



zertifiziert durch
TÜV Rheinland
Certipedia-ID 0000021410
www.certipedia.de

VMPA Schallschutzprüfstelle
nach DIN 4109



Bauphysikalische Beratung
Thermische Bauphysik, Bau- & Raumakustik
Wärme- & Feuchteschutz, Bauwerksabdichtung
Bauphysikalische Messungen, Simulationen
Tageslichtsimulation, Verschattungsanalysen
Lärm-, Schallimmissions- & Erschütterungsschutz
Körperschall- & Schwingungsisolierung
Altbau- & Gebäudesanierung, Nachhaltiges Bauen
Energieberatung, Energiekonzepte

GETRÄNKEMARKT MIT FLÄCHEN FÜR COWORKING & DIENSTLEISTUNGEN/ KIRCHLICHE SOZIALSTATION

Güterstraße | 79639 Grenzach-Wyhlen

Schwingungstechnische Untersuchung

Prognoseberechnung der zu erwartenden Erschütterungen und des sekundären Körperschalls durch oberirdischen Schienenverkehr

Auf Basis von Messungen im Freifeld

NR. 882821 / 137673-1

AUFTRAGGEBER

Energiedienst AG
Bauland- und Quartiersentwicklung
Schönenbergerstraße 10
79618 Rheinfelden

BEARBEITER

Christoph Wagner, M. Sc.
Jasmin Amann, B. Eng.

Stuttgart, 17.12.2021

Inhaltsverzeichnis

1.	Aufgabenstellung	3
2.	Grundlagen und Normen	4
3.	Beurteilungsgrößen für Erschütterungseinwirkungen.....	5
3.1.	Erhebliche Belästigungen (BlmSchG).....	6
3.2.	Störungen im Umfeld Wohnen (subjektives Empfinden)	8
3.3.	Sekundärer Luftschall durch Körperschallabstrahlung	8
4.	Erschütterungsmessungen	9
5.	Messergebnisse	11
6.	Verfahren der Prognoseberechnung.....	13
7.	Prognose Planungszustand	14
7.1.	Berechnungsparameter	14
7.1.1.	Übertragung vom Erdreich auf das Gebäudefundament	14
7.1.2.	Deckeneigenfrequenz.....	14
7.1.3.	Bodeneigenfrequenz.....	14
7.1.4.	Verkehrshäufigkeit.....	15
7.2.	Berechnungsergebnisse Planungszustand	15
7.3.	Prognose mit Zusatzmaßnahmen	17
8.	Schlussbemerkung	20

1. Aufgabenstellung

In Grenzach-Wyhlen ist in der Güterstraße der Neubau von einem Getränkemarkt mit Büroflächen, sowie ein weiteres Gebäude (Kirchliche Sozialstation) geplant. Der Neubau befindet sich unmittelbar im Bereich einer oberirdischen Gleisanlage in einem Abstand von ca. 10 m zu den Gleisen.

Aufgrund der Nähe zu den Gleisanlagen sollen die in den geplanten Gebäuden zu erwartenden Erschütterungs- und Schallimmissionen durch Körperschallabstrahlung (Sekundärschall) im Vorfeld ermittelt werden. Hierfür werden zunächst Erschütterungsmessungen auf dem geplanten Baugelände durchgeführt. Anschließend werden, ausgehend von diesen Messwerten, die im Neubau zu erwartenden Immissionen berechnet.

Die Beurteilung dieser Rechenwerte erfolgt durch den Vergleich mit den Anforderungen aus der DIN 4150 Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ und in Anlehnung an die Immissionsrichtwerte nach TA-Lärm.

Falls diese Anhaltswerte überschritten werden, so werden zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungsimmisionen vorgeschlagen.

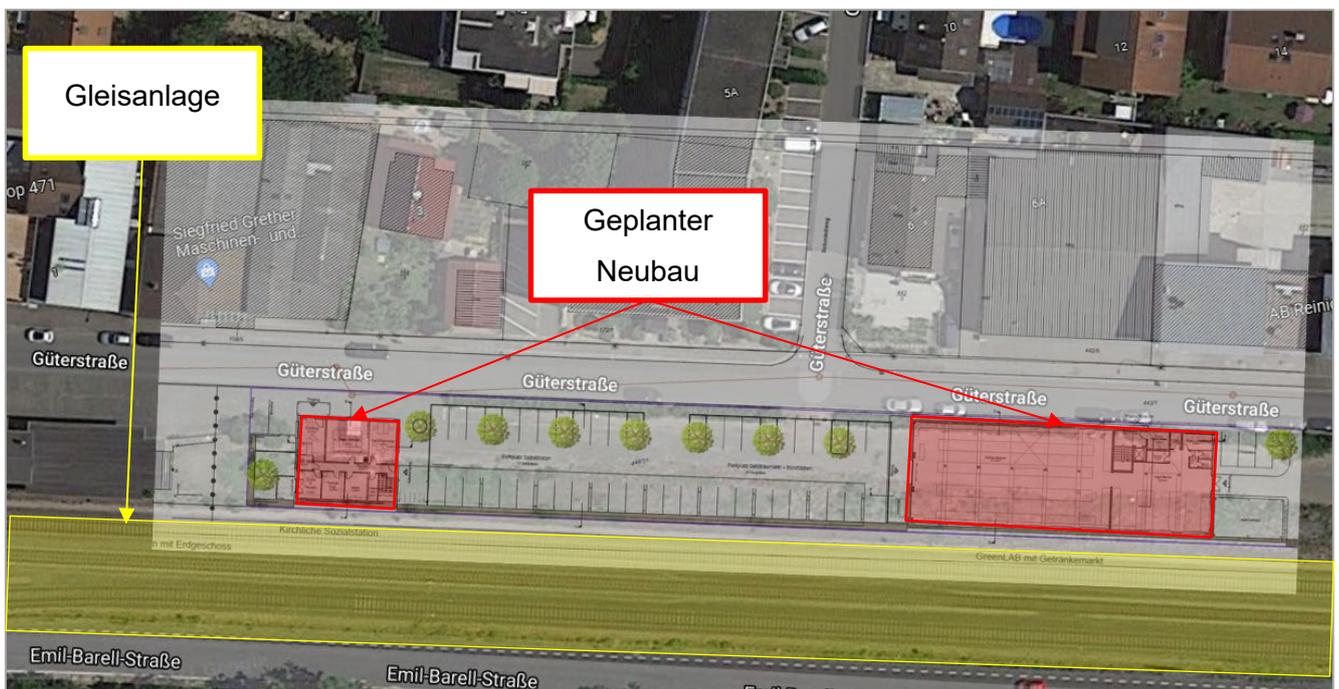


Abbildung 1: Lageplan

2. Grundlagen und Normen

- [1] DIN 45669-1: 2010-09:
Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1: Schwingungsmesser,
Anforderungen, Prüfung
- [2] DIN 45669-2: 2005-06:
Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren
- [3] DIN 4150-1: 2001-06
Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung der Schwingungsgrößen
- [4] DIN 4150-2: 1999-06:
Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
- [5] Krüger u. a., Schall- und Erschütterungsschutz im Schienenverkehr, Expert
Verlag, Band 565
- [6] VDI 2716: Luft- und Körperschall bei Schienenbahnen des öffentlichen
Nahverkehrs
- [7] VDI 2719: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen
- [8] TA-Lärm, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm, Sechste Allgemeine
Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 26. August 1998
- [9] Zughäufigkeiten nach Verkehrszahlen der Deutschen Bahn für das Prognosejahr 2030 (aus
dem Bericht „Schalltechnische Untersuchung“ des Ingenieurbüros für Technischen
Umweltschutz
- [10] Planunterlagen, Stand 05.08.2021, Maßstab 1:200

3. Beurteilungsgrößen für Erschütterungseinwirkungen

Die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden erfolgt nach DIN 4150-2. Zweck dieser Norm ist die angemessene Berücksichtigung des Erschütterungsschutzes im Immissionsschutz. Sie enthält Angaben für die Beurteilung von Erschütterungen, die in Gebäuden auf Menschen einwirken. Mithilfe des in dieser Norm beschriebenen Beurteilungsverfahrens können beliebige periodische und nichtperiodische Schwingungsimmissionen beurteilt werden.

Zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden wird das Schnellesignal der Schwinggeschwindigkeit $v(t)$ herangezogen.

Daraus wird das frequenzbewertete Erschütterungssignal $KB(t)$ gebildet, das die geringere Empfindlichkeit des Menschen bei Erschütterungseinwirkungen unter $f \sim 10$ Hz näherungsweise berücksichtigt. Die Gleichung für den Amplitudenfrequenzgang nach DIN 45669-1 lautet:

$$|H_{KB}(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (f_0/f)^2}} \quad (1)$$

mit $f_0 = 5,6$ Hz (Grenzfrequenz des Hochpasses)

Die relevante Messgröße ist das zeitbewertete Erschütterungssignal, das mit der Zeitbewertung „Fast“ (0,125 s) gebildet wird. Sie wird als bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ bezeichnet und stellt den gleitenden Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals dar.

Die Messdauer wird in Takte zu je 30 s Länge eingeteilt. Jedem dieser Takte wird der darin erreichte Taktmaximalwert der bewerteten Schwingstärke KB_{FTi} zugeordnet. Der Index i markiert die Takt Nummerierung. Abbildung 1 veranschaulicht das Prinzip.

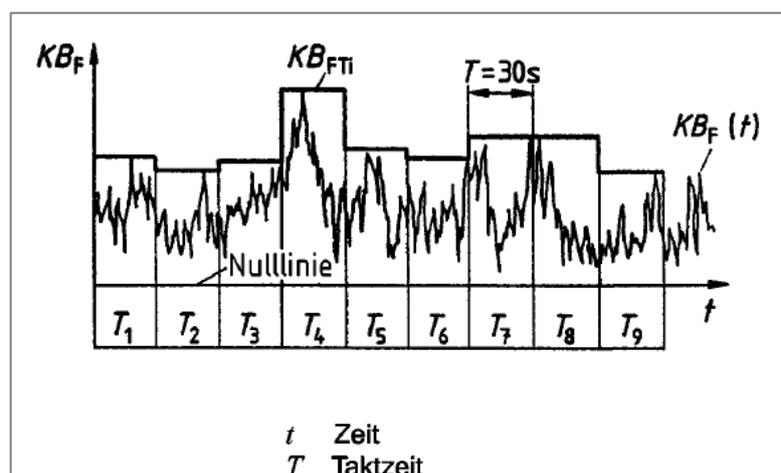


Abbildung 2 [DIN 4150-2, Bild 1]: Ermittlung der Taktmaximalwerte KB_{FTi}

3.1. Erhebliche Belästigungen (BlmSchG)

Die erste für die Beurteilung nach DIN 4150-2 relevante Größe ist der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} , der während der Beurteilungszeit einmalig oder wiederholt auftritt und der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist.

Liegt dieser Höchstwert über dem entsprechenden Anhaltswert, so sind zusätzlich die Taktmaximalwerte KB_{FTi} für jede Zugfahrt zu ermitteln. Über die Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte wird anschließend der Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} , der eine bestimmte Zuggattung kennzeichnet, errechnet.

Aus diesen Taktmaximal-Effektivwerten werden unter Berücksichtigung der Häufigkeit der Zugfahrten und unter Bezug auf die Beurteilungszeiten T_r (tags 16 h, nachts 8 h) die Beurteilungsschwingstärken KB_{FTr} ermittelt. Das dazu nötige Rechenverfahren ist anwendungsabhängig der DIN 4150-2 zu entnehmen.

Die Beurteilungsschwingstärken KB_{FTr} stellen die zweite Beurteilungsgröße dar.

Das folgende Flussdiagramm verdeutlicht das Beurteilungsverfahren.

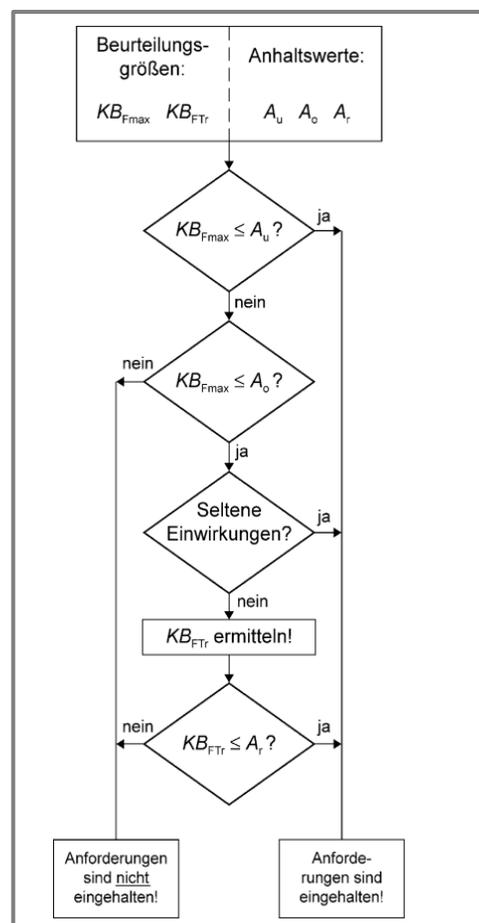


Abbildung 3 [DIN 4150-2, Bild 2]: Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren

Das Flussdiagramm beschreibt, wie die Beurteilungsgrößen Schwingstärke KB_{Fmax} , KB_{FTT} zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen mit den Anhaltswerten A_o , A_u oder A_r der folgenden Tabelle verglichen werden.

Tabelle 1 [DIN 4150-2, Tabelle 1]: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete § 9 BauNVO)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (Vergleiche Gewerbegebiete § 8 BauNVO)	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet § 3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05
In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung - BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkung vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.							

