe in die bestehende Trasse diese Abstände auf zwischen

$$d = 14 \dots 58 \text{ m}$$

im Planfall verringert.

Die der Prognose zu Grunde gelegten Emissionen sind in Anhang 2 und die Übertragungsfunktionen 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 Immissionsorte 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. Sind Felder gelb hinterlegt, so wird ein zusätzlicher Prüfschritt erforderlich.

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

7.1 Prognose-Nullfall

7.1.1 Erschütterungen

Die Immissionen aus Erschütterungen und aus sekundärem Luftschall für den Prognose-Nullfall sind in Anhang 4.1 zusammengefasst. Es ergeben sich die maximalen bewerteten Schwingstärken für die untersuchten Gebäude von

$$KB_{Fmax} \leq 0,392$$

im Tag- bzw. im Nachtzeitraum. Die Schwingstärken liegen in einem Bereich des menschlichen Empfindens, der als „spürbar“ einzustufen ist.

Der für Mischgebiete (MI) zulässige untere Anhaltswert wird in DIN 4150-2, Tabelle 1 /8/ für den Tag- bzw. Nachtzeitraum mit

$$A_u = 0,200 / 0,150$$

angegeben. Somit wird bei 5 der 7 messtechnisch untersuchten Gebäuden (IP3 bis IP7) der untere Anhaltswert der DIN 4150-2 für den Tag bzw. für die Nacht überschritten. Zur Beurteilung, ob diese Erschütterungsmissionen im Sinne der DIN 4150-2 als „erheblich belästigend“ einzustufen sind, wird ein weiterer Beurteilungsschritt, die Bildung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} erforderlich. Für die Immissionsorte IP1 bis IP2 wird der untere Anhaltswert unterschritten. Somit werden die Anforderungen der Norm im 1. Beurteilungsschritt eingehalten. Die Beurteilungsschwingstärken für diese Immissionsorte werden daher rein informativ dargestellt.

Es ergeben sich Beurteilungsschwingstärken für den Tag bzw. die Nacht im Prognose-Nullfall von maximal

$$KB_{FTr} \leq 0,108 / 0,078.$$

Der zulässige Beurteilungsanhaltswert wird in DIN 4150-2, Tabelle 1 für den Tag- bzw. Nachtzeitraum mit

$$A_r = 0,100 / 0,070$$

angegeben. Dies bedeutet, dass an 2 messtechnisch untersuchten Immissionsorten für je einen Raum der oben genannte Anhaltswert für den Tag bzw. für die Nacht überschritten wird. Die prognostizierten Beurteilungsschwingstärken KB_{FTr} schöpfen die Beurteilungsanhaltswerte für Mischgebiete im Tag- bzw. Nachtzeitraum maximal zu

$$p = 108 \% / 111 \%$$

aus.

Dies bedeutet, dass in 2 der 7 messtechnisch untersuchten Gebäude bereits im Prognose-Nullfall erhebliche Belästigungen infolge der schienenverkehrsinduzierten Immissionen aus Erschütterungen nicht auszuschließen sind.

7.1.2 Sekundärer Luftschall

In Anhang 4.1 sind die prognostizierten Immissionen aus sekundärem Luftschall ausgewiesen. Für die messtechnisch untersuchten Bebauungen wird für den Tagzeitraum der Immissionsrichtwert für eine Wohnnutzung und im Nachtzeitraum für eine Nutzung als Schlafraum der Beurteilung zu Grunde gelegt. Somit gilt im Tag- bzw. im Nachtzeitraum ein Immissionsrichtwert von

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

Es ergeben sich Beurteilungspegel tags bzw. nachts von bis zu

$$L_{r,\text{Tag/Nacht}} = 17,4 / 16,1 \text{ dB(A)}.$$

Die prognostizierten Pegel unterschreiten die Immissionsrichtwerte sowohl im Tag- als auch im Nachtzeitraum für alle messtechnisch untersuchten Immissionsorte deutlich. Erhebliche Belästigungen infolge der zukünftigen sekundären Luftschallimmissionen sind somit nicht zu erwarten. Hinsichtlich sekundärer Luftschallimmissionen besteht somit kein Erfordernis für erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen.

7.2 Prognose-Planfall

7.2.1 Erschütterungen

Die Immissionen aus Erschütterungen und aus sekundärem Luftschall für den Prognose-Nullfall sind in Anhang 4.2 zusammengefasst. Es ergeben sich die maximalen bewerteten Schwingstärken für die untersuchten Gebäude von

$$KB_{\text{Fmax}} \leq 0,451$$

im Tag- bzw. im Nachtzeitraum. Die Schwingstärken liegen in einem Bereich des menschlichen Empfindens, der als „gut spürbar“ einzustufen ist.

Der für Mischgebiete (MI) zulässige untere Anhaltswert wird in DIN 4150-2, Tabelle 1 /8/ für den Tag- bzw. Nachtzeitraum mit

$$A_u = 0,200 / 0,150$$

angegeben. Somit wird bei 5 der 7 messtechnisch untersuchten Gebäuden (IP3 bis IP7) der untere Anhaltswert der DIN 4150-2 für den Tag bzw. für die Nacht 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_{FTTr} erforderlich. Für die Immissionsorte IP1 bis IP2 wird der untere Anhaltswert unterschritten. Somit werden die Anforderungen der Norm im 1. Beurteilungsschritt eingehalten. Die Beurteilungsschwingstärken für diese Immissionsorte werden daher rein informativ dargestellt.

Es ergeben sich Beurteilungsschwingstärken für den Tag bzw. die Nacht im Prognose-Planfall von maximal

$$KB_{FTTr} \leq 0,125 / 0,090.$$

Der zulässige Beurteilungsanhaltswert wird in DIN 4150-2, Tabelle 1 für den Tag- bzw. Nachtzeitraum mit

$$A_r = 0,100 / 0,070$$

angegeben. Dies bedeutet, dass an 2 messtechnisch untersuchten Immissionsorten für je einen Raum der oben genannte Anhaltswert für den Tag bzw. für die Nacht überschritten wird. Die prognostizierten Beurteilungsschwingstärken KB_{FTTr} schöpfen die Beurteilungsanhaltswerte für Mischgebiete im Tag- bzw. Nachtzeitraum maximal zu

$$p = 125 \% / 129 \%$$

aus.

Dies bedeutet, dass in 2 der 7 messtechnisch untersuchten Gebäude bereits im Prognose-Planfall erhebliche Belästigungen infolge der schienenverkehrsinduzierten Immissionen aus Erschütterungen nicht auszuschließen sind.

7.2.2 Sekundärer Luftschall

In Anhang 4.2 sind die prognostizierten Immissionen aus sekundärem Luftschall ausgewiesen. Es ergeben sich Beurteilungspegel tags bzw. nachts von bis zu

$$L_{r,Tag/Nacht} = 19,8 / 18,4 \text{ dB(A)}.$$

Die prognostizierten Pegel unterschreiten die Immissionsrichtwerte sowohl im Tag- als auch im Nachtzeitraum für alle messtechnisch untersuchten Immissionsorte deutlich. Erhebliche Belästigungen infolge der zukünftigen sekundären Luftschallimmissionen sind somit nicht zu

erwarten. Hinsichtlich sekundärer Luftschallimmissionen besteht somit kein Erfordernis für erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen.

7.3 Prüfung auf wesentliche Änderung

Der Sachverhalt der wesentlichen Änderung ist in Anhang 4.3 dargestellt. Für das Gebäude Cassellastraße 34 (IP3) wurde eine Erhöhung der Immissionen aus Erschütterungen bzw. sekundärem Luftschall festgestellt, die über 25 % bzw. über 3 dB(A) liegt. Die ermittelten Immissionen unterschreiten jedoch die heranzuziehenden Anhaltswerte der DIN 4150-2 bzw. Immissionsrichtwerte der 24. BImSchV, sodass für diesen Immissionsort der Sachverhalt der wesentlichen Änderung gegeben ist.

Somit ist für keines der messtechnisch untersuchten Gebäude der Sachverhalt der „wesentlichen Änderung“ infolge Erschütterungen bzw. sekundärem Luftschall gegeben. Dementsprechend besteht für keines der Gebäude ein Anspruch auf erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen.

