

ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHE UNTERSUCHUNG

BAUVORHABEN:

Nordmainische S-Bahn

Planfeststellungsabschnitt 1 (Tunnelbereich)
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-11

DATUM:

Darmstadt, 20.08.2019



Dipl.-Phys. Peter Fritz
Vorstand

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

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	9
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
5.2	Sekundärer Luftschall	11
5.2.1	Beurteilungsverfahren	11
5.2.2	Anforderungswerte	12
5.2.3	Anwendung des „Schienenbonus“	12
6	Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise	13
6.1	Prognosemodell	13
6.2	Emissionen	14
6.2.1	Emissionsspektrum	14
6.2.2	Korrekturfunktionen	15
6.3	Transmission	16
6.3.1	Transferfunktion T_1	16
6.3.2	Transferfunktion T_2	17
6.3.3	Transferfunktion T_3	17
6.4	Immissionen	17
6.4.1	Erschütterungen	17
6.4.2	Sekundärer Luftschall	18

6.5	Betriebsparameter der Bahnstrecke	19
7	Untersuchungsergebnisse	19
7.1	Prognose ohne Vorsorgemaßnahme	19
7.1.1	Erschütterungen	19
7.1.2	Sekundärer Luftschall	20
7.2	Dimensionierung von Vorsorgemaßnahmen	21
7.2.1	Grundsätzlich mögliche Maßnahmen	21
7.2.2	Maßnahmen an der Quelle	21
7.2.3	Maßnahmen am Immissionsort	22
7.3	Praktikable Maßnahmen für die Nordmainische S-Bahn	23
7.4	Prognose mit Vorsorgemaßnahmen	24
7.4.1	Erschütterungen	24
7.4.2	Sekundärer Luftschall	24
8	Abschließende Bemerkungen	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übertragung von Erschütterungen	14
--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen	10
Tabelle 2: Immissionsrichtwerte für den sekundären Luftschall	12
Tabelle 3: Erstreckung der Vorsorgemaßnahme	24

Anhänge

Anhang 1	Angabe zu den Gebäuden
Anhang 2	Emissionen
Anhang 3	Übertragungsfunktionen
Anhang 4	Beurteilung der Immissionen Prognose-Planfall 2030

ANLAGE 12.4.1b Übersichtslageplan

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 Tunnelbereich des Abschnitts Frankfurt hat unter Berücksichtigung des Prognosehorizonts 2030 zu folgenden Ergebnissen geführt:

- ❑ Die Prognoseberechnungen führen zu dem Ergebnis, dass ohne Schutzmaßnahmen an einer Vielzahl der untersuchten Gebäude die Anhaltswerte der **DIN 4150-2** überschritten würden. Erhebliche Belästigungen infolge Erschütterungsimmissionen können für diese Gebäude nicht ausgeschlossen werden. Somit sind erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen im Tunnel zu treffen.
- ❑ Hinsichtlich des sekundären Luftschalls unterschreiten die prognostizierten Beurteilungspegel für alle untersuchten Deckeneigenfrequenzen die gültigen Immissionsrichtwerte gemäß der **24. BImSchV**. Diesbezügliche erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen werden demnach nicht erforderlich.
- ❑ Als geeignete Vorsorgemaßnahme kommen Unterschottermatten (USM) für den Oberbau in Betracht.
- ❑ Durch den Einsatz von Unterschottermatten können die erwartenden Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundären Luftschallimmissionen soweit begrenzt werden, dass erheblich belästigende Einwirkungen in Wohnungen und anderen schutzbedürftigen Räumen vermieden werden. Die Anhaltswerte der **DIN 4150-2** werden eingehalten. Die sekundären Luftschallimmissionen werden deutlich reduziert. Die Erstreckung der Vorsorgemaßnahme sowie die relevanten Angaben zur dynamischen Abstimmung sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

Gleis Nr.	System	Vorsorgemaßnahme	
		von km	bis km
41	USM: $f_0 = 25$ Hz	52,9+01	53,7+16
42	USM: $f_0 = 25$ Hz	52,9+06	53,7+16

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 Schwingungsimmissionen 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. 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 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/ „Körperschallmessungen in und auf dem Flughafentunnel Frankfurt/Main mit niedriger Überdeckung“ Deutsche Bundesbahn, Versuchsanstalt München, Abteilung für Elektrophysik; Bericht Nr. 65623 vom 07.04.1987

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 unterirdisch verlaufende Strecke, d. h. den Tunnelbereich vom Abzweig Grüne Straße bis zum Tunnelausgang in Frankfurt-Ostend (km 54,3+50).

4.2 Einwirkungsbereiche

In dem Übersichtslageplan in **Anlage 12.4.1b** sind die im Einwirkungsbereich der Bahnanlage gelegenen Siedlungsflächen in den Ortslagen Frankfurt-Ostend 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

Bei dem geplanten Tunnelabschnitt handelt es sich um einen Neubau. Eine erschütterungstechnische Vorbelastung durch vorhandene Bahnstrecken besteht nicht. 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 erschütterungstechnischen Vorsorgemaßnahmen zu dimensionieren.

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.

5.2 Sekundärer Luftschall

5.2.1 Beurteilungsverfahren

Für Einwirkungen aus sekundären Luftschallimmissionen, hervorgerufen von schienengebundenen Verkehrssystemen, existieren derzeit weder vom Gesetzgeber noch in technischen Regelwerken verbindlich vorgegebene Anforderungswerte. Daher ist es erforderlich, sich für eine sachgerechte Beurteilung an andere Gesetzte, 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 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 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**.

6 Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise

Ausgangspunkt der erschütterungstechnischen Untersuchung ist die Festlegung repräsentativer Untersuchungsobjekte. Im vorliegenden Fall wurden 25 Gebäude im Tunnelbereich des Abschnitts Frankfurt der Nordmainischen S-Bahn ausgewählt, die sich im direkten Einwirkungsreich der Bahnstrecke befinden. Sie wurden so festgelegt, dass auf Grund der gegebenen Abstandsverhältnisse zur Trasse, der Tunnelüberdeckung und der vorhandenen Bausubstanz, ein mögliches Konfliktpotential nicht ausgeschlossen werden kann.

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 12.4.1b** farbig gekennzeichnet.

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.

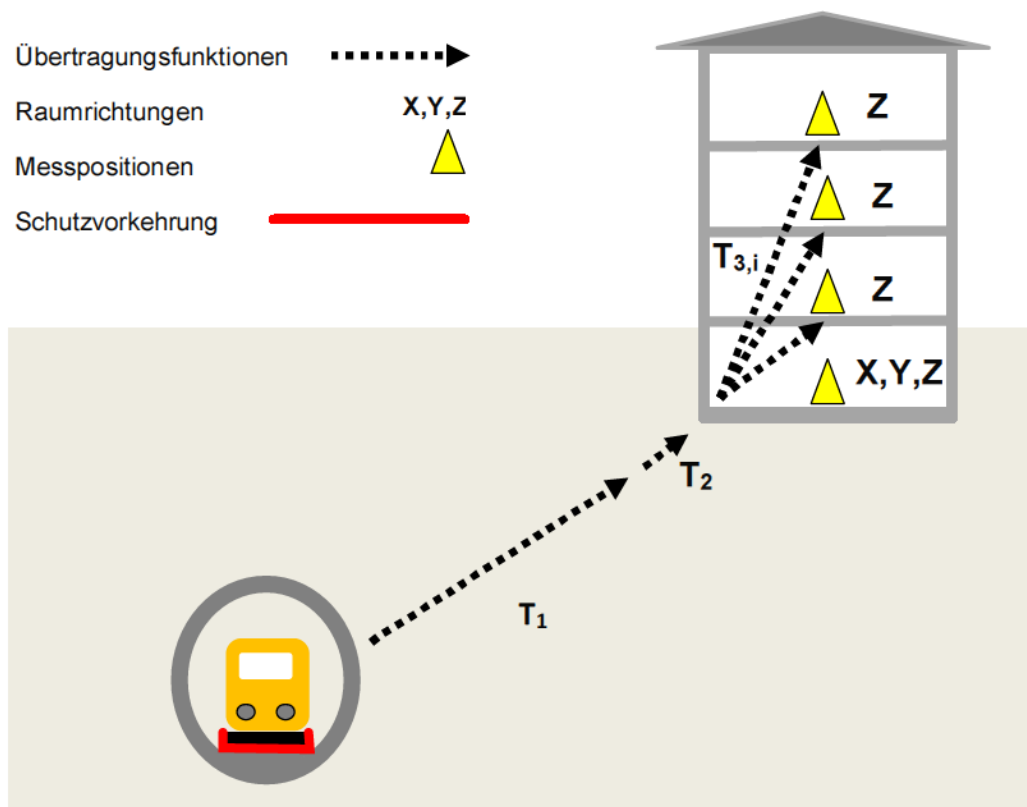


Abbildung 1: Übertragung von Erschütterungen

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

6.2.1 Emissionsspektrum

Bei unterirdischen Schienenverkehrswegen wird in der Regel die Emission durch die an der Tunnelwand in horizontaler oder am Tunnelfirst in vertikaler Richtung gemessene Schwingstärke charakterisiert. Teilweise werden jedoch auch messtechnisch ermittelte Schwingstärken an

oberirdischen Referenzpunkten herangezogen. Die Auswahl geeigneter Emissionen für die Erstellung der Erschütterungsprognose erfolgt empirisch, indem Emissionsspektren mit vergleichbaren emissionsrelevanten Parametern aus vorliegenden Messergebnissen für bereits gebaute und in Betrieb befindliche Strecken herangezogen werden. Dem Grunde nach ist bei diesem Verfahren das Prinzip der größtmöglichen Annäherung zu praktizieren, wobei vorrangig Tunnelbauweise, Fahrzeugtyp, Fahrgeschwindigkeiten und die Oberbauform übereinstimmen sollten. Im Regelfall sind jedoch weitere Korrekturen an den Emissionen auf der Grundlage allgemeiner Erkenntnisse über Erschütterungsemissionen und -immissionen vorzunehmen. Zusätze sind z. B. für die Tunnelform, Geschwindigkeitsdifferenzen oder dem Messverfahren anzuwenden.

Grundsätzlich gilt bei der Ermittlung des Emissionsansatzes der Grundsatz der oberen Abschätzung. Alle Emissionsansätze sind so zu treffen, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit gewährleistet werden kann, dass die nach Inbetriebnahme tatsächlich auftretenden Immissionen an betroffenen Gebäuden geringer sein werden als die prognostizierten Einwirkungen.