Nach Absprache des Auftraggebers ist das Baugebiet als Gewerbegebiet zuzuordnen und es gelten die nachfolgenden Anhaltswerte nach Tabelle 1 Zeile 2:

- tags: $A_u = 0,30$ $A_o = 6,00$ $A_r = 0,15$
- nachts: $A_u = 0,20$ $A_o = 0,40$ $A_r = 0,10$

Im Falle von Bürogebäuden besteht nachts kein erhöhter Schutzanspruch; d.h. bei ausschließlicher Büronutzung sind sowohl tags als auch nachts die Immissionsrichtwerte für die Tageszeit heranzuziehen.

Bei städtebaulichen Planungen von Baugebieten, und damit implizit auch bei der Planung von Gebäuden, sollen diese Anhaltswerte eingehalten werden. Bei Nachmessungen dürfen die Anhaltswerte für A_u und A_r jedoch bei oberirdischen Strecken, die ausschließlich dem öffentlichen Nahverkehr (ÖPNV) vorbehalten sind, um den Faktor 1,5 angehoben werden.

Liegen die Erschütterungen unter diesen Werten, so werden erhebliche Belästigungen im Sinne des BImSchG durch Erschütterungseinwirkungen vermieden.

Weitere Angaben zur Bildung der Beurteilungsgrößen sind im Anlagenteil B enthalten.

3.2. Störungen im Umfeld Wohnen (subjektives Empfinden)

Hinweise zur subjektiven Wahrnehmung von Erschütterungseinwirkungen gibt die DIN 4150: „Einen Hinweis auf die Fühlbarkeit der Erschütterungseinwirkung gibt die Größe KB_{Fmax} . Die Fühlschwelle liegt bei den meisten Menschen im Bereich zwischen $KB = 0,1$ und $KB = 0,2$. In der Umgebungssituation Wohnung, werden auch bereits gerade spürbare Erschütterungen als störend empfunden. Erschütterungseinwirkungen um $KB = 0,3$ werden beim ruhigen Aufenthalt in Wohnungen überwiegend bereits als gut spürbar und entsprechend stark störend wahrgenommen“.

Im Rahmen der vorliegenden Prognose werden die Taktmaximal-Effektivwerte KB_{FTm} anstatt von KB_{Fmax} ermittelt. Liegen diese Werte einer Zuggattung über 0,2, so werden Maßnahmen zur Erschütterungsreduzierung empfohlen, um „störende“ Immissionen zu vermeiden.

3.3. Sekundärer Luftschall durch Körperschallabstrahlung

Für die Bewertung der Störgeräusche durch die sekundäre Luftschallabstrahlung von Schienenverkehrserschütterungen existieren keine expliziten Normen. Bei der Neuplanung von Gebäuden neben bestehenden Bahnstrecken werden daher zur Orientierung Richtlinien aus anderen schalltechnischen Bereichen verwendet, deren Ziel beim Luftschall-Immissionsschutz und beim Schutz vor Körperschallübertragung aus fremden Betrieben die Vermeidung unzumutbarer Belästigungen ist:

Tabelle 2: Anhaltswerte im Inneren für Geräusche durch Körperschallabstrahlung, Sekundärschall

Raumart		$L_{AFmax,mittel}$ [dB-A]		L_{AFm} [dB-A] Geräusche aus Gewerbe- betrieben (TA-Lärm + DIN 4109)
		(VDI 2719)	Einzelne kurzzeitige Geräusch- spitzen (TA-Lärm)	
Schlafraum, Wohngebiet - übrige Gebiete	nachts	35-40	35	25
	nachts	40-45		
Wohnräume, Wohngebiet - übrige Gebiete	tags	40-45	45	35
	tags	45-50		
Arbeitsräume - Bibliotheken, ruhebedürftige Einzelbüros, Unterrichts- Arbeits- Konferenz- Vortragsräume - Büros für mehrere Personen - Großraumbüros, Schalter- und Arbeitsräume	tags	40-50	45	35
	tags	45-50		
	tags	50-60		
	tags			

Die aus der Tabelle abgeleiteten Schalldruckpegel sind keine verbindlichen Grenzwerte. Sie dienen bei der Bewertung von Sekundärschall durch Schienenverkehr nur als Indikator und werden im Weiteren als Immissionsrichtwerte bezeichnet.

4. Erschütterungsmessungen

Die Erschütterungsmessung wurde am 07.09.2020 zwischen 12:00 Uhr und 16:00 Uhr durchgeführt. Die an dem geplanten Baufeld vorbeigefahrenen Züge lassen sich, abhängig von ihrer Fahrtrichtung, in sogenannten „Schichten“ zusammenfassen. In Tabelle 3 sind die einzelnen Schichten aufgelistet.

Tabelle 3: Untergliederung in Schichten

Schicht	Zugart	Richtung	Gleis
1	Regionalbahn	Waldshut/ Singen	2
2	Regionalbahn	Basel	1
3	Interregionalbahn	Singen	2
4	Interregionalbahn	Basel	1
5	Güterzug	-	3

Die Lage der einzelnen Messpunkte, jeweils Bodenniveau, und die zugehörigen Sensoren sind in nachfolgender Tabelle aufgelistet:

Tabelle 4: Lage der Messpunkte

Messpunkt	Lage	Oberfläche	Ankoppelung	Sensor	Vorverstärker	Richtung	Kanal
MP 0	nahe geplante Gebäudeaußenkante	Straßenoberfläche	DIN 45669	A800 073	QV30F	vert. z	K0
MP 1	nahe geplante Gebäudeaußenkante	Straßenoberfläche	DIN 45669	A800 027	QV30F	vert. z	K1
MP 2	nahe geplante Gebäudeaußenkante	Straßenoberfläche	DIN 45669	A800 017	QV30F	vert. z	K2
MP 3	nahe geplante Gebäudeaußenkante	Straßenoberfläche	DIN 45669	KB 12 107	2635	vert. z	K3
MP 4	nahe geplante Gebäudeaußenkante	Straßenoberfläche	DIN 45669	KB 12 108	2635	vert. z	K4
MP 5	nahe geplante Gebäudeaußenkante	Straßenoberfläche	DIN 45669	KB 12 109	2635	vert. z	K5
MP 6	nahe geplante Gebäudeaußenkante	Straßenoberfläche	DIN 45669	KD 44 2042	2635	vert. z	K6

Bei den Messungen wurden die Erschütterungsimmissionen von 17 Zugfahrten aufgezeichnet. Die Messwerte sind tabellarisch in den Anlagen A.3 bis A.7 aufgelistet, die Frequenzanalysen sind in den Anlagen C.1 bis C.7 aufgelistet. Die weiteren Angaben zur Durchführung der Messung und zu den verwendeten Messgeräten sind in im Anlagenteil A.1 enthalten.

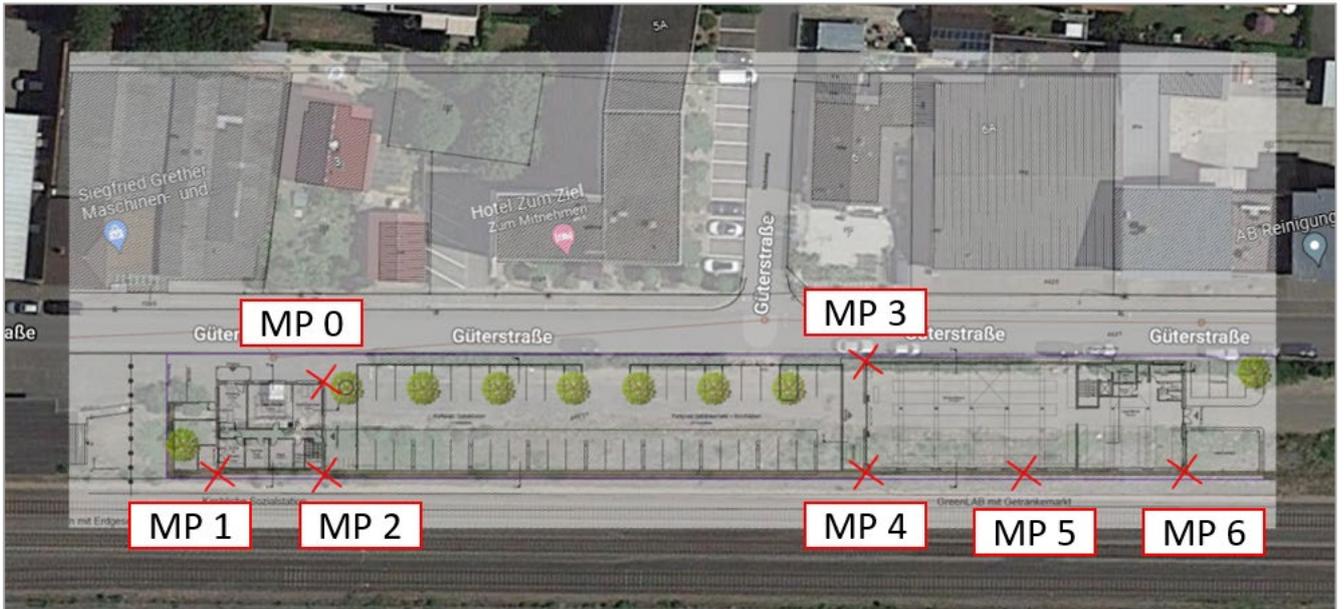


Abbildung 4: Lage der Messpunkte

5. Messergebnisse

Insgesamt könnten die Erschütterungseinwirkungen von 17 Zugfahrten gemessen werden.

In Tabelle 5 sind die Messergebnisse der einzelnen Zugfahrten aufgelistet.

Tabelle 5: Messergebnisse

Mess - Nr.	Zeit	Zug-Gattung	Schicht	Gleis	KB_{FTI}						
					K0	K1	K2	K3	K4	K5	K6
					MP 0	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MP 5	MP 6
1	13:28:57	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,025	0,053	0,033	0,029	0,053	0,022	0,048
2	13:41:53	RB Basel	2	1	0,037	0,057	0,035	0,055	0,100	0,033	0,089
3	13:51:45	IRE Singen	3	1	0,079	0,184	0,125	0,070	0,134	0,056	0,133
4	14:05:45	RB Basel	2	1	0,038	0,062	0,049	0,062	0,102	0,034	0,085
5	14:12:41	IRE Basel	4	2				0,128	0,234	0,090	0,145
6	14:19:45	RB Waldshut/ Singen	1	2				0,025	0,056	0,019	0,045
7	14:27:13	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,015	0,025	0,019	0,018	0,034		0,034
8	14:34:17	RB Basel	2	1	0,036	0,064	0,047	0,049	0,087		0,079
9	14:48:25	IRE Singen	3	1	0,087	0,250	0,129	0,083	0,123	0,062	0,115
10	14:55:05	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,016	0,029	0,020	0,024	0,040	0,019	0,042
11	15:02:25	RB Basel	2	1	0,040	0,063	0,056	0,063	0,087	0,029	0,072
12	15:23:53	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,018	0,022	0,022	0,024	0,045	0,018	0,035
13	15:25:05	IRE Basel	4	2	0,121	0,239	0,156	0,190	0,261	0,107	0,159
14	15:47:45	RB Basel	2	1	0,037	0,074	0,048	0,053	0,105	0,037	0,073
15	15:54:33	Güterzug	5	3	0,041	0,086	0,059	0,058	0,111	0,044	0,075
16	15:54:33	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,041	0,086	0,059	0,058	0,111	0,044	0,075
17	16:01:53	RB Basel	2	1	0,042	0,081	0,050	0,059	0,113	0,032	0,074
Maximalwert					0,121	0,250	0,156	0,190	0,261	0,107	0,159

Hinweis: Bei Messung 5 bis 8 traten Störgeräusche (vorbeifahrende Lkw's) an einzelnen Messpunkten auf, daher wurden diese Werte für die Auswertung nicht berücksichtigt.

Das energetische Mittel der frequenzabhängigen Messwerte des Schwinggeschwindigkeitspegels L_v sind exemplarisch in Abbildung 5 für den Messpunkte MP1 für alle Schichten dargestellt.

