Vorhaben:

Unterlage 17.1

Umgestaltung des Bahnknotens Stuttgart

Ausbau- und Neubaustrecke Stuttgart – Augsburg

Bereich Stuttgart-Wendlingen mit Flughafenanbindung

Planfeststellungsabschnitt 1.3, Filderbereich mit Flughafenanbindung

Teilabschnitt 1.3b, Gäubahnführung

Erläuterungsbericht

Erschütterungen - Betriebsphase

Nur zur Information

Vorhabenträger: DB Netz AG Großprojekte Südwest Schwarzwaldstraße 82 76137 Karlsruhe	Planänderungsverfahren 1. Planänderung Gem.§ 73 Abs. 8 des VwVfG
Vertreter des Vorhabenträgers: DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH I.GV (3) Räpplenstraße 17 70191 Stuttgart 30.11.2018 gez. i.V. Breidenstein ~~15.03.2017 gez. i.V. Breidenstein~~	Verfasser: **Ingenieurgemeinschaft Stuttgart 21 - PFA 1.3** OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, müller + hereth, SPIEKERMANN BERATENDE INGENIEURE Hasenbergstraße 31 70178 Stuttgart 26.11.2018 gez. i.V. G. Schneider ~~15.03.2017 gez. i.V. G. Schneider~~
Genehmigungsvermerk Eisenbahn-Bundesamt	

Planungsstand: ~~15.03.2017~~ 26.11.2018

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines 1a

1.1 Projektbeschreibung 1a

1.2 Aufgabenstellung 1a

2 Grundlagen 2

2.1 Was sind Erschütterungen und sekundärer Luftschall? 2

2.2 Wodurch entstehen Erschütterungen und sekundärer Luftschall? 2

2.3 Wie werden Erschütterungen und sekundärer Luftschall gemessen? 2

2.4 Wie werden Erschütterungen und sekundärer Luftschall ausgewertet? 3a

2.4.1 Emission 4
2.4.2 Transmission 4
2.4.3 Immission 4
2.4.4 Prognoseberechnung 4
2.4.5 Prognose-Nullfall 4
2.4.6 Prognose 5a

2.5 Wie werden Erschütterungen beurteilt? 5a

2.5.1 Die Beurteilungswerte KB_{Fmax}, KB_{FTm} und KB_{FTr} 6
2.5.2 Anhaltswerte 6
2.5.3 Berücksichtigung der Vorbelastung 7a
2.5.4 Einwirkungen auf bauliche Anlagen 8a

2.6 Wie wird sekundärer Luftschall beurteilt? 8a

2.7 Wie können die Immissionen vermindert werden? 10

2.7.1 Hochelastische Schienenbefestigung 10
2.7.2 Schwellenbesohlung 10
2.7.3 Trogbauwerk mit Unterschottermatte 10
2.7.4 Masse-Feder-System (MFS) 10
2.7.5 Maßnahmen am Ausbreitungsweg/ am Gebäude 11a

2.8 Auswahl der Schutzmaßnahmen 11a

3 Durchgeführte Schwingungsmessungen 12

3.1 Geräte 12

3.2 Erhebung von bahn- und gebäudespezifischen Angaben 12

3.3 Lage der Messpunkte und Dokumentation der Messdaten 12

4 Ergebnisse der Prognose 14a

4.1 Betriebsprognose 14a

4.2 Ermittlung des allgemeinen Betroffenheitskorridors 15a

4.2.1 Bereich Rohrer Kurve 15a
4.2.2 Bereich Oberaichen - Leinfelden - Echterdingen 15a
4.2.3 Bereich Station 3. Gleis am Flughafen Stuttgart 16a-2

4.3 Ergebnisse für die untersuchten Gebäude in Leinfelden-Echterdingen 17a

5 Abwägung erschütterungsmindernder Maßnahmen 19a

5.1 Bereich Oberaichen 19a

5.2 Bereich Leinfelden 19a-1

~~5.2~~5.3 Bereich Flughafen Stuttgart (Station 3. Gleis) 19a-1

~~5.3~~5.4 Planungsempfehlung für Erschütterungsschutzmaßnahmen 20a

6 Zusammenfassung 21a

Literaturverzeichnis 22a

Anhang:

Anhang 1: ~~Ergebnistabellen Erschütterungen und sekundärer Luftschall~~
Emissionstabelle: Angesetzte Körperschall-Emissionen in 8 m Entfernung zum Gleis je Messort
Tunnelemissionen für den Bereich Flughafen/Messe

Anhang 2: ~~gemessene KB_{Fmax} –Werte + energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsspektren je Messort, Raum und Zuggattung~~
Tabelle: Entfernungsbedingte Körperschall-Pegelabnahme im Boden (messtechnisch ermittelt)

Anhang 3: Gebäudeübertragungsfunktionen (messtechnisch ermittelt)

Anhang 4: Ergebnistabellen Erschütterungen und sekundärer Luftschall

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Zuordnung der Schwingstärke zur Wahrnehmung, VDI 2057 Blatt 3 (nur informativ) 6

Tabelle 2: Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2 für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbaren Räumen 7a

Tabelle 3: Kostenansätze für mögliche Schutzmaßnahmen 11a

Tabelle ~~34~~: Zugzahlen "Prognose-Nullfall 2025" 14a

Tabelle ~~45~~: ~~Zugzahlen "Prognose-Planfall 2025 (Übergangsszenario 2025)"~~
Zugzahlen „Szenario 3, Zielkonzept 2025“ 14a-1

Tabelle ~~56~~: Planungsempfehlung für Erschütterungsschutzmaßnahmen 20a

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Messaufbaus 3a
~~Abbildung 2: Einwirkungsbereich Keßlerwiesen und Dürrlewangweg / Rohrer Straße 102 .....16a~~

Unterlage 17.1.1: Übersichtslageplan, ~~Lage der Messpunkte~~ Betriebsphase Erschütterungen, Bereich Oberaichen – Leinfelden

Unterlage 17.1.2: Übersichtslageplan, Betriebsphase Erschütterungen, Bereich Leinfelden – Station 3. Gleis

Abkürzungsverzeichnis

A

A_O	Oberer Anhaltswert
A_r	Anhaltswert für Beurteilungsschwingstärke
A_U	Unterer Anhaltswert

B

BauNVO	Baunutzungsverordnung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung

C

D

dB(A)	Dezibel (A bewerteter Schallpegel)
dB	Dezibel
DB AG	Deutsche Bahn AG
DIN®	Verbandszeichen des Deutschen Instituts für Normung e.V.

E

EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EG	Erdgeschoss
ESM	Erschütterungsschutzmaßnahme
EU	Europäische Union
EWB	Einwirkbereiche Erschütterungen

F

FV	Fernverkehr

G

GZ	Güterzug

H

Hz	Hertz (Einheit der Frequenz)

I

ICE	InterCityExpress
IRE	Interregio-Express

J

K

KB	“KB-Wert”: bewertete Schwingstärke
KB_{Fmax}	maximale bewertete Schwingschnelle
KB_{Ftr}	Beurteilungs-Schwingstärke

L

ldB	links der Bahn
lg	Dekadischer Logarithmus (Basis 10)
L_r	Beurteilungspegel in dB(A)

$L_{i,r}$	Mittelungspegel des sekundären Luftschalls im Innenraum in dB(A)
$L_{v,Zug}$	Schwinggeschwindigkeitspegel pro Zuggattung
M	
M	Maßstab
N	
O	
OG	Obergeschoss
OK	Oberkante
P	
PFA	Planfeststellungsabschnitt
PFG	Planfeststellungsgrenze
Q	
R	
rdB	rechts der Bahn
RV	Regionalverkehr
S	
SO	Schienenoberkante
T	
T€	Tausend Euro
TÖB	Träger öffentlicher Belange
U	
UG	Untergeschoss
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
V	
v	Geschwindigkeit
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
$v_{e,v}$	(Entwurfs-) Geschwindigkeit
v_{max}	Maximale Geschwindigkeit
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz
W	
WE	Wohneinheit
X	
Y	
Z	

1 Allgemeines

1.1 Projektbeschreibung

Der Planfeststellungsabschnitt (PFA) 1.3b umfasst die Anbindung der Gäubahn Stuttgart – Horb über den Flughafen Stuttgart an die NBS Stuttgart – Ulm.

Im Einzelnen gliedert sich der PFA 1.3b in folgende Bestandteile:

- Rohrer Kurve
- Anpassungsmaßnahmen an der Bestandsstrecke 4861 zwischen Stuttgart Rohr und Flughafen
- Errichtung einer neuen Fernbahnstation am Flughafen parallel zur bestehenden S-Bahn-Station („Station 3. Gleis“)
- Flughafenkurve

Der Neubau der Rohrer Kurve als Verbindung zwischen den Strecken 4860 Stuttgart – Horb und 4861 Stuttgart – Filderstadt ermöglicht die direkte Fahrbeziehung zwischen Böblingen und dem Flughafen über die für den Fernverkehr angepasste Strecke 4861. Durch die neue Fernbahnstation am Flughafen wird dieser direkt an den Bahnverkehr im Süden Stuttgarts angeschlossen.

Der vorliegende Bericht enthält eine Erschütterungstechnische Untersuchung für den PFA 1.3b in der Betriebsphase unter Berücksichtigung der Zugzahlen für das Szenario 3, Zielkonzept 2025 (RV) mit BVWP (FV) vom 19.12.2017.

1.2 Aufgabenstellung

Im Zuge der vorliegenden Untersuchung soll geklärt werden, welche erschütterungstechnische Situation entlang der Strecke herrscht und wie sich die zu erwartende Belegung mit zusätzlichen Zügen des Personenfern- und -regionalverkehrs in der angrenzenden Bebauung im Bereich Leinfelden – Echterdingen voraussichtlich auswirken wird. Des Weiteren sind die erschütterungstechnischen Auswirkungen des 3. Neubaugleises im Bereich der Haltestelle ~~des~~ am Flughafen Stuttgart~~s~~ zu prüfen. Der Untersuchungsabschnitt Rohrer Kurve - (Oberaichen) – Leinfelden – Echterdingen - Flughafen Stuttgart erstreckt sich von ca. km 17.2 – km 24.9 der Strecke 4861. Für die Prognoseberechnung werden die unterschiedlichen Betriebsprogramme des Prognose-Nullfalls und des Prognose-Planfalls berücksichtigt.

Zu der erschütterungstechnischen Detailuntersuchung zählen:

- die Durchführung von Messungen der Emissionen
- die Durchführung von Ausbreitungsmessungen
- die Durchführung der Erschütterungsprognose auf Grundlage der Messdaten
- die Durchführung der Prognose für den sekundären Luftschall
- Beurteilung der Immissionen nach anerkannten Regelwerk

Falls sich erweist, dass die Erschütterungsimmissionen die Beurteilungskriterien anerkannter Regelwerke überschreiten, sollen geeignete Maßnahmen zum Erschütterungsschutz geprüft werden. Dies erfolgt dadurch, dass die Erschütterungssituation anhand von Messdaten ermittelt bzw. prognostiziert wird. Gegebenenfalls sind zur Einhaltung von Beurteilungskriterien geeignete Maßnahmen vorzuschlagen.

2 Grundlagen

2.1 Was sind Erschütterungen und sekundärer Luftschall?

Erschütterungsimmissionen bestehen aus - fühlbaren - mechanischen Schwingungen (Vibrationen, Erschütterungen), und - hörbarem - sekundärem Luftschall, der durch die Schallabstrahlung schwingender Raumbegrenzungsflächen entsteht. Die physikalische Größe, die zur Beschreibung der Erschütterungseinwirkungen überwiegend verwendet wird, ist die Schwinggeschwindigkeit (oder Körperschall-Schnelle), die i.d.R. als Pegel (dB, bezogen auf $5x10^{-5}$ mm/s) angegeben wird. Sie ist in Festkörpern (Erdboden, Bausubstanz) stark frequenzabhängig und muss daher spektral betrachtet werden.

2.2 Wodurch entstehen Erschütterungen und sekundärer Luftschall?

Bei einer Zugvorbeifahrt entstehen dynamische Kräfte, die über das Gleis auf den Untergrund einwirken. Hiervon gehen Erschütterungen aus, die sich über den Baugrund ausbreiten und mit zunehmendem Abstand vermindern. Benachbarte Bauwerke werden von den Erschütterungen am Fundament erfasst und ebenfalls zu Schwingungen angeregt, die sich innerhalb der Gebäude aufgrund deren Eigendynamik verstärken oder abschwächen können. Diese Erschütterungen können von Menschen wahrgenommen werden, wenn sie eine bestimmte „Fühlbarkeitsschwelle“ überschreiten. Man unterscheidet die drei folgenden Teilbereiche:

1. Emission
2. Transmission
3. Immission.

Neben Erschütterungen können die in die Gebäude eingetragenen Schwingungen auch sogenannten „sekundären Luftschall“ hervorrufen. Hierunter versteht man den durch die Schwingungsanregung von Umfassungsbauteilen (Wände, Wohnungsdecken) abgestrahlten Schallanteil innerhalb von Räumen. Dieser kann u. U. als tieffrequentes Geräusch wahrgenommen werden. Sekundärer Luftschall ist vor allem in Räumen wahrzunehmen, die gegenüber dem von außen einwirkenden Luftschall (Primärschall) abgeschirmt sind.

2.3 Wie werden Erschütterungen und sekundärer Luftschall gemessen?

Schwingungsmessungen werden auf der Grundlage der DIN 45669 „Messungen von Schwingungsimmissionen“ [15] durchgeführt. Die Schwingungsaufnehmer werden dazu geeignet aufgestellt, um die Schwingungen korrekt zu erfassen. Im Erdreich werden dazu Messspieße eingesetzt, auf Gebäudedecken lagesichere Aufstellplatten benutzt, im Bereich des Kellers wird meist ein triaxialer Messpunkt installiert.

Als Messgeräte werden Geräte der Genauigkeitsklasse 1 oder 2 nach DIN 45669 [14] verwendet, mit denen der Schwingungs-Zeitverlauf in ausreichender Auflösung erfasst werden kann. Die Messkette jeder Messung wird detailliert dokumentiert.

Die folgende Abbildung 1 zeigt einen typischen Messaufbau mit geeigneten Messpunkten.

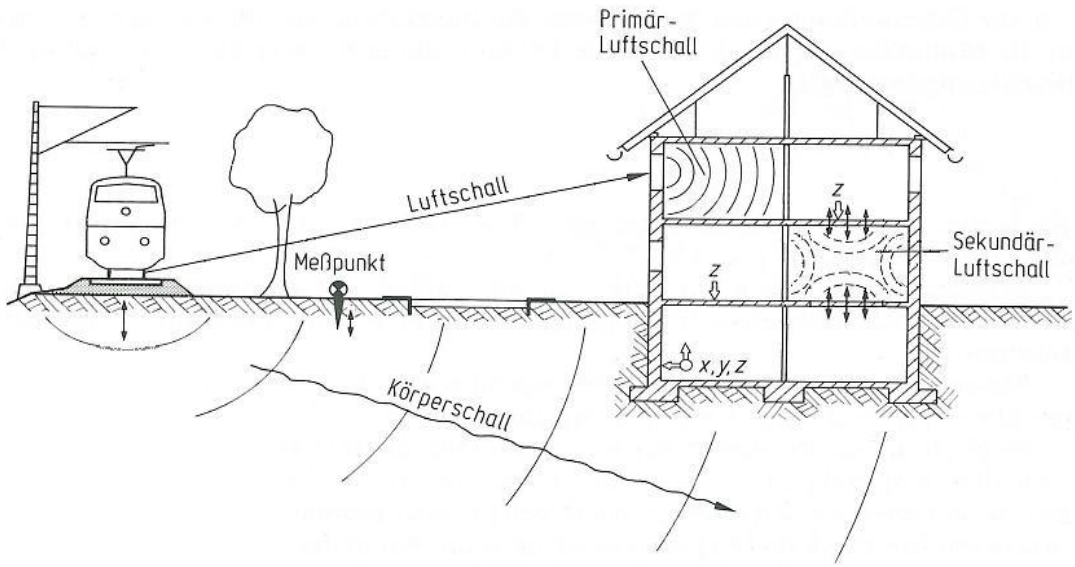


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Messaufbaus

Die Qualitätssicherung der Messung ist gewährleistet durch:

- Geräte mit gültiger Kalibrierung
- Sensoren mit gültiger Kalibrierung
- Funktionsprüfung vor Ort vor jeder Messung durch „Abklopfen“ der Sensoren
- Onlinebeobachtung des Zeitverlaufes und der Terzspektren
- Plausibilitätskontrollen in der Dokumentation und der Auswertung

Der sekundäre Luftschall kann bei oberirdischem Verkehr nicht auf direktem Wege über Schallmessungen gemessen werden, da das Umgebungsgeräusch meist dominant ist. Als geeignetes und abgesichertes Verfahren wird der sekundäre Luftschall über die gemessenen Erschütterungspegel am Immissionsort ermittelt [5], [9].

Die Messungen erfolgen getrennt für jede Zugvorbeifahrt. Je Zugtyp und Gleis werden mindestens 5 Vorbeifahrten gemessen. In der vorliegenden Untersuchung wurden in Regel sogar mehr als 8 Vorbeifahrten pro Gleis aufgezeichnet.

2.4 Wie werden Erschütterungen und sekundärer Luftschall ausgewertet?

Zunächst liegt für jede Zugvorbeifahrt an jedem Messpunkt ein gemäß DIN 45669-1 bandpassgefiltertes Zeitsignal der Schwingungen vor. Aus den Zeitsignalen werden Terzschnellespektren nach dem Verfahren „Peak-Hold, Fast“ und „$L_{v,eq}$, Fast“ ausgewertet. Das bedeutet, dass für jede Zugvorbeifahrt der Maximalwert des „fast“-bewerteten gleitenden Effektivwertes sowie der Mittelungspegel in jeder Terz berechnet wird. ~~Das~~Die so ermittelten Terzschnelle~~spektrum~~spektren ~~ist~~ sind die Grundlage für das weiter unten erläuterte genaue spektrale Prognoseverfahren für die Erschütterungen und den sekundären Luftschall.

Terzschnellespektren werden in der Einheit [mm/s] oder [dB] ref. $5 \cdot 10^{-5}$ mm/s angegeben. Verstärkungen oder Abminderungen werden entweder als Faktoren dimensionslos [-] oder als Differenzpegel in [dB] angegeben.

2.4.1 Emission

An den ausgewählten Emissionspunkten werden die Terzschnellespektren für jede Zuggattung und jedes Gleis getrennt ermittelt. Die Geschwindigkeiten der Zugvorbeifahrten wurden jeweils mit Hilfe einer Radarpistole erfasst. Für jede Zuggattung und jedes Gleis wird das energetisch gemittelte Spektrum an den Emissionspunkten berechnet.

2.4.2 Transmission

Das Ausbreitungsverhalten der Schwingungen vom Emissions- zum Immissionspunkt wird auf der Basis der ausgewerteten Terzschnellespektren berechnet. Der Ausbreitungsexponent wird terzweise ermittelt, sodass bei der Prognoseberechnung der sich ggf. ändernde Gleisabstand terzweise präzise berücksichtigt wird.

2.4.3 Immission

Am Immissionsort werden die gebäudespezifischen Übertragungsfunktionen gemessen und arithmetisch gemittelt. Änderungen, die nach der Messung am Immissionsort stattfinden, können naturgemäß nicht berücksichtigt werden.