Für die vorliegende Untersuchung wurde das Emissionsspektrum für einen ET 420 den Körperschallmessungen in und auf dem Flughafentunnel Frankfurt entnommen /11/. Das Ausgangsemissionsspektrum ist in **Anhang 2.1** graphisch dargestellt.

6.2.2 Korrekturfunktionen

Der Tunnel im Untersuchungsbereich der Nordmainischen S-Bahn, Abschnitt Frankfurt wird größtenteils als 2 eingleisige Tunnel in bergmännischer Bauweise geplant. Als Oberbau ist ein „Schotteroberbau“ mit Betonschwellen vorgesehen.

Das Ausgangsspektrum der S-Bahn wurde an einem zweigleisigen Tunnel in offener Bauweise ermittelt. Daher ist eine geeignete Korrektur vorzunehmen, sodass der Emissionsansatz dem eines eingleisigen bergmännisch aufgefahrenen Tunnels entspricht. Da das herangezogene Spektrum nicht nach dem Max-Hold-Verfahren gemessen wurde, ist ebenfalls eine Korrekturfunktion zur nachträglichen Korrektur des Messverfahrens anzuwenden. Die angewendeten Korrekturfunktionen sind in **Anhang 2.2** bis **Anhang 2.4** dokumentiert. Des Weiteren ist eine Anpassung der Geschwindigkeit vorzunehmen. Die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit im Tunnel beträgt

$$v = 80 \text{ km/h.}$$

Für die differierende Geschwindigkeit erfolgt eine Korrekturfunktion von

$$\Delta L_v = \pm 0,10 \text{ dB je km/h.}$$

Das der Prognose zu Grunde gelegte korrigierte Emissionsspektrum befindet sich in **Anhang 2.5**.

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 wird die entfernungsbedingte Amplitudenabnahme der Schwingschnelle zwischen Emissionsort und einem Ort im Erdreich unmittelbar vor einem Gebäude bezeichnet. Sie setzt sich aus geometrischer Ausbreitungsdämpfung und frequenzabhängiger Materialdämpfung des Ausbreitungsmediums, d.h. dem Boden zusammen. Um den Bereich der freien Wellenausbreitung (Fernfeld) von den komplexen Vorgängen in unmittelbarer Nähe der Erschütterungsquellen (Nahfeld) zu trennen, wird ein Bezugsabstand R_1 zur Quellenmitte festgelegt, der den Übergang vom Nahfeld zum Fernfeld definiert. Im Fernfeld ($R > R_1$) wird die Funktion rechnerisch unter Berücksichtigung der gegebenen Bodenverhältnisse bestimmt:

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

mit

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

Im vorliegenden Fall wurde von **1 %** Dämpfung und von **400 m/s** als Ausbreitungsgeschwindigkeit **c** für die Raumwellen ausgegangen. Der Exponent für den als Linienquelle zu betrachtenden unterirdischen Schienenverkehr wird gemäß **DIN 4150-1 /7/** im Sinne einer oberen Abschätzung mit

$$n = 0,5$$

berücksichtigt.

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. Diese Übertragungsfunktion T_2 ist in **Anhang 3** dargestellt.

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 im hohen Maße Einfluss auf das Prognoseergebnis nimmt, wurden diese Übertragungsfunktionen für die zu untersuchenden Gebäude messtechnisch ermittelt. Hierzu wurde in 3 Räumen das Schwingungsverhalten der Geschossdecken messtechnisch 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 Einzalmethode bis 100 Hz beschränkt, da erfahrungsgemäß oberhalb von 80 Hz keine pegelbestimmenden Anteile im Spektrum des sekundären Luftschallpegels vorhanden sind.

Die Einwirkzeit des sekundären Luftschalls, jeweils bezogen auf den Beurteilungszeitraum Tag (06.00 bis 22.00 Uhr) bzw. Nacht (22.00 bis 06.00 Uhr), ergibt sich aus der Gesamtzahl der in dem betreffenden Streckenabschnitt innerhalb des Beurteilungszeitraumes verkehrenden Schienenfahrzeuge und deren geschwindigkeitsabhängiger Vorbeifahrtzeit. Um zu berücksichtigen, dass Fahrzeuge bereits vor und auch nach der Vorbeifahrt wahrgenommen werden können, wird bei der Bestimmung der signifikanten Einwirkungszeit einer Zugvorbeifahrt mit der 1,5-fachen geometrischen Vorbeifahrtzeit berücksichtigt

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

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 Zusammenstellung der relevanten Verkehrsdaten findet sich in **Anhang 2.6**.

7 Untersuchungsergebnisse

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. Sind Felder farblich nicht hinterlegt, so findet keine schutzwürdige Nutzung im Beurteilungszeitraum statt.

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

7.1 Prognose ohne Vorsorgemaßnahme

7.1.1 Erschütterungen

Die zu prognostizierenden Erschütterungsimmissionen ohne Schutzmaßnahmen am Oberbau sind in **Anhang 4.1** dargestellt. Es ergeben sich die maximalen bewerteten Schwingstärken für die untersuchten Gebäude von

$$KB_{Fmax} \leq 0,717$$

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 für mindestens 2 der 3 messtechnisch untersuchten Geschossdecken der untere Anhaltswert der **DIN 4150-2** überschritten. Zur Beurteilung, ob diese Erschütterungs-
immissionen im Sinne der **DIN 4150-2** als „**erheblich belästigend**“ einzustufen sind, wird ein
weiterer Beurteilungsschritt, die Bildung der Beurteilungsschwingstärke **KB_{FT}** erforderlich.

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

$$KB_{FT} \leq 0,177 / 0,116.$$

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

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

angegeben. Dies bedeutet, dass an 4 messtechnisch untersuchten Immissionsorten die oben ge-
nannten Anhaltswerte sowohl im Tag- als auch im Nachtzeitraum überschritten sind. Die prog-
nostizierten Beurteilungsschwingstärken **KB_{FT}** schöpfen die Beurteilungsanhaltswerte für
Mischgebiete im Tag- bzw. Nachtzeitraum maximal zu

$$p = 177 \% / 165 \%$$

aus.

Demzufolge können die Anforderungen der **DIN 4150-2** nicht erfüllt werden. Es besteht demge-
mäß das Erfordernis für Vorsorgemaßnahmen zur Begrenzung der Erschütterungsemissionen
des Tunnelbauwerkes.

7.1.2 Sekundärer Luftschall

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

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

Für die Räume mit gewerblicher Nutzung wird am Tag der Immissionsrichtwert von

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

In der Nacht liegt für diese Räume keine Schutzbedürftigkeit vor.

Es ergeben sich Beurteilungspegel tags bzw. nachts von bis zu

$$L_{r, \text{Tag/Nacht}} = 19,7 / 16,0 \text{ dB(A)}.$$

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 Dimensionierung von Vorsorgemaßnahmen

7.2.1 Grundsätzlich mögliche Maßnahmen

Grundsätzlich können Maßnahmen zum Erschütterungsschutz an Bahnstrecken in drei Gruppen untergliedert werden:

- ☐ Maßnahmen an der Quelle
- ☐ Maßnahmen am Immissionsort.

Maßnahmen an der Quelle beziehen sich auf den Oberbau und zielen darauf ab, die erschütterungstechnische Quellstärke (Emission) im Zusammenwirken Fahrzeug-Fahrweg zu reduzieren. Bei Maßnahmen am Immissionsort handelt es sich um abschirmende Maßnahmen. Allerdings wird hierbei nicht die Quelle, sondern der Immissionsort selbst, das heißt entweder das gesamte Gebäude oder ein Teil des Gebäudes durch elastische Lagerungen abgeschirmt. Im Folgenden wird auf die einzelnen, grundsätzlich möglichen, Maßnahmen näher eingegangen.

7.2.2 Maßnahmen an der Quelle

7.2.2.1 Masse-Feder-Systeme

Zur Emissionsminderung im Gleisbereich können elastisch gelagerte Gleistragplatten, so genannte „**Masse-Feder-Systeme**“ eingesetzt werden. Bei entsprechender Auslegung der Federelemente und bei einem hinreichend steifen Untergrund können solche Systeme auf vertikale Oberbaueigenfrequenzen von deutlich unter 10 Hz abgestimmt werden. Mit dem Einsatz solcher „**schweren Masse-Feder-Systeme**“ lassen sich die Immissionen aus dem Schienenverkehr in weiten Bereichen erheblich vermindern. In Teilbereichen, in denen sich Gebäudestrukturen mit sehr tiefen Eigenfrequenzen (zum Beispiel weit gespannte Decken mit Eigenfrequenzen von 8 bis 10 Hz) befinden, lassen sich keine signifikanten Minderungen der Erschütterungen erzielen, da

die Einfügungsdämmung solcher Masse-Feder-Systeme in dem Frequenzbereich unter Umständen positive Werte erreicht.

Der Einbau von Masse-Feder-Systemen wurde bereits häufig bei unterirdischen Schienenverkehrsanlagen mit großem Erfolg praktiziert. Bei sogenannten leichten Masse-Feder-Systemen, als Masse-Feder-Systeme, deren vertikale Oberbaueigenfrequenz oberhalb von 10 Hz liegt, kommen als Federelement flächige oder streifenförmig angeordnete Elastomerlager zum Einsatz, die beim Betonieren der Gleistragplatte als verlorene Schalung eingebracht werden.

7.2.2.2 Unterschottermatten

Unterschottermatten werden häufig in Tunnelbauwerken zur Verringerung von Körperschallübertragung eingesetzt. Um eine hohe Funktionsfähigkeit der Unterschottermatte zu gewährleisten, muss ein möglichst steifer Unterbau, wie dies bei einer Tunnelsohle der Fall ist, vorliegen. Die Einfügungsdämmung weist in Abhängigkeit vom Oberbau und der dynamischen Steifigkeit der Matte ein lokales Minimum zwischen 20 und 30 Hz auf. Die Unterschottermatte reduziert ferner die hohe Beanspruchung des Schotters auf der Betonsohle. Sie gewährleistet eine gleichmäßigere Einsenkung und damit einen besseren Fahrzeuglauf.