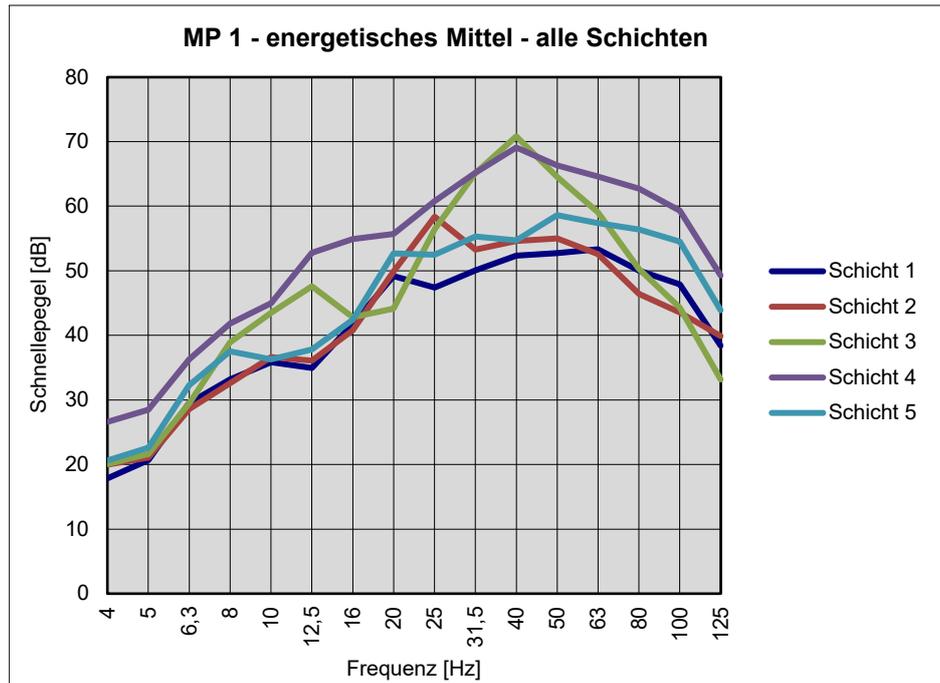
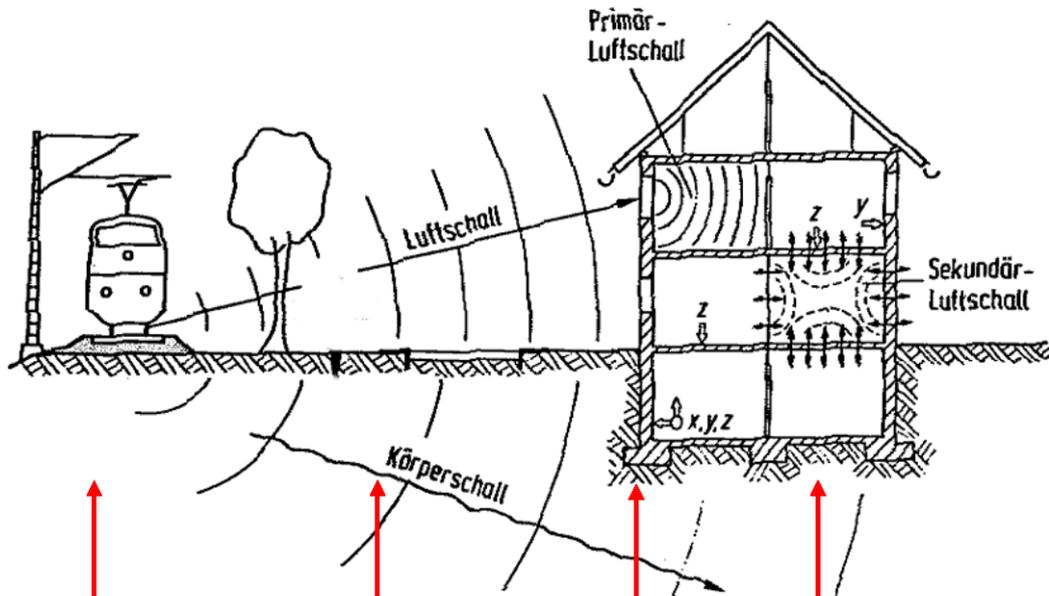


Abbildung 5: Messergebnisse energetisches Mittel für die jeweiligen Schichten an MP1

Die Messergebnisse zeigen, dass die Interregios (Schicht 3 und Schicht 4) im Frequenzbereich von 25 Hz bis 63 Hz höhere Erschütterungen verursachen als die anderen Zugarten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Interregios mit einer deutlich höheren Geschwindigkeit an dem geplanten Baufeld vorbeifahren (die Interregios halten nicht an dem nahegelegenen Bahnhof „Grenzach Wyhlen, die Regionalbahnen (Schicht 1 und Schicht 2) hingegen halten an dem Bahnhof).

6. Verfahren der Prognoseberechnung

Die Prognoseberechnung basiert auf folgendem System:



Teil-system	Emissions-system	Transmissions-system	Primäres Immissionssystem	Sekundäres Immissionssystem	Beurteilungs-system
Parameter:	Gleise Gleisunterbau Weichen Bahnübergang Brücken Zuggattungen Fahrgeschwindigkeiten	Bodeneigenschaften Schichtung Grundwasser Oberflächengeometrie Einbauten Einschnitt / Damm	Bauwerks/Bodeneigenfrequenz Art der Gründung Tiefe der Gründung Abschirmungen (Schlitze, Schlitzwand) elastische Gebäudelagerungen	Bauweise, Massiv/Skelettbau Stockwerks- und Gebäudehöhe Spannweiten, Deckeneigenfrequenzen Estricheigenfrequenzen Bodenbeläge	DIN 4150-2 DIN 4150-3 TA-Lärm DIN 4109 sonstige (objektspezifisch)
Ver-fahren:	Erschütterungsmessungen Freifeld im Bereich der geplanten Bebauung nach DIN 45664 DIN 45669 DIN 45672	Auswertung Scherwellengeschwindigkeit; Auswertung Baugrundgutachten	Abschätzungen auf Grundlage von DIN 4150-1, Literatur- und Erfahrungswerten	Berechnung der Eigenfrequenzen, Decken, Estriche, Berechnung der Übertragungswerte	Beurteilung der Rechenwerte durch Vergleich mit den Anforderungen

Grundlagen der Berechnungen sind theoretische Ansätze, unter Berücksichtigung von empirisch gewonnenen und nach den Regeln der Statistik aufbereiteten Daten.

Das Berechnungsverfahren ist in Anhang Teil B genauer beschrieben.

Basis für die Prognoseberechnungen sind die Messwerte an den jeweiligen Messpunkten. Die Berechnungen gelten damit jeweils für den Gebäudeteil im Bereich des Messpunktes.

Das Verfahren erlaubt eine Abschätzung der im Gebäude zu erwartenden Immissionen mit einer Genauigkeit von ca. ± 6 dB, wobei nach bisherigen Erfahrungen die so berechneten Größen in eingerichteten Räumen eher unterschritten werden.

7. Prognose Planungszustand

7.1. Berechnungsparameter

Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Berechnungsparameter aufgelistet. Diese sind bestimmend für den primären und sekundären Immissionsbereich. Die Berechnungsparameter werden frequenzabhängig berücksichtigt und anschließend werden die entsprechenden Einzahlwerte für die Beurteilung gebildet.

7.1.1. Übertragung vom Erdreich auf das Gebäudfundament

Bei Übergang der Erschütterungen vom Freifeld direkt auf die Gebäudfundamente entsteht im tieffrequenten Bereich, bei der Bauwerks-Boden-Eigenfrequenz, eine geringfügige Erschütterungsverstärkung, im höherfrequenten Bereich dagegen eine Minderung. Für die Berechnungen wird ein statistisch ermittelter Wert für mehrgeschossige Gebäude in Massivbauart/Skelettbauweise mit einer Gebäudeeigenfrequenz von ca. 10 Hz angesetzt.

Hinweis: Die Gebäudeeigenfrequenz für Skelettbauweise ist vom zuständigen Fachplaner zu überprüfen.

7.1.2. Deckeneigenfrequenz

Geschossdecken weisen im Bereich ihrer Eigenfrequenz eine ausgeprägte Verstärkung der Erschütterungen auf. Auf Basis der aktuellen Planunterlagen [10] wird die Deckeneigenfrequenzen abgeschätzt und wie folgt angesetzt:

- Getränkemarkt Deckeneigenfrequenz von $f_D = 31,5$ Hz
- Kirchliche Sozialstation Deckeneigenfrequenz von $f_D = 10$ Hz

7.1.3. Bodeneigenfrequenz

Der Bodenaufbau verstärkt, ähnlich wie die Geschossdecken, die auftretenden Schwingungen im Bereich seiner Eigenfrequenz. Es wird ein Estrich mit einer übliche Eigenfrequenz von $f_E = 63$ Hz angenommen.

Hinweis: in der weiteren Planung müssen diese Ansätze beachtet und berücksichtigt werden, ggf. müssen die Angaben von dem jeweiligen Fachplaner bestätigt werden.

7.1.4. Verkehrshäufigkeit

Die Zahlen der Verkehrshäufigkeiten (siehe Tabelle 6) für den betrachteten Abschnitt sind Angaben der Deutschen Bahn für das Prognosejahr 2030 [9].

Tabelle 6: Verkehrshäufigkeit der Züge im betrachteten Abschnitt

Schicht	Zugart	Richtung	Tag 06:00 – 22:00
1	Regionalbahn	Waldshut/ Singen	22
2	Regionalbahn	Basel	22
3	Interregionalbahn	Singen	32
4	Interregionalbahn	Basel	32
5	Güterzug	-	9

7.2. Berechnungsergebnisse Planungszustand

Mit den zuvor beschriebenen Parametern ergeben sich folgende Berechnungsergebnisse für die Erschütterungsimmissionen und den sekundären Luftschall:

Tabelle 7: Berechnungsergebnisse Planungszustand

Messpunkt:	Mittlere Maximalwerte KB_{FTm} [-]	Beurteilungs- Schwingstärke KB_{FTr} [-] Tags	Mittlere Maximalpegel $L_{AFmax, mittel}$ [dBA] Tags	Mittelungspegel L_{AFm} [dB-A] Tags
MP 0	0,30	0,04	49	23
MP 1	0,42	0,07	52	26
MP 2	0,35	0,05	51	25
MP 3	0,67	0,10	53	27
MP 4	0,92	0,14	57	32
MP 5	0,38	0,06	50	24
MP 6	0,55	0,10	53	27
Anhaltswerte:	Hinweise zum subjektiven Empfinden: Die Spürbarkeitsschwelle liegt zwischen $KB = 0,1$ bis $0,2$. KB -Werte ab $0,2$ werden im Umfeld Wohnen als störend, KB -Werte um $0,3$ als stark störend wahrgenommen	0,15	55	35
Legende:	grün	die Anhalts- oder Richtwerte werden unterschritten		
	gelb	Werte sind nahe den Anhalts- oder Richtwerten bzw. werden eingehalten		
	rot	die Anhalts- oder Richtwerte werden überschritten		

Diese Berechnungsergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Subjektive Wahrnehmung von Erschütterungen**

Die zu erwartenden mittleren Maximalwerte der Erschütterungsimmissionen liegen an allen Messpunkten oberhalb der Wahrnehmungsschwelle.

Für die Messpunkte MP 1 bis MP 6 treten besonders hohe Erschütterungen auf, welche als stark störend empfunden werden können.

Der höchste ermittelte mittlere Maximalwert der Erschütterungsimmissionen von $KB_{FTm} = 0,92$ tritt an Messpunkt MP 4 auf und kann als stark störend empfunden werden.

- **Immissionsschutz nach DIN 4150-2**

Die Anforderungen an den Erschütterungsschutz nach DIN 4150 werden eingehalten. Der Messpunkt MP 4 mit einer Beurteilungsschwingstärke von $KB_{FTr} = 0,14$ liegt knapp unterhalb dem Anforderungswert von $KB_{FTr} = 0,15$

- **Sekundärschall**

Der mittleren Maximalpegel $L_{AFmax,mittel}$ wird an MP 4 überschritten. Für die Messpunkte MP 3 und MP 6 liegt der mittleren Maximalpegel $L_{AFmax,mittel}$ nahe an dem Immissionsrichtwert nach TA Lärm von 55 dB(A). Messpunkt MP 0 bis MP 2 unterschreitet die Anforderungen an den mittleren Maximalpegel $L_{AFmax,mittel}$.

Die Vorgaben der TA Lärm für den Mittelungspegel L_{AFm} werden an allen Messpunkten eingehalten.

Hinweis: Aufgrund der Büronutzung wird ausschließlich der Tageszeitraum beurteilt.

Beurteilung

Die berechneten Ergebnisse gelten nur für die in Abschnitt 7 genannten Berechnungsparameter.

Bei dem Gebäude „Kirchliche Sozialstation“ befinden sich nur auf der von den Gleisen abgewandten Seite (Messpunkt MP 0) schutzbedürftige Räume (auf der gleisnahen Gebäudeseite (Messpunkt MP 1 und MP 2) liegen keine schutzbedürftigen Räume). An Messpunkt MP 0 werden die Anhaltswerte eingehalten. Es sind daher keine weiteren Maßnahmen erforderlich.

Für das Gebäude „Getränkemarkt“ werden Zusatzmaßnahmen empfohlen, da hier Überschreitungen der Anhaltswerte auftreten.

7.3. Prognose mit Zusatzmaßnahmen

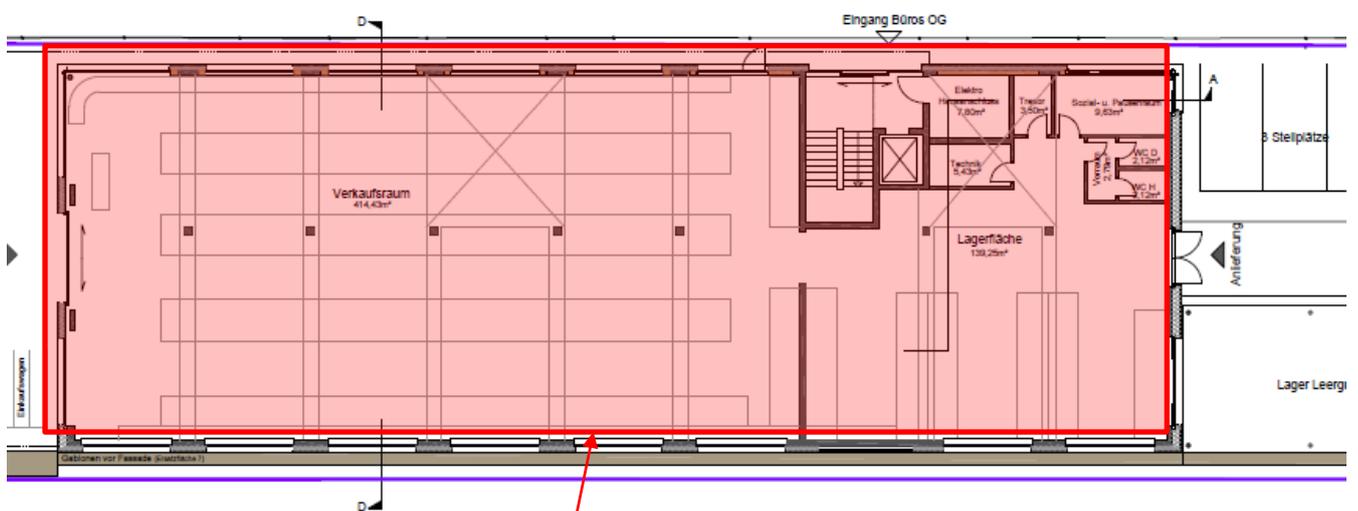
Wie in Abschnitt 7.2 erläutert werden aufgrund der Überschreitung der Anhaltswerte Zusatzmaßnahmen für das Gebäude „Getränkemarkt“ empfohlen.