7.4 Prüfung auf mögliche Grundrechtsverletzungen

Die Ergebnisse der erschütterungstechnischen Untersuchung zeigen, dass an keinem der 7 messtechnisch untersuchten Immissionsorte Beurteilungsschwingstärken ermittelt wurden, die über der Zumutbarkeitsschwelle liegen.

7.5 Extrapolation der Untersuchungsergebnisse

Da sich die dargestellten Prognosen zunächst nur auf exemplarische Gebäude beziehen, sind die Ergebnisse auf die Gesamtheit aller im Einwirkungsbereich des Vorhabens vorhandenen Gebäude zu extrapolieren.

Im vorliegenden oberirdischen Bereich des Planfeststellungsabschnittes Frankfurt besteht im bahnnahen Bereich eine geringe Bebauungsdichte. In einer Korridorbreite von bis zu 25 m befinden sich insgesamt lediglich 7 schutzbedürftige Gebäude. Von den insgesamt 7 messtechnisch untersuchten Objekten liegen bereits 3 Gebäude innerhalb dieses Korridors. Dies bedeutet eine Quote von ca. 43 %. 4 ausgewählte Gebäude haben einem Abstand im Bereich von 33 m bis 58 m. Es wurden für 2 Gebäude aufgrund der vorliegenden Abstände und der baulastischen Eigenschaften Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 4150-2 sowohl im Nullfall als auch im Planfall festgestellt. Für diese Immissionsorte wurde eine Erhöhung der Erschütterungsimmersionen ermittelt, die jedoch nicht als wesentliche Änderung einzustufen ist. Die Immissionsrichtwerte in Anlehnung an die 24 BImSchV wurden für alle Immissionsorte eingehalten. Eine „wesentliche Änderung“, die einen Anspruch auf Vorsorgemaßnahmen auslösen würde, ist daher

nicht zu erwarten. Aufgrund der relativ hohen Quote untersuchter Gebäude im Nahbereich der Bahntrasse können die Ergebnisse der exemplarischen, messtechnisch untersuchten Objekte auf die Gesamtheit aller im Einwirkungsbereich der Baumaßnahme gelegenen Gebäude extrapoliert werden. Ein Anspruch auf erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen besteht somit für den gesamten PFA 1 nicht.

8 Abschließende Bemerkungen

Die durchgeführten erschütterungstechnischen Untersuchungen belegen, dass es auch nach Ausbau der vorhandenen Bahnanlage zu keiner Erhöhung der Immissionen im Prognose-Planfall kommen wird, die das Kriterium einer "wesentlichen Änderung" erfüllt. Somit wurde nachgewiesen, dass für den oberirdischen Bereich des Planfeststellungsabschnitt 1 der Nordmainischen S-Bahn keine erschütterungstechnischen Vorsorgemaßnahmen am Oberbau erforderlich sind.

AUFGESTELLT:



Dipl.-Phys. Andreas Malizki

GEPRÜFT:



Dipl.-Ing. Mario Graefen

ANHANG

Immissionsorte

Angaben zu den messtechnisch untersuchten Gebäuden

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VWS-NMS-PFA1-Frankfurt\IC-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\WE\B-Oberirdisch\IP.xlsx\ANHANG 1

IP Nr.	Gebäude	Gebiets-nutzung	Raum 1			Raum 2			Raum 3		
			Lage	Nutzung	Decke	Lage	Nutzung	Decke	Lage	Nutzung	Decke
O-1	Riederspießstraße 7	GE	1. OG	Wohnen	Beton	3. OG	Wohnen	Beton	3. OG	Kinder	Beton
O-2	Orber Straße 45	GI	EG	Schlafen	Beton	1. OG	Kinder	Holz	1. OG	Kinder	Holz
O-3	Cassellastraße 34	MI	EG	Schlafen	Beton	1. OG	Wohnen	Beton	3. OG	Wohnen	Beton
O-4	Wächtersbacher Straße 5	MI	EG	Schlafen	Beton	1. OG	Kinder	Holz	1. OG	Schlafen	Holz
O-5	Vilbeler Landstraße 14	MI	EG	Arbeiten	Holz	1. OG	Schlafen	Holz	2. OG	Schlafen	Holz
O-6	Am Roten Graben 1	MI	EG	Wohnen	Beton	EG	Schlafen	Beton	1. OG	Kinder	Beton
O-7	Am Roten Graben 4	MI	EG	Essen	Beton	1. OG	Arbeiten	Holz	2. OG	Wohnen	Holz

IP Nr.	Gebäude	Geschosszahl	Nullfall		Planfall		Lage	nächstes Gleis	
			3660	3685	3660	3685		Nullfall	Planfall
O-1	Riederspießstraße 7	mehrgeschossig	62	-	62	52	Nord	62	52
O-2	Orber Straße 45	bis 2 Geschosse	69	-	72	58	Nord	69	58
O-3	Cassellastraße 34	mehrgeschossig	55	-	40	51	Süd	55	40
O-4	Wächtersbacher Straße 5	bis 2 Geschosse	36	-	42	24	Nord	36	24
O-5	Vilbeler Landstraße 14	mehrgeschossig	19	-	14	25	Süd	19	14
O-6	Am Roten Graben 1	bis 2 Geschosse	27	-	32	21	Nord	27	21
O-7	Am Roten Graben 4	bis 2 Geschosse	41	-	44	33	Nord	41	33

19.08.2019

Emissionsspektrum unkorrigiert

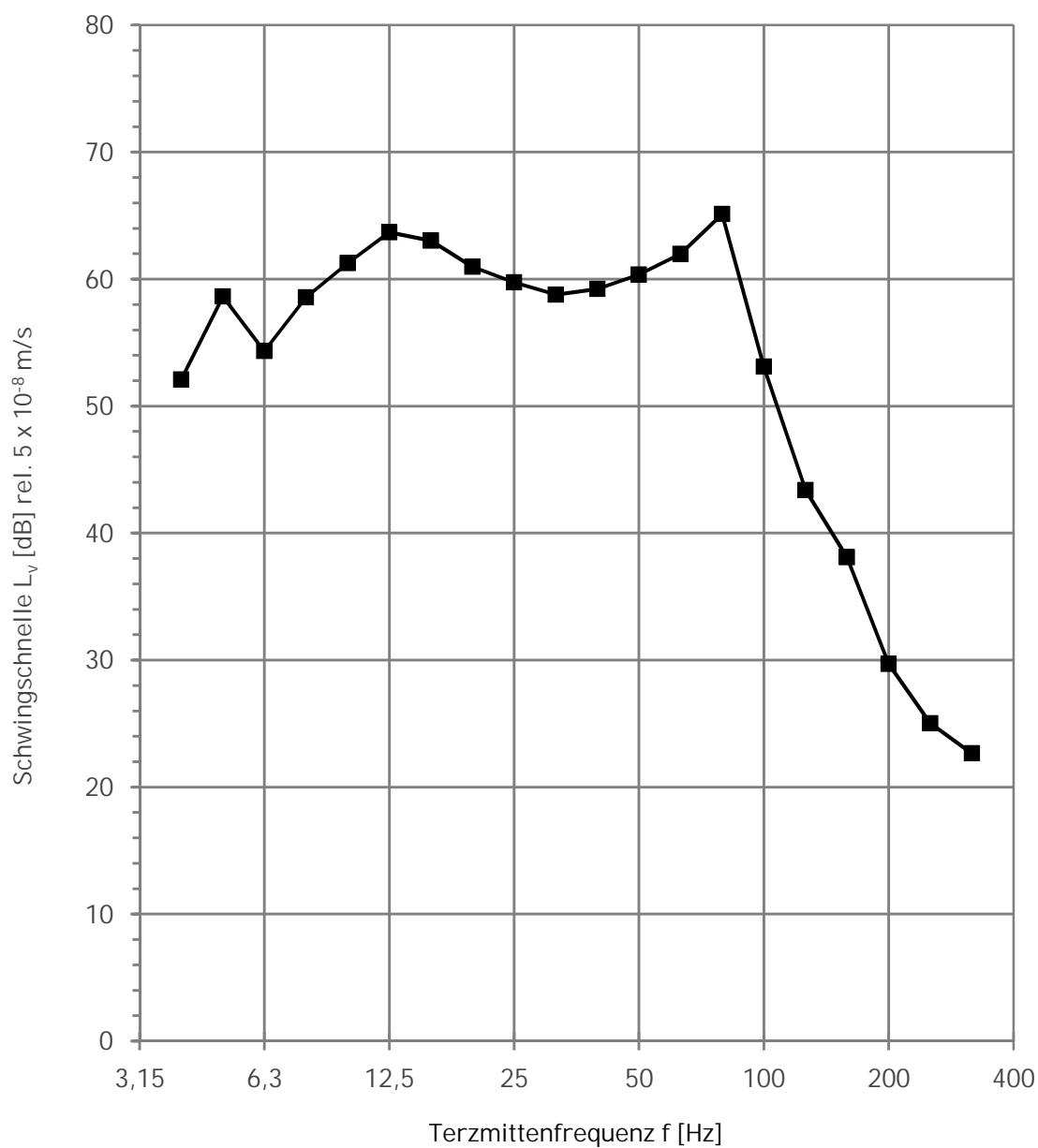
Fernverkehr (ICE)