7.2.3 Maßnahmen am Immissionsort

7.2.3.1 Konstruktive Änderung an Gebäuden

Durch Maßnahmen an Deckenbauteilen, wie zum Beispiel Erhöhung der Deckenmassen (Ausbetonieren von Fehlböden) bzw. Versteifung der Decken durch Einziehen zusätzlicher Tragsysteme (Stahlprofile) können die dynamischen Eigenschaften von Deckenaufbauten so verändert werden, dass ungünstige Resonanzkopplungen abgebaut werden. Die Maßnahmen stellen in der Regel einen erheblichen baulichen Eingriff in das Gebäude dar und sind daher lediglich in begründeten Ausnahmefällen zu empfehlen.

7.2.3.2 Elastische Auflagerung von Gebäuden

Im Sinne einer passiven Erschütterungsschutzmaßnahme kann eine nachträgliche elastische Lagerung eines Gebäudes zur Minderung der Erschütterungsimmissionen in diesem Gebäude erfolgen. Prinzipiell ist eine elastische Lagerung von Gebäuden eine wirkungsvolle Maßnahme. Bei Neuplanungen können derartige Abfederungsmaßnahmen mit vertretbarem technischem und finanziellem Aufwand praktiziert werden. Bei einer nachträglichen Auflagerung von Gebäuden sind zahlreiche konstruktive Probleme zu berücksichtigen, auf die an dieser Stelle nicht im Einzelnen eingegangen werden soll. Die nachträgliche Auflagerung von Gebäuden wurde in vielen Fällen zur Sanierung von Gebäuden, zum Beispiel zum Ausgleich unterschiedlicher Setzungen in Bergsenkungsgebieten, eingesetzt. Die Auflagerung zur Behebung von Setzungsschäden geht zwar von einer anderen Zielsetzung aus, unterscheidet sich jedoch von einer Auflagerung aus Gründen des Schwingungsschutzes lediglich in der Auswahl der Federkörper. Besteht eine Eignung des

Gebäudes für eine solche nachträgliche Auflagerung so ist bei entsprechender Auswahl der geeigneten Federkörper eine erhebliche Minderung der Immissionen zu erwarten. Zur Entkopplung des Gebäudes können sowohl Elastomer Federelemente als auch Stahlfederelemente in Erwägung gezogen werden. Bei Lagerung mit Elastomerelementen sind Abstimmfrequenzen bis herab zu 10 Hz möglich. Mit Stahlfedersystemen lassen sich vertikale Gebäudeeigenfrequenzen von bis zu 4 Hz realisieren. Aufgrund der erheblichen Kosten für eine derartige Maßnahme ist der Aufwand lediglich für besonders exponierte einzelne Objekte angemessen. Der Einsatz solcher Maßnahmen ist daher ausschließlich im Einzelfall sinnvoll.

7.3 Praktikable Maßnahmen für die Nordmainische S-Bahn

Im vorliegenden Fall kommt als einzig sinnvolle Vorsorgemaßnahme der Einbau einer Unterschottermatte (**USM**) im Tunnel in Betracht. Alle anderen in **Kapitel 7.2** genannten Maßnahmen scheiden auf Grund wirtschaftlicher oder technischer Zwangspunkte aus. In Anbetracht des Sachverhaltes, dass der Oberbau im Tunnel als Schotteroberbau ausgeführt werden soll, handelt es sich hierbei um eine in der Praxis bewährte Technologie, die darüber hinaus im Rahmen der Genehmigungsplanung bzw. der Ausführungsplanung individuellen Erfordernissen leicht angepasst werden kann. Im vorliegenden Fall wird der Einsatz einer Unterschottermatte in Betracht gezogen, die die erste Oberbaueigenfrequenz auf

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

absenkt. Im Sinne einer oberen Abschätzung wird für diese Frequenz eine Resonanzverstärkung, das heißt eine negative Einfügedämmung von

$$E_D = - 8 \text{ dB}$$

unterstellt. Erfahrungsgemäß fallen diese Resonanzüberhöhungen, bzw. der Einbruch in der Einfügungsdämmung, deutlich geringer aus. Des Weiteren wird die im oberen Frequenzbereich maximal erzielbare Einfügungsdämmung auf einen Wert von

$$E_D = 15 \text{ dB}$$

begrenzt. Hierbei handelt es sich um eine konservative Annahme zur erzielbaren Einfügungsdämmung in diesem Frequenzbereich. Die Einfügungsdämmkurve der berücksichtigten Unterschottermatte ist in **Anhang 4.3** zu finden. Die dimensionierte oberbautechnische Vorsorgemaßnahme ist für die in **Tabelle 3** ausgewiesenen Streckenabschnitte vorzusehen:

Vorsorgemaßnahme			
Gleis Nr.	System	von km	bis km

41	USM: $f_0 = 25 \text{ Hz}$	52,9+01	53,7+16
42	USM: $f_0 = 25 \text{ Hz}$	52,9+06	53,7+16

Tabelle 3: Erstreckung der Vorsorgemaßnahme

7.4 Prognose mit Vorsorgemaßnahmen

7.4.1 Erschütterungen

In **Anhang 4.2** sind die prognostizierten Erschütterungsimmissionen für den Planfall mit Schutzmaßnahme dargestellt. Es werden die maximalen bewerteten Schwingstärken **KB_{Fmax}** von bis zu

$$KB_{Fmax} \leq 0,316$$

ausgewiesen. Die unteren Anhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** werden gegenüber dem Planfall ohne Schutzmaßnahme für deutlich weniger der untersuchten Gebäude überschritten. Zur weiteren Beurteilung der Einwirkungen wird der zweite Schritt gemäß **DIN 4150-2**, d.h. die Bildung der Beurteilungsschwingstärke, dennoch erforderlich.

Die Schwingungsimmissionen für den Planfall unter Berücksichtigung der Vorsorgemaßnahme erreichen maximale Beurteilungsschwingstärken von

$$KB_{FTr} = 0,078 / 0,051$$

tags bzw. nachts. Die prognostizierten Beurteilungsschwingstärken **KB_{FTr}** schöpfen die Beurteilungsanhaltswerte für Mischgebiete im Tag- bzw. Nachtzeitraum maximal zu

$$p = 78 \% / 73 \%$$

aus.

Das Ergebnis zeigt, dass die Beurteilungsanhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** an allen untersuchten Gebäuden deutlich unterschritten werden. Durch den Einsatz von Unterschottermatten als Vorsorgemaßnahme können somit erheblich belästigende Einwirkungen infolge Erschütterungsimmissionen vermieden werden.

7.4.2 Sekundärer Luftschall

Die Ergebnisse der sekundären Luftschallimmissionen für den Planfall mit Schutzmaßnahmen sind in **Anhang 4.2** dargestellt. Es ergeben sich Beurteilungspegel von bis zu

$L_{r,Tag/Nacht} = 12,6 / 8,9 \text{ dB(A)}.$

für den Tag- bzw. Nachtzeitraum. Somit werden die in Anlehnung an die **24. BImSchV** abgeleiteten Immissionsrichtwerte deutlich unterschritten. Es ergeben sich gegenüber dem Planfall ohne Schutzmaßnahmen wesentlich geringere Immissionen.

8 Abschließende Bemerkungen

Die durchgeführten Voruntersuchungen belegen, dass die aus dem Betrieb der S-Bahn im unterirdischen Streckenabschnitt zu erwartenden Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundären Luftschallimmissionen durch den Einsatz von Unterschottermatten soweit begrenzt werden können, sodass erheblich belästigende Einwirkungen in Wohnungen und anderen schutzbedürftigen Räumen vermieden werden können.

AUFGESTELLT:



Dipl.-Phys. Andreas Malizki

GEPRÜFT:


Dipl.-Ing. Mario Graefen

ANHANG

Immissionsorte

Angaben zu den messtechnisch untersuchten Gebäuden

\\kuk\id\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VWS-NMS-PFA1-Frankfurt\IC-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\WEVA-Tunnel\IP.xlsx\ANHANG 1

IP Nr.	Gebäude	Gebiets-nutzung	Raum 1			Raum 2			Raum 3		
			Lage	Nutzung	Decke	Lage	Nutzung	Decke	Lage	Nutzung	Decke
U-2	Theobald-Christ-Straße 2	MI	EG	Geschäft	Beton	1. OG	Wohnen	Beton	5. OG	Schlafen	Beton
U-3	Hanauer Landstraße 30	MI	EG	Geschäft	Beton	2. OG	Wohnen	Beton	5. OG	Wohnen	Beton
U-4	Hanauer Landstraße 32	MI	EG	Geschäft	Beton	1. OG	Wohnen	Beton	5. OG	Wohnen	Beton
U-5	Rückertstraße 59	MI	EG	Geschäft	Beton	1. OG	Schlafen	Beton	DG	Wohnen	Beton
U-6	Rückertstraße 50/52	MI	EG	Wohnen	Beton	2. OG	Wohnen	Beton	3. OG	Wohnen	Beton
U-7	Windeckstraße 39	MI	EG	Wohnen	Beton	1. OG	Wohnen	Beton	2. OG	Wohnen	Beton
U-8	Windeckstraße 37	MI	EG	Büro	Beton	1. OG	Wohnen	Beton	2. OG	Kinder	Beton
U-9	Windeckstraße 58/60	MI	EG	Wohnen	Beton	1. OG	Schlafen	Beton	4. OG	Schlafen	Beton
U-10	Windeckstraße 56	MI	EG	Schlafen	Beton	1. OG	Schlafen	Holz	1. OG	Wohnen	Holz
U-11	Ostendstraße 63	MI	EG	Wohnen	Beton	1. OG	Wohnen	Beton	3. OG	Wohnen	Beton
U-12	Ostendstraße 67	MI	EG	Wohnen	Beton	1. OG	Wohnen	Holz	5. OG	Wohnen	Holz
U-13	Ostendstraße 69	MI	EG	Schlafen	Beton	1. OG	Schlafen	Beton	5. OG	Schlafen	Beton
U-14	Ostendstraße 71	MI	1. OG	Wohnen	Beton	1. OG	Kinder	Beton	3. OG	Wohnen	Beton
U-15	Howaldtstraße 12	MI	1. OG	Wohnen	Beton	1. OG	Wohnen	Beton	3. OG	Wohnen	Beton
U-16	Ostendstraße 78	MI	EG	Wohnen	Beton	EG	Kinder	Beton	4. OG	Wohnen	Beton
U-17	Ostendstraße 80	MI	EG	Wohnen	Beton	1. OG	Wohnen	Beton	5. OG	Wohnen	Beton
U-18	Ostendstraße 82	MI	EG	Wohnen	Beton	1. OG	Schlafen	Beton	5. OG	Wohnen	Beton
U-19	Ostendstraße 84	MI	EG	Wohnen	Beton	1. OG	Schlafen	Beton	5. OG	Wohnen	Beton
U-20	Schichaustraße 11	MI	EG	Wohnen	Beton	1. OG	Wohnen	Beton	3. OG	Wohnen	Beton
U-21	Schichaustraße 13	MI	EG	Büro	Beton	1. OG	Wohnen	Beton	4. OG	Büro	Beton
U-22	Schichaustraße 15	MI	EG	Geschäft	Beton	1. OG	Wohnen	Beton	2. OG	Wohnen	Beton
U-23	Ostbahnhofstraße 16	MI	EG	Seminar	Beton	1. OG	Büro	Beton	5. OG	Büro	Beton
U-24	Danziger Straße 2	MI	1. OG	Wohnen	Beton	3. OG	Schlafen	Beton	5. OG	Wohnen	Beton
U-25	Grusonstraße 9	MI	EG	Gaststätte	Beton	1. OG	Wohnen	Holz	3. OG	Wohnen	Holz