Elastische Gebäudelagerung

Es besteht die Möglichkeit eine elastische Gebäudelagerung einzusetzen:

z.B.: Fa. Getzner, Produkt Sylomer oder Sylodyn

Ideelle Lagerungseigenfrequenz $f_{EL} = 10$ Hz.



Elastische Lagerung



Hinweis:

Das Fundament muss vollständig entkoppelt werden damit keine Körperschallbrücken entstehen, siehe Abbildung 6.

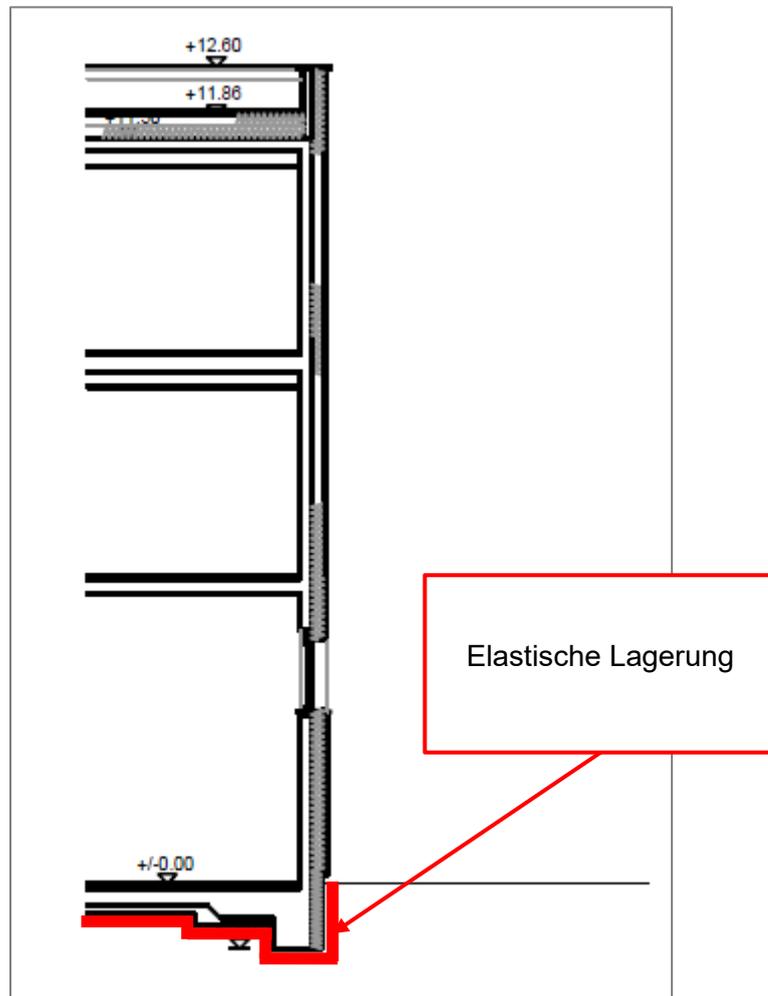


Abbildung 6: vollständige Entkopplung des Fundaments mit elastischer Lagerung

Tabelle 8: Berechnungsergebnisse Planungszustand mit Zusatzmaßnahmen

Messpunkt:	Mittlere Maximalwerte KB_{FTm} [-]	Beurteilungs- Schwingstärke KB_{FTr} [-] Tags	Mittlere Maximalpegel $L_{AFmax, mittel}$ [dBA] Tags	Mittelungspegel L_{AFm} [dB-A] Tags
MP 0	0,16	0,03	32	7
MP 1	0,19	0,03	36	10
MP 2	0,19	0,03	34	9
MP 3	0,17	0,02	38	12
MP 4	0,22	0,04	41	16
MP 5	0,08	0,00	34	8
MP 6	0,17	0,03	37	12
Anhaltswerte:	Hinweise zum subjektiven Empfinden: Die Spürbarkeitsschwelle liegt zwischen $KB = 0,1$ bis $0,2$. KB -Werte ab $0,2$ werden im Umfeld Wohnen als störend, KB -Werte um $0,3$ als stark störend wahrgenommen	0,15	55	35
Legende:	grün	die Anhalts- oder Richtwerte werden unterschritten		
	gelb	Werte sind nahe den Anhalts- oder Richtwerten bzw. werden eingehalten		
	rot	die Anhalts- oder Richtwerte werden überschritten		

Die detaillierten Berechnungsergebnisse sind in den Anlagen Teil C Seite 1 bis 7 enthalten.

Hinweis:

Da die mittleren Maximalwerte KB_{FTm} an MP 1 und 2 im Planungszustand (siehe Abschnitt 7.2) in dem Bereich liegen, in dem die Erschütterungen als stark störend empfunden werden, wird auch für das Gebäude „Kirchliche Sozialstation“ eine Entkopplungsmatte an den Wänden gegen Erdreich empfohlen und in der Berechnung berücksichtigt.

Beurteilung

Es werden alle Anhalts- und Richtwerte mit der Verbesserungsmaßnahme „elastische Lagerung“ mit einer Lagerungseigenfrequenz $f_{EL} = 10$ Hz eingehalten.

8. Schlussbemerkung

Der Neubau von einem Getränkemarkt mit Büroflächen, sowie ein weiteres Gebäude (Kirchliche Sozialstation) in der Güterstraße in Grenzach Wyhlen befindet sich in unmittelbarer Nähe zu einer oberirdischen Gleisanlage.

Im vorliegenden Fall werden bei der geplanten baulichen Ausführung (ohne Zusatzmaßnahmen) Erschütterungsimmissionen durch vorbeifahrende Züge an allen Messpunkten spürbar und werden als stark störend empfunden. Der Erschütterungsschutz nach DIN 4150-2 wird eingehalten. Bei der sekundäre Luftschallabstrahlung wird der mittlere Maximalpegel rechnerisch an einem Messpunkt (MP 4) überschritten, an den anderen Messpunkten unterschritten.

Es wird daher als Schutzmaßnahme für beide Gebäude empfohlen, eine elastische Gebäudelagerung mit einer Lagerungseigenfrequenz von $f_{EL} = 10$ Hz einzusetzen. Damit werden die Erschütterungsimmissionen deutlich verringert und werden nicht mehr als stark störend empfunden. Es treten keine Überschreitungen bei der sekundären Luftschallabstrahlung auf.

Dieses Gutachten umfasst 20 Seiten Text und drei Anlagenteile. Eine auszugsweise Weitergabe oder Vervielfältigung ist nicht gestattet.

GN Bauphysik
Ingenieurgesellschaft mbH

i.A. 
Christoph Wagner, M. Sc.
- Team-/Projektleiter -

i.A. 
Jasmin Amann, B. Eng.
- Projekt Ingenieurin -

Anlagen

Anlage A: 7 Seiten – Messergebnisse

Anlage B: 4 Seiten – Beschreibung des Berechnungsverfahrens

Anlage C: 7 Seiten – Berechnungsergebnisse mit Zusatzmaßnahmen (Elastische Gebäudelagerung)

Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt: 882821

Ergebnisse auf Basis von Messungen im Freifeld

137673-1

Anhang A, Mess- und Berechnungsergebnisse

Messdatum: 07.09.2021
Umgebungsbedingungen: ca. 25 °C, trocken

Verwendete Messgeräte:

	Anzahl	
piezoelektrischer Beschleunigungsaufnehmer, Typ A 800, Fa. DJB	3	Stck.
piezoelektrischer Beschleunigungsaufnehmer, Typ KB 12, Fa. Metra	3	Stck.
piezoelektrischer Beschleunigungsaufnehmer, Typ KD44	1	Stck.
Ladungs-Vorverstärker und Integrator, Typ 2635 Fa. B&K (1-kanalig)	4	Stck.
Ladungs-Vorverstärker, Typ QV30F Fa. MFA (3-kanalig)	1	Stck.
A/D-Wandler, Type 6024E, Fa. National-Instruments	1	Stck.
Rechnergesteuertes Analysesystem DasyLab	1	Stck.

Eichung/Kalibrierung:

3 Aufnehmer A/800 kalibriert 2017-02, D-K-15183-01-00 / 2017-02, Nr. 0666, 0667, 0668
3 Ladungsverstärker 2635 kalibriert 2017-02, D-K-15183-01-00 / 2017-02, Nr. 0663, 0664, 0665
Eigene Rücken an Rücken Kalibrierung aller weiteren Messketten.

Emissionsquellen:

Erschütterungen durch vorbeifahrender oberirdischen Zugverkehr
Gleisanlage nahed er Haltestelle "Grenzach"

Verkehrshäufigkeiten:

nach den Zugzahlen der Deutschen Bahn für das Prognosejahr 2030
(aus dem Bericht "Schalltechnische Untersuchung" des Ingenieurbüro für
Technischen Umweltschutz Dr.- Ing. Frank Dröscher)

Immissionsbereich:

Freifeld

Festlegung der Messpunkte:

im Freifeld nahe der geplanten Gebäudeaußenkante

Gebietszuordnung:

Gewerbegebiet (GE)

Messrichtung:

Für die Erschütterungsübertragung in Gebäuden sind die Vertikalschwingungen maßgeblich, weshalb nur vertikal gemessen wurde.

Anwesende bei den Messungen:

Fr. Amann Fa. GN Bauphysik
Hr. Grün Fa. GN Bauphysik

Subjektive Eindrücke:

Die Erschütterungen sind an den Messpunkten subjektiv nicht wahrnehmbar

Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

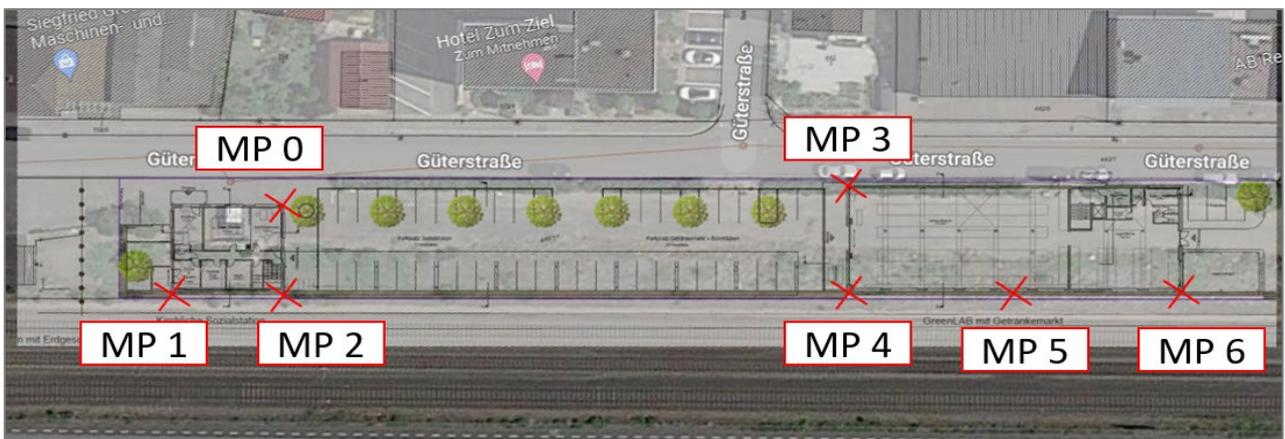
Projekt: 882821

Ergebnisse auf Basis von Messungen im Freifeld

137673-1

Lage der Messpunkte

Messpunkt	Lage	Oberfläche	Ankopplung	Sensor	Vorverstärker	Richtung	Kanal
MP 0	nahe geplante Gebäudeaußenkanal	Asphalt	DIN 45669	A800 073	QV30F	vert. z	K0
MP 1	nahe geplante Gebäudeaußenkanal	Asphalt	DIN 45669	A800 027	QV30F	vert. z	K1
MP 2	nahe geplante Gebäudeaußenkanal	Asphalt	DIN 45669	A800 017	QV30F	vert. z	K2
MP 3	nahe geplante Gebäudeaußenkanal	Asphalt	DIN 45669	KB 12 107	2635	vert. z	K3
MP 4	nahe geplante Gebäudeaußenkanal	Asphalt	DIN 45669	KB 12 108	2635	vert. z	K4
MP 5	nahe geplante Gebäudeaußenkanal	Asphalt	DIN 45669	KB 12 109	2635	vert. z	K5
MP 6	nahe geplante Gebäudeaußenkanal	Asphalt	DIN 45669	KD 44 2042	2635	vert. z	K6



Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt: 882821

Ergebnisse auf Basis von Messungen im Freifeld

137673-1

Ablauf der Messungen und Messergebnisse

Mess - Nr.	Zeit	Zug-Gattung	Schicht	Gleis	KB _{FTi}				
					K0	K1	K2	K3	K4
					MP 0	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4
1	13:28:57	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,025	0,053	0,033	0,029	0,053
2	13:41:53	RB Basel	2	1	0,037	0,057	0,035	0,055	0,100
3	13:51:45	IRE Singen	3	1	0,079	0,184	0,125	0,070	0,134
4	14:05:45	RB Basel	2	1	0,038	0,062	0,049	0,062	0,102
5	14:12:41	IRE Basel	4	2				0,128	0,234
6	14:19:45	RB Waldshut/ Singen	1	2				0,025	0,056
7	14:27:13	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,015	0,025	0,019	0,018	0,034
8	14:34:17	RB Basel	2	1	0,036	0,064	0,047	0,049	0,087
9	14:48:25	IRE Singen	3	1	0,087	0,250	0,129	0,083	0,123
10	14:55:05	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,016	0,029	0,020	0,024	0,040
11	15:02:25	RB Basel	2	1	0,040	0,063	0,056	0,063	0,087
12	15:23:53	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,018	0,022	0,022	0,024	0,045
13	15:25:05	IRE Basel	4	2	0,121	0,239	0,156	0,190	0,261
14	15:47:45	RB Basel	2	1	0,037	0,074	0,048	0,053	0,105
15	15:54:33	Güterzug	5	3	0,041	0,086	0,059	0,058	0,111
16	15:54:33	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,041	0,086	0,059	0,058	0,111
17	16:01:53	RB Basel	2	1	0,042	0,081	0,050	0,059	0,113
18			0						
19			0						
20			0						
21			0						
22			0						
23			0						
24			0						
25			0						
26			0						
27			0						
28			0						
29			0						
30			0						
31			0						
32			0						
33			0						
34			0						
35			0						
36			0						
37			0						
38			0						
39			0						
40			0						
Maximalwert					0,121	0,250	0,156	0,190	0,261

Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt: 882821

Ergebnisse auf Basis von Messungen im Freifeld

137673-1

Ablauf der Messungen und Messergebnisse

Mess - Nr.	Zeit	Zug-gattung	Schicht	Gleis	KB _{FTi}				
					K5	K6	K7	K8	K9
					MP 5	MP 6	MP 7	MP 8	MP 9
1	13:28:57	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,022	0,048			
2	13:41:53	RB Basel	2	1	0,033	0,089			
3	13:51:45	IRE Singen	3	1	0,056	0,133			
4	14:05:45	RB Basel	2	1	0,034	0,085			
5	14:12:41	IRE Basel	4	2	0,090	0,145			
6	14:19:45	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,019	0,045			
7	14:27:13	RB Waldshut/ Singen	1	2		0,034			
8	14:34:17	RB Basel	2	1		0,079			
9	14:48:25	IRE Singen	3	1	0,062	0,115			
10	14:55:05	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,019	0,042			
11	15:02:25	RB Basel	2	1	0,029	0,072			
12	15:23:53	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,018	0,035			
13	15:25:05	IRE Basel	4	2	0,107	0,159			
14	15:47:45	RB Basel	2	1	0,037	0,073			
15	15:54:33	Güterzug	5	3	0,044	0,075			
16	15:54:33	RB Waldshut/ Singen	1	2	0,044	0,075			
17	16:01:53	RB Basel	2	1	0,032	0,074			
18			0						
19			0						
20			0						
21			0						
22			0						
23			0						
24			0						
25			0						
26			0						
27			0						
28			0						
29			0						
30			0						
31			0						
32			0						
33			0						
34			0						
35			0						
36			0						
37			0						
38			0						
39			0						
40			0						
Maximalwert					0,107	0,159	0,000	0,000	0,000

Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt: 882821

Ergebnisse auf Basis von Messungen im Freifeld

137673-1

Erfasste Zugfahrten und Messergebnisse am MP 0

Schicht j	Zuggattung	Anzahl	Gleis	Taktmaximalwert / Effektivwert			Standard- abw. [-]
				KB _{FTi,j, min} [-]	KB _{FTm,j} [-]	KB _{FTi,j, max} [-]	
1	RB Waldshut/ Singen	5		0,015	0,025	0,041	0,011
2	RB Basel	6		0,036	0,038	0,042	0,002
3	IRE Singen	2		0,079	0,083	0,087	0,006
4	IRE Basel	1		0,121	0,121	0,121	
5	Güterzug	1		0,041	0,041	0,041	
6							
7							
8							

Erfasste Zugfahrten und Messergebnisse am MP 1

Schicht j	Zuggattung	Anzahl	Gleis	Taktmaximalwert / Effektivwert			Standard- abw. [-]
				KB _{FTi,j, min} [-]	KB _{FTm,j} [-]	KB _{FTi,j, max} [-]	
1	RB Waldshut/ Singen	5		0,022	0,049	0,086	0,027
2	RB Basel	6		0,057	0,067	0,081	0,009
3	IRE Singen	2		0,184	0,219	0,250	0,047
4	IRE Basel	1		0,239	0,239	0,239	
5	Güterzug	1		0,086	0,086	0,086	
6							
7							
8							

Erfasste Zugfahrten und Messergebnisse am MP 2

Schicht j	Zuggattung	Anzahl	Gleis	Taktmaximalwert / Effektivwert			Standard- abw. [-]
				KB _{FTi,j, min} [-]	KB _{FTm,j} [-]	KB _{FTi,j, max} [-]	
1	RB Waldshut/ Singen	5		0,019	0,034	0,059	0,017
2	RB Basel	6		0,035	0,048	0,056	0,007
3	IRE Singen	2		0,125	0,127	0,129	0,003
4	IRE Basel	1		0,156	0,156	0,156	
5	Güterzug	1		0,059	0,059	0,059	
6							
7							
8							

Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt: 882821

Ergebnisse auf Basis von Messungen im Freifeld

137673-1

Erfasste Zugfahrten und Messergebnisse am MP 3

Schicht j	Zuggattung	Anzahl	Gleis	Taktmaximalwert / Effektivwert			Standard- abw. [-]
				KB _{FTi,j} , min [-]	KB _{FTm,j} [-]	KB _{FTi,j} , max [-]	
1	RB Waldshut/ Singen	6		0,018	0,032	0,058	0,014
2	RB Basel	6		0,049	0,057	0,063	0,005
3	IRE Singen	2		0,070	0,076	0,083	0,009
4	IRE Basel	2		0,128	0,162	0,190	0,043
5	Güterzug	1		0,058	0,058	0,058	
6							
7							
8							

Erfasste Zugfahrten und Messergebnisse am MP 4

Schicht j	Zuggattung	Anzahl	Gleis	Taktmaximalwert / Effektivwert			Standard- abw. [-]
				KB _{FTi,j} , min [-]	KB _{FTm,j} [-]	KB _{FTi,j} , max [-]	
1	RB Waldshut/ Singen	6		0,034	0,062	0,111	0,028
2	RB Basel	6		0,087	0,099	0,113	0,010
3	IRE Singen	2		0,123	0,129	0,134	0,008
4	IRE Basel	2		0,234	0,248	0,261	0,019
5	Güterzug	1		0,111	0,111	0,111	
6							
7							
8							

Erfasste Zugfahrten und Messergebnisse am MP 5

Schicht j	Zuggattung	Anzahl	Gleis	Taktmaximalwert / Effektivwert			Standard- abw. [-]
				KB _{FTi,j} , min [-]	KB _{FTm,j} [-]	KB _{FTi,j} , max [-]	
1	RB Waldshut/ Singen	5		0,018	0,026	0,044	0,011
2	RB Basel	5		0,029	0,033	0,037	0,003
3	IRE Singen	2		0,056	0,059	0,062	0,004
4	IRE Basel	2		0,090	0,099	0,107	0,012
5	Güterzug	1		0,044	0,044	0,044	
6							
7							
8							

Erfasste Zugfahrten und Messergebnisse am MP 6

Schicht j	Zuggattung	Anzahl	Gleis	Taktmaximalwert / Effektivwert			Standard- abw. [-]
				KB _{FTi,j, min} [-]	KB _{FTm,j} [-]	KB _{FTi,j, max} [-]	
1	RB Waldshut/ Singen	6		0,034	0,049	0,075	0,015
2	RB Basel	6		0,072	0,079	0,089	0,007
3	IRE Singen	2		0,115	0,125	0,133	0,013
4	IRE Basel	2		0,145	0,152	0,159	0,011
5	Güterzug	1		0,075	0,075	0,075	
6							
7							
8							

Erfasste Zugfahrten und Messergebnisse am MP 7

Schicht j	Zuggattung	Anzahl	Gleis	Taktmaximalwert / Effektivwert			Standard- abw. [-]
				KB _{FTi,j, min} [-]	KB _{FTm,j} [-]	KB _{FTi,j, max} [-]	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Erfasste Zugfahrten und Messergebnisse am MP 8

Schicht j	Zuggattung	Anzahl	Gleis	Taktmaximalwert / Effektivwert			Standard- abw. [-]
				KB _{FTi,j, min} [-]	KB _{FTm,j} [-]	KB _{FTi,j, max} [-]	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt: 882821

Beschreibung des Berechnungsverfahrens

137673-1

Anhang B, Berechnungsverfahren

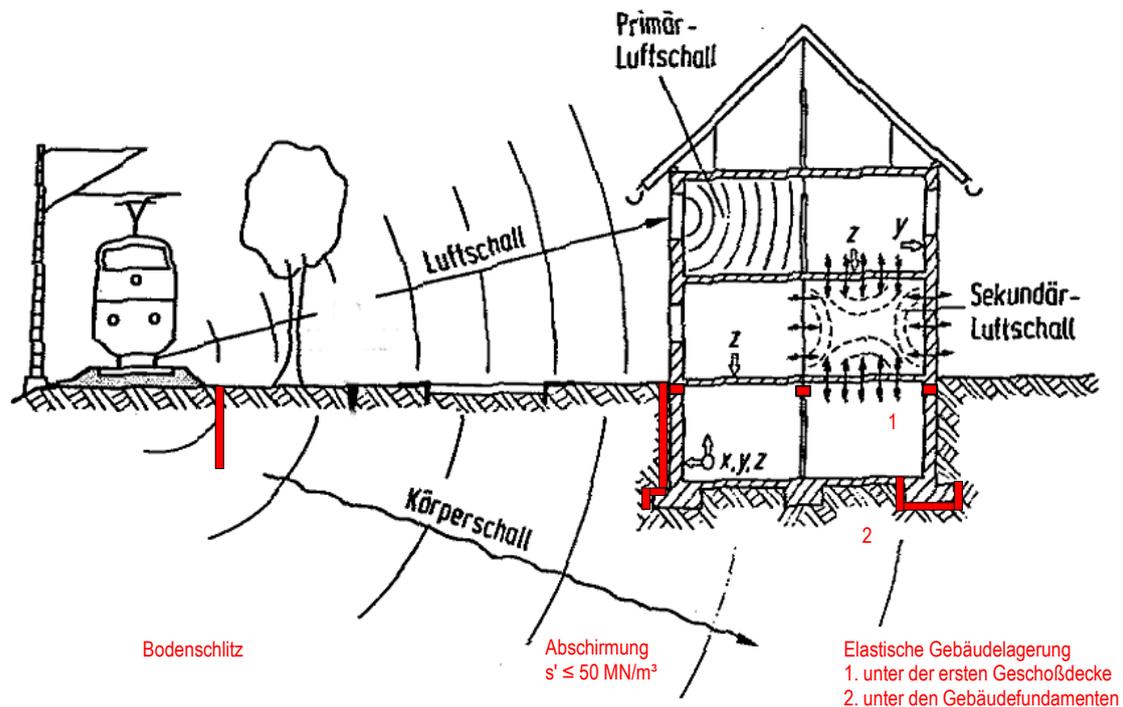
1. Berechnungsverfahren

1.1. Allgemeines

Die Anforderungen an die Schall- und Erschütterungsimmisionen beziehen sich auf die Aufenthalts-räume in den Gebäuden. Daher müssen, ausgehend von den Messwerten, die zu erwartenden Immissionen in geplanten Gebäuden zum Vergleich mit den Beurteilungswerten durch eine Prognose-berechnung ermittelt werden.

Die Schwingungen bei schienengebundenem Verkehr entstehen im Rad-Schiene-Kontaktpunkt und haben ihre Ursachen vor allem in Unebenheiten der Schienen und Radlaufflächen. Die Erschütterungen werden über das Oberbausystem in den Untergrund eingeleitet und breiten sich im umgebenden Boden aus. Dabei werden diese Schwingungen auch über die Fundamente in benachbarte Gebäude übertragen, wodurch insbesondere Geschossdecken zu Schwingungen angeregt werden, die in der Regel höher als diejenigen des Baugrundes sind.

Geräusche und Erschütterungen durch Schienenverkehr



Diese Schwingungen können von Menschen als spürbare Erschütterungen wahrgenommen werden, aber auch durch sekundäre Luftschallabstrahlung hörbar werden. Allgemeingültige Rechenverfahren existieren nicht. Als Grundlage der Prognoseberechnung werden deshalb Erfahrungswerte aus statistischen Untersuchungen des schwingungstechnischen Verhaltens von Gebäuden unterschiedlicher Konstruktion verwendet. Ausgegangen wird von den gemittelten gemessenen Freifeldpegeln (Terzanalysen $L_v F_{\max}$). Damit stellt die Prognoseberechnung eine Abschätzung der mittleren zu erwartenden Immissionen dar. Die Immissionen einzelner Zugfahrten streuen um diesen Mittelwert, können also auch darüber liegen.

Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt: 882821

Beschreibung des Berechnungsverfahrens

137673-1

1.2 Parameter des Berechnungsverfahrens

1.2.1 Transmissionsbereich, Bodenschlitze, Abschirmung

Die Ausbreitung von Erschütterungen kann durch die Anordnung senkrechter Bodenschlitze reduziert werden. Grundsätzlich gelten hierbei ähnliche Bedingungen wie bei Schallschirmen für Luftschall. Insbesondere gilt auch hier, dass die Wirksamkeit im Nahbereich höher ist und mit zunehmender Entfernung zum Schlitz abnimmt. Einfach zu realisieren sind solche Schutzmaßnahmen durch die Anordnung elastischer Materialien direkt vor den Außenwänden gegen Erdreich, wo sie zugleich auch die Funktion als Schutz- und Drainschicht übernehmen können.