2.4.4 Prognoseberechnung

Die Prognose der Erschütterungen erfolgt grundsätzlich gemäß folgender Gleichung:

$$L_{v\text{-}Raum}(f)=L_E(f)+\Delta L_B(f)+\Delta L_G(f)+\Delta L_M(f)$$

mit:

L_v-Raum(f):	Terzschnellespektrum am betrachteten Immissionsort
$L_E(f)$:	Terzschnellespektrum der Erschütterungen am Emissionsort
$\Delta L_B(f)$:	baugrund- und abstandsbedingte Erschütterungsabnahme (Transmissionsweg)
$\Delta L_G(f)$:	Gebäudespezifische Übertragungsfunktion am Immissionsort
$\Delta L_M(f)$:	Summe der Einfügedämmung schwingungsmindernder Maßnahmen (nicht bei Prognose 0-Fall)

Die Prognoseformel entspricht auch den Empfehlungen der Richtlinie VDI 3837 [13].

Aus den Terzschnellespektren am Immissionsort werden die Beurteilungswerte gemäß DIN 4150 sowie die des sekundären Luftschalls berechnet. Die Berechnung wird in Kapitel 0 bzw. 0 erläutert.

2.4.5 Prognose-Nullfall

Schwingungsmessungen werden über einen begrenzten Zeitraum durchgeführt und erfassen nur einen Teil der über einen ganzen Tag vorkommenden Vorbeifahrten. Während durch die Messungen die mittleren Emissionen des entsprechenden Zugtyps (in diesem Fall ausschließlich S-Bahnen) bestimmt werden, wird deren Anzahl im Beurteilungszeitraum (Tag bzw. Nacht) rechnerisch berücksichtigt. Die Anzahl der Zugvorbeifahrten wird dem gültigen Betriebsprogramm für den Prognose-Nullfall

entnommen. „Prognose-Nullfall“ bezeichnet den Betriebsfall, der sich – durch die allgemeine Verkehrsentwicklung – in der Zukunft ohnehin ergeben wird. Im vorliegenden Fall wird also der langfristig zu erwartende reine S-Bahn-Betrieb ohne das Hinzukommen von Fern- oder Regionalzügen betrachtet.

Geringere Zugzahlen während des Messzeitraums werden so in ihrer Häufigkeit korrigiert und wirken sich nicht immissionsmindernd aus. Das gleiche gilt für eventuell verminderte Zuggeschwindigkeiten während der Messungen. Das energetisch gemittelte Spektrum wird einer Geschwindigkeitskorrektur (für $v/v_0<1{,}33$) gemäß folgender Gleichung unterzogen:

$$\Delta_v = 20 \lg v/v_0$$

mit: v: Geschwindigkeit gemäß Betriebsprogramm für den Prognose-Nullfall

v_0: arithmetisch gemittelte gemessene Zuggeschwindigkeit

2.4.6 Prognose

Die Prognose erfolgt nach den gleichen Rechenvorschriften. Zusätzlich werden im vorliegenden Fall die zusätzlichen Zugtypen (FV und ~~RE~~ RV) der Prognoseberechnung zugrunde gelegt. Entsprechende Ausgangsdaten zur Bildung der Emissionsspektren wurden aus Messquerschnitten berechnet, auf denen sowohl S-Bahnen als auch FV und RV verkehren (unter anderem an der Strecke 4860, südwestlich der Rohrer Kurve). Die Spektren wurden bezüglich des Abstands und der Geschwindigkeiten korrigiert und daraus wurden entsprechende Differenzspektren („S-Bahn – Fernverkehr“ und „S-Bahn – Regionalverkehr“) errechnet. Diese Differenzspektren geben an, wie sich die Zugarten FV (Fernverkehr) und RV (Regionalverkehr) in den Frequenzbändern von den Emissionsspektren der S-Bahn unterscheiden. Sie wurden auf die an den Messquerschnitten gemessenen energetisch gemittelten S-Bahn Emissionsspektren addiert, um so Emissionsspektren für die weiteren Zuggattungen zu bilden.

2.5 Wie werden Erschütterungen beurteilt?

Es existieren zurzeit keine gesetzlichen Regelungen zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen aus Schienenverkehrswegen. Art und Grad der individuellen Beeinträchtigung durch Erschütterungen hängen vom Ausmaß der Erschütterungsbelastung und verschiedenster situativer Faktoren ab.

Beispielhaft seien genannt:

- Stärke der Schwingungen (Schwingstärke, KB-Wert),
- Einwirkungsdauer,
- Häufigkeit des Auftretens,
- Art der Erschütterungsquelle (Sichtkontakt, Hörkontakt,...),
- Wohlbefinden der Personen,
- Grad der Gewöhnung.

Die in der Norm DIN 4150 festgelegten Beurteilungsverfahren haben den Zweck, die oben genannten Einflüsse bestmöglich zu berücksichtigen. Im vorliegenden Fall er-

folgt die Beurteilung der Erschütterungen gemäß dem Teil 2 dieser Norm: „Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, DIN 4150 Teil 2, Ausgabe 1999 [3].

2.5.1 Die Beurteilungswerte KB_{Fmax}, KB_{FTm} und KB_{FTr}

Bei dem KB-Wert gemäß DIN 4150 Teil 2 (eigentlich präzise: $KB_F(t)$) handelt es sich um eine der menschlichen Wahrnehmung angepasste Größe für die Erschütterungen. Bei der Beurteilung der Erschütterungen wird sowohl die bauliche Nutzung der Umgebung, als auch die Tageszeit berücksichtigt. Die Norm berücksichtigt damit, dass bei gleicher Erschütterungsintensität der Grad der Belästigung z.B. in Wohngebieten oder Krankenhäusern höher eingeschätzt wird als in Gewerbe- oder Industriegebieten. Die Norm unterscheidet folgende wesentliche Beurteilungsgrößen:

KB_{Fmax}.: Maximalwert von $KB_F(t)$ während des Beurteilungszeitraumes

KB_{FTr} : Aus den energetisch gemittelten Taktmaximalpegeln (KB_{FTm}) der einzelnen Zuggattungen und Gleise über den jeweiligen Beurteilungszeitraum (Tag / Nacht) durch energetische Addition berechnete Gesamtbeurteilungsschwingstärke

Zur Veranschaulichung der KB_{Fmax}-Werte im Zusammenhang mit der subjektiven Wahrnehmung kann die Tabelle 1 der VDI-Richtlinie 2057, „Einwirkungen mechanischer Schwingungen auf den Menschen“ Blatt 3 [10], herangezogen werden (Tab. 1)

Bewertete Schwingstärke KB	Beschreibung der Wahrnehmung
<0,1	nicht spürbar
0,1	Fühlschwelle
0,1 - 0,4	gerade spürbar
0,4 – 1,6	gut spürbar
1,6 - 6,3	stark spürbar
6,3 – 100	sehr stark spürbar

Tabelle 1: Zuordnung der Schwingstärke zur Wahrnehmung, VDI 2057 Blatt 3 (nur informativ)

Die VDI 2057, Blatt 3 vom Mai 1987 wurde im September 2002 zurückgezogen. Der in dieser Tabelle beschriebene Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und der subjektiven Wahrnehmung von Erschütterungseinwirkungen entspricht aber weiterhin dem allgemeinen Kenntnisstand.

2.5.2 Anhaltswerte

In Absatz 6.5 der DIN 4150, Teil 2 werden Regelungen für unterschiedliche Erschütterungsverursacher getroffen, in Abs. 6.5.3 wird die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen durch Schienenverkehr beschrieben. Die oberen Anhaltswerte A_o erhalten beim Schienenverkehr eine andere Bedeutung, siehe Abs. 6.5.3.1 - 6.5.3.4 der DIN. In Abs. 6.5.3.1 der DIN wird im letzten Punkt gezielt auf Abs. 6.5.3.5 hingewiesen. Diesem ist zu entnehmen, dass der obere Anhaltswert <u>nicht</u> die Bedeutung hat, dass bei dessen seltener Überschreitung (darin ist ein Verweis auf Abs. 6.5.1 zu sehen) die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Im Schienenverkehr (oberirdische Strecken) tritt damit de facto an Stelle des oberen Anhaltswertes der Tabelle 1 der DIN gebietsunabhängig der Wert A_o= 0,6. Dass dies entsprechend zu verstehen ist, wird durch den letzten Satz des Abs. 6.5.3.5 untermauert: „Diese hohen

Werte sind bei der Berechnung von KB_{FTr} zu berücksichtigen“. Wären z.B. durch Überschreitung des A_o nach Tabelle 1 der Norm deren Anforderungen bereits nicht mehr eingehalten, müsste eine Berechnung von KB_{FTr} zur Beurteilung anhand des A_r nicht mehr erfolgen (s. DIN 4150 Teil 2, Bild 2: Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren ~~der DIN 4150 Teil 2~~).

Tatsächlich spielt der A_o bei der Beurteilung prognostizierter Erschütterungsimmissionen aus Schienenverkehr keine praktische Rolle: wenn der Wert von 0,6 (Kap.6.5.3.5 der DIN 4150-2) mehr als nur gelegentlich überschritten wird (z.B. regelmäßig bei einer bestimmten Zuggattung), dann wäre auch A_r überschritten. Daher ist es sachgerecht, die Beurteilung anhand der Anhaltswerte A_u und A_r durchzuführen.

Nach der DIN 4150, Teil 2, gelten demnach folgende Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen durch neu zu errichtende Fern- und S-Bahnstrecken:

Einwirkungsort	**Tags**		**Nachts**	
	A_u	A_r	A_u	A_r
Industriegebiete	0,4	0,2	0,3	0,15
Gewerbegebiete	0,3	0,15	0,2	0,1
Kern-, Misch-, Dorfgebiete	0,2	0,1	0,15	0,07
reine und allgemeine Wohngebiete	0,15	0,07	0,1	0,05
Sondergebiete (besonders schutzbedürftig)	0,1	0,05	0,1	0,05

Tabelle 2: Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2 für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbaren Räumen

Nach Absatz 6.5.3.1 sind Einwirkungen in Ruhezeiten nicht zusätzlich zu gewichten. Nach Absatz 6.5.3.4 a) gelten die Anhaltswerte für neu zu bauende Strecken, was im vorliegenden Fall nicht zutrifft.

2.5.3 Berücksichtigung der Vorbelastung

Für bestehende Schienenwege gibt die DIN 4150-2 unter Absatz 6.5.3.4 c) an, dass die Anhaltswerte nach Tabelle 1 vielerorts überschritten werden und nennt zur Beurteilung verschiedene, nicht quantifizierbare Kriterien.

Gemäß der ständigen Rechtsprechung müssen sich im Zuge eines Streckenausbaus ~~von höheren Erschütterungsimmissionen~~ Betroffene Vorbelastungen „schutzmindernd" zurechnen lassen. Demnach können Betroffene lediglich verlangen, dass durch das Hinzutreten neuer Erschütterungsimmissionen infolge von Ausbaumaßnahmen die Vorbelastungen nicht wesentlich erhöht werden. Es besteht kein Anspruch auf Verbesserung der Erschütterungsimmissionssituation. Bis zum Erreichen der Kriterien für neu zu bauende Strecken ist jede Erhöhung zulässig. Als Größenordnung, ab der eine Erhöhung von Erschütterungsimmissionen als wesentlich gilt, wird ein Unterschied von 25 % gegenüber der Vorbelastung gewertet. Diese Schwelle basiert auf Laborstudien und wurde von Verwaltungsgerichten in verschiedenen Verfahren akzeptiert.

Die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen wird im vorliegenden Fall anhand folgender Kriterien durchgeführt:

- *Ist $KB_{Fmax} < A_u$, sind keine weiteren Betrachtungen erforderlich. Die Anforderungen der DIN4150 Teil 2 sind eingehalten.*
- *Ist $KB_{Fmax} > A_u$ und $KB_{FTr} < A_r$, dann sind die erschütterungstechnischen Anforderungen ebenfalls eingehalten.*
- *Ist $KB_{FTr} > A_r$, und beträgt die Erhöhung der Erschütterungsimmissionen der KB_{FTr} - Werte im Prognose-Fall < 25 % gegenüber der Belastung im Prognose-Nullfall dann liegt keine wesentliche Erhöhung vor und die Anforderungen sind eingehalten*
- *Ist $KB_{FTr} > A_r$, und erhöht der KB_{FTr} sich im Prognose-Fall um mehr als 25 % gegenüber der Belastung im Prognose-Nullfall, dann liegt eine spürbare Erhöhung vor.*

Die oben beschriebene Beurteilung der Erschütterungsimmissionen entspricht der EBA Verfügung zum Umgang mit betriebsbedingten Erschütterungen in der Planfeststellung vom 30.01.2017 [19].

2.5.4 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Die DIN 4150, "Erschütterungen im Bauwesen", Teil 3, vom Dez. 2016 [4] nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung keine Gebäudeschäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes zu erwarten sind. Diese Anhaltswerte liegen um ein Vielfaches höher als die Anhaltswerte bei Einwirkung auf Menschen in Gebäuden. Im Allgemeinen sind aus dem Schienenverkehr keine Überschreitungen im Sinne dieser Norm zu erwarten. Das bedeutet, dass im vorliegenden Fall keinerlei Bauschäden aufgrund von betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen befürchtet werden müssen.

2.6 Wie wird sekundärer Luftschall beurteilt?

Durch Körperschallübertragung bzw. -anregung der Raumbegrenzungsflächen kann in Gebäuden sogenannter „sekundärer Luftschall" entstehen und einen u.U. nicht zu vernachlässigenden Anteil am gesamten Innenraumpegel hervorrufen. Dieser Effekt kann vor allem dort zu Belästigungen führen, wo der primäre Luftschall (Direktschall), der durch die Außenhaut des Gebäudes nach innen dringt, eine geringe Rolle spielt. Das kann vor allem zutreffen bei von der Bahntrasse abgewandten, gut schallgedämmten Räumen und dort, wo umfangreiche Lärmvorsorge getroffen wird.

Die messtechnische Ermittlung des sekundären Luftschalls ist derzeit nicht eindeutig geregelt und nur bei unterirdischen Strecken mit vertretbarem Aufwand durchführbar. Das Prognoseverfahren beruht auf den (spektralen) Körperschallschnelle-Pegeln, welche physikalisch mit dem Abstrahlgrad der Raumbegrenzungsflächen verbunden sind.

Die Ermittlung des Abstrahlverhaltens Körperschall-Luftschall in den betroffenen Gebäuden (von der Bausubstanz abhängig) ist nur mit hohem Aufwand möglich. Es hat sich eine Vorgehensweise entwickelt und bewährt, den Zusammenhang zwischen dem Körperschall- Schnellepegel in Fußbodenmitte und dem im Raum entstehenden sekundären Luftschallpegel bzw. Gesamtinnenschallpegel durch Korrelationsbetrachtungen aus messtechnisch ermittelten und statistisch verwerteten Beziehungen zu bestimmen.

Die Vorgehensweise ist in der DB-Richtlinie 800.2050 „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ ~~der DB AG “Körperschall und Erschütterungsschutz“~~; [5] beschrieben. In Abhängigkeit von der Bauweise der Gebäu-

de (Betondecken oder Holzbalkendecken) und vom Schienenverkehrstyp (Fernverkehr, i.d.R. lokbespannt und S-Bahn-Verkehr, i.d.R. Triebwagen/Drehgestellantrieb) werden aus den prognostizierten oder gemessenen spektralen Körperschallschnelle-Pegeln am Fußboden sekundäre Luftschall- Pegel (mittlere Pegel über die Vorbeifahrzeit, als Maximalpegel zu verstehen) ermittelt. Die Beurteilungspegel L_i werden daraus über die Einwirkungsdauer (Vorbeifahrzeiten) im Beurteilungszeitraum bestimmt. Dabei werden auch die in der Betriebsprognose angegebenen unterschiedlichen Zuglängen berücksichtigt.

Zur Beurteilung des sekundären Luftschalls aus Schienenverkehr fehlen gesetzliche Regeln und Grenzwerte. Im Vergleich zum üblichen Verkehrslärm handelt es sich bei dem sekundären Luftschall um ein Geräusch, das von allen Raumbegrenzungsflächen abgestrahlt wird, nicht richtungsorientiert hörbar ist und sich mit dem vorhandenen Grundgeräusch (Ruhegeräuschpegel) überdeckt, d.h. nur in den tiefen Frequenzen z.T. dazu beiträgt.

Bis zur Festlegung gesetzlich verbindlicher Grenzwerte kommt als Anhaltspunkt für die Beurteilung des sekundären Luftschalls die 24. BImSchV [12] in Betracht, welche sich in ihrer Gültigkeit auf von Verkehrsgeräuschen verursachte Innengeräuschpegel bezieht. Eine Aussage über Immissionen, die durch Körperschallimmissionen in Gebäuden hervorgerufen werden, macht nur die TA Lärm [16], welche jedoch ausdrücklich nur für gewerbliche Anlagen verbindlich ist.

In der 24. BImSchV wird der Mittelungspegel bewertet. Da diese ein für die Beurteilung von Verkehrslärm in Innenräumen geschaffenes Regelwerk ist, wird sie hier - in Übereinstimmung mit der Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichts [6][18] - als geeignete Beurteilungsgrundlage angesehen.

Die 24. BImSchV macht Angaben über das erforderliche Schalldämmmaß der Außenbauteile in Abhängigkeit vom Außenpegel (Direktschall). In diesem Regelwerk werden zur Bestimmung von Fenster-Schallschutzklassen (aus dem Fenster-Schalldämm-Maß $R'_{w,res}$) zum Schutz vor Außenlärm (Direktschall) „Korrektursummanden“ *D* angegeben.

Aus dem Vergleich mit der allgemeinen Formel für das bewertete Schalldämm-Maß (Gleichung (5)) in der VDI 2719 ergibt sich, dass der Korrektursummand *D* als der um 3 dB(A) reduzierte, höchstzulässige Innengeräuschpegel (A-bewertete Mittelungspegel) gemäß den angegebenen Raumnutzungen für schutzbedürftige Aufenthaltsräume zu interpretieren ist.

Demnach betragen die höchstzulässigen Innengeräusch- Mittelungspegel über die Beurteilungszeiten Tag: 6 – 22 Uhr, Nacht: 22 – 6 Uhr:

in Wohnräumen	40 dB(A) am Tag
in Schlafräumen	30 dB(A) in der Nacht

Die 24. BImSchV legt die nach der Verkehrslärmschutzverordnung bestimmten Beurteilungspegel zu Grunde. ~~Der dabei bisher - in Einklang mit der herrschenden Rechtsprechung [6][18] - in Ansatz gebrachte Pegelabschlag in Höhe von 5 dB(A) wird im vorliegenden Fall zugunsten der Betroffenen nicht angewendet.~~

Auch für den sekundären Luftschall gilt: Bei Änderungen an bestehenden Verkehrsanlagen ist eine vorhandene Belastung schutzmindernd anzurechnen. Bei Überschreitungen der aus der 24. BImSchV abgeleiteten Innenraumpegel ist daher zu überprüfen, ob es zu einer erheblichen Verschlechterung gegenüber dem Prognose-Nullfall kommt. Wie bei Luftschallimmissionen allgemein üblich, ist hierbei eine Pegelerhöhung ab 3 dB(A) (aufgrund des im Immissionsschutz üblichen Rundungsverfahrens in der Praxis bereits ab 2,1 dB) als deutliche Erhöhung anzusehen (s. auch [5]).

Die oben beschriebene Beurteilung des sekundären Luftschalls entspricht der EBA Verfügung zum Umgang mit sekundärem Luftschall in der Planfeststellung vom 30.01.2017 [19].

Zusätzlich zu den Mittelungspegeln werden die im Zuge der Prognose ermittelten mittleren Maximalpegel in der Ergebnistabelle angegeben.

2.7 Wie können die Immissionen vermindert werden?

Die Maßnahmen zur Reduzierung von Erschütterungen sind begrenzt. Es kommen nur in der Praxis erprobte und dauerhaft wirksame Maßnahmen in Frage. Entsprechend dem aktuellen Stand der Technik existieren die im folgenden beschriebenen Möglichkeiten.