16.08.2019

Emissionsspektrum

ET 420 unkorrigiert

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVEA-Tunnel\Emissionen_Tunnel.xlsx]2.1

Quelle: Körperschallmessungen in und auf dem Flughafentunnel Frankfurt
TZF München, Bericht Nr. 65 623 vom 07.04.1987

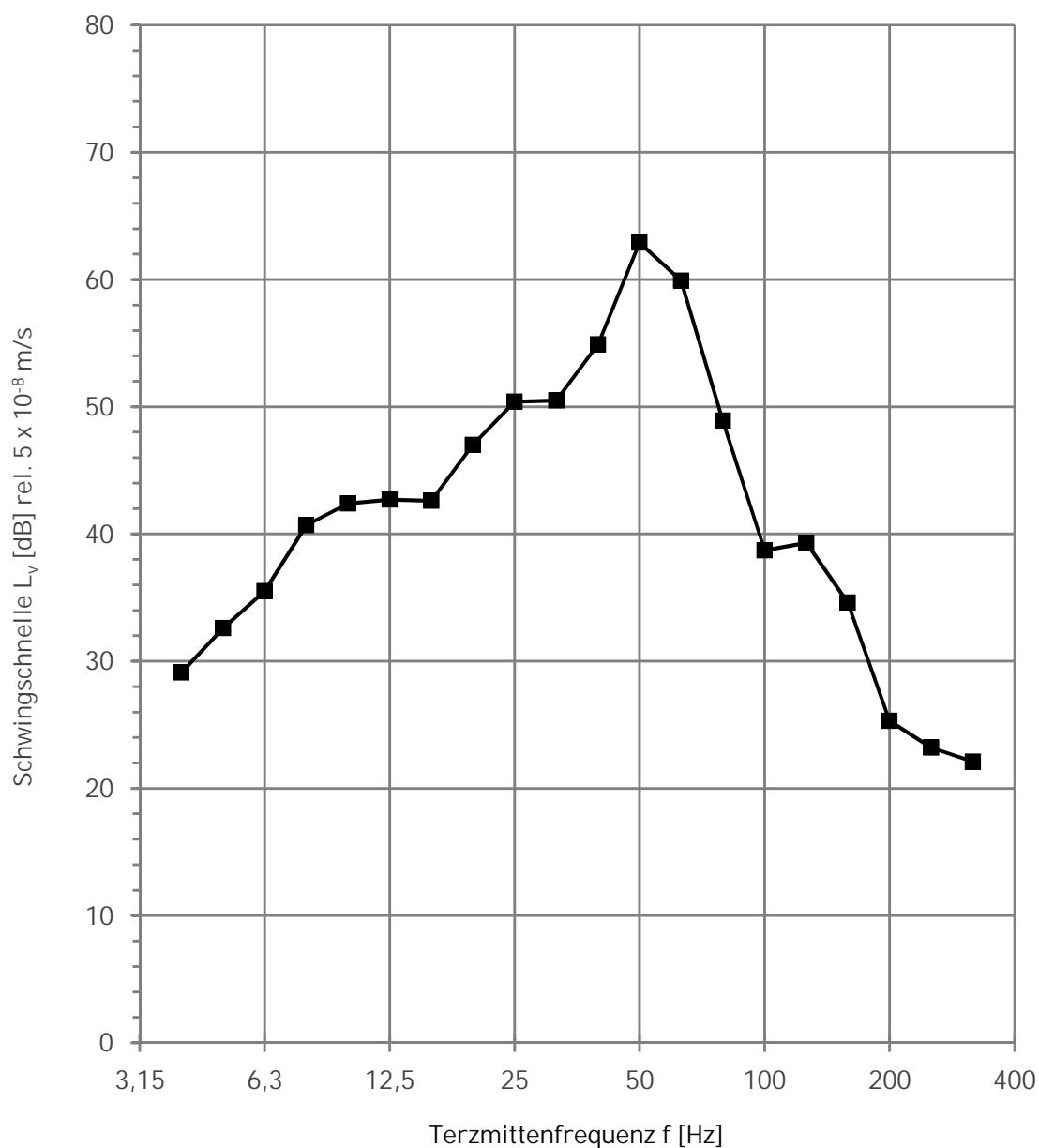
Messposition: 8,0 [m] Tunnel: 2-gleisiger, offene Bauweise

Schwingrichtung: vertikal (z) Oberbau: K 54 H

Fahrzeuge: ET 420 Trasse: Gleisbogen mit R = 800 m

Geschwindigkeit: 115 [km/h] Überdeckung: ca. 3 m

Mittelwert



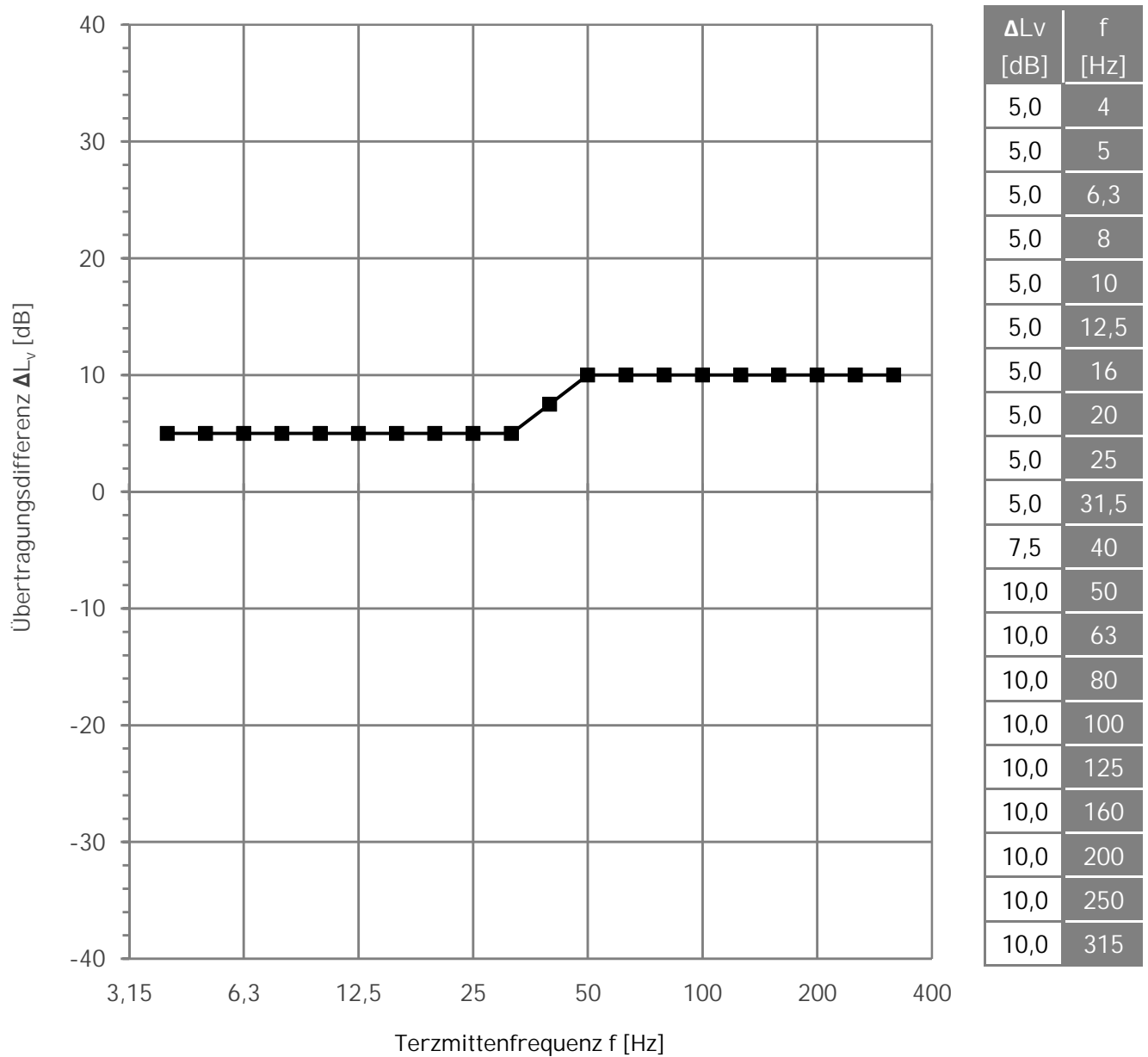
Lv	f
[dB]	[Hz]
29,1	4
32,6	5
35,5	6,3
40,7	8
42,4	10
42,7	12,5
42,6	16
47,0	20
50,4	25
50,5	31,5
54,9	40
62,9	50
59,9	63
48,9	80
38,7	100
39,3	125
34,6	160
25,3	200
23,2	250
22,1	315
65,7	Σ

typische Differenz vom Messverfahren "Max-Hold" gegenüber dem "RMS-fast"

Bezugsspektrum A: RMS-fast

Bezugsspektrum B: Max-Hold

Schwingrichtung: vertikal (z)