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\B-Oberirdisch\Emissionen_Zuggattungen.xlsx\FV

Quelle: Ausbreitungsmessungen FRITZ GmbH - 08500-VME-2 - 2012
Bereich Hanauer Landstraße, 60386 Fechenheim

Geschwindigkeit: 145 [km/h]
Abstand 1. Gleisachse: 8,0 [m]
Schwingrichtung: z

Mittelwert



L_v [dB]	f [Hz]
52,1	4
58,6	5
54,3	6,3
58,6	8
61,2	10
63,7	12,5
63,0	16
61,0	20
59,7	25
58,8	31,5
59,2	40
60,3	50
62,0	63
65,1	80
53,1	100
43,4	125
38,1	160
29,7	200
25,0	250
22,6	315
72,4	Σ

Emissionsspektrum unkorrigiert

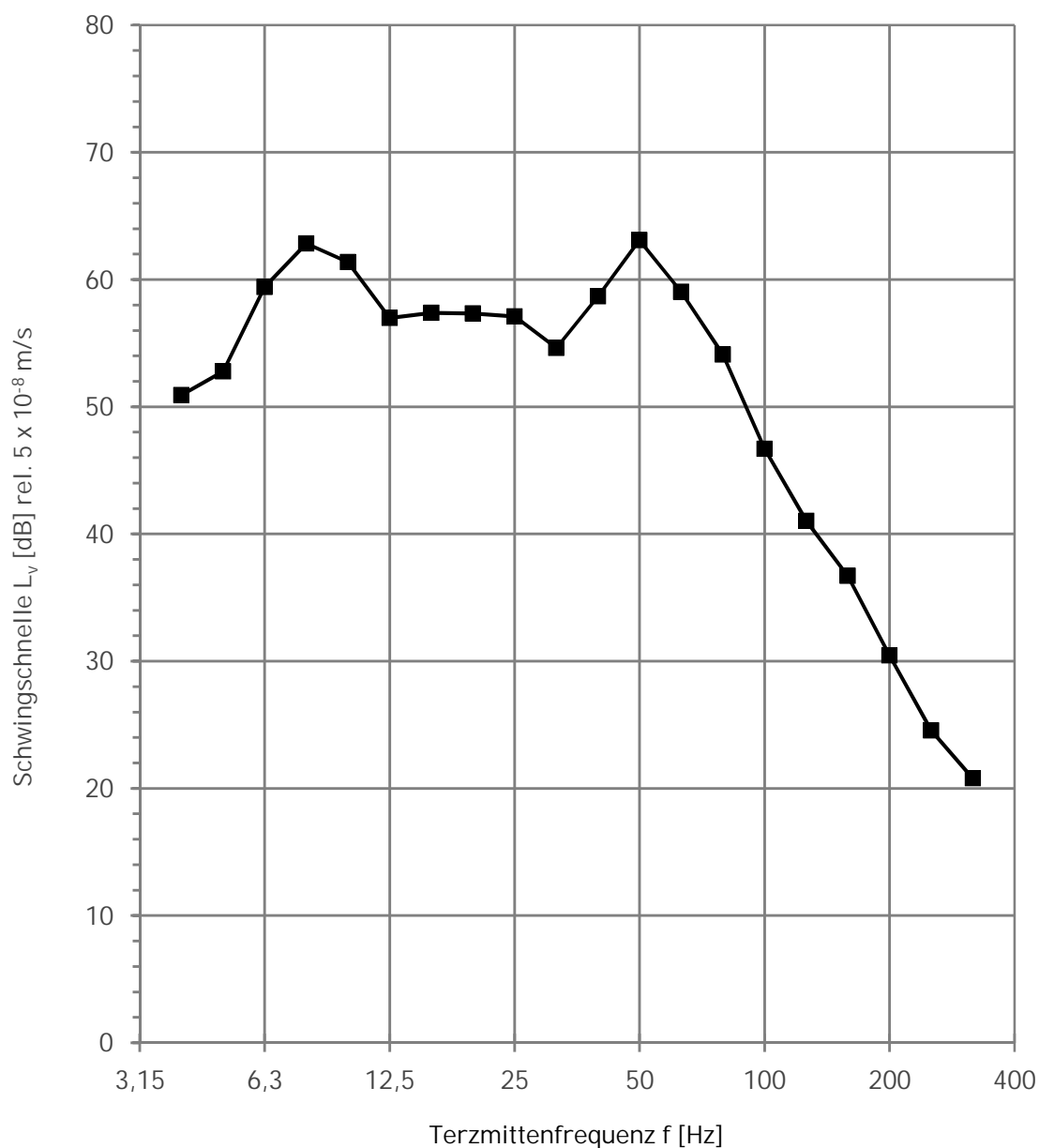
Nahverkehr (RE)

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\B-Oberirdisch\Emissionen_Zuggattungen.xlsx\NV

Quelle: Ausbreitungsmessungen FRITZ GmbH - 08500-VME-2 - 2012
Bereich Hanauer Landstraße, 60386 Fechenheim

Geschwindigkeit: 102 [km/h]
Abstand 1. Gleisachse: 8,0 [m]
Schwingrichtung: z

Mittelwert



L_v [dB]	f [Hz]
50,9	4
52,8	5
59,4	6,3
62,8	8
61,4	10
57,0	12,5
57,4	16
57,3	20
57,1	25
54,6	31,5
58,7	40
63,1	50
59,0	63
54,1	80
46,7	100
41,0	125
36,7	160
30,4	200
24,5	250
20,8	315
70,3	Σ