2.7.1 Hochelastische Schienenbefestigung

Bei dieser Schutzmaßnahme werden zwischen Schwelle und Rippenplatte elastische Zwischenplatten eingebaut. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme auf der freien Strecke mit Schotteroberbau ist sehr begrenzt.

2.7.2 Schwellenbesohlung

Bei dieser Maßnahme werden Elastomermaterialien unterhalb der Betonschwellen angeordnet und dann im herkömmlichen Schotterbett verlegt. Bei dieser Lösung ist im Einzelfall zu prüfen, ob eine gute körperschalldämmende Wirkung zu erwarten ist.

2.7.3 Trogbauwerk mit Unterschottermatte

Unterschottermatten (USM) werden vollflächig zwischen dem Schotterbett und einem Trogbauwerk verlegt. Gegenüber einer Schienenstrecke, die unmittelbar auf einem Bahndamm verlegt wird, ergeben sich Pegelminderungen über einem breiten Frequenzbereich.

2.7.4 Masse-Feder-System (MFS)

Der Einsatz von Masse Feder Systemen führt zu den größten Schwingungsminderungen. Der Oberbau kann als Feste Fahrbahn oder Schotteroberbau ausgeführt werden. Diese Maßnahme führt zu einer wirksamen Reduzierung der Erschütterungsimmissionen in Gebäuden auch mit niedrigen Deckeneigenfrequenzen. Des Weiteren führen MFS auch zur deutlichen Reduzierung des Sekundären Luftschalls. Beim Einsatz dieser Systeme ist allerdings mit erheblichen technischen Zwängen und Kosten zu rechnen.

2.7.5 Maßnahmen am Ausbreitungsweg/ am Gebäude

Es ist möglich, mit einem offenen Bodenschlitz den Ausbreitungsweg zu unterbrechen. Es werden jedoch nur Gebäude im unmittelbaren Nahbereich geschützt. Weiter entfernte Gebäude lassen sich weniger gut abschirmen. Zur dauerhaften Standsicherheit werden in den Schlitz gas-, luft- oder elastomergefüllte Hohlkörper vorgesehen.

Auch an den betroffenen Gebäuden können Maßnahmen zur Erschütterungsreduktion eingesetzt werden. Folgende Maßnahmen können geprüft werden:

- Vollständige elastische Lagerung
- Verstimmung einzelner Decken durch Einbau von Stützen
- Bedämpfung der Decken durch Einbau von Tilgern
- Seitliche Abschirmung des Gebäudes mit elastischen Matten

Diese Maßnahmen sind jeweils nur an einem Immissionsort wirksam und erweisen sich häufig als nicht realisierbar oder unverhältnismäßig aufwändig.

2.8 Auswahl der Schutzmaßnahmen

Entsprechend dem aktuellen Stand der Technik können die in der folgenden Tabelle angebenden Maßnahmen angewendet werden. Die Tabelle enthält auch eine Kostenschätzung der Mehrkosten je Gleis. Nach den Bestimmungen des Verwaltungsverfahrensgesetzes dürfen die zum Einsatz vorgesehenen Schutzmaßnahmen nicht „untunlich“ sein, d.h. die Kosten müssen in einem angemessenen Verhältnis zu der erzielten Schutzwirkung stehen. Daher ist eine grobe Kostenschätzung mit Gegenüberstellung der Anzahl betroffener Objekte erforderlich.

Nr.	Art der Maßnahme	Kosten pro laufenden Meter Gleis
1	Schwellenbesohlung bei Neubau von Gleisen	90 €
2	Unterschottermatte (USM)	440 €
3	Masse-Feder-System im Tunnel (MFS)	1.210 €

Tabelle 3: Kostenansätze für mögliche Schutzmaßnahmen

Die obenstehende Tabelle enthält Mehrkosten gegenüber dem Bau eines Standardgleises. Sofern die erschütterungsmindernde Maßnahme bei einem eigentlich nicht zu verändernden Bestandsgleis angewendet werden soll, ergeben sich durch den Rückbau Zusatzkosten. Diese betragen je Gleis:

- bei Schwellenbesohlung : 250,-- €/m

3 Durchgeführte Schwingungsmessungen

Für die Prognose und Beurteilung der Erschütterungsimmissionen wurden vom Institut für Umweltschutz und Bauphysik im Herbst 2013 Schwingungsmessungen durchgeführt. Dabei handelte es sich um

- Messungen der Emissionsspektren vorbeifahrender Züge
- Beweissicherungsmessungen in 11 Gebäuden
- Ausbreitungsmessungen.

3.1 Geräte

Folgende Messgeräte wurden verwendet:

- Beschleunigungsaufnehmer, Fa. Fuji, Typ ACF 504
- Beschleunigungsaufnehmer, Fa. Metra, Typ KSC 48C
- Cronos Messsystem, Fa. Additive, Serien-Nr. 4852-1195
- Echtzeitanalysator, Fa. Norsonic, Typ RTA 830, Serien-Nr. 11545

Die Geräte wurden jeweils vor und nach der Messung hinsichtlich Funktion und Genauigkeit überprüft.

3.2 Erhebung von bahn- und gebäudespezifischen Angaben

Zusätzlich zu den erschütterungstechnischen Messungen wurden die bahnspezifischen Angaben wie folgt ermittelt:

Oberbau- und zugspezifische Angaben:

- Oberbauart: Augenschein
- Zuggeschwindigkeit: Radarpistole
- Zuglänge/ Vorbeifahrtzeit: Stoppuhr
- Zuggattung: Augenschein
- befahrenes Gleis, Fahrtrichtung: Augenschein

3.3 Lage der Messpunkte und Dokumentation der Messdaten

Für die Messungen im Bereich Leinfelden-Echterdingen wurden in Abstimmung mit der Stadt 11 Gebäude entlang der Strecke ausgewählt. Dabei wurden die Bereiche berücksichtigt, in denen aufgrund des Abstands zu der Bahnstrecke und sonstiger örtlicher Verhältnisse mit beurteilungsrelevanten Erschütterungsimmissionen gerechnet werden kann. Es handelt sich um die Bereiche:

- Oberaichen – Keßlerwiesen und Dürrlewangweg
- Leinfelden – Goethestraße und Lilienstraße
- Leinfelden - Neuer Markt, Markomannenstraße, Schützenweg
- Echterdingen - Tunnelstrecke

In der Regel wurde in den Wohnräumen gemessen, welche am nächsten zur Bahn gelegen sind. Ausnahmen sind darauf zurückzuführen, dass nach Absprache mit den Eigentümern Räume gewählt wurden, in denen nach dem subjektiven Empfinden der Bewohner die Erschütterungen stärker wahrgenommen bzw. als störender empfunden werden. Des Weiteren wurden auch die Eigenschaften bzw. der Aufbau der Geschossdecken berücksichtigt. So wurden Räume mit großen, nicht gestützten Decken kleinen Räumen vorgezogen, da für diesen Fall auch bei größerem Abstand zur Bahn höhere Schwingungsamplituden zu erwarten sind.

Detaillierte Angaben zu den Messobjekten sind in separaten Messberichten dokumentiert. In Anhang 3 sind die messtechnisch ermittelten Gebäudeübertragungsfunktionen tabellarisch dargestellt.

~~Die KB_{Fmax}-Werte der einzelnen Zugvorbeifahrten in den Räumen der einzelnen Objekte während der Beweissicherungsmessungen sind im Anhang 2 aufgeführt. Ebenso sind die messtechnisch ermittelten Immissionsspektren (energetische Mittelwerte der gemessenen Körperschallschnellepegel der S-Bahnen je Objekt und Raum) im Anhang 2 dargestellt.~~

Für die Prognose im Bereich der Haltestelle am Flughafen Stuttgart, wurde auf Emissionsspektren zurückgegriffen, welche an der Tunnelwand im Zuge des Ausbaus der S-Bahn-Strecke Richtung Bernhausen im Jahr 2008 gemessen wurden (s. Anhang ~~2~~ 1). Für die Übertragung der Erschütterungen innerhalb von Gebäuden wurden die Übertragungsfunktionen ~~aus dem Leitfaden für Planer~~ der DB Richtline 820.2050 [5] herangezogen ~~(DB AG-Richtlinien 800.2501 bis 800.2503 [5]).~~

4 Ergebnisse der Prognose

Die Prognoseberechnungen für die Erschütterungsimmissionen und den sekundären Luftschall wurden anhand der nachfolgend dargestellten Betriebsprogramme durchgeführt.

4.1 Betriebsprognose

Folgende Betriebsprognosen der Strecke 4861, welche von der DB Netz AG ~~ermittelt~~ übermittelt worden sind, wurden für den Prognose-Nullfall bzw. Prognose-Planfall zugrunde gelegt:

Strecke : 4861				
„Rohrer Kurve“ – Stuttgart Flughafen				
Zuggattung	6-22 Uhr	22-6 Uhr	V_{max} (km/h)	Zuglänge (m)
S-Bahn (430)	38	16	100*	140
S-Bahn (430)	26	0	100*	210
Gegenrichtung				
S-Bahn (430)	38	16	100*	140
S-Bahn (430)	26	0	100*	210

Tabelle ~~3~~ 4: Zugzahlen "Prognose-Nullfall 2025"

Strecke : 4861				
„Rohrer Kurve“ – Stuttgart Flughafen				
Zuggattung	6-22 Uhr	22-6 Uhr	V_{max} (km/h)	Zuglänge (m)
S-Bahn	38	16	100*	140
S-Bahn	26	0	100*	210
FV (BR 146)	15	2	100*	154
RV (BR440)	16	4	100*	142
Gegenrichtung				
S-Bahn	38	16	100*	140
S-Bahn	26	0	100*	210
FV (BR 146)	16	1	100*	154
RV (BR440)	16	4	100*	142

~~**Tabelle 4: Zugzahlen "Prognose-Planfall 2025 (Übergangsszenario 2025)"**~~

Strecke : 4861				
4861, Flughafen bis Rohrer Kurve				
Zuggattung	6-22 Uhr	22-6 Uhr	V_{max} (km/h)	Zuglänge (m)
FV (ETR 610)	8	0	100*	187
RV (Talent 2 **)	32	0	100*	144
RV (Talent 2 **)	0	7	100*	72
S-Bahn (430)	38	16	100*	140
S-Bahn (430)	26	0	100*	210
4861, Rohrer Kurve bis Flughafen				
FV (ETR 610)	7	1	100*	187
RV (Talent 2 **)	32	0	100*	144
RV (Talent 2 **)	0	7	100*	72
S-Bahn (430)	38	16	100*	140
S-Bahn (430)	26	0	100*	210

Tabelle 45: Zugzahlen "Prognose Planfall, Szenario 3, Zielkonzept 2025"

*) Die Geschwindigkeit im Bereich Leinfelden-Echterdingen liegt streckenbedingt bei max. 100 km/h und darunter.

**) Talent 2 oder vergleichbar.

4.2 Ermittlung des allgemeinen Betroffenheitskorridors

Um einen allgemeinen Überblick über die Situation zu erhalten und um die Bereiche mit relevanten Erschütterungseinwirkungen auf der Grundlage der konkreten Messergebnisse weiter einzugrenzen, wurden sogenannte Einwirkungsbereiche (EWB) für die maßgeblichen Querschnitte berechnet. Der Einwirkungsbereich gibt den Abstand zu den Gleisen an, bis zu dem mit einer Überschreitung der Beurteilungskriterien (vgl. Kap. 2.5 und 2.6) gerechnet werden muss. Dies ist eine „worst-case“ Betrachtung. Der Umgriff des Einwirkungsbereichs hängt u.a. entscheidend von der Resonanzfrequenz der jeweiligen Geschossdecken ab.

4.2.1 Bereich Rohrer Kurve

Im aktuellen „Ist“-Zustand befinden sich im Bereich der zukünftigen Rohrer Kurve bereits die Strecken 4860 und 4861. Daher gilt es zu prüfen, ob es durch die Umsetzung der Baumaßnahmen für die Rohrer Kurve zu einer erheblichen Änderung (Verschlechterung) der erschütterungstechnischen Situation kommt.

Der neue 2-gleisige Anschluss der Rohrer Kurve an die Strecke 4861 befindet sich in mindestens 110 m zur nächstliegenden schützenswerten Bebauung. Aus dem geplanten Betrieb mit reinem Personenverkehr sind bei diesem Abstand keine signifikanten Erschütterungsimmissionen zu erwarten. Außerdem wird im Rahmen dieser Baumaßnahme auch noch ein neues Tunnel- und Trogbauwerk erstellt, welches zwischen der Bebauung und der Rohrer Kurve liegt. Der Tunnel/Trog stellt ein zusätzliches Hindernis für die Erschütterungen auf ihrem Ausbreitungsweg dar.

Nördlich der neuen Gleise zur Rohrer Kurve verschiebt sich die Gleislage geringfügig in Richtung Osten. Des Weiteren kommt im Tunnelbereich, wo das Gleis 2 der Strecke 4680 (Gäubahn) die Strecke 4680 überquert, eine zusätzliche Weiche hinzu. Dies hätte bei gleichbleibender Streckenbelastung zur Folge, dass in diesem Abschnitt für den östlichen Bebauungsbereich neben der Trasse mit höheren Erschütterungsimmissionen gerechnet werden müsste. Da jedoch der Personenfern- und Regionalverkehr künftig bereits über die Rohrer Kurve abgezweigt wird und damit im zuvor beschriebenen Abschnitt nur noch S-Bahnen und vereinzelte Güterzüge verkehren, überwiegt die Entlastung durch die abnehmende Streckenbelastung deutlich gegenüber der Belastung durch die geringfügigen baulichen Änderungen.

Es ist daher damit zu rechnen, dass im Bereich der Rohrer Kurve mit schützenswerter Bebauung, keine erhebliche Verschlechterung der Erschütterungsimmissionen eintreten wird. Anspruch auf Erschütterungsschutzmaßnahmen besteht dementsprechend nicht.

4.2.2 Bereich Oberaichen - Leinfelden - Echterdingen

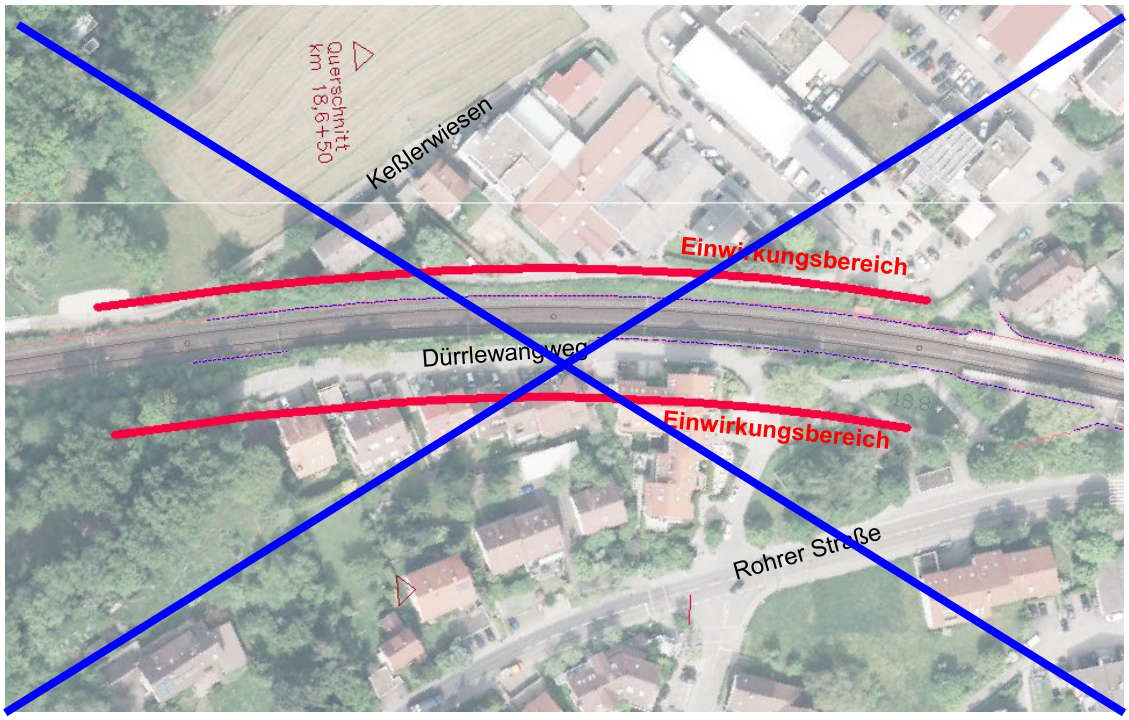
~~Die Prognoseberechnung auf Basis der Erschütterungsmessungen zeigt, dass sich mit Ausnahme des Bereichs Dürrlewangweg in Oberaichen, in allen anderen Bereichen entlang der Strecke keine schützenswerte Bebauung innerhalb der Einwirkungsbereiche befindet.~~

~~In der nachfolgenden Abbildung 2 ist der Bereich entlang des Dürrlewangwegs mit dem berechneten Einwirkungsbereich (rote Linie) von bis zu 20 m dargestellt. Am südöstlichen Ende der betroffenen Häuserzeile liegt das Objekt Rohrer Str. 102, in~~

~~welchem eine Beweissicherungsmessung durchgeführt wurde. Die individuelle Prognoseberechnung für dieses Haus auf Basis der Messwerte zeigt, dass in den gemessenen Räumen nicht mit Überschreitungen der Anhaltswerte DIN 4150 Teil 2 gerechnet werden muss.~~

~~Auf der nördlichen Seite der Gleise ist mit einem Einwirkungsbereich von bis zu 15 m zu rechnen. Von der Grenze dieses Einwirkungsbereichs wird ein schützenswertes Objekt gerade berührt. Die Prognoseberechnung, welche speziell für das Objekt „Keßlerwiesen 6“ auf Basis einer Beweissicherungsmessung durchgeführt wurde (s Punkt 0), ergibt jedoch, dass hier tatsächlich nicht mit einer Überschreitung der Beurteilungskriterien für Erschütterungen und sekundären Luftschall gerechnet werden muss.~~

~~Zusammengefasst lässt sich für diesen Bereich sagen, dass sich aus den Berechnungsergebnissen der Einwirkungsbereiche ergibt, dass beiderseits der Strecke mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit mit Überschreitungen der Beurteilungskriterien für Erschütterungen in einzelnen Räumen zu rechnen ist, was aber auf die messtechnisch untersuchten Räume jeweils gerade nicht zutrifft.~~



~~**Abbildung 2: Einwirkungsbereich Keßlerwiesen und Dürrlewangweg / Rohrer Straße 102**~~

Die Ergebnisse der Prognoseberechnungen auf Basis der Erschütterungsmessungen werden in den Übersichtslageplänen Betriebsphase Erschütterungen, Unterlage 17.1.1 und 17.1.2 als farbige Linien (violett: Einwirkungsbereich ohne Erschütterungsschutzmaßnahme) dargestellt. Nachfolgend werden bereichsweise die Einwirkungsbereiche beschrieben.

Oberaichen:

Die Unterlage 17.1.1 zeigt die berechneten EWB in Oberaichen.

Die berechneten EWB zeigen, dass es im Bereich des Dürrlewangwegs sowohl südlich als auch nördlich der Bahnstrecke zu möglichen Betroffenheiten kommen kann; jeweils die erste Gebäudereihe wird von der jeweiligen EWB-Linie geschnitten.

Nördlich und südlich der Bahn liegen die Objekte „MO 1, Keßlerwiesen 6“ und „MO 2, Rohrer Str. 102“, in welchen Beweissicherungsmessungen durchgeführt wurden. Die individuellen Prognoseberechnungen für beide Häuser (s. Anhang 4) auf Basis der Messwerte zeigen, dass in den gemessenen Räumen nicht mit Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 für Erschütterungen und sekundären Luftschall gerechnet werden muss.

Leinfelden:

Die Unterlage 17.1.1 zeigt die berechneten EWB in Leinfelden.