1.2.2 Verhalten des Gebäudefundamentes

Bei dem Übergang vom Erdboden auf das Fundament erfahren die Schwingungen eine Reduzierung. Diese ist im Einzelnen von der Fundamentierungsart abhängig. Für die Berechnung wird der Mittelwert der Körperschallabnahme aus 135 Messungen verwendet.

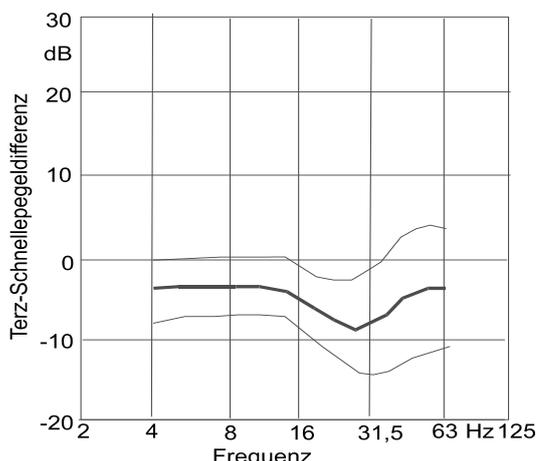
Die vertikale Eigenfrequenz von Gebäuden beträgt nach DIN 4150-1 für mittlere Bodensteifigkeiten, charakterisiert durch Scherwellengeschwindigkeiten von $c_s = 150 \text{ m/s}$ bis 200 m/s :

- 1- bis 2-geschossige Bauweise: ~ 15 Hz
- 2- bis 6-geschossige Bauweise: ~ 8 bis 12 Hz
- Bauwerke mit mehr als 6 Geschossen: < 8 Hz.

Die Scherwellengeschwindigkeit wird messtechnisch vor Ort bestimmt.

Abweichungen von der mittleren Bodensteifigkeit werden durch Verschiebung der vertikalen Eigenfrequenz im Rahmen des angegebenen Streubereiches berücksichtigt.

Körperschallübertragung vom Boden ins Fundament. Mittelwert und Streuung aus 135 Messungen



1.2.3 Schwingungstechnisches Verhalten von Geschossdecken

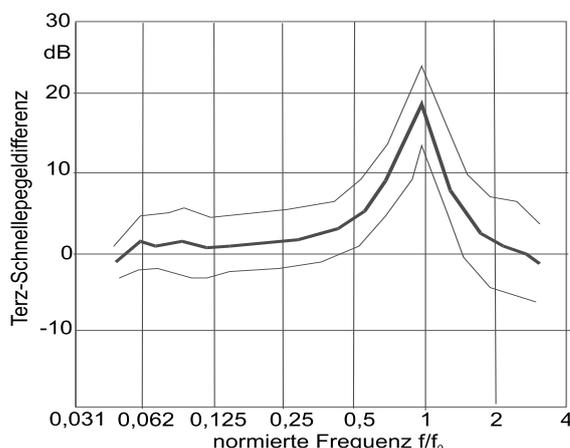
Geschossdecken weisen bei ihrer ersten Biegeeigenfrequenz ein ausgeprägtes Resonanzverhalten auf. Die für diese Biegeeigenfrequenz maßgeblichen Parameter, Deckenspannweite, Deckenstärke, Auflagerbedingungen und Baustoffeigenschaften, können bautechnisch unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte nur in engen Grenzen beeinflusst werden.

Die Deckeneigenfrequenzen werden für die Aufenthaltsräume, insbesondere die Schlafräume, rechnerisch ermittelt. Für die weiteren Berechnungen werden diese Eigenfrequenzen in die nächstgelegene Terzmittenfrequenz verschoben.

Als Terz-Schnellepegeldifferenz wird der Mittelwert aus nebenstehendem Diagramm verwendet, bei Resonanz $DL_v = 18 \text{ dB}$.

Das Rechenergebnis stellt damit Mittelwerte dar, in Einzelfällen können sowohl niedrigere als auch höhere Pegeldifferenzen auftreten.

Resonanzvergrößerung von Geschossdecken. Mittelwert und Streuung aus 135 Messungen



Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt: 882821

Beschreibung des Berechnungsverfahrens

137673-1

1.2.4 Schwingungstechnisches Verhalten von schwimmenden Estrichen

Schwimmende Estriche weisen ebenfalls ein Resonanzverhalten auf. Die Resonanzfrequenzen bauüblicher Estriche liegen im Bereich zwischen $f = 40$ bis $f = 120$ Hz.

Es wird zwar versucht, die Estriche auf Frequenzen außerhalb der Hauptstörfrequenzen abzustimmen, da die Anregung durch Schienenverkehr relativ breitbandig ist, sind Schwingungsverstärkungen dennoch unvermeidbar.

1.2.5 Elastische Gebäudelagerung

Der Schutz von Gebäuden gegen Erschütterungsimmisionen durch eine Empfängerisolierung (Lagerung des gesamten Gebäudes auf elastischem Material) ist eine häufig und erfolgreich ausgeführte Maßnahme. Die Übertragungsfunktion eines solchen Systems in vertikaler Raumrichtung, wird gekennzeichnet durch den Amplituden-Übertragungswert $VD(f)$, der von dem Verhältnis Erregerfrequenz zu Eigenfrequenz und von der Dämpfung abhängt:

$m =$ Gebäudemasse

$B_{EL} =$ Dämpfungskoeffizient der elastischen Lagerung

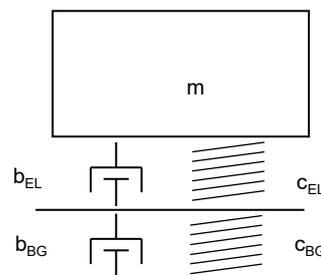
$c_{EL} =$ Federsteifigkeit der elastischen Lagerung

$B_{BG} =$ Dämpfungskoeffizient der elastischen Lagerung

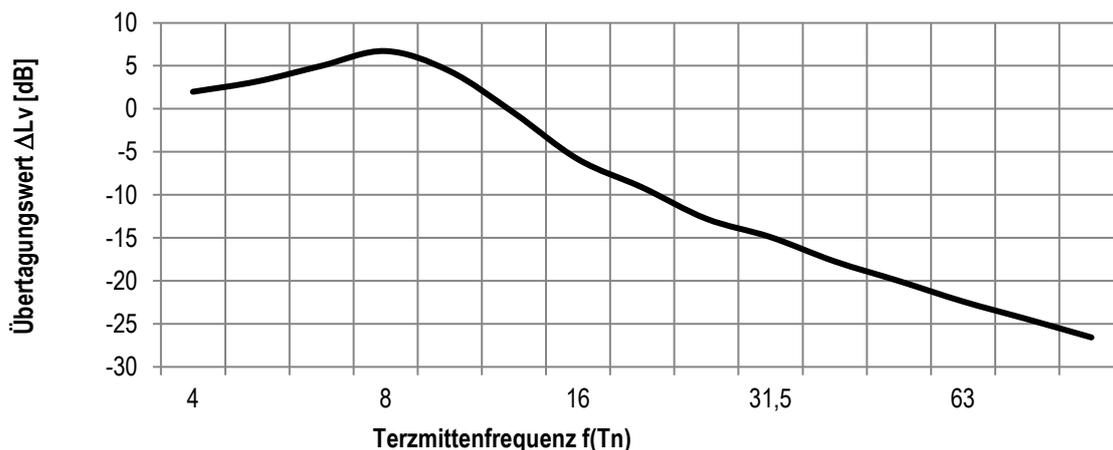
$c_{BG} =$ Federsteifigkeit der elastischen Lagerung

$f_{BG} =$ ideale Eigenfrequenz Gebäude auf Baugrund ohne elastische Lagerung

$f_{EL} =$ ideale Eigenfrequenz Gebäude auf elastischer Lagerung



Beispielsweise ergibt sich für $f_{BG} = 12$ Hz und $f_{EL} = 12$ Hz folgender Übertragungswert:



Im Resonanzbereich der Abstimmung, hier beispielsweise bei $f = 8$ Hz, findet eine Schwingungsverstärkung statt. Eine Isolierung entsteht erst ab 11,3 Hz, wächst aber dann mit zunehmender Frequenz an. In der Praxis werden Übertragungswerte von ca -20 dB erreicht.

Aus diesem Zusammenhang ergibt sich, dass eine Isolierung nur dann wirksam wird, wenn deren Eigenfrequenz weit genug unter den Haupterregerfrequenzen liegt. Weiter ergibt sich die Forderung, dass die Deckeneigenfrequenzen, welche im Resonanzbereich ebenfalls eine Schwingungsverstärkung bewirken, nicht mit der Eigenfrequenz der Isolierung zusammenfallen dürfen.

Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt: 882821

Beschreibung des Berechnungsverfahrens

137673-1

Die Berechnungen erfolgen Terzweise:

$$L_{vFmax\ Decke}(f_{Tn}) = L_{vFmax\ Freifeld}(f_{Tn}) + S \cdot L_{Hi}(f_{Tn})$$

mit: f_{Tn} Terzmittenfrequenz, Bereich zwischen 4 Hz und 80 Hz
 $L_{vFmax\ Decke}(f_{Tn})$ Schwinggeschwindigkeitspegel am Immissionsort (Geschossdecke)
 $L_{vFmax\ Freifeld}(f_{Tn})$ Maximalwert des Schwinggeschwindigkeitspegels auf dem Baugelände (Freifeld)
 $L_{Hi}(f_{Tn})$ Übertragungsfunktionen der einzelnen Teilsysteme i
(z. B. Fundament, Decke usw.)

Die Schwinggeschwindigkeit berechnet sich aus

$$v_{Fmax\ Decke} = S \cdot 10^{L_{v\ Decke}(f_{Tn})/10} \cdot v_0$$

mit $v_0 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s}$

Der Taktmaximal-Effektivwert der bewerteten Schwingstärke wird

$$KB_{FTm} = S \cdot 10^{(L_{v\ Decke}(f_{Tn}) \cdot H_{KB}(f_{Tn}))/10} \cdot v_0$$

mit $H_{KB}(f_{Tn})$ KB-Bewertung nach DIN 4150-2

1.2.6 Zusammenhang zwischen Körperschallimmission und abgestrahltem Luftschall

Die zu erwartenden Luftschallpegel werden aus den Körperschallpegeln nach folgender Beziehung berechnet:

$$L_{Fmax}(f_{Tn}) = L_{vFmax\ Decke}(f_{Tn}) + 10 \cdot \log(S/A(f_{Tn})) + 10 \cdot \log(s(f_{Tn})) + 6$$

mit: f_{Tn} Terzmittenfrequenz, Bereich zwischen 4 Hz und 250 Hz
 $L_{Fmax}(f_{Tn})$ Luftschallpegel je Terzband
 S Körperschall abstrahlende Fläche
 $A(f_{Tn})$ äquivalente Absorptionsfläche je Terzband
 $10 \cdot \log(s(f_{Tn}))$ Abstrahlmaß

Der lineare Summenpegel wird

$$L_{Fmax} = S \cdot 10^{L_{Fmax}(f_{Tn})/10}$$

und der A-bewertete Summenpegel

$$L_{AFmax} = S \cdot 10^{(L_{Fmax}(f_{Tn}) + A(f_{Tn}))/10}$$

mit $A(f_{Tn})$ A-Bewertung

2. Genauigkeit des Berechnungsverfahrens

Nach Literaturangaben beträgt die Genauigkeit des Prognoseverfahrens etwa ± 6 dB.

In Absolutwerten bedeutet dies, dass die KB-Werte um das 2-fache höher liegen können als berechnet.

Bei Nachmessungen wurden so hohe Überschreitungen der Prognosewerte bisher jedoch nicht festgestellt. Die Prognosewerte wurden mehrheitlich unterschritten, in Einzelfällen jedoch auch erreicht.

Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt: 882821

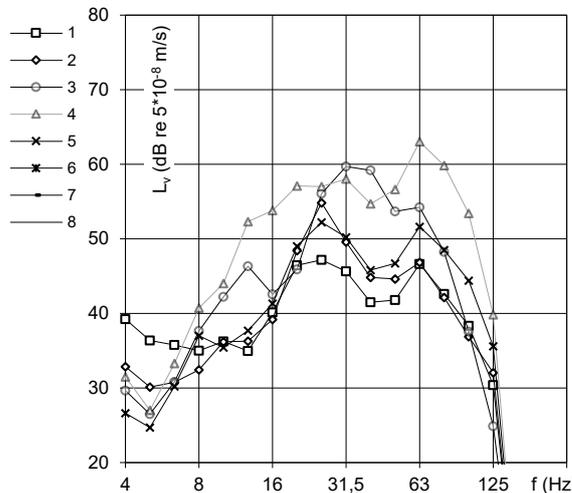
Ergebnisse auf Basis von Messungen im Freifeld

137673-1

Ausgangswerte (Messwerte)

Nr.	Zuggattung	Anzahl Gleis	Anzahl Züge nach Fahrplan		Dauer der Vorbeifahrt [s]
			Tags	Nachts	
1	RB Waldshut/ Singen	5	22	3	ca. 5
2	RB Basel	6	22	3	ca. 5
3	IRE Singen	2	32	6	ca. 5
4	IRE Basel	1	32	6	ca. 5
5	Güterzug	1	9	3	ca. 20
6					
7					
8					

Messpunkt: MP 0



Ausbreitungsbedingungen und Übertragungsverhalten

Emissionsbereich (Weichen, Alterung, usw.)

keine Zuschläge

Transmissionsbereich (Bodenfugen, Abschirmung,...)

keine Maßnahmen

Übergang auf Gebäudefundament

kein Übergang

Schutzmaßnahmen Fundamentbereich

Lagerung auf Elastomere f = 10 Hz, D = 10 %

Übertragungsverhalten Decke

Decke fD = 10 Hz

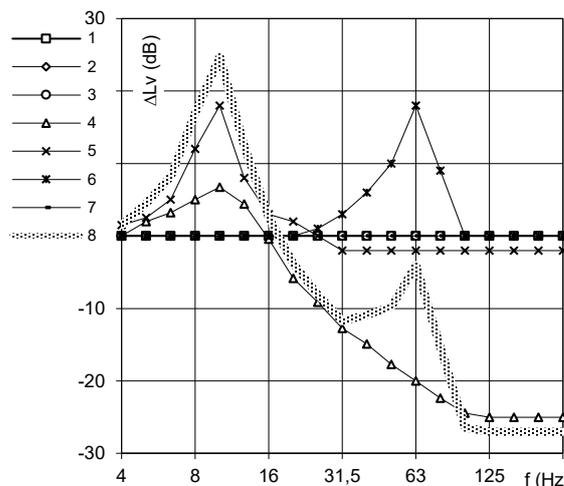
Übertragungsverhalten Estrich

Estrich f(E) = 63 Hz

Sonstiges

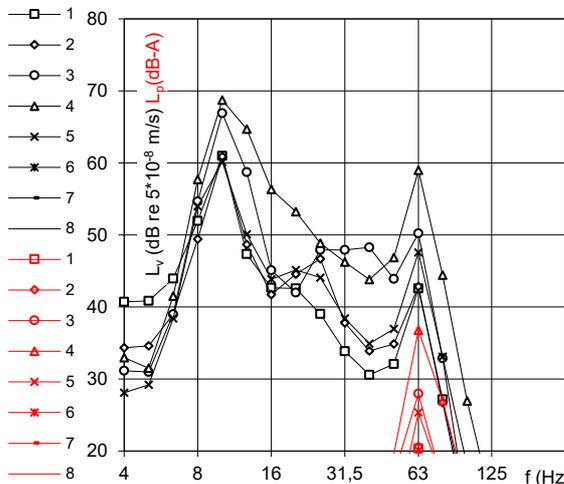
keine Maßnahmen

Summe



Immissionswerte (Prognose)

Schicht	KB _{FTm}	KB _{FT}		L _{AFmax.}	
		Tags	Nachts	Tags	Nachts
1	0,05			21	21
2	0,05			21	21
3	0,11	0,01	0,01	29	29
4	0,16	0,02	0,01	37	37
5	0,05			26	26
6					
7					
8					
S =	0,16	0,03	0,02	32	33



Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt 882821

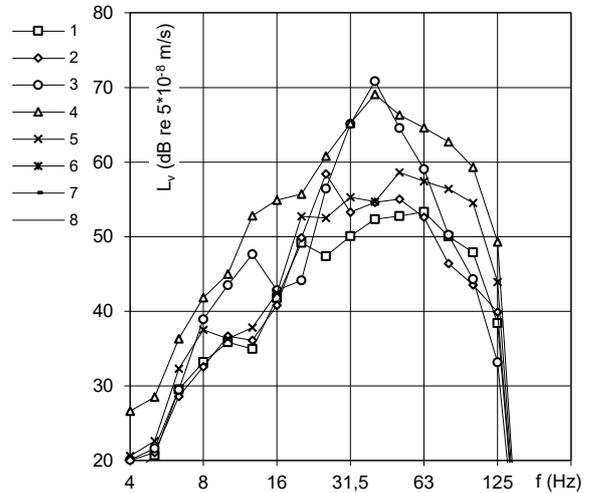
Ergebnisse auf Basis von Messungen im Freifeld

137673-1

Ausgangswerte (Messwerte)

Nr.	Zuggattung	Anzahl Gleis	Anzahl Züge nach Fahrplan		Dauer der Vorbeifahrt [s]
			Tags	Nachts	
1	RB Waldshut/ Singen	5	22	3	ca. 5
2	RB Basel	6	22	3	ca. 5
3	IRE Singen	2	32	6	ca. 5
4	IRE Basel	1	32	6	ca. 5
5	Güterzug	1	9	3	ca. 20
6					
7					
8					

Messpunkt: MP 1



Ausbreitungsbedingungen und Übertragungsverhalten

Emissionsbereich (Weichen, Alterung, usw.)

keine Zuschläge

Transmissionsbereich (Bodenfugen, Abschirmung,...)

keine Maßnahmen

Übergang auf Gebäudefundament

kein Übergang

Schutzmaßnahmen Fundamentbereich

Lagerung auf Elastomere $f = 10$ Hz, $D = 10$ %

Übertragungsverhalten Decke

Decke $f_D = 10$ Hz

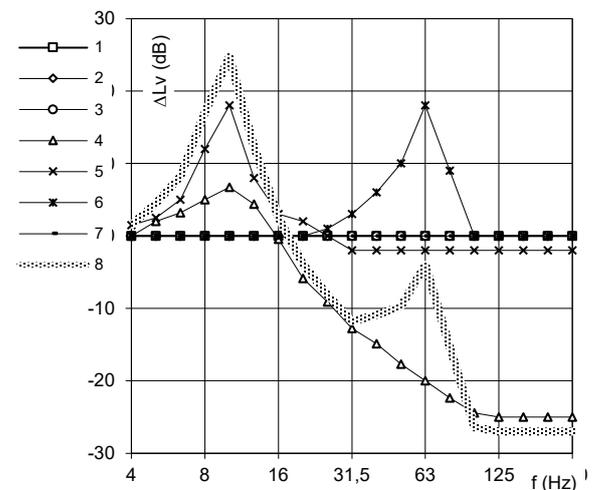
Übertragungsverhalten Estrich

Estrich $f(E) = 63$ Hz

Sonstiges

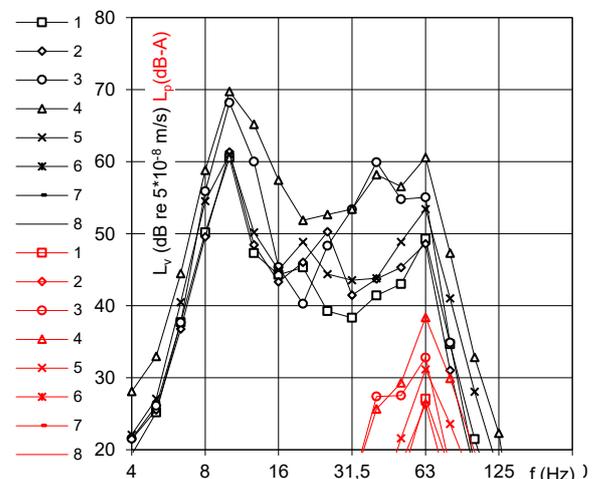
keine Maßnahmen

Summe



Immissionswerte (Prognose)

Schicht	KB _{FTm}	KB _{FTr}		L _{AFmax}	
		Tags	Nachts	Tags	Nachts
1	0,05			28	28
2	0,06			27	27
3	0,14	0,02	0,01	35	35
4	0,19	0,02	0,01	40	40
5	0,07			32	32
6					
7					
8					
S =	0,19	0,03	0,02	36	36



Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt 882821

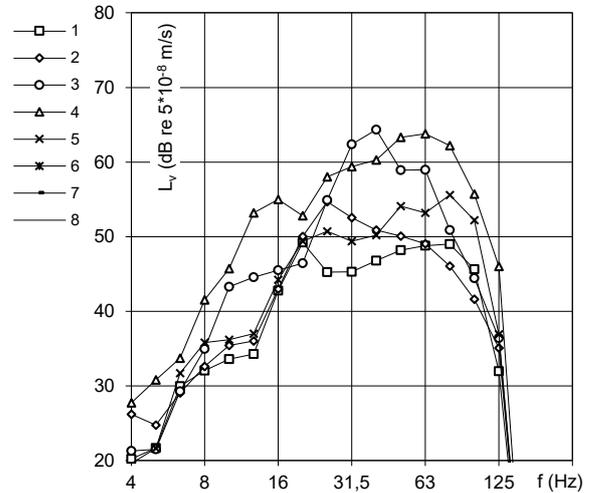
Ergebnisse auf Basis von Messungen im Freifeld

137673-1

Ausgangswerte (Messwerte)

Nr.	Zuggattung	Anzahl Gleis		Anzahl Züge nach Fahrplan		Dauer der Vorbeifahrt [s]
		Tags	Nachts	Tags	Nachts	
1	RB Waldshut/ Singen					ca. 5
2	RB Basel					ca. 5
3	IRE Singen					ca. 5
4	IRE Basel					ca. 5
5	Güterzug					ca. 20
6						
7						
8						

Messpunkt: MP 2



Ausbreitungsbedingungen und Übertragungsverhalten Emissionsbereich (Weichen, Alterung, usw.)

keine Zuschläge

Transmissionsbereich (Bodenfugen, Abschirmung,...)

keine Maßnahmen

Übergang auf Gebäudefundament

kein Übergang

Schutzmaßnahmen Fundamentbereich

Lagerung auf Elastomere $f = 10 \text{ Hz}$, $D = 10 \%$

Übertragungsverhalten Decke

Decke $f_D = 10 \text{ Hz}$

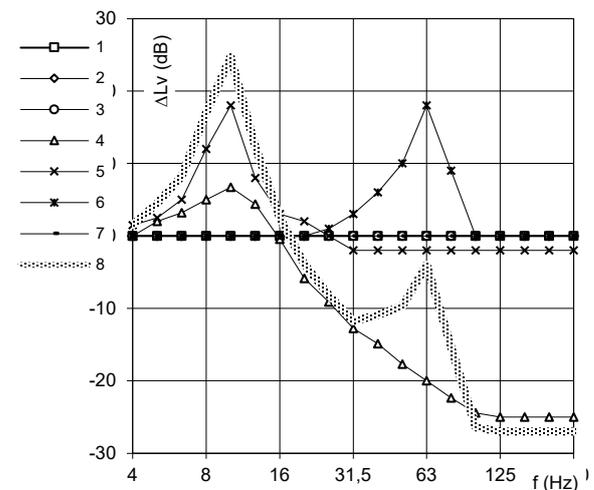
Übertragungsverhalten Estrich

Estrich $f(E) = 63 \text{ Hz}$

Sonstiges

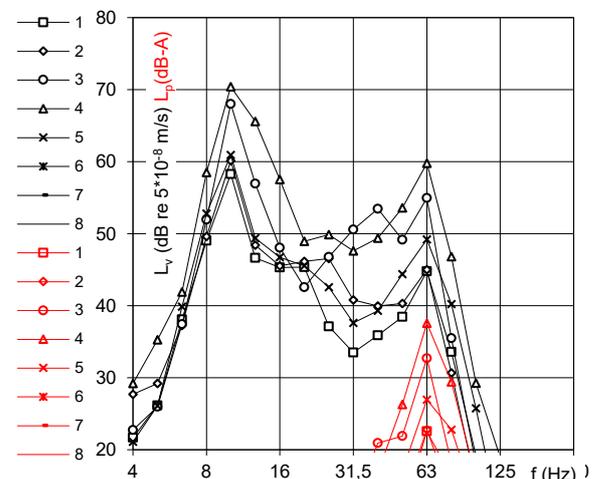
keine Maßnahmen

Summe



Immissionswerte (Prognose)

Schicht	KB _{FTm}	KB _{FTr}		L _{AFmax.}	
		Tags	Nachts	Tags	Nachts
1	0,04			24	24
2	0,05			24	24
3	0,12	0,02	0,01	34	34
4	0,19	0,02	0,01	39	39
5	0,06			29	29
6					
7					
8					
S =	0,19	0,03	0,02	34	35



Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt 882821

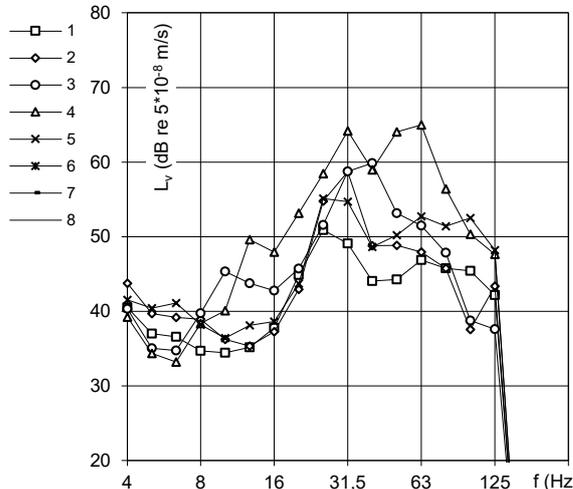
Ergebnisse auf Basis von Messungen im Freifeld

137673-1

Ausgangswerte (Messwerte)

Nr.	Zuggattung	Anzahl Gleis		Anzahl Züge nach Fahrplan		Dauer der Vorbeifahrt [s]
		Tags	Nachts	Tags	Nachts	
1	RB Waldshut/ Singen					ca. 5
2	RB Basel					ca. 5
3	IRE Singen					ca. 5
4	IRE Basel					ca. 5
5	Güterzug					ca. 20
6						
7						
8						

Messpunkt: MP 3



Ausbreitungsbedingungen und Übertragungsverhalten

Emissionsbereich (Weichen, Alterung, usw.)

keine Zuschläge

Transmissionsbereich (Bodenfugen, Abschirmung,...)