Emissionsspektrum unkorrigiert

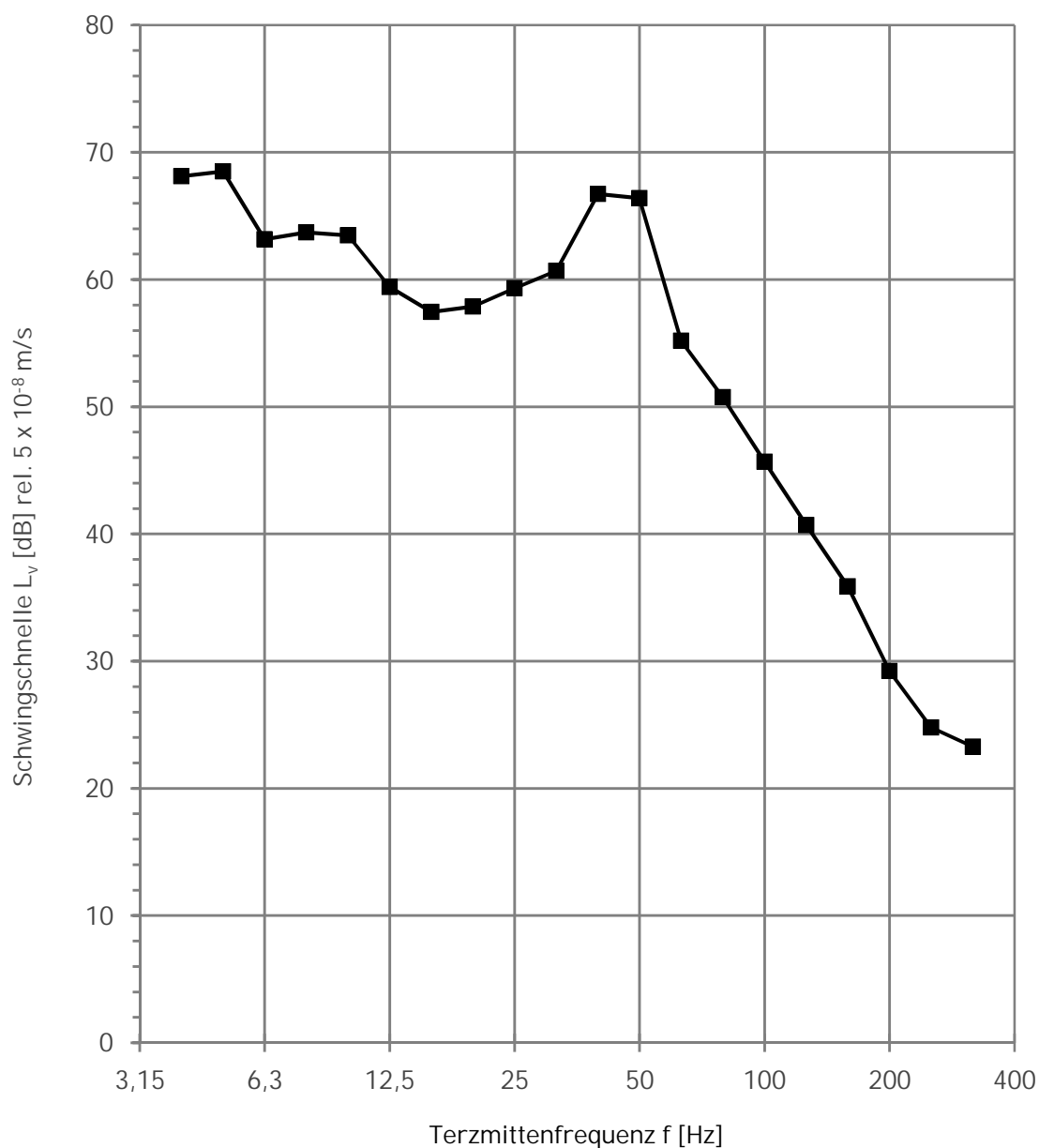
Güterverkehr (SGV)

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\B-Oberirdisch\Emissionen_Zuggattungen.xlsx\GV

Quelle: Ausbreitungsmessungen FRITZ GmbH - 08500-VME-2 - 2012
Bereich Hanauer Landstraße, 60386 Fechenheim

Geschwindigkeit: 82 [km/h]
Abstand 1. Gleisachse: 8,0 [m]
Schwingrichtung: z

Mittelwert



19.08.2019

Emissionsspektrum unkorrigiert

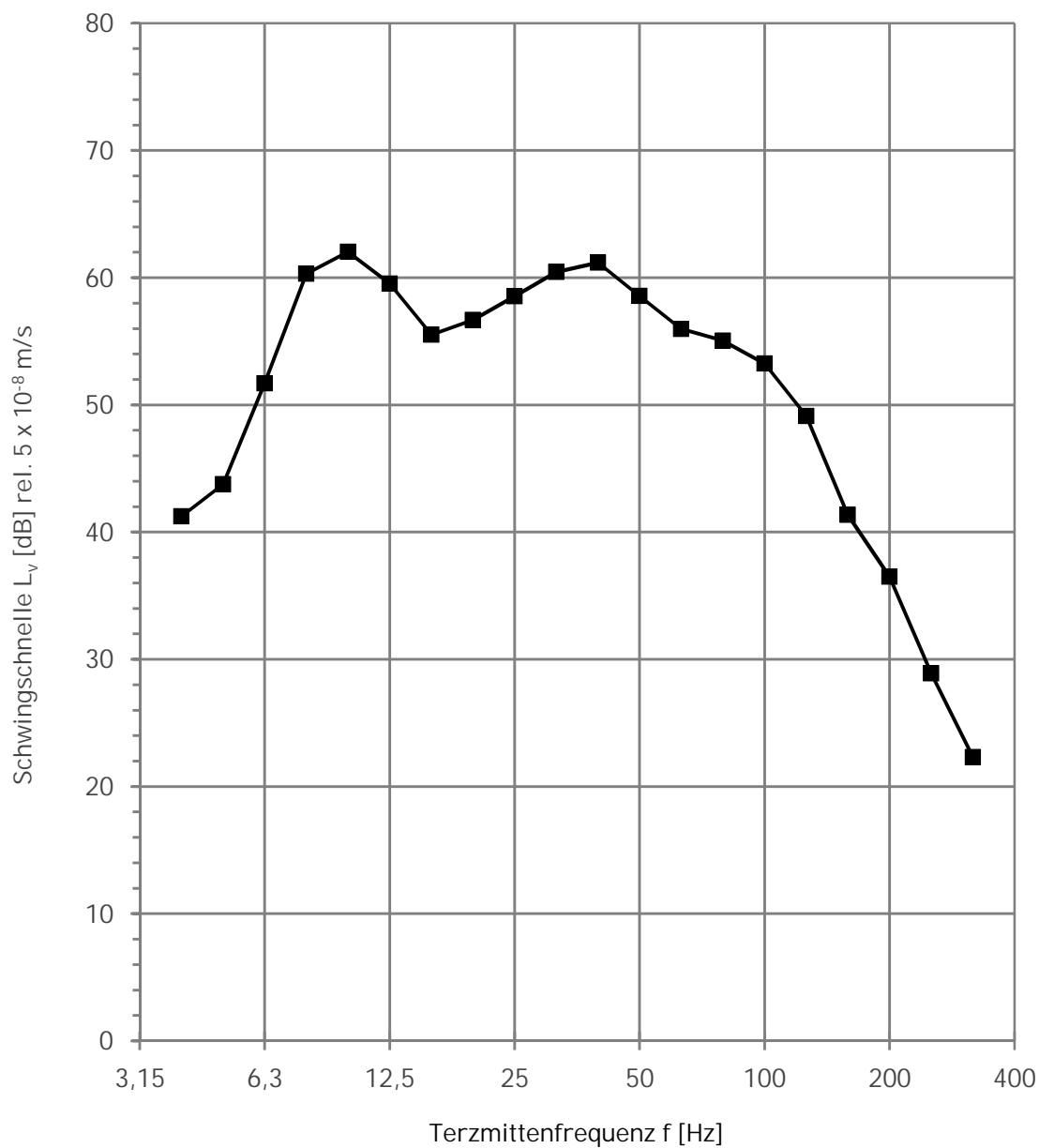
S-Bahn (S)

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\B-Oberirdisch\Emissionen_Zuggattungen.xlsx\J

Quelle: Ausbreitungsmessungen FRITZ GmbH - 2014
Bereich Frankfurt am Main

Geschwindigkeit: 117 [km/h]
Abstand 1. Gleisachse: 8,0 [m]
Schwingrichtung: z

Mittelwert



L_v [dB]	f [Hz]
41,2	4
43,8	5
51,7	6,3
60,3	8
62,0	10
59,5	12,5
55,5	16
56,7	20
58,5	25
60,4	31,5
61,2	40
58,6	50
56,0	63
55,0	80
53,2	100
49,1	125
41,3	160
36,5	200
28,9	250
22,3	315
69,8	Σ