Im westlichen Bereich von Leinfelden, im Bereich der Rohrer Straße, wurden bereits beim Bau der S-Bahnstrecke Erschütterungsschutzmaßnahmen in Form von Unterschottermatten eingebaut. In diesem Bereich liegen die EWB-Linien sowohl nördlich als auch südlich der Bahn noch vor den Gebäudereihen; d.h. Betroffenheiten hinsichtlich Erschütterungen und sekundärem Luftschall liegen in diesem Bereich nicht vor. Die individuellen Prognoseberechnungen für die Objekte MO 3 und MO 4 (s. Anhang 4) in diesem Bereich zeigen, dass in den gemessenen Räumen nicht mit Überschreitungen der Anhaltswerte DIN 4150 Teil 2 für Erschütterungen und sekundären Luftschall gerechnet werden muss.

Im Bereich östlich der Stuttgarter Straße in Leinfelden liegen die EWB-Linien südlich der Bahn bereits in den Wohn- bzw. Mischgebieten; d.h. Betroffenheiten hinsichtlich Erschütterungen und sekundärem Luftschall werden in diesem Bereich nicht ausgeschlossen. Die individuellen Prognoseberechnungen für die Objekte MO 5 bis MO 7 (s. Anhang 4) in diesem Bereich zeigen, dass in den gemessenen Räumen nicht mit Überschreitungen der Anhaltswerte DIN 4150 Teil 2 für Erschütterungen und sekundären Luftschall gerechnet werden muss.

Echterdingen:

Die Unterlage 17.1.2 zeigt die berechneten EWB in Echterdingen.

Im Bereich der Ortsdurchfahrt von Echterdingen wird die Bahnstrecke im Tunnel geführt. Im Tunnelbereich wurden bereits beim Bau der S-Bahnstrecke Erschütterungsschutzmaßnahmen in Form von Unterschottermatten eingebaut. Die Berechnungen zeigen, dass in diesem Bereich entweder keine EWB-Linien (d.h. keine Betroffenheiten in den angrenzenden Baugebieten) existieren oder dass diese vor den Gebäudereihen liegen; Betroffenheiten hinsichtlich Erschütterungen und sekundärem Luftschall liegen in diesem Bereich nicht vor. Die individuellen Prognoseberechnungen für die Objekte MO 8 bis MO 11 (s. Anhang 4) in diesem Bereich zeigen, dass in den gemessenen Räumen nicht mit Überschreitungen der Anhaltswerte DIN 4150 Teil 2 für Erschütterungen und sekundären Luftschall gerechnet werden muss.

Zusammengefasst lässt sich für den Bereich von Oberaichen und Leinfelden sagen, dass sich aus den Berechnungsergebnissen der Einwirkungsbereiche ergibt, dass beiderseits der Strecke mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit mit Überschreitungen der Beurteilungskriterien für Erschütterungen in einzelnen Räumen zu rechnen ist, was aber auf die messtechnisch untersuchten Räume jeweils gerade nicht zutrifft.

4.2.3 Bereich Station 3. Gleis am Flughafen Stuttgart

Aufgrund des neuen dritten Haltegleises für den FV und den RV in der unterirdischen Station Flughafen Stuttgart, welches an die Bebauung entlang der Flughafenstraße heranrückt, muss mit höheren Erschütterungsimmissionen in diesem Bereich gerechnet werden. Die Prognoseberechnung auf Basis der Tunnelspektren und der allgemeinen Übertragungsfunktionen für mehrstöckige Gebäude in Massivbetonbauweise ~~aus dem Leitfaden für Planer der DB~~ nach der DB Richtlinie 820.2050 [5] ergaben, dass für das Objekt in der Flughafenstraße~~.~~ 50 (neues Mövenpickhotel) Überschreitungen der Beurteilungskriterien für Erschütterungen nicht ausgeschlossen werden können. Überschreitungen der Anhalts-

werte der DIN 4150 Teil 2 für Mischgebiete und eine Zunahme der erschütterungstechnischen Belastung um >25% müssen speziell für Räume mit Deckeneigenresonanzen > 63 Hz angenommen werden. Dies betrifft in der Regel kleine Räume. Für weitere Gebäude sind aufgrund der Abstände oder der Gebietsnutzung (in der Regel Gewerbegebiet) keine Überschreitungen der Beurteilungskriterien für Erschütterungen zu erwarten. Die Anforderungen hinsichtlich des sekundären Luftschalls der 24. BImSchV (Mittelungspegel 40 dB(A) tags bzw. 30 dB(A) nachts) werden durchwegs unterschritten.

4.3 Ergebnisse für die untersuchten Gebäude in Leinfelden-Echterdingen

Auf Grundlage von Erschütterungsmessungen wurden Prognoseberechnungen für 11 repräsentative Objekte (Gebäude) im Bereich Oberaichen – Leinfelden – Echterdingen durchgeführt. Die Gebäude wurden in Abstimmung mit der Stadt so ausgewählt, dass alle Abschnitte und alle Gebäudetypen im Nahbereich der Strecke vertreten sind. ~~Darin enthalten ist auch der Messpunkt Rohrer Str. 102, der in Kap. 4.2 bereits erwähnt wurde.~~

Die prognostizierte Erschütterungsbelastung an den Messobjekten für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall ist im Anhang ~~1~~ 4 (Tabelle 1: Beurteilungstabelle „Erschütterungen“) dargestellt. Danach liegt der KB_{Fmax}- Wert in ~~8~~ 10 von 11 Fällen über dem unteren Anhaltswert A_u. In den meisten Fällen wird auch eine erhebliche Zunahme (> 25 %) dieses Beurteilungswertes prognostiziert. Daher wird die Beurteilung der KB_{FTr} – Werte anhand des Anhaltswertes A_r erforderlich. Der A_r wird in keinem Fall überschritten. Der A_o – Wert von 0,6 (siehe Kap. 2.5.2) wird in keinem Fall auch nur annähernd erreicht. Die Ergebnistabelle zeigt also, dass an keinem der insgesamt 11 Messobjekte eine Überschreitung der entsprechenden Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 für den Prognose-Nullfall sowie den Prognose-Planfall prognostiziert wird. Somit wird auch nicht das Signifikanzkriterium „Überschreitung der Anhaltswerte bei gleichzeitiger Zunahme der Erschütterungsbelastung um mehr als 25%“ erfüllt, auch wenn die Ergebnisstabelle zeigt, dass in etlichen Fällen mit einer Zunahme der Erschütterungsbelastung von mehr als 25% zu rechnen ist.

Aktuell liegen die gemessenen Erschütterungen, verursacht durch die S-Bahnen, häufig nur geringfügig über der Fühlbarkeitsschwelle (entsprechend der VDI 2057 Blatt 3 [10]). ~~Bei einigen Objekten liegt die aktuelle Erschütterungsbelastung auch darunter (s. Anhang 2 jeweils Tabelle 1 zu den Messobjekten 1 bis 11, „Bei S-Bahn-Vorbeifahrten gemessene KB_{Fmax} –Werte je Raum mit korrespondierender Geschwindigkeit (km/h)“).~~ Somit ist auch plausibel, dass die vergleichsweise geringe Anzahl an zusätzlichen Zügen (~~IC~~ FV und ~~RE~~ RV) noch nicht zu einer Überschreitung der Anhaltswerte führt (s. Anhang 4, Tabelle 1: Beurteilungstabelle „Erschütterungen“, Prognosefall).

~~Im Bereich der Kolumbusstr. (MO_8) und des Lehmgrubenwegs (MO_9) fiel die gemessene Erschütterungsbelastung während der S-Bahn-Vorbeifahrten tendenziell eher gering aus. Es ist anzunehmen, dass dies auf die dort als Erschütterungsschutz verbaute Unterschottermatte zurückzuführen ist. Aufgrund dieser Ergebnisse ist speziell bei diesen Objekten auch nicht damit zu rechnen, dass es durch zusätzliche IC- und RE-Züge zu einer Überschreitung der Anhaltswerte für Erschütterungen kommt.~~

~~Im Gebäude Rohrer Str. 102 ist aufgrund von Resonanzeffekten und der Verkehrszunahme zwar eine deutlich spürbare Erhöhung der Immissionen zu erwarten, aber~~

~~auch hier ist gerade noch nicht mit einer Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 für allgemeine Wohngebiete, erst recht nicht für Mischgebiete, zu rechnen~~.

Im Gebäude Rohrer Str. 102 (MO_2) und Klinkerstr. 3 (MO_10) ist aufgrund von Resonanzeffekten und der Verkehrszunahme zwar eine deutlich spürbare Erhöhung der Immissionen zu erwarten, aber auch hier ist nicht mit einer Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 für Mischgebiete zu rechnen.

Im Bereich der Goethestr. 11 (MO_3) und der Lilienstr. 2 (MO_4) sowie der Kolumbusstr. (MO_8) und des Lehmgrubenwegs (MO_9) fiel die gemessene Erschütterungsbelastung während der S-Bahn-Vorbeifahrten tendenziell eher gering aus. Es ist anzunehmen, dass dies auf die dort als Erschütterungsschutz verbauten Unterschottermatten zurückzuführen ist. Aufgrund dieser Ergebnisse ist speziell bei diesen Objekten auch nicht damit zu rechnen, dass es durch zusätzliche FV- und RV-Züge zu einer Überschreitung der Anhaltswerte für Erschütterungen kommt.

Der prognostizierte sekundäre Luftschall an den Messobjekten ist in der Ergebnistabelle 2 im Anhang ~~1~~ 4 dargestellt. Die Ergebnistabelle zeigt, dass an keinem der Messobjekte das Signifikanzkriterium „Überschreitungen der aus der 24. BImSchV abgeleiteten Innenraumpegel bei gleichzeitiger Zunahme der sekundären Luftschallbelastung um mindestens 3 dB(A)“ erfüllt wird. Die Anforderungen hinsichtlich des sekundären Luftschalls der 24. BImSchV (Mittelungspegel 40 dB(A) tags bzw. 30 dB(A) nachts) werden durchwegs weit unterschritten; die prognostizierten Pegel liegen unter 20 dB(A).

In die Prognoseberechnung flossen sowohl die Emissionen des S-Bahn-Typs ET 430 sowie des älteren Models ET 420 ein. Die Messungen zeigten, dass die älteren Modelle (ET 420) i.d.R. höhere Emissionen aufweisen, was auch durch gelegentliche „Ausreißer“ in der Dokumentation der KB_{Fmax} - Werte bestätigt wird. Da diese Züge durch die energetische Mittelung verstärkt gewichtet werden, kann eine Verbesserung der erschütterungstechnischen Situation erwartet werden, sobald die alten Garnituren endgültig ausrangiert sind.

5 Abwägung erschütterungsmindernder Maßnahmen

Wie unter Kap. 4.2 und 4.3 festgestellt, ergeben die Prognosen im Untersuchungsabschnitt Oberaichen-Leinfelden-Echterdingen, dass die Erschütterungsimmissionen infolge der Mehrbelastung durch die zusätzlichen Zuggattungen des Fern- und Regionalverkehrs voraussichtlich in einem Bereich entlang des Dürrlewangwegs in Oberaichen und entlang des Straßenzugs Bahnhofstraße und Schützenweg in Leinfelden zu einer erheblichen Erhöhung (>25%) und gleichzeitigen Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 für Erschütterungen führen. Die Anforderungen an den sekundären Luftschall werden voraussichtlich durchwegs eingehalten.

Nachfolgend werden für die einzelnen Bereiche, sofern notwendig, mögliche Maßnahmen zum Erschütterungsschutz geprüft.

5.1 Bereich Oberaichen

~~Wie unter Kap. 4.2 und 4.3 festgestellt, ergeben die Prognosen im Untersuchungsabschnitt Leinfelden-Echterdingen, dass die Erschütterungsimmissionen infolge der Mehrbelastung durch die zusätzlichen Zuggattungen IC und RE voraussichtlich nur in einem Bereich (entlang des Dürrlewangwegs in Oberaichen) zu einer erheblichen Erhöhung (>25%) und gleichzeitigen Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 für Erschütterungen führen. Die Anforderungen an den sekundären Luftschall werden voraussichtlich durchwegs eingehalten.~~

~~In Bereich entlang des Dürrlewangwegs befinden sich bis zu 39 potentiell betroffene Wohneinheiten. Mit einer Erschütterungsschutzmaßnahme in Form von besohlten Schwellen können die Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 hier voraussichtlich eingehalten werden. Die Maßnahme müsste hierzu auf einer Länge von ca. 250 m 2-gleisig umgesetzt werden. Da infolge der erforderlichen Schallschutzmaßnahmen auf der Eisenbahnüberführung ab km 18,7+99 eine Unterschottermatte vorgesehen ist, kommt für die besohlten Schwellen der Bereich von Bahn km 18,5+65 bis Bahn km 18,7+99, also auf einer Länge von 234 m in Frage. Dies hätte Kosten von ca. 160.000 € zur Folge (Kostenansatz: 340 € pro Meter und Gleis). Unter Berücksichtigung der bis zu 39 betroffenen Wohneinheiten entstünden Kosten pro gelösten Schutzfall von ca. 4.100 €. Dies ist als verhältnismäßig zu beurteilen.~~

~~Für den Fall, dass die Schwellen im Zuge der Umbaumaßnahmen für die geringe Gleislageänderung ohnehin ausgetauscht werden, würden für den Erschütterungsschutz Mehrkosten von lediglich 90 € pro laufenden Meter entstehen. Dies würde zu Gesamtkosten von ca. 42.000 € führen und damit lediglich 1.080 € pro gelösten Schutzfall kosten.~~

In Bereich entlang des Dürrlewangwegs in Oberaichen befinden sich bis zu 60 potentiell betroffene Wohneinheiten (WE) mit Überschreitung der Beurteilungskriterien für Erschütterungen im Beurteilungszeitraum Tag. Mit einer Erschütterungsschutzmaßnahme in Form von besohlten Schwellen können die Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 hier voraussichtlich eingehalten werden. Die Maßnahme müsste hierzu auf einer Länge von ca. 300 m 2-gleisig umgesetzt werden. Dies hätte Kosten von ca. 204 Tsd. € zur Folge (Kostenansatz: 90 € + 250 € pro Meter und Gleis). Unter Berücksichtigung der bis zu 60 betroffenen Wohneinheiten entstünden Kosten pro gelösten Schutzfall von ca. 3.400 €. Dies ist als verhältnismäßig zu beurteilen.

5.2 Bereich Leinfelden

In Bereich entlang der Bahnhofstraße und Schützenweg in Leinfelden befinden sich ca. 210 potentiell betroffene WE im Beurteilungszeitraum Tag und ca. 60 WE im Beurteilungszeitraum Nacht. Mit einer Erschütterungsschutzmaßnahme in Form von besohlten Schwellen können die Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 hier voraussichtlich eingehalten werden. Die Maßnahme müsste hierzu auf einer Länge von ca. 1.200 m 2-gleisig umgesetzt werden. Dies hätte Kosten von ca. 816 Tsd. € zur Folge (Kostenansatz: 90 € + 250 € pro Meter und Gleis). Unter Berücksichtigung der bis zu 270 betroffenen Wohneinheiten entstünden Kosten pro gelösten Schutzfall von ca. 3.020 €. Dies ist als verhältnismäßig zu beurteilen.

Für den Fall, dass die Schwellen im Zuge der Umbaumaßnahmen für die geringe Gleislageänderung ohnehin ausgetauscht werden, würden für den Erschütterungsschutz Mehrkosten von lediglich 90 € pro laufenden Meter entstehen. Dies würde zu Gesamtkosten von ca. 216 Tsd. € führen und damit lediglich 800 € pro gelösten Schutzfall kosten.

~~5.2~~ 5.3 Bereich Flughafen Stuttgart (Station 3. Gleis)

Für den Bereich der Station 3. Gleis wurden im Ausbauzustand Überschreitungen der Beurteilungskriterien für Erschütterungen am Objekt „Flughafenstraße 50“ prognostiziert (s. Punkt 0). Problematisch zeigen sich die hohen Frequenzen und somit kleinen Räume, da diese in der Regel hohe Deckeneigenresonanzen aufweisen. Als Schutzmaßnahme wurden ~~besohlte Schwellen~~ Unterschottermatten (USM) für das Neubaugleis abgewogen. Erschütterungsschutz in Form von ~~besohlten Schwellen~~ Unterschottermatten hätte zur Folge, dass nicht mehr mit Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 gerechnet werden müsste. Die Maßnahme muss hierzu auf eine Länge von 200 m 1-gleisig, zwischen Bahn km 2,0+45 bis Bahn km 2,2+45, umgesetzt werden. Dies hätte Kosten von ca. ~~18.000~~ 88.000 € zur Folge (~~90~~ 440 € pro Meter und Gleis). Bereits mit wenigen gelösten Schutzfällen wäre die Maßnahme als verhältnismäßig zu beurteilen. Unter Berücksichtigung der 362 Zimmer des Hotels (Büroräume noch nicht enthalten) ist davon auszugehen, dass ~~zahlreiche Schutzfälle gelöst werden können. Somit ist~~ die Maßnahme als verhältnismäßig zu beurteilen ist.

~~5.3~~5.4 Planungsempfehlung für Erschütterungsschutzmaßnahmen

Die Verhältnismäßigkeitsprüfung ergab, dass nachfolgende Erschütterungsschutzmaßnahmen zum Schutz der benachbarten Bebauung empfohlen werden, die in die weitere Planung übernommen werden.

~~Bezeichnung~~	Strecken Nr.	von Bahn-km	bis Bahn-km	~~Länge~~ [m]
Besohlte Schwellen	4861 Rohrer Kurve – Flughafen	18,565	18,799	234
Besohlte Schwellen	Bereich der Station 3. Gleis	2,045	2,245	200

~~**Tabelle 5: Planungsempfehlung für Erschütterungsschutzmaßnahmen**~~

Bezeichnung	Strecken Nr.	von Bahn-km	bis Bahn-km	Länge* [m]
Besohlte Schwellen	4861 Rohrer Kurve – Flughafen	18,565	18,865	300
Besohlte Schwellen	4861 Rohrer Kurve - Flughafen	20.100	21.300	1.200
Unterschottermatten	Bereich der Station 3. Gleis	2,045	2,245	200

Tabelle ~~5~~6: Planungsempfehlung für Erschütterungsschutzmaßnahmen

Länge*: Länge der Maßnahme ohne Berücksichtigung von ev. erforderlichen Maßnahmen im Zuge der Lärmschutzplanung (USM) auf Eisenbahnüberführungen

6 Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht wurde geprüft, welche erschütterungstechnischen Auswirkungen der Neubau der Rohrer Kurve sowie die geplante Führung zusätzlicher ~~IC und RE- Züge~~ Fern- und Regionalverkehrszüge durch den Stadtbereich von Leinfelden – Echterdingen hat. Hierzu sollte geklärt werden, welche erschütterungstechnische Situation entlang der Strecke herrscht und wie sich die zu erwartende Belegung mit zusätzlichen Zügen des Personenfern- und Nahverkehrs in der angrenzenden Bebauung voraussichtlich auswirken wird. Im Bereich der Haltestelle am Flughafen Stuttgart wurde des Weiteren geprüft, welche erschütterungstechnischen Auswirkungen der Neubau des dritten Haltegleises für den FV und RV hat.

Im Zuge der Untersuchung wurden vor Ort Erschütterungsmessungen im Bereich Oberaichen – Leinfelden – Echterdingen durchgeführt. Ausgehend von den Ergebnissen der Messungen wurden Prognoseberechnungen für die Erschütterungsbelastung und den sekundären Luftschall nach anerkannten Regelwerken durchgeführt und beurteilt. Für die Prognose im Flughafenbereich wurde auf Messdaten zurückgegriffen, welche im Zuge des Ausbaus der Strecke S2 zwischen dem Flughafen und der Haltestelle Bernhausen, erhoben wurden.