Korrekturfunktion

Geschwindigkeit

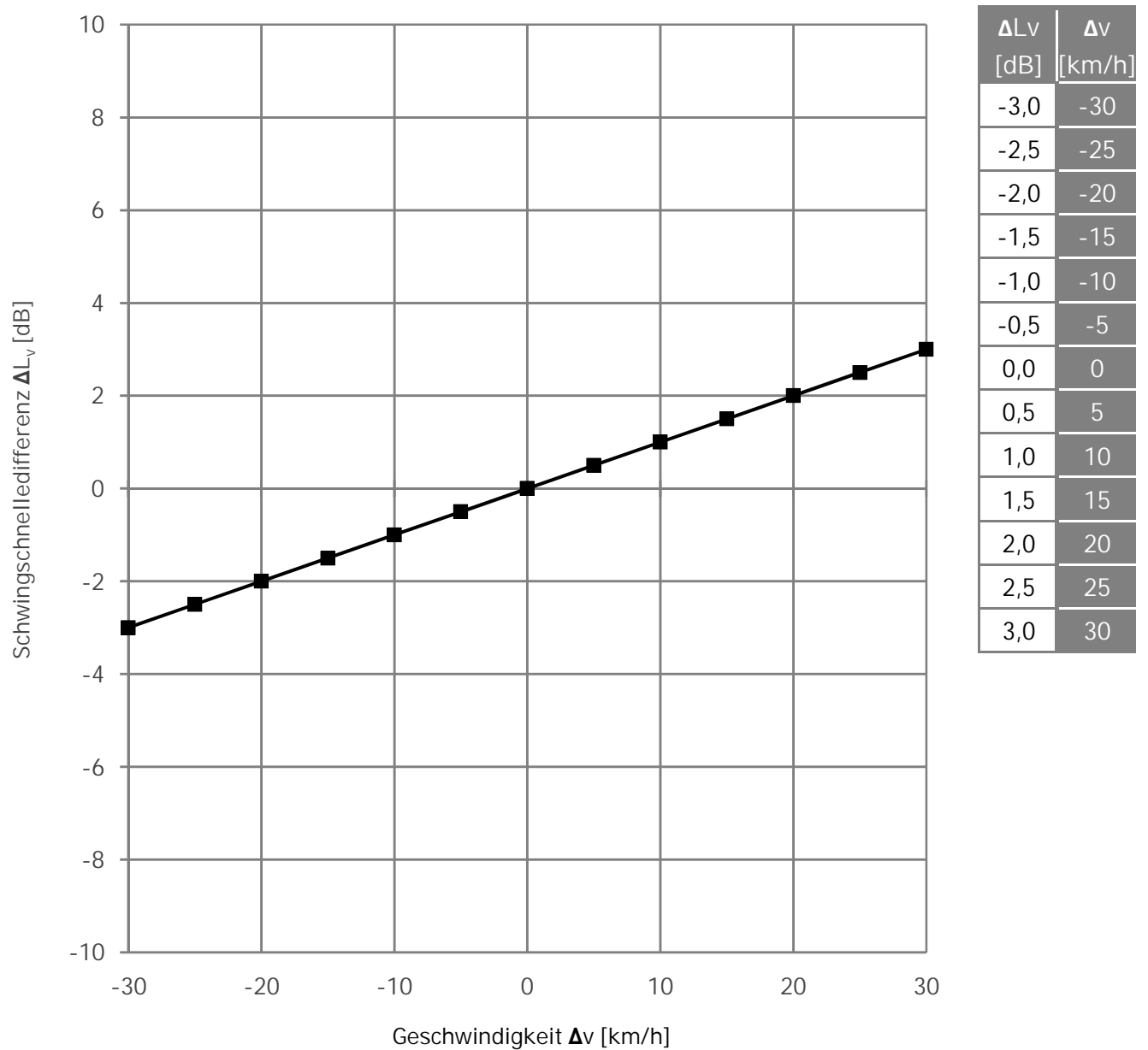
\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVEA-Tunnel\Emissionen_Tunnel.xlsx]2.3

Quelle: empirisch

Bezugsspektrum A:

Bezugsspektrum B:

Schwingrichtung: vertikal (z)

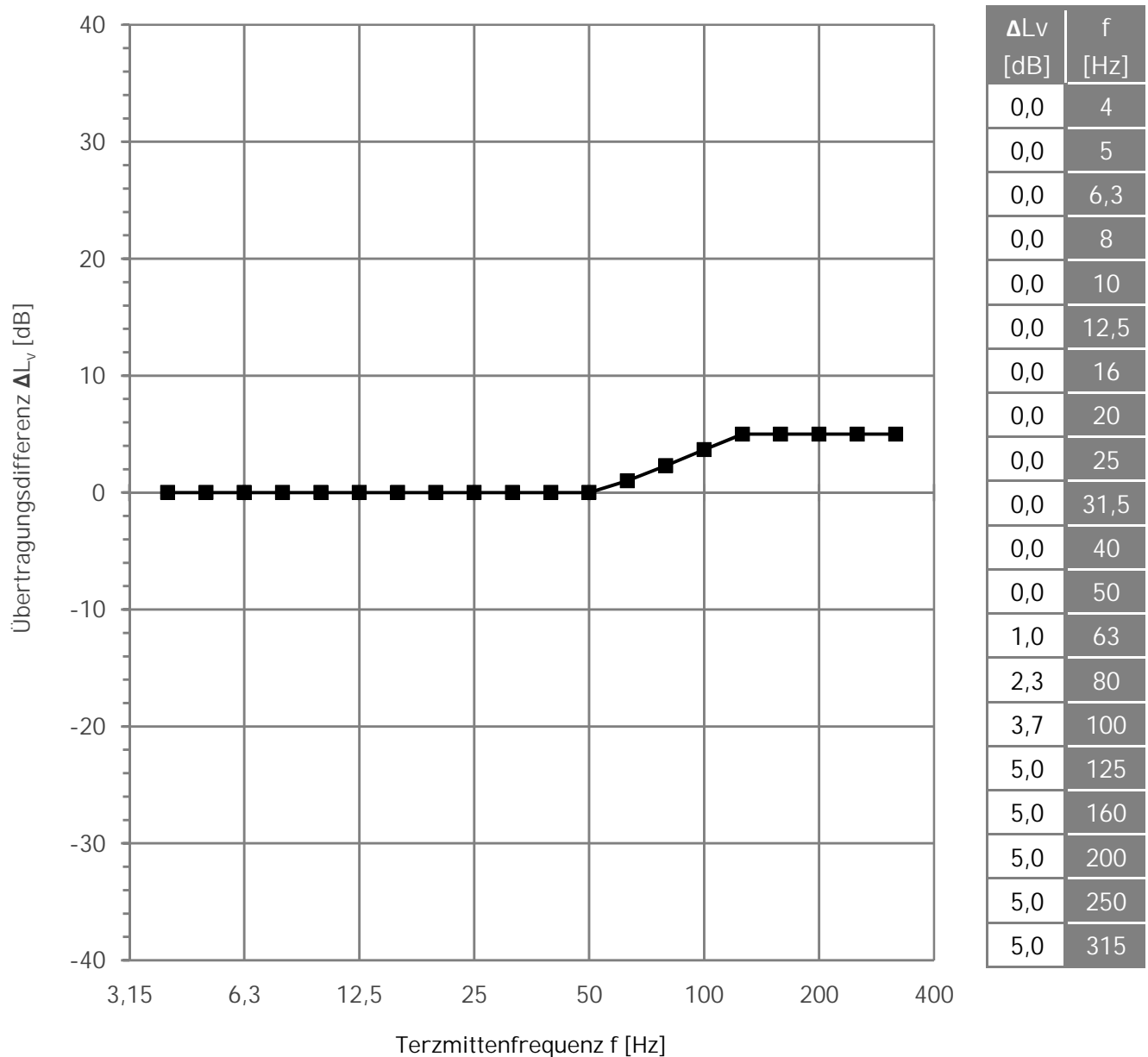


16.08.2019

Quelle: Handbuch Schall und Erschütterungen beim Schienenverkehr
STUVA Köln, F. Krüger, 1993

Bezugsspektrum A: Tunnel offene Bauweise, 2-gleisig

Bezugsspektrum B: Tunnel bergmännisch, 1-gleisig



Emissionsspektrum

S-Bahn Tunnelbereich

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\WEVA-Tunnel\Emissionen_Tunnel.xlsx]2.6

Prognose-Nullfall /-Planfall

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	S-Bahn	S-Bahn
K2		Geschwindigkeit	115 km/h	80 km/h
K3	Fahrweg	Kurvenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	nein
K5		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform	2-gleisig offenen Bauweise	2 eingleisige Tunnelröhren
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt vor Tunnelachse	8 m Punkt vor Tunnelachse
K11	Sonstiges	Meßverfahren	RMS-Fast	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ 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	29,1	32,6	35,5	40,7	42,4	42,7	42,6	47,0	50,4	50,5	54,9	62,9	59,9	48,9	38,7	39,3	34,6	25,3	23,2	22,1	65,7

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}	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	
L_{K3}																					
L_{K4}																					
L_{K5}																					
L_{K6}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,3	3,7	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	
L_{K7}																					
L_{K8}																					
L_{K9}																					
L_{K10}																					
L_{K11}	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	7,5	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
L_{K12}																					
L_{K13}																					
L_{K14}																					
L_{K15}																					

Prognosespektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ 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	30,6	34,1	37,0	42,2	43,9	44,2	44,1	48,5	51,9	52,0	58,9	69,4	67,4	57,7	48,9	50,8	46,1	36,8	34,7	33,6	72,1

Betriebsprogramm

Prognose-Planfall 2030

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VVE\A-Tunnel\Betriebsprogramm.xlsx]2.7

Strecke: 3685
Streckenabschnitt: Frankfurt am Main Konstabler Wache - Fechenheim
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			
--------	-----	----	--	--	--

Übertragungsfunktion

Erdreich - Fundament (T2)

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\IC-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\VF\A-Tunnel\Transferfunktion.xls\T2-Funktion