19.08.2019

Korrekturfunktion

Geschwindigkeit

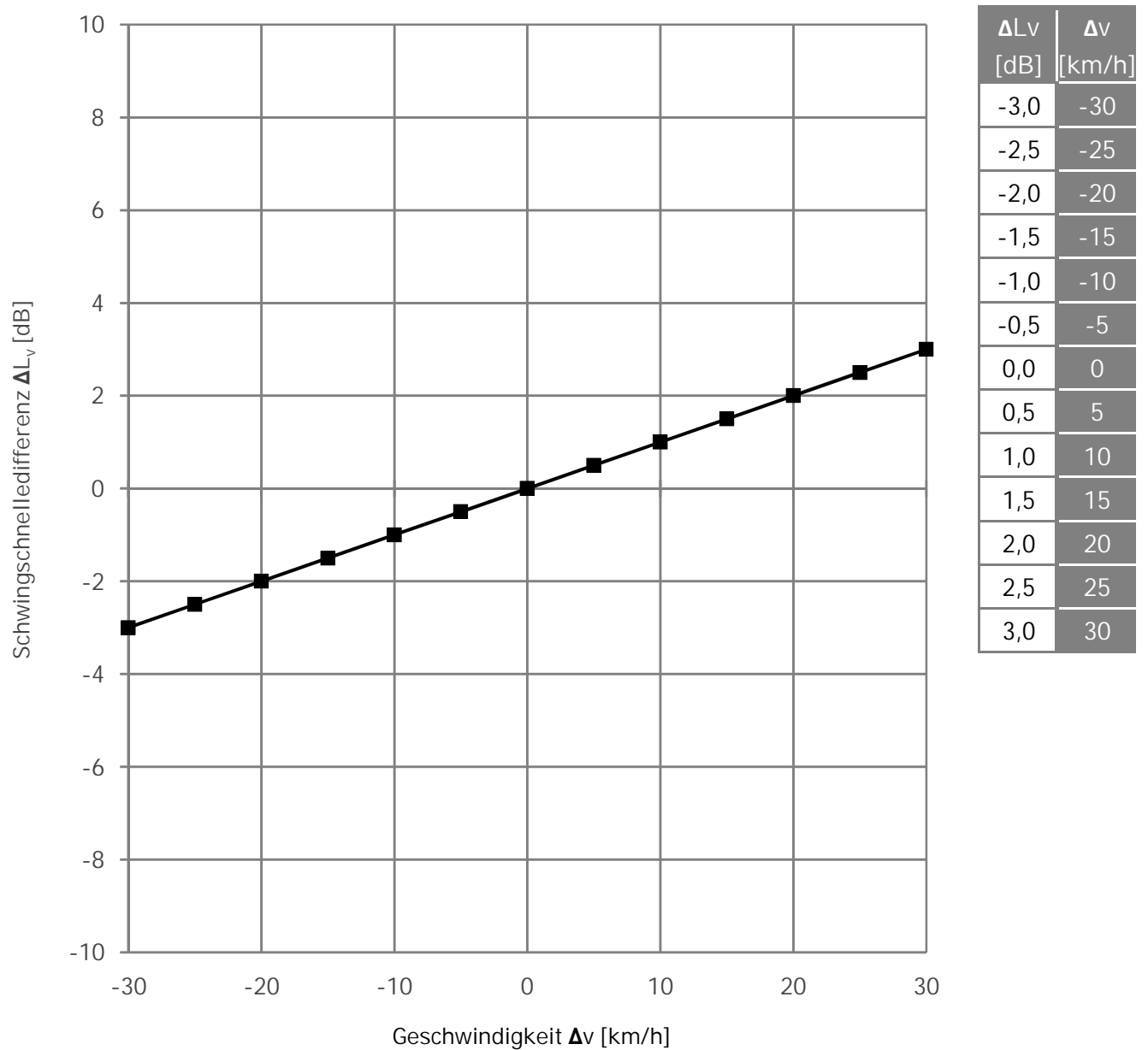
\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\B-Oberirdisch\[Emissionen_Zuggattungen.xlsx]Kv

Quelle: empirisch

Bezugsspektrum A:

Bezugsspektrum B:

Schwingrichtung: vertikal (z)



19.08.2019

Prognosespektrum

Fernverkehr (ICE) - $v_{\max} = 160 \text{ km/h}$

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\B-Oberirdisch\Emissionen_Zuggattungen.xlsx\Kv

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	FV	FV
K2		Geschwindigkeit	145 km/h	160 km/h
K3	Fahrweg	Kurvenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	nein
K5		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

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

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	52,1	58,6	54,3	58,6	61,2	63,7	63,0	61,0	59,7	58,8	59,2	60,3	62,0	65,1	53,1	43,4	38,1	29,7	25,0	22,6	72,4

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}	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
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	53,6	60,1	55,8	60,1	62,7	65,2	64,5	62,5	61,2	60,3	60,7	61,8	63,5	66,6	54,6	44,9	39,6	31,2	26,5	24,1	73,9

19.08.2019

Prognosespektrum

Nahverkehr (RE) - $v_{\max} = 160 \text{ km/h}$

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\B-Oberirdisch\Emissionen_Zuggattungen.xlsx|Kv

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	NV	NV
K2		Geschwindigkeit	102 km/h	160 km/h
K3	Fahrweg	Kurvenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	nein
K5		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

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

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	50,9	52,8	59,4	62,8	61,4	57,0	57,4	57,3	57,1	54,6	58,7	63,1	59,0	54,1	46,7	41,0	36,7	30,4	24,5	20,8	70,3

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}	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
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	56,7	58,6	65,2	68,6	67,2	62,8	63,2	63,1	62,9	60,4	64,5	68,9	64,8	59,9	52,5	46,8	42,5	36,2	30,3	26,6	76,1

19.08.2019

Prognosespektrum

Güterverkehr (SGV) - $v_{\max} = 100 \text{ km/h}$

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\B-Oberirdisch\Emissionen_Zuggattungen.xlsx\Kv

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	SGV	SGV
K2		Geschwindigkeit	82 km/h	100 km/h
K3	Fahrweg	Kurvenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	nein
K5		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

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

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	68,1	68,5	63,2	63,7	63,5	59,4	57,4	57,9	59,3	60,7	66,7	66,4	55,2	50,8	45,7	40,7	35,9	29,2	24,8	23,3	74,4

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}	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
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	69,4	69,8	64,4	65,0	64,7	60,7	58,7	59,1	60,6	61,9	68,0	67,6	56,5	52,0	46,9	42,0	37,1	30,5	26,0	24,5	75,6

19.08.2019

Prognosespektrum

Güterverkehr (SGV) - $v_{\max} = 120 \text{ km/h}$

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\B-Oberirdisch\Emissionen_Zuggattungen.xlsx\Kv

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	SGV	SGV
K2		Geschwindigkeit	82 km/h	120 km/h
K3	Fahrweg	Kurvenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	nein
K5		Oberbau	Sch0 mit Betonschwellen	Sch0 mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

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

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	68,1	68,5	63,2	63,7	63,5	59,4	57,4	57,9	59,3	60,7	66,7	66,4	55,2	50,8	45,7	40,7	35,9	29,2	24,8	23,3	74,4

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}	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
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	71,9	72,3	67,0	67,5	67,3	63,2	61,2	61,7	63,1	64,5	70,5	70,2	59,0	54,6	49,5	44,5	39,7	33,0	28,6	27,1	78,2

19.08.2019

Prognosespektrum

S-Bahn-Verkehr (S) - $v_{\max} = 140 \text{ km/h}$

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\B-Oberirdisch\Emissionen_Zuggattungen.xlsx|Kv

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	S	S
K2		Geschwindigkeit	117 km/h	140 km/h
K3	Fahrweg	Kurvenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	nein
K5		Oberbau	Sch0 mit Betonschwellen	Sch0 mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

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

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	41,2	43,8	51,7	60,3	62,0	59,5	55,5	56,7	58,5	60,4	61,2	58,6	56,0	55,0	53,2	49,1	41,3	36,5	28,9	22,3	69,7

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}	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
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	43,5	46,1	54,0	62,6	64,3	61,8	57,8	59,0	60,8	62,7	63,5	60,9	58,3	57,3	55,5	51,4	43,6	38,8	31,2	24,6	72,0

19.08.2019

Betriebsprogramm

Prognose-Nullfall 2030

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\B-Oberirdisch\[Betriebsprogramm.xlsx]2.11