Die Prognoseberechnungen auf Basis der Beweissicherungsmessungen zeigen, dass in allen Messobjekten die jeweiligen Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 eingehalten werden können.

~~Auf Basis der prognostizierten Einwirkungsbereiche kann jedoch entlang des Dürrlewangwegs nicht ausgeschlossen werden, dass die Beurteilungskriterien für Erschütterungen (Überschreitung der DIN 4150 und Zunahme der erschütterungstechnischen Belastung um >25%) nicht erfüllt werden können~~. Auf Basis der prognostizierten Einwirkungsbereiche kann jedoch entlang des Dürrlewangwegs in Oberaichen und des Straßenzugs Bahnhofstraße und Schützenweg in Leinfelden nicht ausgeschlossen werden, dass es zu Überschreitungen der Beurteilungskriterien für Erschütterungen (Überschreitung der DIN 4150 und Zunahme der erschütterungstechnischen Belastung um >25%) kommen kann. Daher wurden für diese~~n~~ Bereiche besohlte Schwellen als Erschütterungsschutzmaßnahme geprüft und als verhältnismäßig beurteilt. Unter Berücksichtigung der besohlten Schwellen ist ~~für den Bereich des Dürrlewangwegs~~ in den beiden Bereichen damit zu rechnen, dass die Beurteilungskriterien für Erschütterungen eingehalten werden können.

Auch im Bereich der Station 3. Gleis können aufgrund des Neubaus des dritten Haltegleises Überschreitungen der Beurteilungskriterien für Erschütterungen (Überschreitung der DIN 4150 und Zunahme der erschütterungstechnischen Belastung um >25%) für das Objekt in der Flughafenstr. 50 nicht ausgeschlossen werden. Daher wurden auch für diesen Bereich ~~besohlte Schwellen~~ Unterschottermatten als Erschütterungsschutzmaßnahme geprüft und als verhältnismäßig beurteilt. Unter Berücksichtigung der ~~besohlten Schwellen~~ Unterschottermatten, ist für das Objekt in der Flughafenstr. 50 damit zu rechnen, dass die Beurteilungskriterien für Erschütterungen eingehalten werden können.

Für den sekundären Luftschall zeigen die Prognoseberechnungen, dass die aus der 24. BImSchV abgeleiteten Innenraumpegel in der Regel mit großem Abstand eingehalten werden können.

Literaturverzeichnis

[1] Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) in der aktuellen Fassung

[2] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017

[3] DIN 4150 Teil 2: Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999

[4] DIN 4150 Teil 3: Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Dez. 2016

[5] ~~Garburg, Rüdiger: Erschütterungen und sekundärer Luftschall. DB AG Richtlinien 800.2501 bis 800.2503, Entwurf vom 01.12.2008~~

Grundlagen des Oberbaus: Erschütterungen und sekundärer Luftschall. DB Richtlinie 820.2050, gültig ab 01.01.2017

[6] Urteil des BverwG, 7. Senat AZ 7 A 14.09 vom 21.12.2010

[7] Urteil des BVerwG, 9. Senat, AZ 11 A 6.00 vom 31.01.2001

[8] Zeichart und andere: „Erschütterungsauswirkungen aus dem Schienenverkehr“ im Auftrag des Umweltbundesamtes und des Bundesbahnzentralamtes vom November 1993

[9] Said und andere: „Zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen aus Schienenverkehr“, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 48(2001) Nr. 6, November 2001

[10] VDI-Richtlinie 2057, Blatt 3, „Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen" 05/1987, zurückgezogen 09/2002

[11] VDI-Richtlinie 2719: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen, Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI. Ausgabedatum: 08/1987

[12] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmen-Verordnung - 24. BImSchV); Ausfertigungsdatum: 04.02.1997

[13] VDI-Richtlinie 3837:Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen – Spektrales Prognoseverfahren, NALS/VDI C 15 „Schwingungsminderung in der Umgebung von Schienenverkehrserschütterungen“ . Ausgabedatum: 03/2006

[14] DIN 45699: Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1, Schwingungsmesser; Anforderungen und Prüfungen, Sept. 2008

[15] DIN 45699: Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2, Messverfahren, Juni 2005

[16] Sechste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA Lärm) vom 26.08.1998

[17] Hinweis zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen, Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz vom 10. Mai 2000

[18] Urteil des BverwG, 7. Senat, AZ 7 A 24.12 vom 19.03.2014

[19] „Verfügung zum Umgang mit betriebsbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall in der Planfeststellung“, Eisenbahn-Bundesamt, Zentrale vom 30.01.2017

Anhang 1: Ergebnistabellen Erschütterungen und sekundärer Luftschall

Tabelle 1: Beurteilungstabelle „Erschütterungen“

Messobjekt, Lage zur Bahn	Adresse	Raumlage/ Nutzung	Gebiets-nutzung	Anforderungen Erschütterung				Immissionen Erschütterung										
				KB				Prognose Nullfall				Prognosefall				Zu-/Abnahme in %		
				A_u		A_r		KB_{Fmax}		KB_{FTr}		KB_{Fmax}		KB_{FTr}		KB_{Fmax}	KB_{FTr}	
				Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag/Nacht	Tag	Nacht
MO_1_km 18.65	Keßlerwiesen 6	0.EG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.17	0.17	0.036	0.025	0.21	0.21	0.046	0.031	24	28	24
MO_1_km 18.65	Keßlerwiesen 6	1.EG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.14	0.14	0.025	0.018	0.20	0.20	0.037	0.024	43	48	33
MO_2_km 18.74	Rohrer Str. 102	0.EG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.18	0.18	0.031	0.021	>0	>0	>0
MO_2_km 18.74	Rohrer Str. 102	1.OG_SZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.13	0.13	0.023	0.017	0.34	0.34	0.069	0.047	162	200	176
MO_3_km 19.83	Goethestr. 11	0.EG_WZ	W	0.15	0.10	0.07	0.05	<0.1	<0.1	0.000	0.000	<0.1	<0.1	0.000	0.000	n.d.	n.d.	n.d.
MO_3_km 19.83	Goethestr. 11	1.OG_WZ	W	0.15	0.10	0.07	0.05	0.14	0.14	0.025	0.018	0.17	0.17	0.032	0.021	21	28	17
MO_4_km 19.9	Lilienstr. 2	0.EG_Büro	W	0.15	0.10	0.07	0.05	0.11	0.11	0.020	0.014	0.11	0.11	0.024	0.016	0	20	14
MO_4_km 19.9	Lilienstr. 2	1.OG_WZ	W	0.15	0.10	0.07	0.05	<0.1	<0.1	0.000	0.000	<0.1	<0.1	0.000	0.000	n.d.	n.d.	n.d.
MO_5_km 20.85	Neuer Markt 3	2.OG_Raum	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.12	0.12	0.029	0.021	0.13	0.13	0.035	0.024	8	21	14
MO_5_km 20.85	Neuer Markt 3	3.OG_Raum	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.14	0.14	0.036	0.025	0.15	0.15	0.043	0.029	7	19	16
MO_6_km 21	Markomannenstr. 3	0.EG_SZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.10	0.10	0.020	0.015	>0	>0	>0
MO_6_km 21	Markomannenstr. 3	4.OG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.11	0.11	0.019	0.014	0.11	0.11	0.025	0.017	0	32	21
MO_7_km 21.06	Schützenweg 13	0.EG_SZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.10	0.10	0.009	0.005	>0	>0	>0
MO_7_km 21.06	Schützenweg 13	2.OG_SZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.10	0.10	0.018	0.013	0.10	0.10	0.021	0.015	0	17	15
MO_8_km 22.35	Kolumbusstr. 25	0.EG_WZ	W	0.15	0.10	0.07	0.05	0.11	0.11	0.020	0.014	0.11	0.11	0.025	0.017	0	25	21
MO_8_km 22.35	Kolumbusstr. 25	1.OG_WZ	W	0.15	0.10	0.07	0.05	<0.1	<0.1	0.000	0.000	<0.1	<0.1	0.000	0.000	n.d.	n.d.	n.d.
MO_9_km 22.54	Lehmgrubenweg 12	0.EG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.10	0.10	0.009	0.005	>0	>0	>0
MO_9_km 22.54	Lehmgrubenweg 12	1.OG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	<0.1	<0.1	0.000	0.000	n.d.	n.d.	n.d.
MO_10_km 22.66	Klinkerstr. 3	0.EG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.15	0.15	0.014	0.005	>0	>0	>0
MO_10_km 22.66	Klinkerstr. 3	1.OG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.11	0.11	0.018	0.002	0.33	0.33	0.036	0.013	200	100	550
MO_11_km 22.8	Ziegeleistr. 31	0.EG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.15	0.15	0.019	0.011	>0	>0	>0
MO_11_km 22.8	Ziegeleistr. 31	1.OG_SZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.20	0.20	0.024	0.014	>0	>0	>0

Legende zur Beurteilungstabelle 1

0,1	Überschreitung des Anhaltswertes (A_u) → Beurteilung anhand des A_r notwendig
0.051	Überschreitung des Anhaltswertes (A_r)
26	deutliche Erhöhung (> 25%) der Immissionsbelastung
0.051	Überschreitung des Anhaltswertes und deutliche Erhöhung (> 25%) der Immissionsbelastung
<0.1	Erschütterungsbelastung unterhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle
n.d.	Zunahme der Immissionsbelastung nicht definiert
<0	Zunahme der Immissionsbelastung kleiner 0
>0	Zunahme der Immissionsbelastung größer 0

Tabelle 2: Beurteilungstabelle „sekundärer Luftschall“

Messobjekt, Lage zur Bahn	Adresse	Raumlage/ Nutzung	Gebiets-nutzung	Anforderungen sek. Luftschall in dB(A)				Immissionen sekundärer Luftschall in dB(A) Prognose Nullfall			Prognosefall			Zu-/Abnahme			Immissionen sekundärer Luftschall mit ESM in dB(A) Prognosefall			Zu-/Abnahme		
				$L_{i,max}$		$L_{i,r}$		$L_{i,max}$	$L_{i,r}$		$L_{i,max}$	$L_{i,r}$		$L_{i,max}$	$L_{i,r}$		$L_{i,max}$	$L_{i,r}$		$L_{i,max}$	$L_{i,r}$	
				Tag	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht
MO_1_km 18.65	Keßlerwiesen 6	0.EG_WZ	M	45	35	40	30	36	16,9	13,1	37	18,5	14,4	1	1,6	1,3	33	14,8	10,7	-3	-2,1	-2,4
MO_1_km 18.65	Keßlerwiesen 6	1.EG_WZ	M	45	35	40	30	35	15,7	12,0	37	17,4	13,3	2	1,7	1,3	33	13,8	9,7	-2	-1,9	-2,3
MO_2_km 18.74	Rohrer Str. 102	0.EG_WZ	M	45	35	40	30	30	12,2	8,4	32	13,8	9,8	2	1,6	1,4	29	11,2	7,2	-1	-1,0	-1,2
MO_2_km 18.74	Rohrer Str. 102	1.OG_SZ	M	45	35	40	30	33	15,0	11,2	35	16,6	12,6	2	1,6	1,4	32	14,3	10,3	-1	-0,7	-0,9
MO_3_km 19.83	Goethestr. 11	0.EG_WZ	W	45	35	40	30	28	9,0	5,2	29	10,5	6,5	1	1,5	1,3						
MO_3_km 19.83	Goethestr. 11	1.OG_WZ	W	45	35	40	30	30	11,0	7,3	31	12,4	8,5	1	1,4	1,2						
MO_4_km 19.9	Lilienstr. 2	0.EG_Büro	W	45	35	40	30	31	12,9	9,1	31	14,4	10,4	0	1,5	1,3						
MO_4_km 19.9	Lilienstr. 2	1.OG_WZ	W	45	35	40	30	27	8,8	5,1	27	10,4	6,4	0	1,6	1,3						
MO_5_km 20.85	Neuer Markt 3	2.OG_Raum	M	45	35	40	30	33	14,8	11,1	34	16,4	12,4	1	1,6	1,4						
MO_5_km 20.85	Neuer Markt 3	3.OG_Raum	M	45	35	40	30	31	12,2	8,4	31	13,7	9,7	0	1,5	1,3						
MO_6_km 21	Markomannenstr. 3	0.EG_SZ	M	45	35	40	30	29	10,8	7,1	30	12,4	8,4	0	1,6	1,3						
MO_6_km 21	Markomannenstr. 3	4.OG_WZ	M	45	35	40	30	31	11,5	7,7	31	13,1	9,1	0	1,6	1,4						
MO_7_km 21.06	Schützenweg 13	0.EG_SZ	M	45	35	40	30	33	13,9	10,2	33	15,5	11,5	0	1,6	1,3						
MO_7_km 21.06	Schützenweg 13	2.OG_SZ	M	45	35	40	30	31	11,8	8,0	31	13,3	9,3	0	1,5	1,3						
MO_8_km 22.35	Kolumbusstr. 25	0.EG_WZ	W	45	35	40	30	31	11,3	7,5	32	12,8	8,8	1	1,5	1,3						
MO_8_km 22.35	Kolumbusstr. 25	1.OG_WZ	W	45	35	40	30	27	6,6	2,8	27	8,1	4,1	0	1,5	1,3						
MO_9_km 22.54	Lehmgrubenweg 12	0.EG_WZ	M	45	35	40	30	29	11,5	7,8	31	13,0	9,0	2	1,5	1,2						
MO_9_km 22.54	Lehmgrubenweg 12	1.OG_WZ	M	45	35	40	30	27	10,0	6,5	30	11,2	7,4	3	1,2	0,9						
MO_10_km 22.6	Klinkerstr. 3	0.EG_WZ	M	45	35	40	30	29	15,1	10,0	34	15,7	10,5	5	0,6	0,5						
MO_10_km 22.6	Klinkerstr. 3	1.OG_WZ	M	45	35	40	30	31	16,6	11,0	35	17,3	11,7	4	0,7	0,7						
MO_11_km 22.8	Ziegeleistr. 31	0.EG_WZ	M	45	35	40	30	30	18,6	15,9	38	19,8	16,7	8	1,2	0,8						
MO_11_km 22.8	Ziegeleistr. 31	1.OG_SZ	M	45	35	40	30	26	15,3	12,1	35	16,4	12,9	9	1,1	0,8						

Anhang 2: gemessene KB_{Fmax} –Werte + energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsspektren je Messort, Raum und Zuggattung

MO_1 Kesslerwiesen 6,

Tabelle 1: Bei S-Bahn Vorbeifahrten gemessene KB_{Fmax} –Werte je Raum mit korrespondierender Geschwindigkeit (km/h):

$v_{gemessen}$	62	60	61	75	49	61	61	57	71	78	55	60	74	82	58	54	72	69	55
KB_{Fmax} EG	0.05	0.14	0.04	0.14	0.04	0.08	0.03	0.09	0.15	0.08	0.03	0.05	0.16	0.08	0.03	0.04	0.18	0.07	0.03
$v_{gemessen}$	62	60	61	61	57	71	78	55	60	74	58	54	72	69	55	67	73	73	57
KB_{Fmax} 1.OG	0.06	0.08	0.07	0.05	0.05	0.07	0.07	0.04	0.06	0.07	0.05	0.05	0.08	0.06	0.04	0.05	0.08	0.06	0.04

Tabelle 2: EG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	100	0.5	0.4	37.3	39.4	43.6	52.4	53.4	51.7	48.0	49.3	51.3	59.0	52.4	45.7	48.0	42.7	34.9	36.4	30.3	33.7
RE	100	0.8	0.8	41.3	42.7	46.3	51.2	52.2	51.7	55.2	47.8	46.9	52.0	50.4	48.6	47.7	44.1	33.6	31.7	27.0	28.4
S	100	0.8	0.8	41.3	42.7	46.3	51.2	52.2	51.7	55.2	47.8	46.9	52.0	50.4	48.6	47.7	44.1	33.6	31.7	27.0	28.4

.

Tabelle 3: 1.OG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	100	2.7	2.6	54.2	51.9	51.0	50.6	56.8	59.6	52.2	58.5	66.6	60.1	60.2	62.9	65.6	60.6	41.9	34.4	28.8	25.2
RE	100	0.8	0.8	47.0	45.2	47.7	49.2	54.0	54.8	57.1	58.7	60.3	63.1	56.5	58.7	60.0	58.2	39.9	35.2	30.2	31.5
S	100	0.8	0.8	47.0	45.2	47.7	49.2	54.0	54.8	57.1	58.7	60.3	63.1	56.5	58.7	60.0	58.2	39.9	35.2	30.2	31.5

MO_2 Rohrer Str. 102,

Tabelle 1: Bei S-Bahn Vorbeifahrten gemessene KB_{Fmax} –Werte je Raum mit korrespondierender Geschwindigkeit (km/h):

$v_{gemessen}$	60	48	51	53	63	51	54	46	60	50	48	62	53	48	46	55	54	54	47
KB_{Fmax} EG	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04	0.03	0.05	0.06	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	0.06
$v_{gemessen}$	60	48	51	53	63	51	54	46	60	50	48	62	53	48	46	55	54	54	47
KB_{Fmax} 1.OG	0.06	0.06	0.14	0.11	0.07	0.05	0.09	0.11	0.07	0.06	0.09	0.10	0.09	0.10	0.08	0.10	0.07	0.10	0.09

Tabelle 2: EG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert 5*10^{-5} mm/s)**																			
IC	100	39.0	37.6	38.7	45.2	46.6	55.1	51.4	45.3	50.2	56.7	70.0	61.6	55.5	41.6	21.0	15.1	23.5	20.9	19.8	13.6
RE	100	34.5	33.7	38.3	46.5	46.6	53.0	59.2	48.3	46.7	62.4	69.0	60.1	52.6	42.0	21.8	18.7	27.7	30.0	24.5	13.7
S	70*)	31.2	30.3	34.9	43.2	43.2	49.7	55.9	44.9	43.3	59.1	65.7	56.8	49.3	38.6	18.4	15.3	24.4	26.6	21.1	10.4

.

Tabelle 3: 1.OG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert 5*10^{-5} mm/s)**																			
IC	100	40.2	38.1	38.2	49.3	52.5	61.8	57.2	50.3	61.3	68.8	69.6	70.2	58.1	36.9	21.8	11.3	23.4	13.9	12.8	5.5
RE	100	35.7	34.2	37.8	50.7	52.4	59.8	65.0	53.3	57.8	74.6	68.7	68.8	55.3	37.3	22.6	14.8	27.6	23.0	17.4	5.6
S	70*)	32.4	30.9	34.4	47.3	49.1	56.4	61.6	49.9	54.4	71.2	65.4	65.4	51.9	34.0	19.2	11.5	24.2	19.7	14.1	2.3

*) Aufgrund der Nähe zur S-Bahnhaltestelle wurden die S-Bahnen mit einer maximalen Geschwindigkeit von 63 km/h gemessen, häufig deutlich darunter. Daher wurde für die Prognoseberechnung eine max. Geschwindigkeit der S-Bahnen von 70 km/h angenommen.

MC_3 Goethestr. 11,

Tabelle 1: Bei S-Bahn Vorbeifahrten gemessene KB_{Fmax} –Werte je Raum mit korrespondierender Geschwindigkeit (km/h):

$v_{gemessen}$	45	60	72	60	50	73	68	62	69	70	78	60	78	71	74	61	75	70	76	64
KB_{Fmax} EG	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02
$v_{gemessen}$	45	60	72	60	50	73	68	62	69	70	78	60	78	71	74	61	75	70	76	64
KB_{Fmax} 1.OG	0.09	0.09	0.04	0.04	0.07	0.04	0.05	0.07	0.07	0.04	0.05	0.07	0.07	0.05	0.04	0.06	0.06	0.05	0.04	0.07

Tabelle 2: EG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	100	42.0	34.1	36.0	45.3	45.4	43.1	25.8	33.2	52.5	52.3	44.6	47.2	44.8	30.0	26.9	49.9	47.3	36.0	38.6	36.9
RE	100	33.9	26.5	31.9	43.0	41.7	37.4	29.9	32.5	45.3	54.3	40.0	42.1	38.2	26.7	24.0	49.8	47.8	41.3	39.6	33.3
S	100	33.9	26.5	31.9	43.0	41.7	37.4	29.9	32.5	45.3	54.3	40.0	42.1	38.2	26.7	24.0	49.8	47.8	41.3	39.6	33.3

.