Quelle: Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen

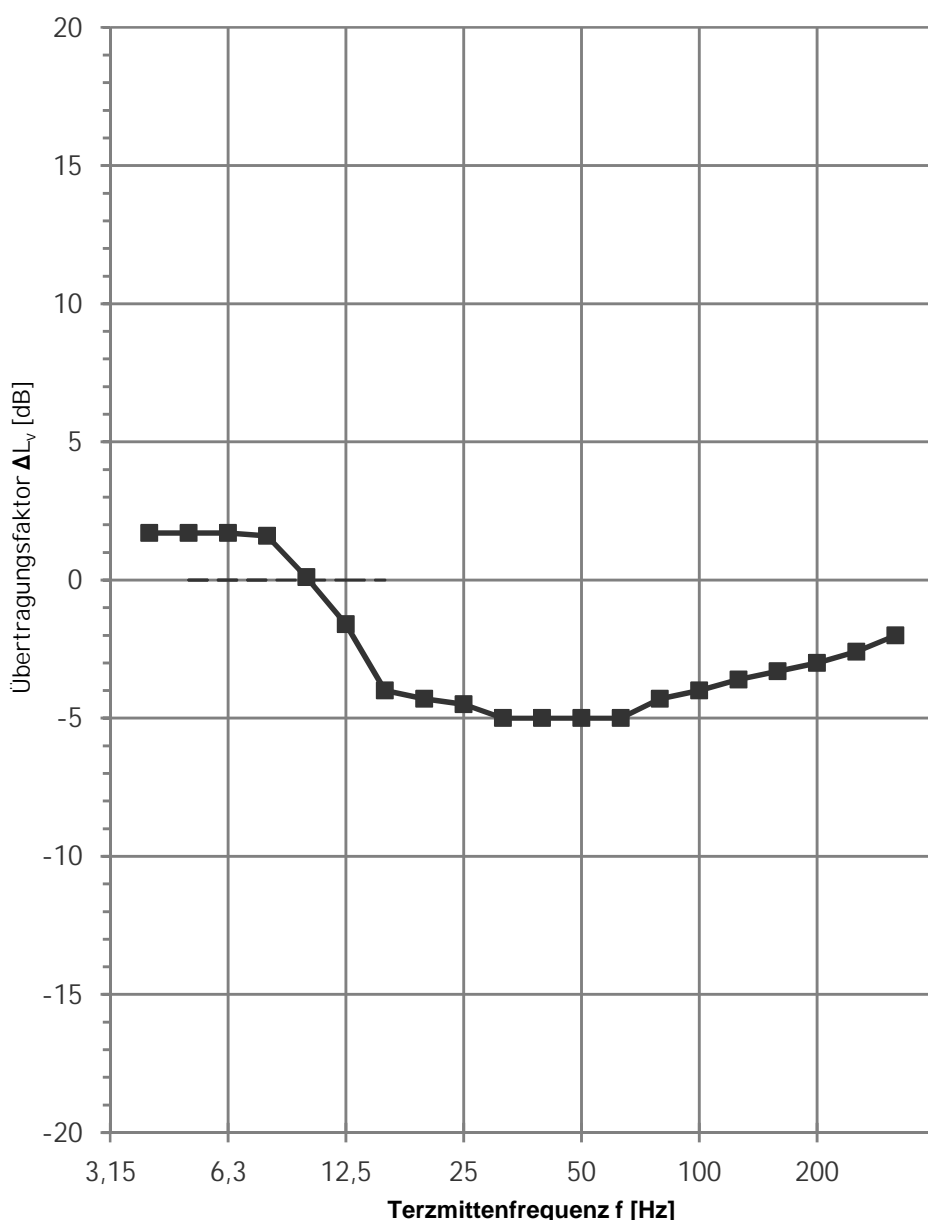
Landesamt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Nr. 107

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

16.08.2019

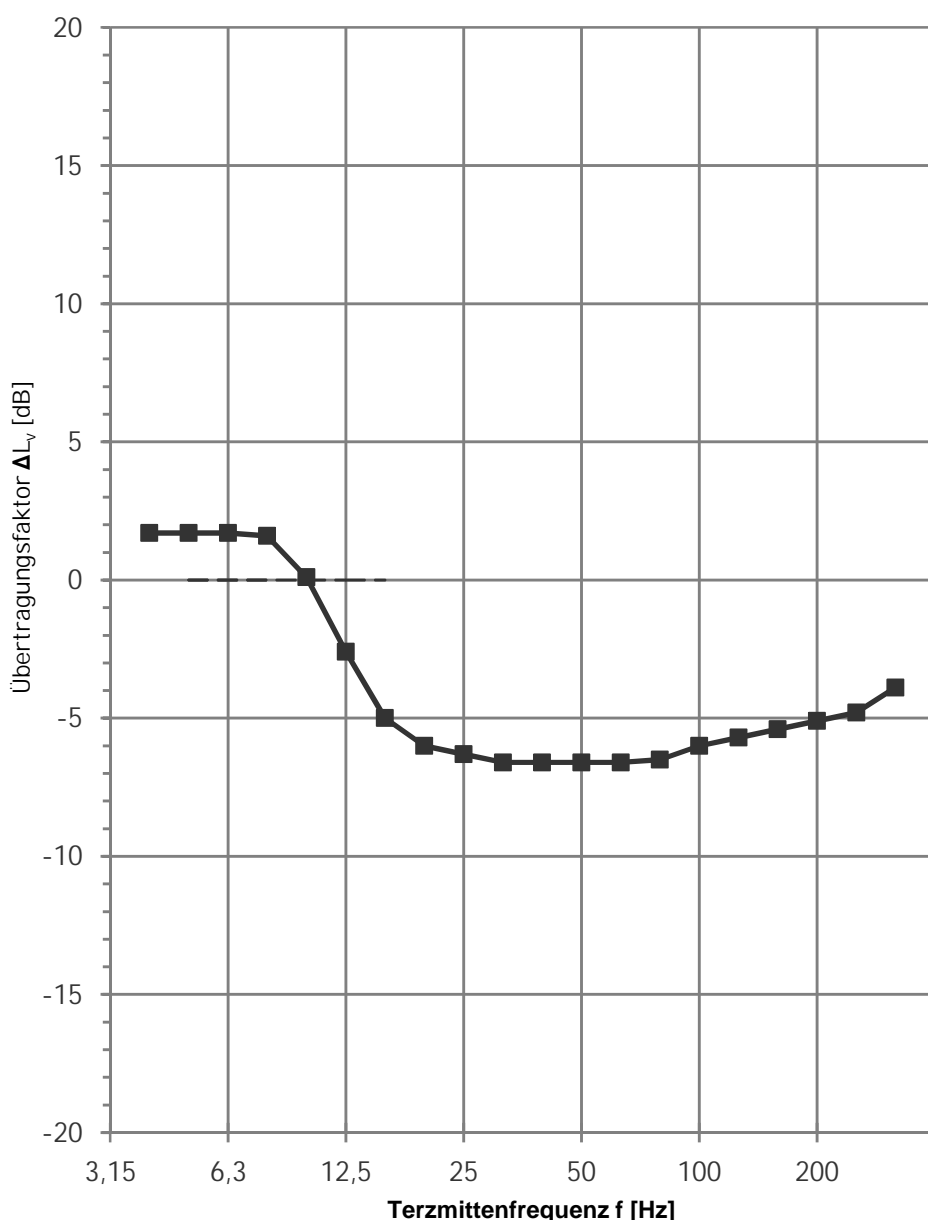
Übertragungsfunktion

Erdreich - Fundament (T2)

\\kuk\da\bauphysik\B-Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\1C-Bearbeitung\190801-Gutachten-Bearbeitung\VF\A-Tunnel\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: 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

16.08.2019

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\A-Tunnel\IP-Tunnel-1.xls]B-I

			eingehalten			Prüfung durch A _r				nicht eingehalten						
U	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	Hanauer Landstraße	17	60314	Frankfurt	Spielen	MI	5	1	0,276	0,276	0,068	0,045	68%	64%	15,8	12,1
1	Hanauer Landstraße	17	60314	Frankfurt	Praxis	MI	5	2	0,361	0,361	0,089	0,058	89%	83%	18,0	14,3
1	Hanauer Landstraße	17	60314	Frankfurt	Büro	MI	5	3	0,276	0,276	0,068	0,045	68%	64%	16,2	12,5
2	Theobald-Christ-Straße	2	60314	Frankfurt	Geschäft	MI	6	1	0,269	0,269	0,066	0,043	66%	62%	16,0	12,3
2	Theobald-Christ-Straße	2	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,200	0,200	0,049	0,032	49%	46%	14,5	10,8
2	Theobald-Christ-Straße	2	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	6	3	0,162	0,162	0,040	0,026	40%	37%	13,3	9,6
3	Hanauer Landstraße	30	60314	Frankfurt	Geschäft	MI	6	1	0,319	0,319	0,079	0,051	79%	74%	17,1	13,4
3	Hanauer Landstraße	30	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,222	0,222	0,055	0,036	55%	51%	14,8	11,2
3	Hanauer Landstraße	30	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,263	0,263	0,065	0,043	65%	61%	15,9	12,2
4	Hanauer Landstraße	32	60314	Frankfurt	Geschäft	MI	6	1	0,385	0,385	0,095	0,062	95%	89%	17,5	13,8
4	Hanauer Landstraße	32	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,234	0,234	0,058	0,038	58%	54%	15,1	11,4
4	Hanauer Landstraße	32	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,353	0,353	0,087	0,057	87%	81%	17,2	13,5
5	Rückertstraße	59	60314	Frankfurt	Geschäft	MI	6	1	0,297	0,297	0,073	0,048	73%	69%	16,2	12,5
5	Rückertstraße	59	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	6	2	0,247	0,247	0,061	0,040	61%	57%	15,4	11,7
5	Rückertstraße	59	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,369	0,369	0,091	0,060	91%	85%	17,6	13,9
6	Rückertstraße	50/52	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	1	0,290	0,290	0,072	0,047	72%	67%	16,9	13,2
6	Rückertstraße	50/52	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,272	0,272	0,067	0,044	67%	63%	16,3	12,6
6	Rückertstraße	50/52	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,307	0,307	0,076	0,050	76%	71%	17,0	13,3

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\A-Tunnel\IP-Tunnel-1.xls]B-I

			eingehalten			Prüfung durch A _r				nicht eingehalten						
U	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
7	Windeckstraße	39	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	1	0,191	0,191	0,047	0,031	47%	44%	14,2	10,5
7	Windeckstraße	39	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,189	0,189	0,047	0,031	47%	44%	14,0	10,3
7	Windeckstraße	39	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,187	0,187	0,046	0,030	46%	43%	14,2	10,5
8	Windeckstraße	37	60314	Frankfurt	Büro	MI	6	1	0,236	0,236	0,058	0,038	58%	54%	15,2	11,5
8	Windeckstraße	37	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,360	0,360	0,089	0,058	89%	83%	17,4	13,7
8	Windeckstraße	37	60314	Frankfurt	Kinderraum	MI	6	3	0,164	0,164	0,041	0,027	41%	38%	13,4	9,7
9	Windeckstraße	58/60	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	1	0,321	0,321	0,079	0,052	79%	74%	17,1	13,5
9	Windeckstraße	58/60	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	6	2	0,405	0,405	0,100	0,065	100%	93%	18,3	14,6
9	Windeckstraße	58/60	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	6	3	0,220	0,220	0,054	0,035	54%	51%	15,2	11,5
10	Windeckstraße	56	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	6	1	0,298	0,298	0,074	0,048	74%	69%	16,5	12,8
10	Windeckstraße	56	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	6	2	0,369	0,369	0,091	0,059	91%	85%	15,4	11,7
10	Windeckstraße	56	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,717	0,717	0,177	0,116	177%	165%	18,1	14,4
11	Ostendstraße	63	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	1	0,225	0,225	0,056	0,036	56%	52%	14,9	11,2
11	Ostendstraße	63	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,481	0,481	0,119	0,078	119%	111%	19,1	15,4
11	Ostendstraße	63	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,469	0,469	0,116	0,076	116%	108%	19,7	16,0
12	Ostendstraße	67	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	1	0,311	0,311	0,077	0,050	77%	72%	16,9	13,2
12	Ostendstraße	67	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,333	0,333	0,082	0,054	82%	77%	15,0	11,3
12	Ostendstraße	67	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,349	0,349	0,086	0,056	86%	80%	15,2	11,5