Strecke: 3660 Frankfurt am Main-Süd - Hanau Hbf
Richtung: beide Richtungen

Zugart	Anzahl		Zuglänge [m]	vmax [km/h]	Vorbeifahrtzeit [s]
	Tag	Nacht			
FV (ICE)	50	1	410	160	9,2
NV (RE)	68	10	212	160	7,2
SGV 120	19	11	740	120	33,3
SGV 100	55	32	740	100	40,0
Summe:	192	54			

Betriebsprogramm

Prognose-Planfall 2030

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\B-Oberirdisch\Betriebsprogramm.xlsx]2.12

Strecke: 3660 Frankfurt am Main-Süd - Hanau Hbf
Richtung: beide Richtungen

Zugart	Anzahl		Zuglänge [m]	vmax [km/h]	Vorbeifahrtzeit [s]
	Tag	Nacht			
FV (ICE)	50	1	410	160	9,2
NV (RE)	68	10	212	160	7,2
SGV 120	19	11	740	120	33,3
SGV 100	55	32	740	100	40,0
Summe:	192	54			

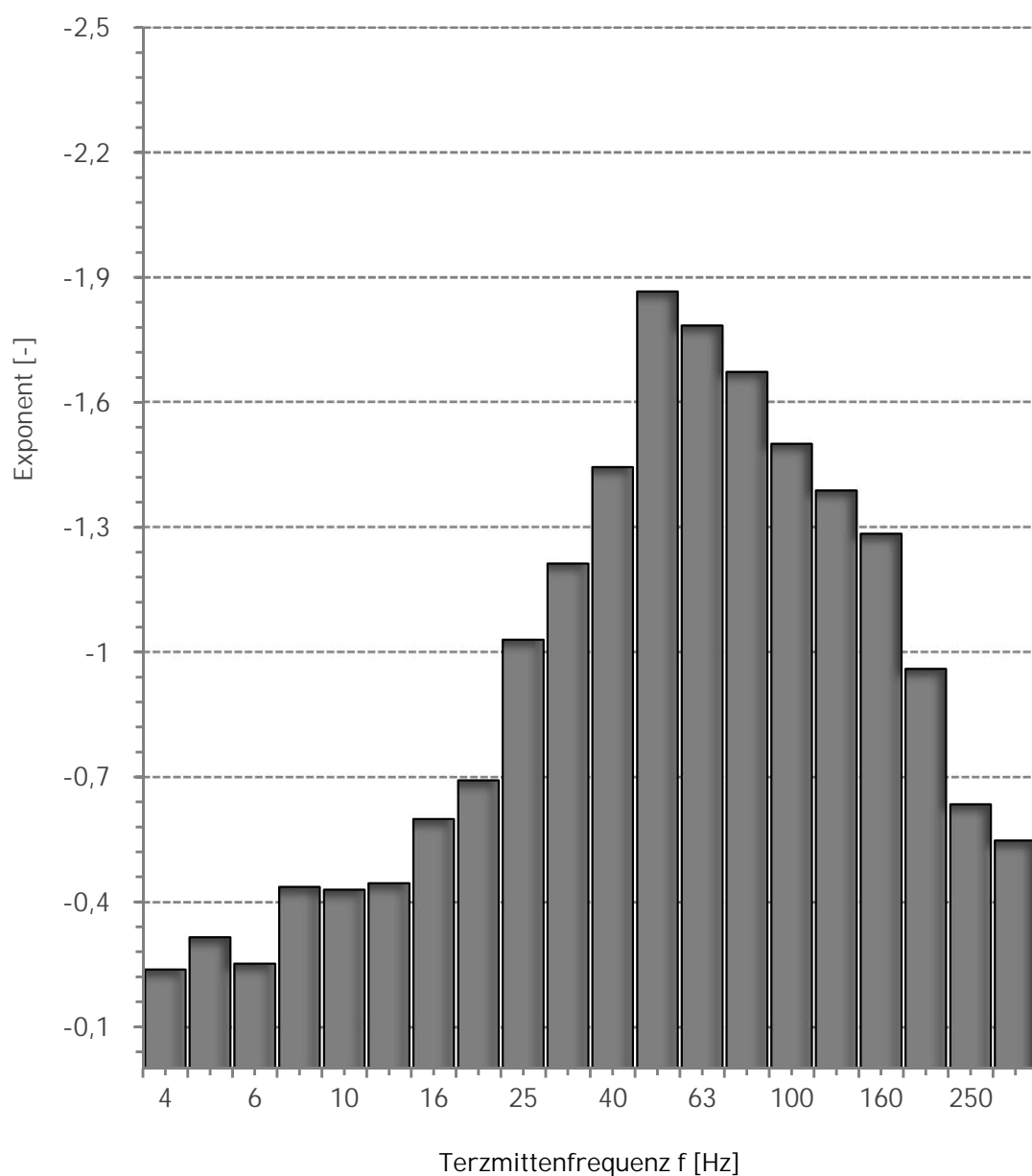
Strecke: 3685 Nordmainische S-Bahn
Richtung: beide Richtungen

Zugart	Anzahl		Zuglänge [m]	vmax [km/h]	Vorbeifahrtzeit [s]
	Tag	Nacht			
S-Bahn	117	25	70	140	1,8
Summe:	117	25			

Abnahme der Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit des Abstandes - Mittelwerte

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\B-Oberirdisch\Transferfunktion.xlsx\3.1

Quelle: Ausbreitungsmessungen an der Strecke 3660 bei ca. km 8,6
FRITZ GmbH, Dezember 2012



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

Übertragungsfunktion

Erdreich - Fundament (T2)

\\kuk\da\bauphysik\B-Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\IC-Bearbeitung\190801-Gutachten-Bearbeitung\WF\B-Oberirdisch\Transferfunktion.xlsx\T2-Funktion (2)

Quelle: Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen

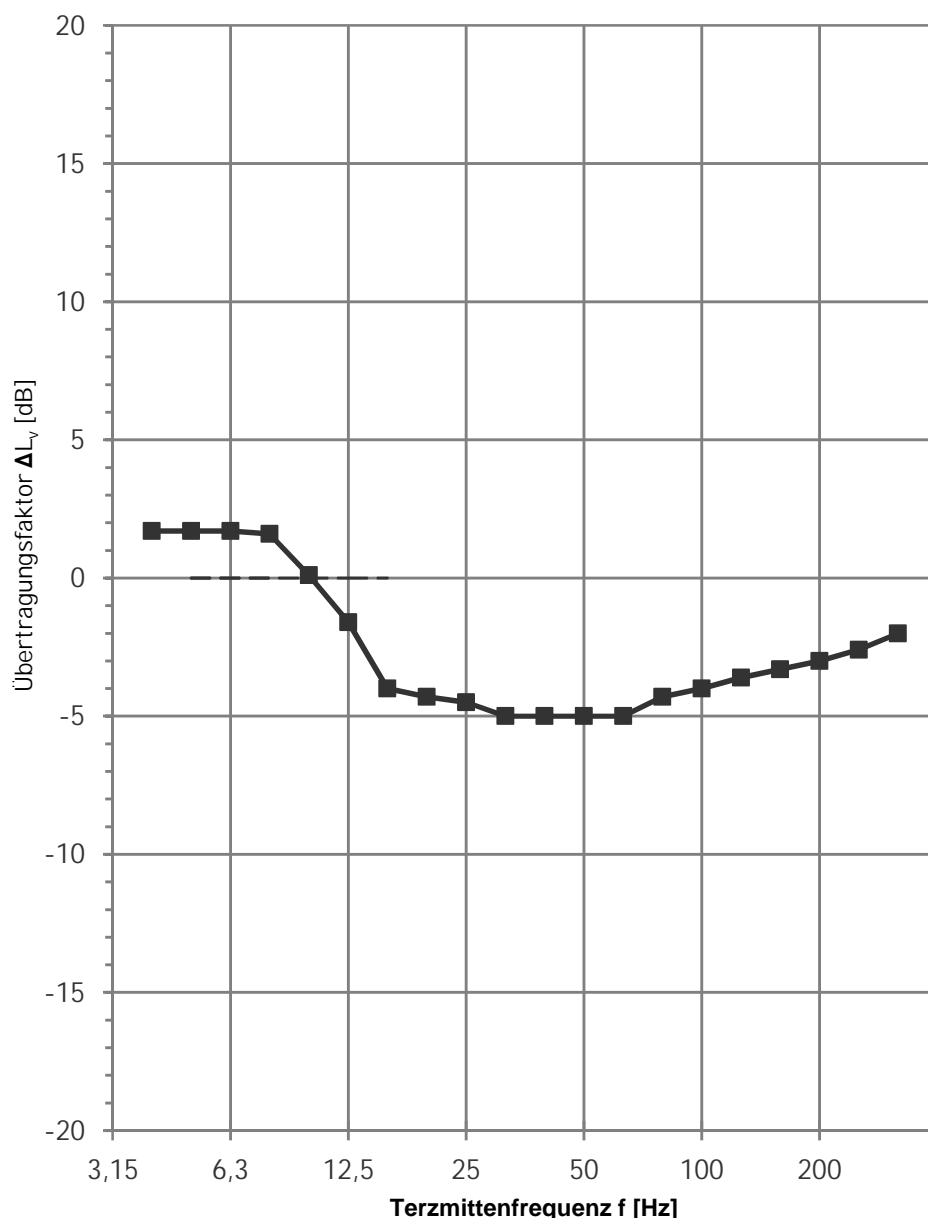
Landesamt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Nr. 107