Tabelle 3: 1.OG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	100	42.6	34.8	38.4	48.1	48.6	48.6	41.5	50.1	65.4	58.8	45.1	41.7	39.0	22.9	26.8	38.9	39.7	30.8	30.6	33.9
RE	100	34.5	27.2	34.3	45.8	44.8	42.8	45.6	49.4	58.1	60.9	40.5	36.5	32.4	19.6	23.8	38.8	40.2	36.2	31.5	30.3
S	100	34.5	27.2	34.3	45.8	44.8	42.8	45.6	49.4	58.1	60.9	40.5	36.5	32.4	19.6	23.8	38.8	40.2	36.2	31.5	30.3

MO_4 Lilienstr.2,

Tabelle 1: Bei S-Bahn Vorbeifahrten gemessene KB_{Fmax} –Werte je Raum mit korrespondierender Geschwindigkeit (km/h):

$v_{gemessen}$	65	60	64	65	37	63	60	62	65	69	58	67	68	60	63	65
KB_{Fmax} EG	0.05	0.06	0.12	0.06	0.07	0.11	0.10	0.05	0.07	0.07	0.12	0.05	0.07	0.09	0.14	0.08
$v_{gemessen}$	65	60	64	65	37	65	63	60	62	65	69	58	67	68	60	63
KB_{Fmax} 1.OG	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05	0.05	0.08	0.04	0.05	0.05	0.07	0.04	0.05	0.05	0.05

Tabelle 2: EG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	70	31.0	34.3	36.1	43.1	51.9	54.0	38.8	39.5	54.2	58.3	64.8	40.2	38.0	32.6	35.7	28.6	48.8	33.4	31.1	30.0
RE	70	25.9	29.7	35.0	43.7	51.2	51.3	45.9	41.7	50.0	63.4	63.2	38.0	34.5	32.2	35.7	31.5	52.3	41.8	35.1	29.5
S	70	25.9	29.7	35.0	43.7	51.2	51.3	45.9	41.7	50.0	63.4	63.2	38.0	34.5	32.2	35.7	31.5	52.3	41.8	35.1	29.5

.

Tabelle 3: 1.OG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	70	31.7	35.5	38.6	44.6	54.1	57.2	45.5	50.2	63.7	53.2	49.5	40.4	39.6	31.2	30.2	29.4	45.2	27.7	20.1	18.6
RE	70	26.6	30.9	37.5	45.3	53.4	54.5	52.6	52.4	59.5	58.3	47.8	38.2	36.1	30.9	30.2	32.2	48.6	36.1	24.1	18.1
S	70	26.6	30.9	37.5	45.3	53.4	54.5	52.6	52.4	59.5	58.3	47.8	38.2	36.1	30.9	30.2	32.2	48.6	36.1	24.1	18.1

MO_5 Neuer Markt 3,

Tabelle 1: Bei S-Bahn Vorbeifahrten gemessene KB_{Fmax} –Werte je Raum mit korrespondierender Geschwindigkeit (km/h):

$v_{gemessen}$	62	61	74	72	69	56	72	59	73	60	71	53	69	68	61	72
KB_{Fmax} 2.OG	0.08	0.08	0.11	0.09	0.11	0.07	0.08	0.06	0.08	0.07	0.09	0.04	0.08	0.10	0.06	0.06
$v_{gemessen}$	62	61	74	73	72	69	50	56	72	59	73	60	71	53	69	68
KB_{Fmax} 3.OG	0.11	0.09	0.10	0.08	0.12	0.10	0.07	0.10	0.10	0.08	0.08	0.11	0.10	0.07	0.13	0.09

Tabelle 2: 2.OG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	80	43.7	41.9	56.9	58.5	57.3	56.8	48.6	48.1	57.0	53.0	56.9	64.4	59.4	48.6	41.5	40.1	44.7	35.5	33.9	33.3
RE	80	39.2	38.0	56.4	59.8	57.2	54.8	56.4	51.0	53.5	58.7	56.0	63.0	56.6	48.9	42.3	43.7	48.8	44.6	38.6	33.4
S	80	39.2	38.0	56.4	59.8	57.2	54.8	56.4	51.0	53.5	58.7	56.0	63.0	56.6	48.9	42.3	43.7	48.8	44.6	38.6	33.4

.

Tabelle 3: 3.OG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	80	39.6	39.4	55.6	59.2	59.7	63.8	52.6	55.1	62.2	56.6	53.3	55.8	50.8	43.9	37.7	38.1	35.7	31.7	27.9	28.1
RE	80	35.2	35.5	55.2	60.5	59.7	61.8	60.4	58.1	58.7	62.4	52.4	54.3	47.9	44.2	38.5	41.6	39.9	40.8	32.6	28.3
S	80	35.2	35.5	55.2	60.5	59.7	61.8	60.4	58.1	58.7	62.4	52.4	54.3	47.9	44.2	38.5	41.6	39.9	40.8	32.6	28.3

MO_6 Markomannenstr. 3,

Tabelle 1: Bei S-Bahn Vorbeifahrten gemessene KB_{Fmax} –Werte je Raum mit korrespondierender Geschwindigkeit (km/h):

$v_{gemessen}$	50	50	70	73	66	59	74	63	69	80	78	80	74	78	66	77	70	78	68	70
KB_{Fmax} EG	0.08	0.04	0.07	0.04	0.06	0.03	0.04	0.09	0.04	0.04	0.06	0.04	0.08	0.05	0.06	0.09	0.04	0.05	0.06	0.08
$v_{gemessen}$	50	50	70	73	66	59	74	63	69	80	78	80	74	78	66	77	70	78	68	70
KB_{Fmax} 4.OG	0.08	0.07	0.08	0.05	0.05	0.03	0.05	0.09	0.05	0.05	0.06	0.05	0.08	0.07	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.07

Tabelle 2: EG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	80	35.2	44.6	49.8	55.0	54.8	50.1	41.5	45.7	51.6	51.2	53.1	46.8	41.7	29.8	27.0	21.2	16.5	9.0	10.0	12.6
RE	80	31.0	40.8	49.6	56.6	55.0	48.3	49.4	48.9	48.3	57.1	52.4	45.6	39.0	30.3	28.0	25.0	20.8	18.2	14.9	12.9
S	80	31.0	40.8	49.6	56.6	55.0	48.3	49.4	48.9	48.3	57.1	52.4	45.6	39.0	30.3	28.0	25.0	20.8	18.2	14.9	12.9

.

Tabelle 3: 4.OG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	80	35.5	43.0	46.8	55.7	54.6	52.7	42.0	47.5	55.3	51.5	55.5	47.2	41.9	29.7	29.1	27.1	24.1	16.8	17.9	17.0
RE	80	31.2	39.3	46.6	57.3	54.8	50.9	49.9	50.6	51.9	57.4	54.8	46.0	39.3	30.3	30.1	30.8	28.5	26.0	22.7	17.4
S	80	31.2	39.3	46.6	57.3	54.8	50.9	49.9	50.6	51.9	57.4	54.8	46.0	39.3	30.3	30.1	30.8	28.5	26.0	22.7	17.4

MO_7 Schützenweg 13,

Tabelle 1: Bei S-Bahn Vorbeifahrten gemessene KB_{Fmax} –Werte je Raum mit korrespondierender Geschwindigkeit (km/h):

$v_{gemessen}$	60	69	69	64	69	66	69	54	69	68	60	60	60	69	51	60	54	64	60	64
KB_{Fmax} EG	0.04	0.08	0.02	0.07	0.04	0.04	0.08	0.02	0.04	0.05	0.02	0.04	0.05	0.09	0.02	0.05	0.07	0.09	0.03	0.07
$v_{gemessen}$	60	69	69	64	69	66	69	54	69	68	60	60	60	69	51	60	54	64	60	64
KB_{Fmax} 2.OG	0.05	0.07	0.03	0.09	0.06	0.06	0.12	0.03	0.07	0.06	0.03	0.07	0.06	0.12	0.04	0.08	0.06	0.12	0.03	0.06

Tabelle 2: EG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	80	36.4	40.9	46.2	52.7	54.3	52.3	45.0	47.0	52.7	54.7	61.8	61.6	50.7	48.6	49.9	43.0	36.5	22.3	19.5	12.1
RE	80	30.9	35.8	44.6	52.9	53.1	49.2	51.7	48.9	48.0	59.4	59.8	59.0	46.7	47.8	49.5	45.4	39.6	30.2	23.1	11.2
S	80	30.9	35.8	44.6	52.9	53.1	49.2	51.7	48.9	48.0	59.4	59.8	59.0	46.7	47.8	49.5	45.4	39.6	30.2	23.1	11.2

.

Tabelle 3: 2.OG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionsschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	80	42.0	47.1	54.6	57.9	58.4	52.3	45.0	44.1	55.9	58.0	60.8	54.1	49.8	42.7	42.8	39.5	33.8	19.9	21.7	21.4
RE	80	36.5	42.1	53.0	58.2	57.2	49.2	51.7	46.0	51.3	62.7	58.8	51.5	45.8	41.9	42.5	42.0	36.8	27.9	25.3	20.4
S	80	36.5	42.1	53.0	58.2	57.2	49.2	51.7	46.0	51.3	62.7	58.8	51.5	45.8	41.9	42.5	42.0	36.8	27.9	25.3	20.4

MO_8 Kolumbusstr. 25,

Tabelle 1: Bei S-Bahn Vorbeifahrten gemessene KB_{Fmax} –Werte je Raum mit korrespondierender Geschwindigkeit (km/h):

$v_{gemessen}$	57	77	62	89	85	66	80	74	78	80	74	83	74	80	83	80
KB_{Fmax} EG	0.02	0.12	0.03	0.02	0.05	0.07	0.02	0.04	0.07	0.11	0.04	0.04	0.05	0.02	0.05	0.11
$v_{gemessen}$	77	62	89	85	66	80	74	78	74	83	74	80	83	80	83	80
KB_{Fmax} 1.OG	0.02	0.03	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.05	0.11

Tabelle 2: EG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionensschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	100	22.7	22.0	21.9	32.5	41.5	37.4	30.4	28.6	45.8	56.5	66.3	38.1	29.3	22.7	17.7	7.8	-0.3	-6.8	0.0	-5.1
RE	100	18.2	17.9	21.4	33.7	41.4	35.3	38.0	31.4	42.2	62.1	65.3	36.5	26.4	22.9	18.3	11.2	3.7	2.2	4.6	-5.0
S	100	18.2	17.9	21.4	33.7	41.4	35.3	38.0	31.4	42.2	62.1	65.3	36.5	26.4	22.9	18.3	11.2	3.7	2.2	4.6	-5.0

.

Tabelle 3: 1.OG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionensschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	100	22.1	21.2	24.0	35.5	43.8	42.1	39.8	44.3	50.3	46.4	55.5	41.9	27.9	21.6	17.2	6.1	-1.2	-6.4	-10.5	-6.9
RE	100	17.6	17.2	23.4	36.8	43.7	40.0	47.4	47.1	46.6	52.1	54.5	40.4	25.0	21.9	17.8	9.6	2.9	2.6	-6.0	-6.9
S	100	17.6	17.2	23.4	36.8	43.7	40.0	47.4	47.1	46.6	52.1	54.5	40.4	25.0	21.9	17.8	9.6	2.9	2.6	-6.0	-6.9

MO_9 Lehmgrubenweb 12,

Tabelle 1: Bei S-Bahn Vorbeifahrten gemessene KB_{Fmax} –Werte je Raum mit korrespondierender Geschwindigkeit (km/h):

$v_{gemessen}$	69	54	58	66	65	65	62	66	57	66	56	65	54	66
KB_{Fmax} EG	0.02	0.05	0.03	0.03	0.03	0.06	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.04
$v_{gemessen}$	69	54	58	66	65	65	62	66	66	56	65	54	66	55
KB_{Fmax} 1.OG	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02

Tabelle 2: EG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionensschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert 5*10^{-5} mm/s)**																			
IC	100	33.2	31.1	30.2	29.8	36.9	44.6	38.4	48.3	55.5	49.7	50.2	47.2	55.2	46.1	47.5	35.8	29.5	9.7	7.7	9.2
RE	100	24.5	23.0	25.6	27.0	32.7	38.4	36.1	47.0	57.7	51.2	45.0	41.6	48.2	42.3	44.1	35.2	29.4	14.5	8.2	5.2
S	100	24.5	23.0	25.6	27.0	32.7	38.4	36.1	47.0	57.7	51.2	45.0	41.6	48.2	42.3	44.1	35.2	29.4	14.5	8.2	5.2

.

Tabelle 3: 1.OG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionensschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert 5*10^{-5} mm/s)**																			
IC	100	35.0	31.0	28.8	28.8	35.2	43.3	35.2	41.8	56.8	43.1	43.6	50.3	51.7	44.5	42.5	36.1	31.5	6.4	5.9	10.2
RE	100	26.4	22.9	24.2	26.0	31.0	37.0	33.0	40.6	49.1	44.7	38.5	44.7	44.7	40.7	39.1	35.5	31.5	11.3	6.3	6.2
S	100	26.4	22.9	24.2	26.0	31.0	37.0	33.0	40.6	49.1	44.7	38.5	44.7	44.7	40.7	39.1	35.5	31.5	11.3	6.3	6.2

MO_10 Klinkerstr. 3,

Tabelle 1: gemessene KB_{Fmax} –Werte von ankommenden und abfahrenden (Haltestellenbereich) S-Bahnen je Raum:

ab/an	ab	an	ab	ab	an	an	an	ab	an	an	ab	40	ab	an	an	ab	ab	an	ab	an
KB_{Fmax} EG	0.04	0.01	0.04	0.03	0.02	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.06	0.06	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.04	0.03
ab/an	ab	an	ab	ab	an	an	an	ab	an	an	ab	40	ab	an	an	ab	ab	an	ab	an
KB_{Fmax} 1.OG	0.05	0.02	0.13	0.05	0.03	0.03	0.06	0.05	0.04	0.02	0.08	0.09	0.06	0.13	0.04	0.06	0.05	0.06	0.14	0.05

Tabelle 2: EG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionensschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert 5*10^{-5} mm/s)**																			
IC	100	47.5	44.2	38.5	34.6	41.3	49.1	52.1	58.9	67.9	56.2	54.4	56.1	61.5	48.7	45.7	42.6	39.6	16.7	11.5	13.7
RE	100	38.0	35.5	32.8	31.3	35.7	40.7	48.0	55.9	57.8	56.0	48.2	48.2	49.6	42.2	37.6	37.9	35.8	19.2	11.6	8.1
S	50*	28.0	26.6	26.5	27.5	30.4	34.9	44.9	42.9	44.5	48.0	44.6	44.6	36.5	28.0	19.9	12.2	11.2	10.4	17.4	13.6

.

Tabelle 3: 1.OG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionensschnellepegel je Zuggattung (bezogen auf Gleis 1), Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		**4**	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert 5*10^{-5} mm/s)**																			
IC	100	48.3	48.1	40.2	39.4	50.3	64.5	60.5	62.4	75.5	54.5	54.2	55.8	64.3	53.5	48.5	40.9	29.9	6.6	1.0	1.8
RE	100	38.8	39.4	34.5	36.2	44.7	56.2	56.3	59.4	65.4	54.3	48.0	47.9	52.4	47.0	40.3	36.3	26.2	9.1	1.1	-3.8
S	50*	28.8	30.4	28.3	32.3	39.4	50.4	53.3	46.4	52.1	46.3	44.3	44.2	39.3	32.8	22.7	10.5	1.6	0.3	7.0	1.6

*) Das Objekt befindet sich im Bereich der S-Bahnhaltestelle. Die abfahrenden und ankommenden S-Bahnen wurden mit max. 15 km/h – 40 km/h gemessen. Daher wurde für die Prognoseberechnung eine max. Geschwindigkeit der S-Bahnen von 50 km/h angenommen.

MO_11 Ziegeleistr. 31,

Tabelle 1: gemessene KB_{Fmax} –Werte von ankommenden und abfahrenden (Haltestellenbereich) S-Bahnen je Raum:

ab/an	an	an	ZB*)	an	ab	an	ab	ab	ab	an	ab	an	ab	ab	ab	an	ab	ab	ab
KB_{Fmax} EG	0.01	0.03	0.10	0.01	0.05	0.01	0.03	0.06	0.04	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05	0.06	0.02	0.02	0.04	0.06
ab/an	an	an	ZB*)	an	ab	an	ab	ab	ab	an	ab	ab	ab	ab	an	an	ab	ab	ab
KB_{Fmax} 1.OG	0.01	0.03	0.04	0.01	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02

*) Zugbegegnung zweier S-Bahnen

Tabelle 2: EG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionensschnellepegel je Zuggattung, Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	100	16.7	21.0	22.6	26.9	34.9	43.8	38.7	46.0	58.7	56.3	67.5	61.9	59.1	53.4	62.0	56.9	47.1	22.0	17.0	26.4
RE	100	12.4	17.2	22.3	28.4	35.0	41.8	40.8	49.1	55.2	62.2	66.6	60.6	56.4	53.9	62.9	60.6	51.3	31.1	21.8	26.7
S	50*	22.2	22.9	25.4	27.3	31.6	32.1	31.9	34.5	41.4	45.3	57.8	54.1	45.2	45.0	46.8	34.4	25.1	19.6	20.5	23.6

.

Tabelle 3: 1.OG- energetisch gemittelte Körperschall-Immissionensschnellepegel je Zuggattung, Max-Hold –Werte

Frequenz, Terz in Hz		4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
IC	100	16.2	22.4	31.5	29.1	35.9	44.9	40.6	49.7	70.2	64.3	54.4	52.0	56.6	48.6	55.1	51.4	47.4	13.6	8.9	13.6
RE	100	11.8	18.5	31.1	30.6	36.0	43.0	42.7	52.8	66.7	70.1	53.6	50.6	53.9	49.1	55.9	55.1	51.7	22.8	13.7	13.9
S	50*	21.7	24.3	34.3	29.5	32.6	33.2	33.9	38.2	52.9	53.3	44.7	44.2	42.7	40.1	39.8	28.9	25.4	11.2	12.4	10.7

*) Das Objekt befindet sich im Bereich der S-Bahnhaltestelle. Die abfahrenden und ankommenden S-Bahnen wurden mit max. 15 km/h – 40 km/h gemessen. Daher wurde für die Prognoseberechnung eine max. Geschwindigkeit der S-Bahnen von 50 km/h angenommen.