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\A-Tunnel\IP-Tunnel-1.xls]B-I

			eingehalten			Prüfung durch A _r				nicht eingehalten							
U	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	
13	Ostendstraße	69	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	7	1	0,282	0,282	0,070	0,046	70%	65%	16,1	12,4	
13	Ostendstraße	69	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	7	2	0,175	0,175	0,043	0,028	43%	40%	13,8	10,1	
13	Ostendstraße	69	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	7	3	0,240	0,240	0,059	0,039	59%	55%	15,1	11,4	
14	Ostendstraße	71	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	1	0,153	0,153	0,038	0,025	38%	35%	13,1	9,4	
14	Ostendstraße	71	60314	Frankfurt	Kinder	MI	7	2	0,330	0,330	0,081	0,053	81%	76%	17,0	13,3	
14	Ostendstraße	71	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	3	0,271	0,271	0,067	0,044	67%	63%	16,1	12,4	
15	Howaldtstraße	12	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	1	0,279	0,279	0,069	0,045	69%	64%	16,3	12,6	
15	Howaldtstraße	12	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	2	0,213	0,213	0,053	0,034	53%	49%	15,1	11,4	
15	Howaldtstraße	12	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	3	0,270	0,270	0,067	0,044	67%	62%	16,2	12,6	
16	Ostendstraße	78	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	1	0,294	0,294	0,073	0,047	73%	68%	16,8	13,1	
16	Ostendstraße	78	60314	Frankfurt	Kinder	MI	7	2	0,243	0,243	0,060	0,039	60%	56%	15,3	11,6	
16	Ostendstraße	78	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	3	0,203	0,203	0,050	0,033	50%	47%	14,2	10,6	
17	Ostendstraße	80	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	1	0,148	0,148	0,037	0,024	37%	34%	12,7	9,0	
17	Ostendstraße	80	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	2	0,264	0,264	0,065	0,043	65%	61%	16,6	12,9	
17	Ostendstraße	80	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	3	0,205	0,205	0,051	0,033	51%	47%	14,5	10,8	
18	Ostendstraße	82	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	1	0,269	0,269	0,066	0,043	66%	62%	15,7	12,1	
18	Ostendstraße	82	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	7	2	0,305	0,305	0,075	0,049	75%	70%	17,1	13,4	
18	Ostendstraße	82	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	3	0,275	0,275	0,068	0,044	68%	63%	15,7	12,0	

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\WEVA-Tunnel\IP-Tunnel-2.xls]B-I

		eingehalten		Prüfung durch A _r		nicht eingehalten										
U	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
19	Ostendstraße	84	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	9	1	0,222	0,222	0,055	0,036	55%	51%	15,4	11,8
19	Ostendstraße	84	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	9	2	0,174	0,174	0,043	0,028	43%	40%	13,2	9,6
19	Ostendstraße	84	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	9	3	0,308	0,308	0,076	0,050	76%	71%	16,5	12,9
20	Schichaustraße	11	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	10	1	0,284	0,284	0,070	0,046	70%	65%	16,3	12,6
20	Schichaustraße	11	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	10	2	0,188	0,188	0,046	0,030	46%	43%	14,8	11,2
20	Schichaustraße	11	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	10	3	0,226	0,226	0,056	0,037	56%	52%	15,2	11,5
21	Schichaustraße	13	60314	Frankfurt	Büro	MI	8	1	0,188	0,188	0,046	0,030	46%	43%	14,5	10,8
21	Schichaustraße	13	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	8	2	0,154	0,154	0,038	0,025	38%	35%	13,1	9,4
21	Schichaustraße	13	60314	Frankfurt	Büro	MI	8	3	0,424	0,424	0,105	0,068	105%	98%	18,6	14,9
22	Schichaustraße	15	60314	Frankfurt	Geschäft	MI	7	1	0,203	0,203	0,050	0,033	50%	47%	14,3	10,6
22	Schichaustraße	15	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	2	0,251	0,251	0,062	0,040	62%	58%	15,8	12,1
22	Schichaustraße	15	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	3	0,244	0,244	0,060	0,039	60%	56%	15,7	12,0
23	Ostbahnhofstraße	16	60314	Frankfurt	Seminar	MI	16	1	0,300	0,300	0,074	0,048	74%	69%	16,7	13,0
23	Ostbahnhofstraße	16	60314	Frankfurt	Büro	MI	16	2	0,295	0,295	0,073	0,048	73%	68%	16,6	12,9
23	Ostbahnhofstraße	16	60314	Frankfurt	Büro	MI	16	3	0,173	0,173	0,043	0,028	43%	40%	13,8	10,1
24	Danziger Straße	2	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	8	1	0,174	0,174	0,043	0,028	43%	40%	13,4	9,7
24	Danziger Straße	2	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	8	2	0,232	0,232	0,057	0,037	57%	53%	15,3	11,6
24	Danziger Straße	2	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	8	3	0,237	0,237	0,059	0,038	59%	55%	15,5	11,8
25	Grusonstraße	9	60314	Frankfurt	Gaststätte	MI	8	1	0,261	0,261	0,064	0,042	64%	60%	16,0	12,4
25	Grusonstraße	9	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	8	2	0,307	0,307	0,076	0,050	76%	71%	14,7	11,0
25	Grusonstraße	9	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	8	3	0,206	0,206	0,051	0,033	51%	48%	13,0	9,3

ANHANG 4.1

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\WEVA-Tunnel\IP-Tunnel-1-USM.xls]B-I

		eingehalten			Prüfung durch A _r				nicht eingehalten							
U	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	Hanauer Landstraße	17	60314	Frankfurt	Spielen	MI	5	1	0,153	0,153	0,038	0,025	38%	35%	9,2	5,6
1	Hanauer Landstraße	17	60314	Frankfurt	Praxis	MI	5	2	0,164	0,164	0,040	0,026	40%	38%	10,6	6,9
1	Hanauer Landstraße	17	60314	Frankfurt	Büro	MI	5	3	0,141	0,141	0,035	0,023	35%	33%	9,1	5,4
2	Theobald-Christ-Straße	2	60314	Frankfurt	Geschäft	MI	6	1	0,152	0,152	0,038	0,025	38%	35%	8,9	5,2
2	Theobald-Christ-Straße	2	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,150	0,150	0,037	0,024	37%	35%	7,5	3,8
2	Theobald-Christ-Straße	2	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	6	3	0,104	0,104	0,026	0,017	26%	24%	6,5	2,8
3	Hanauer Landstraße	30	60314	Frankfurt	Geschäft	MI	6	1	0,169	0,169	0,042	0,027	42%	39%	9,9	6,2
3	Hanauer Landstraße	30	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,193	0,193	0,048	0,031	48%	45%	8,2	4,5
3	Hanauer Landstraße	30	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,144	0,144	0,036	0,023	36%	33%	8,9	5,2
4	Hanauer Landstraße	32	60314	Frankfurt	Geschäft	MI	6	1	0,215	0,215	0,053	0,035	53%	50%	10,8	7,1
4	Hanauer Landstraße	32	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,113	0,113	0,028	0,018	28%	26%	8,3	4,6
4	Hanauer Landstraße	32	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,146	0,146	0,036	0,024	36%	34%	10,3	6,6
5	Rückertstraße	59	60314	Frankfurt	Geschäft	MI	6	1	0,135	0,135	0,033	0,022	33%	31%	9,5	5,8
5	Rückertstraße	59	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	6	2	0,112	0,112	0,028	0,018	28%	26%	8,6	4,9
5	Rückertstraße	59	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,129	0,129	0,032	0,021	32%	30%	10,5	6,8
6	Rückertstraße	50/52	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	1	0,126	0,126	0,031	0,020	31%	29%	9,4	5,7
6	Rückertstraße	50/52	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,125	0,125	0,031	0,020	31%	29%	9,0	5,3
6	Rückertstraße	50/52	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,136	0,136	0,034	0,022	34%	31%	9,6	5,9

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\WEVA-Tunnel\IP-Tunnel-1-USM.xls]B-I

		eingehalten			Prüfung durch A _r			nicht eingehalten								
U	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
7	Windeckstraße	39	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	1	0,113	0,113	0,028	0,018	28%	26%	7,3	3,6
7	Windeckstraße	39	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,106	0,106	0,026	0,017	26%	25%	7,2	3,5
7	Windeckstraße	39	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,139	0,139	0,034	0,022	34%	32%	7,4	3,7
8	Windeckstraße	37	60314	Frankfurt	Büro	MI	6	1	0,126	0,126	0,031	0,020	31%	29%	8,3	4,6
8	Windeckstraße	37	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,166	0,166	0,041	0,027	41%	38%	10,4	6,8
8	Windeckstraße	37	60314	Frankfurt	Kinderraum	MI	6	3	0,112	0,112	0,028	0,018	28%	26%	6,5	2,8
9	Windeckstraße	58/60	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	1	0,172	0,172	0,042	0,028	42%	40%	9,9	6,2
9	Windeckstraße	58/60	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	6	2	0,208	0,208	0,051	0,034	51%	48%	11,1	7,4
9	Windeckstraße	58/60	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	6	3	0,154	0,154	0,038	0,025	38%	35%	8,0	4,3
10	Windeckstraße	56	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	6	1	0,143	0,143	0,035	0,023	35%	33%	9,5	5,8
10	Windeckstraße	56	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	6	2	0,188	0,188	0,046	0,030	46%	43%	9,8	6,1
10	Windeckstraße	56	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,316	0,316	0,078	0,051	78%	73%	12,6	8,9
11	Ostendstraße	63	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	1	0,137	0,137	0,034	0,022	34%	32%	8,1	4,4
11	Ostendstraße	63	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,198	0,198	0,049	0,032	49%	46%	11,9	8,2
11	Ostendstraße	63	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,183	0,183	0,045	0,030	45%	42%	11,8	8,1
12	Ostendstraße	67	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	1	0,147	0,147	0,036	0,024	36%	34%	9,7	6,0
12	Ostendstraße	67	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	2	0,181	0,181	0,045	0,029	45%	42%	9,3	5,6
12	Ostendstraße	67	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	6	3	0,196	0,196	0,048	0,032	48%	45%	9,5	5,8