J. Melke, 1992

Bild 7.8 a: Typische Minderung bei Übertragung von Erschütterungen vom Erdreich auf das Gebäudefundament

Gebäudetyp: ein- und zweigeschossige Gebäude in Massivbauweise

Schwingrichtung: vertikal (z)



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

Übertragungsfunktion

Erdreich - Fundament (T2)

\\kuk\da\bauphysik\B-Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\IC-Bearbeitung\190801-Gutachten-Bearbeitung\WF\B-Oberirdisch\Transferfunktion.xlsx\T2-Funktion (3)

Quelle: Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen

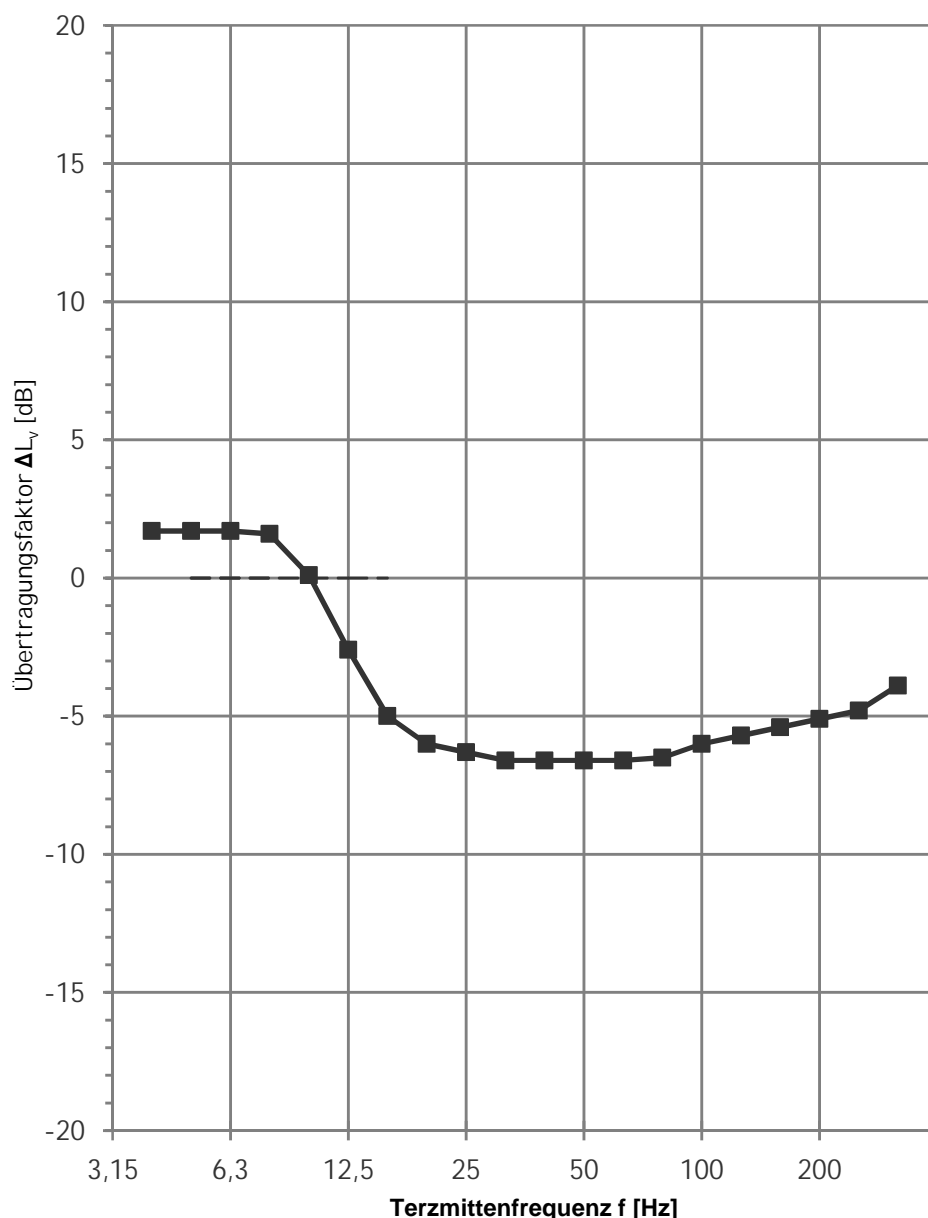
Landesamt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Nr. 107

J. Melke, 1992

Bild 7.8 a: Typische Minderung bei Übertragung von Erschütterungen vom Erdreich auf das Gebäudefundament

Gebäudetyp: mehrgeschossige Gebäude in Massivbauweise

Schwingrichtung: vertikal (z)



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

Erschütterungs-Prognose - Prognose-Nullfall 2030

Beurteilung der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\WE\B-Oberirdisch\WA-Oberirdisch.xls]B-I Nullfall

			eingehalten			Prüfung durch A _r				nicht eingehalten							
O	Straße	H.-Nr.	PLZ	Ort	Nutzung	GN	R _{min} [m]	Raum Nr.	KB _{Fmax}		KB _{FTR}		Auslastung		L _r		
									Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	
1	Riederspießstraße	7	60314	Frankfurt	Spielen	GE	62	1	0,161	0,161	0,032	0,030	22%	30%	6,8	6,1	
1	Riederspießstraße	7	60314	Frankfurt	Praxis	GE	62	2	0,167	0,167	0,034	0,031	23%	31%	8,4	7,8	
1	Riederspießstraße	7	60314	Frankfurt	Kinder	GE	62	3	0,158	0,158	0,025	0,027	17%	27%	9,4	9,1	
2	Orber Straße	45	60314	Frankfurt	Schlafen	GI	69	1	0,206	0,206	0,047	0,039	23%	26%	12,8	12,2	
2	Orber Straße	45	60314	Frankfurt	Kinder	GI	69	2	0,212	0,212	0,055	0,041	27%	27%	12,0	11,3	
2	Orber Straße	45	60314	Frankfurt	Kinder	GI	69	3	0,169	0,169	0,035	0,032	17%	21%	11,0	10,0	
3	Cassellastraße	34	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	55	1	0,140	0,140	0,023	0,024	23%	35%	5,1	4,1	
3	Cassellastraße	34	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	55	2	0,166	0,166	0,033	0,031	33%	44%	7,3	6,4	
3	Cassellastraße	34	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	55	3	0,184	0,184	0,037	0,034	37%	49%	8,9	8,0	
4	Wächtersbacher Straße	5	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	36	1	0,243	0,243	0,055	0,046	55%	66%	13,5	12,1	
4	Wächtersbacher Straße	5	60314	Frankfurt	Kinder	MI	36	2	0,284	0,284	0,074	0,055	74%	79%	15,2	14,3	
4	Wächtersbacher Straße	5	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	36	3	0,297	0,297	0,079	0,058	79%	83%	12,4	11,3	
5	Vilbeler Landstraße	14	60314	Frankfurt	Büro	MI	19	1	0,256	0,256	0,055	0,048	55%	68%	16,1	14,8	
5	Vilbeler Landstraße	14	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	19	2	0,343	0,343	0,092	0,068	92%	97%	17,4	16,1	
5	Vilbeler Landstraße	14	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	19	3	0,392	0,392	0,108	0,078	108%	111%	15,7	14,7	
6	Am Roten Graben	1	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	27	1	0,230	0,230	0,046	0,043	46%	61%	16,8	16,3	
6	Am Roten Graben	1	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	27	2	0,231	0,231	0,053	0,044	53%	63%	13,8	12,6	
6	Am Roten Graben	1	60314	Frankfurt	Kinder	MI	27	3	0,248	0,248	0,053	0,046	53%	66%	14,3	12,9	
7	Am Roten Graben	4	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	41	1	0,255	0,255	0,066	0,050	66%	71%	14,1	13,0	
7	Am Roten Graben	4	60314	Frankfurt	Büro	MI	41	2	0,219	0,219	0,052	0,042	52%	60%	13,8	12,8	
7	Am Roten Graben	4	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	41	3	0,383	0,383	0,100	0,075	100%	107%	10,8	9,6	