Tunnelemissionen für den Bereich Flughafen/Messe

Frequenz Terz in Hz		4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Zugart	v in km/h	Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)																			
IC	50	43.8	42.5	39.7	37.1	37.7	40.4	32.8	36.7	45.6	47.2	57.1	66.5	68.8	65.1	68.5	64.7	56.9	49.8	57.2	61.3
RE	50	38.4	37.6	38.3	37.5	36.7	37.4	39.6	38.7	41.1	52.0	55.2	64.1	65.0	64.5	68.3	67.3	60.1	57.9	60.9	60.5
S	50	38.4	37.6	38.3	37.5	36.7	37.4	39.6	38.7	41.1	52.0	55.2	64.1	65.0	64.5	68.3	67.3	60.1	57.9	60.9	60.5

Emissionstabelle: Angesetzte Körperschall-Emissionen in 8 m Entfernung zum Gleis je Messort

Frequenz, Terz in Hz	v	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Messort MO / Zugart	**in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
MO_1_km 18.65, s=8m		Max-Hold –Werte																			
FV	100	42.8	41.1	44.7	53.9	55.8	59.6	75.0	64.5	58.0	76.4	68.3	65.5	62.3	64.3	48.6	46.2	35.3	44.7	34.9	17.5
RV	100	43.7	45.0	42.7	49.2	55.9	67.0	70.5	66.4	70.8	73.2	70.7	77.7	73.9	61.9	49.3	46.0	37.5	43.4	34.4	27.1
S-Bahn	80	46.3	44.1	44.2	51.6	54.9	60.7	66.3	60.6	60.6	69.7	68.3	66.0	64.2	63.0	46.9	41.7	30.2	34.7	29.3	16.4
MO_1_km 18.65, s=8m		$L_{v,eq}$ –Werte																			
FV	100	29.2	28.7	35.9	49.9	51.7	53.7	69.2	57.2	50.4	71.0	62.4	58.9	54.5	53.7	42.3	41.3	31.8	36.7	28.4	14.8
RV	100	30.1	32.8	34.6	47.3	52.4	60.9	63.4	57.8	60.9	68.7	62.9	70.7	67.0	51.5	41.8	39.2	32.8	32.8	25.0	21.9
S-Bahn	80	33.2	31.4	35.9	46.3	49.7	46.7	42.0	48.2	59.4	60.3	53.3	52.3	50.5	42.6	35.9	33.6	31.5	26.6	13.4	5.2
MO_2_km 18.74, s=8m		Max-Hold –Werte																			
FV	100	27.1	27.0	34.4	42.2	50.5	53.8	66.5	65.8	58.9	67.0	59.8	62.7	59.8	62.7	64.5	64.6	51.3	49.4	30.9	19.4
RV	100	28.0	30.9	32.4	37.5	50.6	61.2	62.0	67.7	71.7	63.8	62.2	74.9	71.4	60.3	65.2	64.4	53.5	48.1	30.4	29.0
S-Bahn	60	28.0	27.4	31.3	37.3	47.0	52.3	55.2	59.3	58.9	57.7	57.2	60.6	59.1	58.8	60.2	57.5	43.6	36.8	22.7	15.7
MO_2_km 18.74, s=8m		$L_{v,eq}$ –Werte																			
FV	100	21.2	21.1	27.1	36.7	43.9	47.7	60.2	58.8	52.2	60.6	54.1	56.5	53.7	56.7	58.5	58.0	45.2	41.5	24.4	14.0
RV	100	22.1	25.2	25.8	34.1	44.6	54.9	54.4	59.4	62.7	58.3	54.6	68.3	66.2	54.5	58.0	55.9	46.2	37.6	21.0	21.1
S-Bahn	60	22.1	21.5	24.0	31.8	40.4	46.2	48.9	52.3	52.2	51.3	51.5	54.4	53.0	52.8	54.2	50.9	37.5	28.9	16.2	10.3
MO_3_km 19.83, s=8m		Max-Hold –Werte																			
FV	70	31.2	30.5	38.6	51.0	52.8	49.1	53.8	56.5	59.6	68.2	55.6	55.0	51.4	45.9	39.9	39.5	37.3	37.1	19.7	6.4
RV	70	32.1	34.4	36.6	46.3	52.9	56.5	49.3	58.4	72.4	65.0	58.0	67.2	63.0	43.5	40.6	39.3	39.5	35.8	19.2	16.0
S-Bahn	70	36.6	35.4	40.0	50.6	53.8	52.1	47.0	54.5	64.1	63.4	57.5	57.4	55.2	46.5	40.1	36.9	34.1	29.0	16.0	7.2
MO_3_km 19.83, s=8m		$L_{v,eq}$ –Werte																			
FV	70	27.1	25.8	33.8	46.0	48.0	43.0	48.1	49.5	54.2	64.4	50.7	49.2	46.0	41.4	35.0	35.5	34.0	34.0	16.4	3.8
RV	70	28.0	29.9	32.5	43.4	48.7	50.2	42.3	50.1	64.7	62.1	51.2	61.0	58.5	39.2	34.5	33.4	35.0	30.1	13.0	10.9
S-Bahn	70	32.5	30.7	35.2	45.6	49.0	46.0	41.3	47.5	58.7	59.6	52.6	51.6	49.8	42.0	35.2	32.9	30.8	25.9	12.7	4.6
MO_4_km 19.9, s=24m		Max-Hold –Werte																			
FV	70	25.2	26.3	33.3	43.1	49.7	51.9	58.2	51.3	47.8	68.1	53.7	46.2	37.1	34.0	32.0	37.8	38.6	35.7	22.8	11.6
RV	70	26.1	30.2	31.3	38.4	49.8	59.3	53.7	53.2	60.6	64.9	56.1	58.4	48.7	31.6	32.7	37.6	40.8	34.4	22.3	21.2
S-Bahn	70	30.6	31.2	34.7	42.7	50.7	54.9	51.4	49.3	52.3	63.3	55.6	48.6	40.9	34.6	32.2	35.2	35.4	27.6	19.1	12.4
MO_4_km 19.9, s=24m		$L_{v,eq}$ –Werte																			
FV	70	20.0	21.7	28.8	37.9	40.3	42.4	50.4	43.4	42.7	62.9	47.9	40.8	32.4	29.6	27.5	34.2	34.1	32.8	19.5	8.0
RV	70	20.9	25.8	27.5	35.3	41.0	49.6	44.6	44.0	53.2	60.6	48.4	52.6	44.9	27.4	27.0	32.1	35.1	28.9	16.1	15.1

Frequenz, Terz in Hz	v	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Messort MO / Zugart	**in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
S-Bahn	70	25.4	26.6	30.2	37.5	41.3	45.4	43.6	41.4	47.2	58.1	49.8	43.2	36.2	30.2	27.7	31.6	30.9	24.7	15.8	8.8
MO_5_km 20.85, s=8m		Max-Hold –Werte																			
FV	80	34.3	32.0	49.8	63.4	62.8	60.7	70.4	56.3	50.6	71.1	61.9	61.6	54.3	51.3	50.9	57.7	52.1	47.2	41.9	33.3
RV	80	35.2	35.9	47.8	58.7	62.9	68.1	65.9	58.2	63.4	67.9	64.3	73.8	65.9	48.9	51.6	57.5	54.3	45.9	41.4	42.9
S-Bahn	80	39.7	36.9	51.2	63.0	63.8	63.7	63.6	54.3	55.1	66.3	63.8	64.0	58.1	51.9	51.1	55.1	48.9	39.1	38.2	34.1
MO_5_km 20.85, s=8m		$L_{v,eq}$ –Werte																			
FV	80	29.1	28.2	45.6	58.6	57.8	55.0	65.1	52.0	46.1	66.7	57.1	55.8	48.7	46.4	47.1	53.5	47.9	42.6	38.3	28.4
RV	80	30.0	32.3	44.3	56.0	58.5	62.2	59.3	52.6	56.6	64.4	57.6	67.6	61.2	44.2	46.6	51.4	48.9	38.7	34.9	35.5
S-Bahn	80	34.5	33.1	47.0	58.2	58.8	58.0	58.3	50.0	50.6	61.9	59.0	58.2	52.5	47.0	47.3	50.9	44.7	34.5	34.6	29.2
MO_6_km 21, s=11m		Max-Hold –Werte																			
FV	80	35.2	33.5	50.4	61.1	59.0	55.5	65.2	53.9	48.1	67.5	60.7	63.6	61.2	59.7	51.4	46.1	37.1	35.4	28.4	17.7
RV	80	36.1	37.4	48.4	56.4	59.1	62.9	60.7	55.8	60.9	64.3	63.1	75.8	72.8	57.3	52.1	45.9	39.3	34.1	27.9	27.3
S-Bahn	80	40.6	38.4	51.8	60.7	60.0	58.5	58.4	51.9	52.6	62.7	62.6	66.0	65.0	60.3	51.6	43.5	33.9	27.3	24.7	18.5
MO_6_km 21, s=11m		$L_{v,eq}$ –Werte																			
FV	80	30.9	28.5	46.8	55.8	53.7	50.0	58.8	49.4	42.5	63.2	55.6	57.0	54.9	53.8	47.9	42.5	34.3	31.9	25.8	14.7
RV	80	31.8	32.6	45.5	53.2	54.4	57.2	53.0	50.0	53.0	60.9	56.1	68.8	67.4	51.6	47.4	40.4	35.3	28.0	22.4	21.8
S-Bahn	80	36.3	33.4	48.2	55.4	54.7	53.0	52.0	47.4	47.0	58.4	57.5	59.4	58.7	54.4	48.1	39.9	31.1	23.8	22.1	15.5
MO_7_km 21.06, s=15m		Max-Hold –Werte																			
FV	80	22.1	29.8	47.7	61.5	62.1	54.3	63.1	53.1	51.0	69.7	59.9	54.7	44.0	44.9	40.9	41.9	43.5	45.9	34.1	23.0
RV	80	23.0	33.7	45.7	56.8	62.2	61.7	58.6	55.0	63.8	66.5	62.3	66.9	55.6	42.5	41.6	41.7	45.7	44.6	33.6	32.6
S-Bahn	80	27.5	34.7	49.1	61.1	63.1	57.3	56.3	51.1	55.5	64.9	61.8	57.1	47.8	45.5	41.1	39.3	40.3	37.8	30.4	23.8
MO_7_km 21.06, s=15m		$L_{v,eq}$ –Werte																			
FV	80	17.1	24.8	43.2	55.9	56.1	48.5	57.3	47.6	44.7	64.3	54.9	48.7	38.1	38.1	36.0	38.1	39.8	41.6	30.6	20.1
RV	80	18.0	28.9	41.9	53.3	56.8	55.7	51.5	48.2	55.2	62.0	55.4	60.5	50.6	35.9	35.5	36.0	40.8	37.7	27.2	27.2
S-Bahn	80	22.5	29.7	44.6	55.5	57.1	51.5	50.5	45.6	49.2	59.5	56.8	51.1	41.9	38.7	36.2	35.5	36.6	33.5	26.9	20.9
MO_8_km 22.35, s=11m		Max-Hold –Werte																			
FV	100	13.8	14.2	22.3	34.7	36.8	31.0	48.4	43.0	44.8	66.0	60.0	47.3	40.3	36.4	28.6	23.6	16.4	11.8	3.0	-6.5
RV	100	14.7	18.1	20.3	30.0	36.9	38.4	43.9	44.9	57.6	62.8	62.4	59.5	51.9	34.0	29.3	23.4	18.6	10.5	2.5	3.1
S-Bahn	100	19.2	19.1	23.7	34.3	37.8	34.0	41.6	41.0	49.3	61.2	61.9	49.7	44.1	37.0	28.8	21.0	13.2	3.7	-0.7	-5.7
MO_8_km 22.35, s=11m		$L_{v,eq}$ –Werte																			
FV	100	8.7	9.4	17.9	30.4	31.6	26.3	43.2	37.2	39.3	61.0	55.5	41.1	34.6	27.8	20.8	17.0	11.3	6.7	-2.1	-8.5
RV	100	9.6	13.5	16.6	27.8	32.3	33.5	37.4	37.8	49.8	58.7	56.0	52.9	47.1	25.6	20.3	14.9	12.3	2.8	-5.5	-1.4
S-Bahn	100	14.1	14.3	19.3	30.0	32.6	29.3	36.4	35.2	43.8	56.2	57.4	43.5	38.4	28.4	21.0	14.4	8.1	-1.4	-5.8	-7.7

Frequenz, Terz in Hz	v	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Messort MO / Zugart	**in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
MO_9_km 22.54, s=10m		Max-Hold –Werte																			
FV	100	28.8	28.1	31.8	33.2	34.7	37.3	47.6	53.1	51.1	61.0	48.6	49.8	51.6	49.7	51.7	53.6	45.3	30.0	17.5	12.4
RV	100	29.7	32.0	29.8	28.5	34.8	44.7	43.1	55.0	63.9	57.8	51.0	62.0	63.2	47.3	52.4	53.4	47.5	28.7	17.0	22.0
S-Bahn	61	29.9	28.7	28.9	28.5	31.4	36.0	36.5	46.8	51.3	51.9	46.2	47.9	51.1	46.0	47.6	46.7	37.8	17.6	9.5	8.9
MO_9_km 22.54, s=10m		$L_{v,eq}$ –Werte																			
FV	100	23.6	23.2	26.4	28.5	29.0	30.9	41.4	47.0	44.5	54.9	43.2	43.2	42.4	42.7	42.7	45.3	37.3	23.3	12.8	6.5
RV	100	24.5	27.3	25.1	25.9	29.7	38.1	35.6	47.6	55.0	52.6	43.7	55.0	54.9	40.5	42.2	43.2	38.3	19.4	9.4	13.6
S-Bahn	61	24.7	23.8	23.5	23.8	25.7	29.6	30.3	40.7	44.7	45.8	40.8	41.3	41.9	39.0	38.6	38.4	29.8	10.9	4.8	3.0
MO_10_km 22.66, s=8m		Max-Hold –Werte																			
FV, s=11m aus MO_8	100	13.8	14.2	22.3	34.7	36.8	31.0	48.4	43.0	44.8	66.0	60.0	47.3	40.3	36.4	28.6	23.6	16.4	11.8	3.0	-6.5
RV, s=11m aus MO_8	100	14.7	18.1	20.3	30.0	36.9	38.4	43.9	44.9	57.6	62.8	62.4	59.5	51.9	34.0	29.3	23.4	18.6	10.5	2.5	3.1
S-Bahn ankommend	15	19.0	19.2	21.5	24.2	24.7	28.1	31.6	32.0	35.6	42.1	41.4	42.0	33.1	29.1	25.2	16.9	9.5	6.4	15.0	12.8
S-Bahn abfahrend	30	18.2	19.6	20.6	27.3	30.5	35.2	38.2	42.0	46.8	52.8	47.9	47.1	44.3	48.8	46.6	42.5	30.4	19.0	19.8	20.4
MO_10_km 22.66, s=8m		$L_{v,eq}$ –Werte																			
FV, s=11m aus MO_8	100	8.7	9.4	17.9	30.4	31.6	26.3	43.2	37.2	39.3	61.0	55.5	41.1	34.6	27.8	20.8	17.0	11.3	6.7	-2.1	-8.5
RV, s=11m aus MO_8	100	9.6	13.5	16.6	27.8	32.3	33.5	37.4	37.8	49.8	58.7	56.0	52.9	47.1	25.6	20.3	14.9	12.3	2.8	-5.5	-1.4
S-Bahn ankommend	15	12.6	14.0	15.5	18.5	18.7	22.0	25.3	25.8	27.6	33.7	33.4	34.5	26.5	22.5	18.6	10.5	3.4	-0.1	8.1	5.5
S-Bahn abfahrend	30	12.1	13.2	14.1	20.0	23.3	27.2	31.2	33.3	38.1	46.3	41.3	39.9	36.8	37.8	37.8	32.2	20.3	10.5	10.1	10.8
MO_11_km 22.8, s=12m		Max-Hold –Werte																			
FV, s=11m aus MO_8	100	13.9	14.3	22.3	34.7	36.9	31.0	48.5	43.0	44.9	66.0	60.1	47.3	40.4	36.5	28.6	23.6	16.4	11.8	3.0	-6.5
RV, s=11m aus MO_8	100	14.8	18.2	20.3	30.0	37.0	38.4	44.0	44.9	57.7	62.8	62.5	59.5	52.0	34.1	29.3	23.4	18.6	10.5	2.5	3.1
S-Bahn ankommend	15	41.5	39.2	38.1	34.1	35.0	33.9	35.4	40.2	46.6	44.0	47.2	50.9	46.7	42.1	36.7	26.3	18.9	13.5	14.5	11.5
S-Bahn abfahrend	30	38.5	34.7	34.4	33.7	33.2	30.9	29.2	30.8	36.4	47.3	39.9	39.8	39.3	36.7	30.8	23.4	19.6	16.5	15.0	6.0
MO_11_km 22.8, s=12m		$L_{v,eq}$ –Werte																			
FV, s=11m aus MO_8	100	8.8	9.4	17.9	30.4	31.7	26.3	43.2	37.3	39.3	61.1	55.5	41.2	34.6	27.9	20.8	17.0	11.4	6.8	-2.1	-8.4
RV, s=11m aus MO_8	100	9.7	13.5	16.6	27.8	32.4	33.5	37.4	37.9	49.8	58.8	56.0	53.0	47.1	25.7	20.3	14.9	12.4	2.9	-5.5	-1.3
S-Bahn ankommend	15	33.0	30.9	29.7	27.1	26.6	26.9	27.5	31.8	37.2	37.5	40.8	44.3	40.0	35.2	29.1	20.0	12.1	6.8	6.8	3.7
S-Bahn abfahrend	30	31.2	27.6	27.2	26.2	26.6	25.4	23.9	24.7	29.5	39.9	33.9	32.2	31.9	29.2	23.0	16.3	11.8	8.2	6.6	0.0

Tunnelemissionen für den Bereich Flughafen/Messe

Frequenz, Terz in Hz		4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Zugart	**v in km/h**	**Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5*10^{-5}$ mm/s)**																			
FV + RV *	50	43.8	42.5	39.7	37.1	37.7	40.4	32.8	36.7	45.6	47.2	57.1	66.5	68.8	65.1	68.5	64.7	56.9	49.8	57.2	61.3
S-Bahn	50	38.4	37.6	38.3	37.5	36.7	37.4	39.6	38.7	41.1	52.0	55.2	64.1	65.0	64.5	68.3	67.3	60.1	57.9	60.9	60.5

*: abgeleitete Emissionsansätze

Tabelle: Entfernungsbedingte Körperschall-Pegelabnahme im Boden (messtechnisch ermittelt)

Frequenz, Terz in Hz	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Ausbreitungsquerschnitt: MO Nr., km	Pegelabnahme in dB																			
Vergleichswert nach DB Richtlinie 820.2050 [5]	8	10	12	14	16	18	20	22	26.5	31.5	35	39	39	39	39	39	39	39	39	39
MO_1_km 18.65	10.1	9.9	3.6	12.1	9.2	21.1	24.0	19.5	23.0	38.2	38.9	36.3	36.8	28.2	12.5	8.3	1.6	2.9	4.4	2.8
MO_2_km 18.74	10.1	9.9	3.6	12.1	9.2	21.1	24.0	19.5	23.0	38.2	38.9	36.3	36.8	28.2	12.5	8.3	1.6	2.9	4.4	2.8
MO_3_km 19.83	8.6	8.6	8.6	5.6	16.1	18.9	24.8	32.4	29.0	12.7	24.9	33.3	38.6	39.9	35.1	13.2	4.5	0.9	1.0	1.0
MO_4_km 19.9	18.6	9.0	8.3	10.3	1.2	20.1	23.8	15.6	22.9	34.3	35.1	43.1	22.4	17.2	24.2	41.4	31.5	23.6	26.4	34.7
MO_5_km 20.85	4.8	2.9	10.3	13.6	15.5	18.9	19.6	21.0	27.6	26.8	31.5	29.3	14.1	4.0	5.1	8.4	17.6	17.7	11.5	8.4
MO_6_km 21.0	4.8	2.9	10.3	13.6	15.5	18.9	19.6	21.0	27.6	26.8	31.5	29.3	14.1	4.0	5.1	8.4	17.6	17.7	11.5	8.4
MO_7_km 21.06	4.8	2.9	10.3	13.6	15.5	18.9	19.6	21.0	27.6	26.8	31.5	29.3	14.1	4.0	5.1	8.4	17.6	17.7	11.5	8.4
MO_8_km 22.35	4.8	2.9	10.3	13.6	15.5	18.9	19.6	21.0	27.6	26.8	31.5	29.3	14.1	4.0	5.1	8.4	17.6	17.7	11.5	8.4
MO_9_km 22.54	4.8	2.9	10.3	13.6	15.5	18.9	19.6	21.0	27.6	26.8	31.5	29.3	14.1	4.0	5.1	8.4	17.6	17.7	11.5	8.4
MO_10_km 22.66	4.8	2.9	10.3	13.6	15.5	18.9	19.6	21.0	27.6	26.8	31.5	29.3	14.1	4.0	5.1	8.4	17.6	17.7	11.5	8.4
MO_11_km 22.8	4.8	2.9	10.3	13.6	15.5	18.9	19.6	21.0	27.6	26.8	31.5	29.3	14.1	4.0	5.1	8.4	17.6	17.7	11.5	8.4