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\A-Tunnel\IP-Tunnel-1-USM.xls]B-I

		eingehalten			Prüfung durch A _r				nicht eingehalten							
U	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
13	Ostendstraße	69	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	7	1	0,137	0,137	0,034	0,022	34%	32%	9,2	5,5
13	Ostendstraße	69	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	7	2	0,135	0,135	0,033	0,022	33%	31%	6,9	3,2
13	Ostendstraße	69	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	7	3	0,151	0,151	0,037	0,024	37%	35%	8,4	4,7
14	Ostendstraße	71	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	1	0,134	0,134	0,033	0,022	33%	31%	6,2	2,5
14	Ostendstraße	71	60314	Frankfurt	Kinder	MI	7	2	0,149	0,149	0,037	0,024	37%	34%	10,0	6,3
14	Ostendstraße	71	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	3	0,160	0,160	0,039	0,026	39%	37%	9,0	5,3
15	Howaldtstraße	12	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	1	0,125	0,125	0,031	0,020	31%	29%	9,1	5,4
15	Howaldtstraße	12	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	2	0,102	0,102	0,025	0,017	25%	24%	7,8	4,1
15	Howaldtstraße	12	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	3	0,126	0,126	0,031	0,020	31%	29%	9,0	5,3
16	Ostendstraße	78	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	1	0,128	0,128	0,032	0,021	32%	30%	9,4	5,7
16	Ostendstraße	78	60314	Frankfurt	Kinder	MI	7	2	0,148	0,148	0,036	0,024	36%	34%	8,6	4,9
16	Ostendstraße	78	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	3	0,138	0,138	0,034	0,022	34%	32%	7,6	3,9
17	Ostendstraße	80	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	1	0,117	0,117	0,029	0,019	29%	27%	6,0	2,3
17	Ostendstraße	80	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	2	0,145	0,145	0,036	0,023	36%	34%	8,9	5,2
17	Ostendstraße	80	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	3	0,143	0,143	0,035	0,023	35%	33%	7,7	4,0
18	Ostendstraße	82	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	1	0,163	0,163	0,040	0,026	40%	38%	9,1	5,4
18	Ostendstraße	82	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	7	2	0,105	0,105	0,026	0,017	26%	24%	9,5	5,8
18	Ostendstraße	82	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	3	0,186	0,186	0,046	0,030	46%	43%	9,3	5,6

Erschütterungs-Prognose - Prognose-Planfall 2030

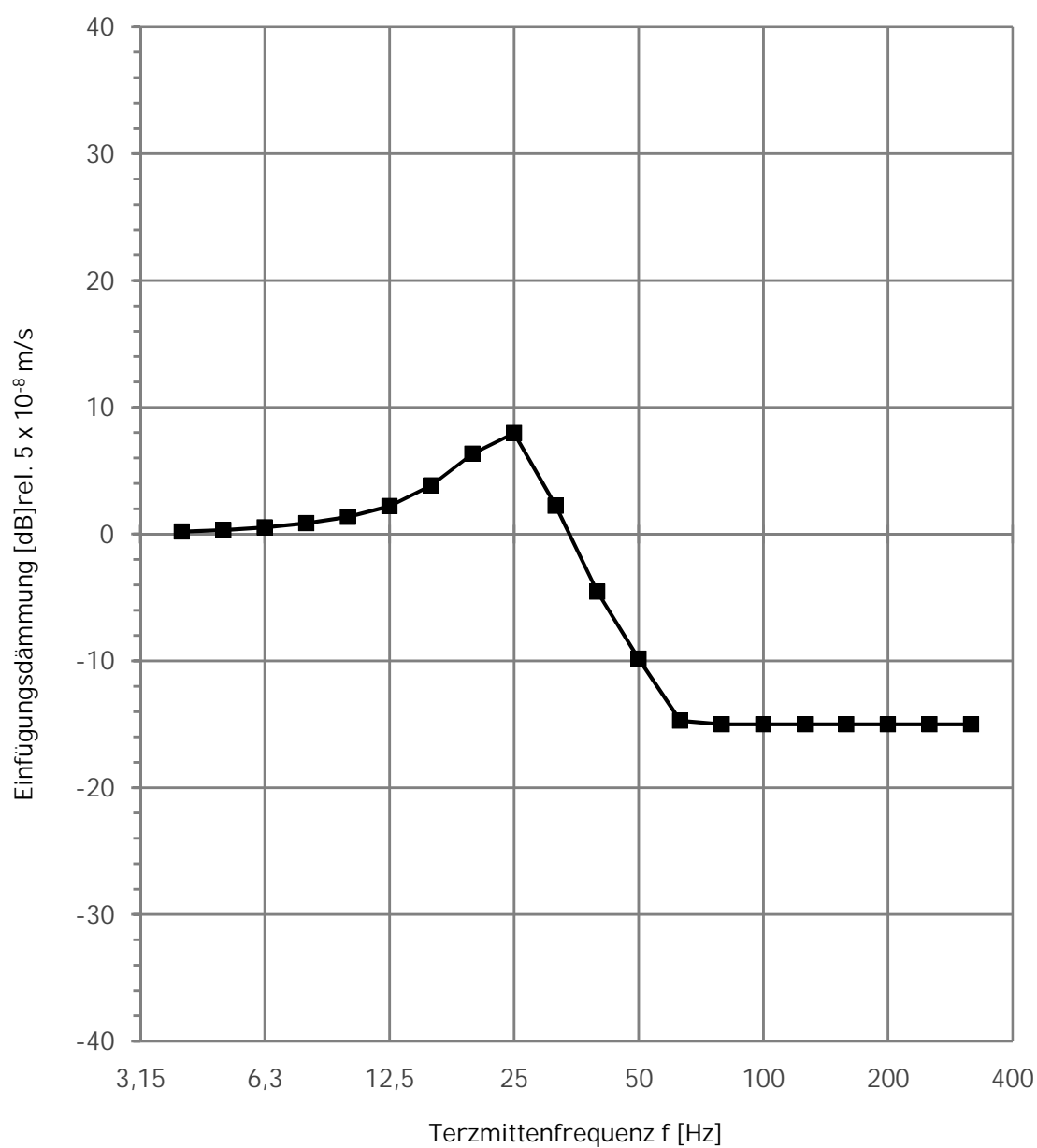
Beurteilung der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall

\\kuk\da\bauphysik\B_Projekte\2017\8007-VVS-NMS-PFA1-Frankfurt\C-Bearbeitung\190801_Gutachten_Bearbeitung\WEVA-Tunnel\IP-Tunnel-2-USM.xls]B-I

		eingehalten		Prüfung durch A _r		nicht eingehalten										
U	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
19	Ostendstraße	84	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	9	1	0,104	0,104	0,026	0,017	26%	24%	8,0	4,3
19	Ostendstraße	84	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	9	2	0,087	0,087	0,000	0,000	0%	0%	6,8	3,1
19	Ostendstraße	84	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	9	3	0,156	0,156	0,039	0,025	39%	36%	9,6	5,9
20	Schichaustraße	11	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	10	1	0,108	0,108	0,027	0,017	27%	25%	9,1	5,4
20	Schichaustraße	11	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	10	2	0,090	0,090	0,000	0,000	0%	0%	7,2	3,6
20	Schichaustraße	11	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	10	3	0,110	0,110	0,027	0,018	27%	25%	8,0	4,4
21	Schichaustraße	13	60314	Frankfurt	Büro	MI	8	1	0,094	0,094	0,000	0,000	0%	0%	7,1	3,4
21	Schichaustraße	13	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	8	2	0,140	0,140	0,035	0,023	35%	32%	6,4	2,7
21	Schichaustraße	13	60314	Frankfurt	Büro	MI	8	3	0,203	0,203	0,050	0,033	50%	47%	11,3	7,6
22	Schichaustraße	15	60314	Frankfurt	Geschäft	MI	7	1	0,139	0,139	0,034	0,022	34%	32%	7,6	3,9
22	Schichaustraße	15	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	2	0,150	0,150	0,037	0,024	37%	35%	8,7	5,0
22	Schichaustraße	15	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	7	3	0,145	0,145	0,036	0,023	36%	34%	8,5	4,8
23	Ostbahnhofstraße	16	60314	Frankfurt	Seminar	MI	16	1	0,133	0,133	0,033	0,021	33%	31%	9,5	5,8
23	Ostbahnhofstraße	16	60314	Frankfurt	Büro	MI	16	2	0,135	0,135	0,033	0,022	33%	31%	9,4	5,7
23	Ostbahnhofstraße	16	60314	Frankfurt	Büro	MI	16	3	0,100	0,100	0,025	0,016	25%	23%	6,7	3,0
24	Danziger Straße	2	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	8	1	0,121	0,121	0,030	0,020	30%	28%	6,8	3,1
24	Danziger Straße	2	60314	Frankfurt	Schlafen	MI	8	2	0,123	0,123	0,030	0,020	30%	28%	8,2	4,5
24	Danziger Straße	2	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	8	3	0,133	0,133	0,033	0,022	33%	31%	8,2	4,5
25	Grusonstraße	9	60314	Frankfurt	Gaststätte	MI	8	1	0,127	0,127	0,031	0,021	31%	29%	8,8	5,1
25	Grusonstraße	9	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	8	2	0,170	0,170	0,042	0,027	42%	39%	9,0	5,3
25	Grusonstraße	9	60314	Frankfurt	Wohnen	MI	8	3	0,136	0,136	0,034	0,022	34%	31%	7,4	3,7

Maßnahme: Unterschottermatte mittlerer Güte
Eigenfrequenz: 25 Hz
Dämpfung: 0,2
maximale Dämpfung: -15 dB

Schwingrichtung: vertikal (z)



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