Erschütterungs-Prognose - Prognose-Planfall 2030

Beurteilung der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall


\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\WE\B-Oberirdisch\WA-Oberirdisch.xls\B-I Planfall


			eingehalten			Prüfung durch A _r				nicht eingehalten						
O	Straße	H.-Nr.	PLZ	Ort	Nutzung	GN	R _{min} [m]	Raum Nr.	KB _{Fmax}		KB _{FTR}		Auslastung		L _r	
									Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
1	Riederspießstraße	7	60314	Frankfurt	Spielen	GE	52	1	0,161	0,161	0,032	0,030	22%	30%	7,9	6,6
1	Riederspießstraße	7	60314	Frankfurt	Praxis	GE	52	2	0,167	0,167	0,034	0,031	23%	31%	9,1	8,2
1	Riederspießstraße	7	60314	Frankfurt	Kinder	GE	52	3	0,158	0,158	0,025	0,027	17%	27%	10,4	9,6
2	Orber Straße	45	60314	Frankfurt	Schlafen	GI	58	1	0,202	0,202	0,046	0,038	23%	25%	13,6	12,4
2	Orber Straße	45	60314	Frankfurt	Kinder	GI	58	2	0,208	0,208	0,054	0,040	27%	27%	12,5	11,5
2	Orber Straße	45	60314	Frankfurt	Kinder	GI	58	3	0,166	0,166	0,034	0,031	17%	21%	11,8	10,3
3	Cassellastraße	34	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	40	1	0,156	0,156	0,031	0,029	31%	41%	7,9	6,6
3	Cassellastraße	34	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	40	2	0,185	0,185	0,037	0,034	37%	49%	10,3	9,1
3	Cassellastraße	34	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	40	3	0,206	0,206	0,042	0,038	42%	55%	11,9	10,6
4	Wächtersbacher Straße	5	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	24	1	0,228	0,228	0,051	0,043	51%	62%	15,0	12,7
4	Wächtersbacher Straße	5	60314	Frankfurt	Kinder	MI	24	2	0,265	0,265	0,072	0,054	72%	77%	15,9	14,3
4	Wächtersbacher Straße	5	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	24	3	0,280	0,280	0,074	0,055	74%	78%	13,3	11,5
5	Vilbeler Landstraße	14	60314	Frankfurt	Büro	MI	14	1	0,289	0,289	0,063	0,054	63%	77%	18,6	17,1
5	Vilbeler Landstraße	14	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	14	2	0,398	0,398	0,108	0,079	108%	113%	19,8	18,4
5	Vilbeler Landstraße	14	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	14	3	0,451	0,451	0,125	0,090	125%	129%	18,0	16,8
6	Am Roten Graben	1	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	21	1	0,211	0,211	0,055	0,046	55%	65%	17,1	15,8
6	Am Roten Graben	1	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	21	2	0,216	0,216	0,049	0,041	49%	58%	14,6	12,7
6	Am Roten Graben	1	60314	Frankfurt	Kinder	MI	21	3	0,233	0,233	0,047	0,043	47%	62%	15,2	13,0
7	Am Roten Graben	4	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	33	1	0,246	0,246	0,063	0,048	63%	69%	15,8	13,8
7	Am Roten Graben	4	60314	Frankfurt	Büro	MI	33	2	0,213	0,213	0,050	0,041	50%	58%	14,6	13,1
7	Am Roten Graben	4	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	33	3	0,373	0,373	0,097	0,073	97%	104%	11,6	10,0

Änderung der Erschütterungen und des sekundären Luftschalls

Beurteilung der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall

X:\Projekte\2014\14197-ABSE-DBPB-EU Zepernick\C-Bearbeitung\B-Erschütterungen\A-Bahnbetrieb\14197-Planfall Nullfall Differenz-2014.xls]B-I

 Erhöhung der Beurteilungsschwingstärke $\Delta K_{B_{FTF}} < 25 \%$

 Erhöhung der Beurteilungsschwingstärke $\Delta K_{B_{FTF}} \geq 25 \%$

 $\Delta K_{B_{FTF}} \geq 25\%$ und Überschreitung des Beurteilungsanhaltswertes

 Erhöhung der Beurteilungspegel $\Delta L_r < 3 \text{ dB(A)}$

 Erhöhung der Beurteilungspegel $\Delta L_r \geq 3 \text{ dB(A)}$

 $\Delta L_r \geq 3 \text{ dB(A)}$ und Überschreitung des Immissionsrichtwertes

0	Straße	H.-Nr.	PLZ	Ort	Nutzung	GN	Raum Nr.	Änderung PPF gegenüber PNF			
								$\Delta K_{B_{FTF}} [\%]$		$\Delta L_r [\text{dB(A)}]$	
								Tag	Nacht	Tag	Nacht
1	Riederspießstraße	7	60314	Frankfurt	Spielen	GE	1	+0%	+0%	+1,1	+0,6
1	Riederspießstraße	7	60314	Frankfurt	Praxis	GE	2	+0%	+0%	+0,7	+0,3
1	Riederspießstraße	7	60314	Frankfurt	Kinder	GE	3	+0%	+0%	+1,0	+0,5
2	Orber Straße	45	60314	Frankfurt	Schlafen	GI	1	-2%	-2%	+0,8	+0,3
2	Orber Straße	45	60314	Frankfurt	Kinder	GI	2	-2%	-2%	+0,5	+0,1
2	Orber Straße	45	60314	Frankfurt	Kinder	GI	3	-2%	-2%	+0,8	+0,4
3	Cassellastraße	34	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	1	+39%	+19%	+2,8	+2,5
3	Cassellastraße	34	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	2	+13%	+12%	+3,0	+2,7
3	Cassellastraße	34	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	3	+14%	+13%	+3,0	+2,7
4	Wächtersbacher Straße	5	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	1	-7%	-6%	+1,4	+0,6
4	Wächtersbacher Straße	5	60314	Frankfurt	Kinder	MI	2	-2%	-2%	+0,7	+0,0
4	Wächtersbacher Straße	5	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	3	-6%	-6%	+0,9	+0,2
5	Vilbeler Landstraße	14	60314	Frankfurt	Büro	MI	1	+14%	+13%	+2,5	+2,3
5	Vilbeler Landstraße	14	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	2	+18%	+17%	+2,4	+2,2
5	Vilbeler Landstraße	14	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	3	+16%	+15%	+2,3	+2,1
6	Am Roten Graben	1	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	1	+19%	+7%	+0,2	-0,5
6	Am Roten Graben	1	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	2	-8%	-7%	+0,8	+0,0
6	Am Roten Graben	1	60314	Frankfurt	Kinder	MI	3	-11%	-6%	+0,9	+0,1
7	Am Roten Graben	4	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	1	-4%	-3%	+1,7	+0,8
7	Am Roten Graben	4	60314	Frankfurt	Büro	MI	2	-3%	-3%	+0,8	+0,3
7	Am Roten Graben	4	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	3	-3%	-3%	+0,8	+0,4