Tabelle: Gebäudeübertragungsfunktionen (messtechnisch ermittelt)

Frequenz, Terz in Hz	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125
Messort MO	**Übertragungsfunktionen dL_G**															
MO_1_km 18.65	Keßlerwiesen 6															
Erdboden-Fundament	-0.8	0.4	2.8	1.8	-1.0	-5.3	-6.9	-9.4	-9.6	-11.0	-11.0	-11.0	-10.0	-13.9	-11.1	-8.5
Fundament-0.EG_WZ	2.6	1.8	-1.2	-1.0	1.3	0.9	-1.1	2.3	3.4	15.6	13.7	7.8	9.5	17.0	18.5	17.4
Fundament-1.EG_WZ	5.8	2.5	1.4	-2.0	1.8	3.1	2.0	10.9	13.4	11.1	6.0	10.1	12.3	14.1	6.3	3.5
MO_2_km 18.74	Rohrer Str. 102															
Erdboden-Fundament	13.9	12.3	9.3	3.4	-3.1	-2.0	-4.7	-11.0	-9.9	-12.0	-13.7	-14.5	-17.1	-23.3	-25.6	-28.1
Fundament-0.EG_WZ	-16.1	-15.9	-12.4	-9.9	-7.9	-5.3	-1.6	-0.2	-1.1	6.9	15.8	10.2	9.8	6.3	-0.7	3.5
Fundament-1.OG_SZ	-14.9	-15.4	-12.9	-5.8	-2.0	1.4	4.2	4.8	9.9	19.0	15.5	18.9	12.4	1.6	0.0	-0.3
MO_3_km 19.83	Goethestr. 11															
Erdboden-Fundament	4.2	-0.6	-4.2	-3.4	-2.9	-3.4	-1.4	-3.4	-8.6	-10.2	-5.7	-7.6	-8.5	-4.4	-6.4	-18.3
Fundament-0.EG_WZ	6.1	0.5	1.4	0.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.4	-0.1	7.0	7.5	4.3	6.1	23.8
Fundament-1.OG_WZ	6.0	0.5	3.1	3.0	2.9	5.0	14.7	15.4	11.6	6.9	-1.6	-1.2	-1.4	-5.9	3.2	11.7
MO_4_km 19.9	Lilienstr. 2															
Erdboden-Fundament	-12.2	-3.1	1.7	0.5	0.6	-3.6	-6.0	-9.7	-9.7	-12.7	-11.1	-17.5	-12.4	-12.6	-11.3	-16.3
Fundament-0.EG_Büro	7.4	1.5	-1.4	0.5	-0.1	-0.1	0.5	2.1	7.4	12.8	18.7	7.0	6.0	10.2	14.8	12.6
Fundament-1.OG_WZ	8.2	2.8	1.1	2.1	2.0	3.1	7.2	12.8	16.9	7.7	3.4	7.2	7.5	8.9	9.4	13.3
MO_5_km 20.85	Neuer Markt 3															
Erdboden-Fundament	-1.5	0.3	2.4	-6.2	-6.3	-4.0	-2.7	4.0	-3.7	-7.7	-10.2	-4.3	-8.5	-7.9	-6.0	-15.8
Fundament-2.OG_Raum	1.0	0.7	2.8	3.0	-0.3	-4.8	-4.3	-7.2	2.2	0.4	2.6	3.4	7.1	5.1	-2.7	4.6
Fundament-3.OG_Raum	-3.0	-1.8	1.6	3.7	2.2	2.2	-0.4	-0.2	7.4	4.0	-1.1	-5.2	-1.5	0.4	-6.5	2.5
MO_6_km 21	Markomannenstr. 3															
Erdboden-Fundament	-6.8	1.3	-1.8	-6.1	-6.4	-10.0	-9.0	-8.6	-9.0	-14.4	-17.9	-22.9	-26.7	-23.0	-14.8	-7.9
Fundament-0.EG_SZ	1.6	-0.5	-0.4	2.0	2.5	2.2	2.5	5.1	5.7	12.3	14.9	9.2	3.0	1.2	-4.1	-8.2
Fundament-4.OG_WZ	1.8	-2.1	-3.4	2.7	2.3	4.8	3.0	6.9	9.3	12.6	17.4	9.6	3.2	1.2	-2.0	-2.3
MO_7_km 21.06	Schützenweg 13															
Erdboden-Fundament	6.2	3.4	4.6	0.5	-2.4	-5.6	-4.1	-6.6	-12.3	-11.4	-15.0	-14.2	-11.2	-9.7	-4.1	-4.0
Fundament-0.EG_SZ	-4.0	-2.0	-8.3	-7.6	-6.4	-1.0	1.1	6.0	7.0	8.0	15.4	18.5	11.2	12.3	12.9	10.8
Fundament-2.OG_SZ	1.6	4.3	0.1	-2.3	-2.2	-1.0	1.1	3.1	10.3	11.3	14.4	11.0	10.3	6.4	5.8	7.4

Frequenz, Terz in Hz	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125
Messort MO	**Übertragungsfunktionen dL_G**															
MO_8_km 22.35	Kolumbusstr. 25															
Erdboden-Fundament	-2.1	-2.9	-1.5	3.7	5.1	2.7	-3.3	-10.1	-9.3	-14.6	-13.3	-16.6	-20.1	-19.5	-19.5	-21.9
Fundament-0.EG_WZ	1.0	1.7	-0.8	-4.3	-1.5	-1.4	-0.3	0.5	2.2	15.5	16.7	3.4	2.4	5.4	9.0	12.1
Fundament-1.OG_WZ	0.4	0.9	1.3	-1.2	0.8	3.3	9.0	16.2	6.6	5.5	5.9	7.2	1.0	4.3	8.5	10.5
MO_9_km 22.54	Lehmgrubenweg 12															
Erdboden-Fundament	-14.1	-11.9	-7.9	-4.6	-3.0	-2.3	-4.0	-4.8	-6.3	-12.7	-12.8	-14.1	-16.0	-15.3	-17.6	-13.8
Fundament-0.EG_WZ	8.8	6.2	4.6	3.1	4.2	4.6	3.7	5.0	12.7	12.1	11.7	7.8	13.1	11.6	14.1	2.3
Fundament-1.OG_WZ	10.6	6.1	3.2	2.1	2.5	3.3	0.6	-1.4	4.0	5.5	5.1	10.9	9.6	10.0	9.1	2.6
MO_10_km 22.66	Klinkerstr. 3															
Erdboden-Fundament	2.6	1.7	1.3	0.5	1.4	0.6	-0.8	-0.8	-4.0	-5.7	-5.9	-4.7	-5.2	-13.5	-14.4	-13.7
Fundament-0.EG_WZ	6.4	5.7	3.7	2.7	4.3	6.2	14.2	11.7	12.9	11.5	9.0	7.3	8.7	12.4	9.1	9.0
Fundament-1.OG_WZ	7.2	9.5	5.5	7.5	13.3	21.7	22.5	15.2	20.5	9.9	8.7	7.0	11.5	17.2	11.8	7.3
MO_11_km 22.8	Ziegeleistr. 31															
Erdboden-Fundament	-21.6	-17.9	-13.2	-6.1	-1.7	-1.3	-5.5	-10.5	-12.6	-13.6	-15.1	-12.5	-11.9	-12.2	-8.5	-7.4
Fundament-0.EG_WZ	2.4	1.6	0.5	-0.7	-1.7	-0.5	2.0	4.7	7.4	14.9	25.7	15.7	10.4	15.1	18.6	15.5
Fundament-1.OG_SZ	1.9	2.9	9.3	1.4	-0.7	0.6	4.0	8.5	18.9	22.9	12.6	5.8	7.9	10.3	11.7	10.0

Ergebnistabellen Erschütterungen und sekundärer Luftschall

Tabelle 1: Beurteilungstabelle „Erschütterungen“

Messobjekt, Lage zur Bahn	Adresse	Raumlage/ Nutzung	Gebiets-Nutzung	Anforderungen Erschütterung KB				Immissionen Erschütterung											Immissionen Erschütterung mit ESM						
								Prognose Nullfall				Prognosefall ohne ESM				Zu-/Abnahme in %			Prognosefall				Zu-/Abnahme in %		
				A_u		A_r		KB_{Fmax}		KB_{FTr}		KB_{Fmax}		KB_{FTr}		KB_{Fmax}	KB_{FTr}		KB_{Fmax}		KB_{FTr}		KB_{Fmax}	KB_{FTr}	
				Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht
MO_1_km 18.65	Keßlerwiesen 6	0.EG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.17	0.17	0.036	0.025	0.29	0.29	0.060	0.039	71	67	56	0.25	0.25	0.043	0.027	47	19	8
MO_1_km 18.65	Keßlerwiesen 6	1.EG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.14	0.14	0.025	0.018	0.32	0.32	0.058	0.038	129	132	111	0.23	0.23	0.043	0.028	64	72	56
MO_2_km 18.74	Rohrer Str. 102	0.EG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.15	0.15	0.028	0.018	>0	>0	>0	<0.1	<0.1	0.000	0.000	n.d.	n.d.	n.d.
MO_2_km 18.74	Rohrer Str. 102	1.OG_SZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.12	0.12	0.021	0.015	0.38	0.38	0.074	0.048	217	252	220	0.24	0.24	0.046	0.029	100	119	93
MO_3_km 19.83	Goethestr. 11	0.EG_WZ	W	0.15	0.10	0.07	0.05	<0.1	<0.1	0.000	0.000	<0.1	<0.1	0.000	0.000	n.d.	n.d.	n.d.							
MO_3_km 19.83	Goethestr. 11	1.OG_WZ	W	0.15	0.10	0.07	0.05	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.12	0.12	0.017	0.011	>0	>0	>0							
MO_4_km 19.9	Lilienstr. 2	0.EG_Büro	W	0.15	0.10	0.07	0.05	0.11	0.11	0.020	0.014	0.14	0.14	0.027	0.018	27	35	29							
MO_4_km 19.9	Lilienstr. 2	1.OG_WZ	W	0.15	0.10	0.07	0.05	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.14	0.14	0.019	0.012	>0	>0	>0							
MO_5_km 20.85	Neuer Markt 3	2.OG_Raum	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.12	0.12	0.029	0.021	0.26	0.26	0.051	0.034	117	76	62	0.15	0.15	0.026	0.017	25	-10	-19
MO_5_km 20.85	Neuer Markt 3	3.OG_Raum	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.14	0.14	0.036	0.025	0.23	0.23	0.056	0.037	64	56	48	0.20	0.20	0.047	0.031	43	31	24
MO_6_km 21.0	Markomannenstr. 3	0.EG_SZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.12	0.12	0.017	0.011	>0	>0	>0	<0.1	<0.1	0.000	0.000	n.d.	n.d.	n.d.
MO_6_km 21.0	Markomannenstr. 3	4.OG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.10	0.10	0.019	0.013	0.14	0.14	0.027	0.018	40	42	38	0.10	0.10	0.015	0.010	0	-21	-23
MO_7_km 21.06	Schützenweg 13	0.EG_SZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.17	0.17	0.023	0.015	>0	>0	>0	0.10	0.10	0.013	0.009	>0	>0	>0
MO_7_km 21.06	Schützenweg 13	2.OG_SZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.10	0.10	0.018	0.013	0.14	0.14	0.026	0.018	40	44	38	0.12	0.12	0.015	0.010	20	-17	-23
MO_8_km 22.35	Kolumbusstr. 25	0.EG_WZ	W	0.15	0.10	0.07	0.05	0.11	0.11	0.020	0.014	0.13	0.13	0.028	0.018	18	40	29							
MO_8_km 22.35	Kolumbusstr. 25	1.OG_WZ	W	0.15	0.10	0.07	0.05	<0.1	<0.1	0.000	0.000	<0.1	<0.1	0.000	0.000	n.d.	n.d.	n.d.							
MO_9_km 22.54	Lehmgrubenweg 12	0.EG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.18	0.18	0.029	0.019	>0	>0	>0							
MO_9_km 22.54	Lehmgrubenweg 12	1.OG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	<0.1	<0.1	0.000	0.000	n.d.	n.d.	n.d.							
MO_10_km 22.66	Klinkerstr. 3	0.EG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.33	0.33	0.047	0.028	>0	>0	>0							
MO_10_km 22.66	Klinkerstr. 3	1.OG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	0.11	0.11	0.020	0.014	0.48	0.48	0.072	0.045	336	260	221							
MO_11_km 22.8	Ziegeleistr. 31	0.EG_WZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.22	0.22	0.030	0.019	>0	>0	>0							
MO_11_km 22.8	Ziegeleistr. 31	1.OG_SZ	M	0.20	0.15	0.10	0.07	<0.1	<0.1	0.000	0.000	0.25	0.25	0.030	0.017	>0	>0	>0							

Legende zur Beurteilungstabelle „Erschütterungen“

0,1	Überschreitung des Anhaltswertes (A_u) → Beurteilung anhand des A_r notwendig
0.051	Überschreitung des Anhaltswertes (A_r)
26	deutliche Erhöhung (> 25%) der Immissionsbelastung
0.051	Überschreitung des Anhaltswertes und deutliche Erhöhung (> 25%) der Immissionsbelastung
<0.1	Erschütterungsbelastung unterhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle
n.d.	Zunahme der Immissionsbelastung nicht definiert
<0	Zunahme der Immissionsbelastung kleiner 0
>0	Zunahme der Immissionsbelastung größer 0

Tabelle 2: Beurteilungstabelle „sekundärer Luftschall“

Messobjekt, Lage zur Bahn	Adresse	Raumlage/ Nutzung	Gebiets-nutzung	Anforderungen sek. Luftschall in dB(A)				Immissionen sekundärer Luftschall in dB(A)									Immissionen sekundärer Luftschall mit ESM in dB(A)					
								Prognose Nullfall			Prognosefall			Zu-/Abnahme			Prognosefall			Zu-/Abnahme		
				$L_{i,max}$		$L_{i,r}$		$L_{i,max}$	$L_{i,r}$		$L_{i,max}$	$L_{i,r}$		$L_{i,max}$	$L_{i,r}$		$L_{i,max}$	$L_{i,r}$		$L_{i,max}$	$L_{i,r}$	
				Tag	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht
MO_1_km 18.65	Keßlerwiesen 6	0.EG_WZ	M	xx	xx	40	30	36	17.4	13.8	38	17.8	12.4	2	0.4	-1.4	35	15.0	9.7	-1	-2.4	-4.1
MO_1_km 18.65	Keßlerwiesen 6	1.EG_WZ	M	xx	xx	40	30	35	15.5	11.7	38	17.1	11.6	3	1.6	-0.1	35	14.5	9.1	0	-1.0	-2.6
MO_2_km 18.74	Rohrer Str. 102	0.EG_WZ	M	xx	xx	40	30	30	12.9	9.1	36	16.2	12.4	6	3.3	3.3	33	13.5	9.6	3	0.6	0.5
MO_2_km 18.74	Rohrer Str. 102	1.OG_SZ	M	xx	xx	40	30	33	15.7	11.9	39	19.2	15.4	6	3.5	3.5	36	16.8	12.9	3	1.1	1.0
MO_3_km 19.83	Goethestr. 11	0.EG_WZ	W	xx	xx	40	30	31	12.1	8.4	33	13.4	9.2	2	1.3	0.8						
MO_3_km 19.83	Goethestr. 11	1.OG_WZ	W	xx	xx	40	30	29	11.0	7.3	31	13.2	9.2	2	2.2	1.9						
MO_4_km 19.9	Lilienstr. 2	0.EG_Büro	W	xx	xx	40	30	32	13.8	10.1	32	15.8	11.9	0	2.0	1.8						
MO_4_km 19.9	Lilienstr. 2	1.OG_WZ	W	xx	xx	40	30	28	9.9	6.2	30	12.5	8.6	2	2.6	2.4						
MO_5_km 20.85	Neuer Markt 3	2.OG_Raum	M	xx	xx	40	30	35	16.0	12.2	38	19.0	15.2	3	3.0	3.0	35	15.9	12.0	0	-0.1	-0.2
MO_5_km 20.85	Neuer Markt 3	3.OG_Raum	M	xx	xx	40	30	32	13.5	9.8	35	16.2	12.3	3	2.7	2.5	32	13.9	9.9	0	0.4	0.1
MO_6_km 21.0	Markomannenstr. 3	0.EG_SZ	M	xx	xx	40	30	31	12.0	8.3	33	14.6	10.7	2	2.6	2.4	31	12.9	8.9	0	0.9	0.6
MO_6_km 21.0	Markomannenstr. 3	4.OG_WZ	M	xx	xx	40	30	32	12.7	8.9	33	15.2	11.2	1	2.5	2.3	31	13.4	9.4	-1	0.7	0.5
MO_7_km 21.06	Schützenweg 13	0.EG_SZ	M	xx	xx	40	30	35	16.2	12.5	37	18.5	14.6	2	2.3	2.1	34	15.0	11.1	-1	-1.2	-1.4
MO_7_km 21.06	Schützenweg 13	2.OG_SZ	M	xx	xx	40	30	33	14.3	10.6	35	16.5	12.6	2	2.2	2.0	32	13.6	9.7	-1	-0.7	-0.9
MO_8_km 22.35	Kolumbusstr. 25	0.EG_WZ	W	xx	xx	40	30	33	12.8	9.0	33	14.8	10.8	0	2.0	1.8						
MO_8_km 22.35	Kolumbusstr. 25	1.OG_WZ	W	xx	xx	40	30	28	8.1	4.3	29	10.3	6.4	1	2.2	2.1						
MO_9_km 22.54	Lehmgrubenweg 12	0.EG_WZ	M	xx	xx	40	30	29	11.5	7.8	33	14.1	10.3	4	2.6	2.5						
MO_9_km 22.54	Lehmgrubenweg 12	1.OG_WZ	M	xx	xx	40	30	27	10.0	6.5	32	12.6	8.9	5	2.6	2.4						
MO_10_km 22.66	Klinkerstr. 3	0.EG_WZ	M	xx	xx	40	30	29	15.3	11.5	37	17.3	13.3	8	2.0	1.8						
MO_10_km 22.66	Klinkerstr. 3	1.OG_WZ	M	xx	xx	40	30	30	16.5	12.7	37	18.2	14.2	7	1.7	1.5						
MO_11_km 22.8	Ziegeleistr. 31	0.EG_WZ	M	xx	xx	40	30	31	19.2	15.5	36	20.0	16.2	5	0.8	0.7						
MO_11_km 22.8	Ziegeleistr. 31	1.OG_SZ	M	xx	xx	40	30	27	15.9	12.2	34	17.1	13.1	7	1.2	0.9						

Legende zur Beurteilungstabelle „sekundärer Luftschall“

30.1 Überschreitung des Anhaltswertes
2.1 Wesentliche Änderung (> 2.1 dB(A)) der Immissionsbelastung
30.1 Überschreitung des Anhaltswertes **und** wesentliche Änderung (> 2.1 dB(A)) der Immissionsbelastung
xx keine Anforderung an den Maximalpegel des sekundären Luftschalls
<0 Beurteilungspegel kleiner 0 dB
n.d. Abnahme der Beurteilungspegel nicht definiert