keine Maßnahmen

Übergang auf Gebäudefundament

kein Übergang

Schutzmaßnahmen Fundamentbereich

Lagerung auf Elastomere $f = 10$ Hz, $D = 10$ %

Übertragungsverhalten Decke

Decke $f(D) = 31,5$ Hz

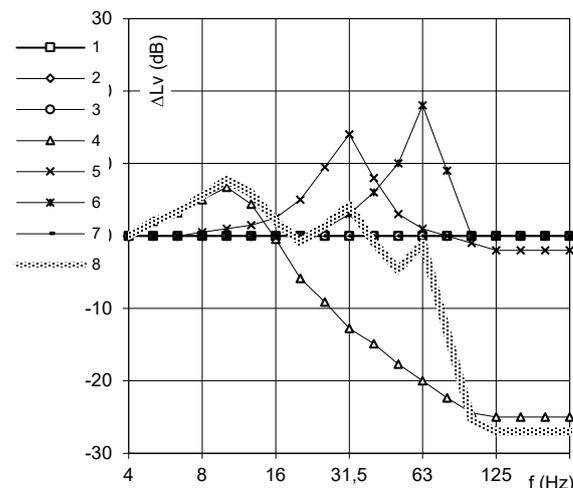
Übertragungsverhalten Estrich

Estrich $f(E) = 63$ Hz

Sonstiges

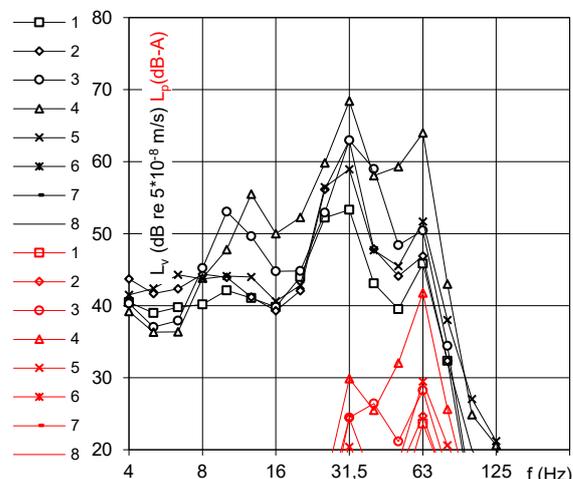
keine Maßnahmen

Summe



Immissionswerte (Prognose)

Schicht	KB _{FTm}	KB _{FTr}		L _{AFmax.}	
		Tags	Nachts	Tags	Nachts
1	0,04			25	25
2	0,08			28	28
3	0,09			32	32
4	0,17	0,02	0,01	43	43
5	0,06			31	31
6					
7					
8					
S =	0,17	0,02	0,01	38	38



Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt 882821

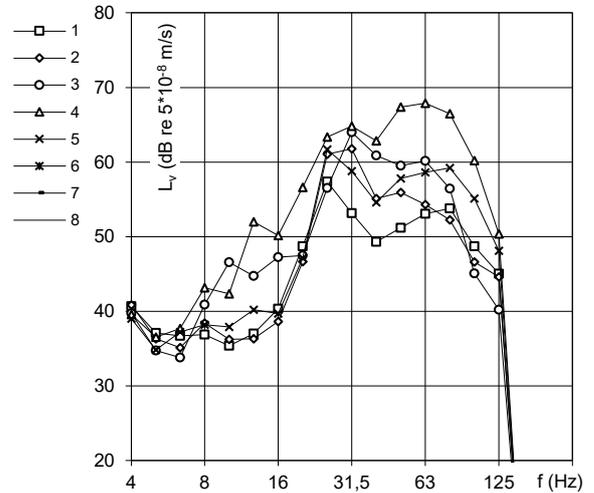
Ergebnisse auf Basis von Messungen im Freifeld

137673-1

Ausgangswerte (Messwerte)

Nr.	Zuggattung	Anzahl Gleise	Anzahl Züge nach Fahrplan		Dauer der Vorbeifahrt [s]
			Tags	Nachts	
1	RB Waldshut/ Singen	6	22	3	ca. 5
2	RB Basel	6	22	3	ca. 5
3	IRE Singen	2	32	6	ca. 5
4	IRE Basel	2	32	6	ca. 5
5	Güterzug	1	9	3	ca. 20
6					
7					
8					

Messpunkt: MP 4



Ausbreitungsbedingungen und Übertragungsverhalten Emissionsbereich (Weichen, Alterung, usw.)

keine Zuschläge

Transmissionsbereich (Bodenfugen, Abschirmung,...)

keine Maßnahmen

Übergang auf Gebäudefundament

kein Übergang

Schutzmaßnahmen Fundamentbereich

Lagerung auf Elastomere f = 10 Hz, D = 10 %

Übertragungsverhalten Decke

Decke f(D) = 31,5 Hz

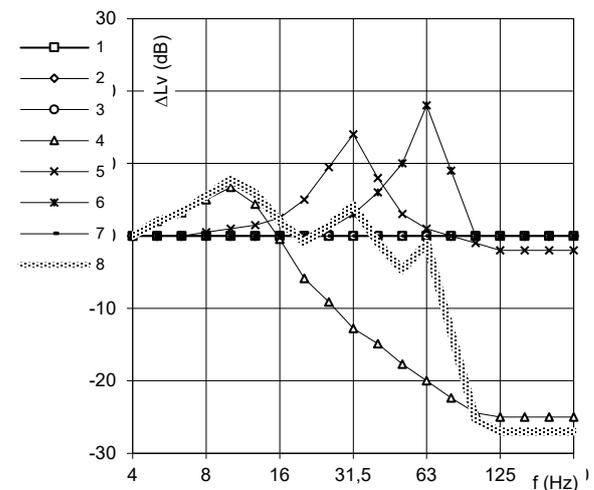
Übertragungsverhalten Estrich

Estrich f(E) = 63 Hz

Sonstiges

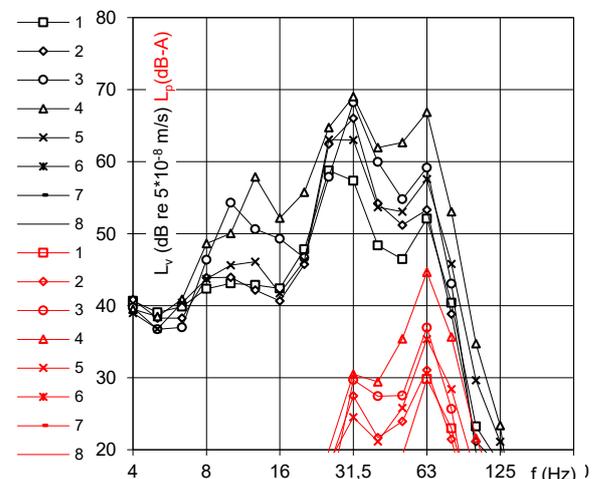
keine Maßnahmen

Summe



Immissionswerte (Prognose)

Schicht	KB _{FTm}	KB _{FTr}		L _{AFmax.}	
		Tags	Nachts	Tags	Nachts
1	0,06			31	31
2	0,13	0,01	0,01	34	34
3	0,16	0,02	0,01	39	39
4	0,22	0,03	0,02	46	46
5	0,11	0,01	0,01	37	37
6					
7					
8					
S =	0,22	0,04	0,02	41	42



Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt 882821

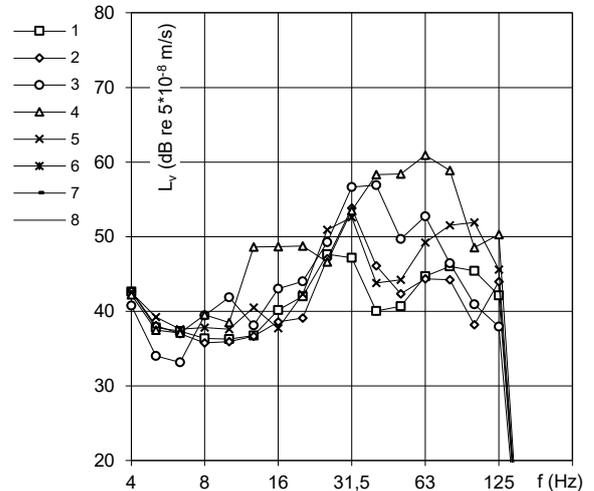
Ergebnisse auf Basis von Messungen im Freifeld

137673-1

Ausgangswerte (Messwerte)

Nr.	Zuggattung	Anzahl Gleise	Anzahl Züge nach Fahrplan		Dauer der Vorbeifahrt [s]
			Tags	Nachts	
1	RB Waldshut/ Singen	5	22	3	ca. 5
2	RB Basel	5	22	3	ca. 5
3	IRE Singen	2	32	6	ca. 5
4	IRE Basel	2	32	6	ca. 5
5	Güterzug	1	9	3	ca. 20
6					
7					
8					

Messpunkt: MP 5



Ausbreitungsbedingungen und Übertragungsverhalten Emissionsbereich (Weichen, Alterung, usw.)

keine Zuschläge

Transmissionsbereich (Bodenfugen, Abschirmung,...)

keine Maßnahmen

Übergang auf Gebäudefundament

kein Übergang

Schutzmaßnahmen Fundamentbereich

Lagerung auf Elastomere $f = 10$ Hz, $D = 10$ %

Übertragungsverhalten Decke

Decke $f(D) = 31,5$ Hz

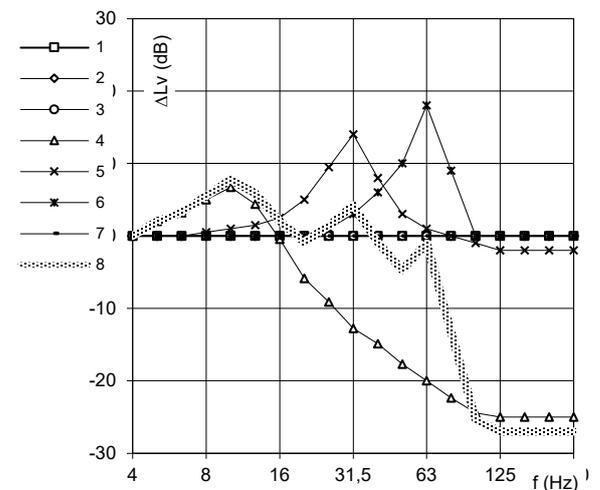
Übertragungsverhalten Estrich

Estrich $f(E) = 63$ Hz

Sonstiges

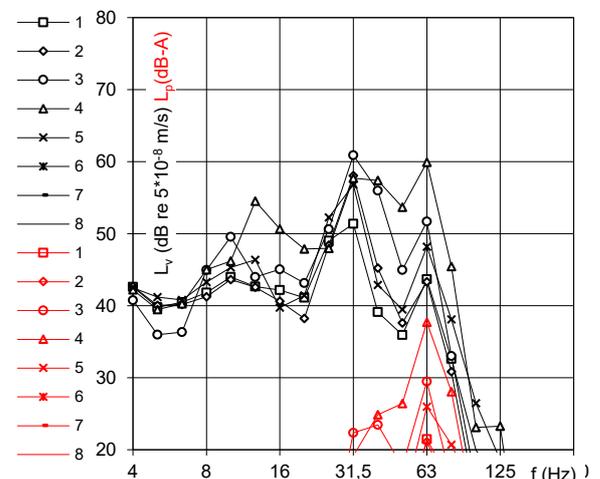
keine Maßnahmen

Summe



Immissionswerte (Prognose)

Schicht	KB _{FTm}	KB _{FTr}		L _{AFmax.}	
		Tags	Nachts	Tags	Nachts
1	0,03			23	23
2	0,05			24	24
3	0,07			31	31
4	0,08			39	39
5	0,05			28	28
6					
7					
8					
S =	0,08	0,00	0,00	34	34



Erschütterungs- und Körperschallimmissionen durch oberirdischen Zugverkehr

Projekt 882821

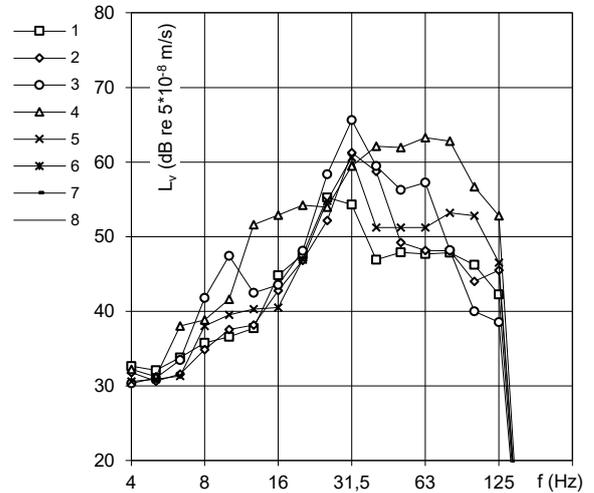
Ergebnisse auf Basis von Messungen im Freifeld

137673-1

Ausgangswerte (Messwerte)

Nr.	Zuggattung	Anzahl Gleise	Anzahl Züge nach Fahrplan		Dauer der Vorbeifahrt [s]
			Tags	Nachts	
1	RB Waldshut/ Singen	6	22	3	ca. 5
2	RB Basel	6	22	3	ca. 5
3	IRE Singen	2	32	6	ca. 5
4	IRE Basel	2	32	6	ca. 5
5	Güterzug	1	9	3	ca. 20
6					
7					
8					

Messpunkt: MP 6



Ausbreitungsbedingungen und Übertragungsverhalten Emissionsbereich (Weichen, Alterung, usw.)

keine Zuschläge

Transmissionsbereich (Bodenfugen, Abschirmung,...)

keine Maßnahmen

Übergang auf Gebäudefundament

kein Übergang

Schutzmaßnahmen Fundamentbereich

Lagerung auf Elastomere $f = 10$ Hz, $D = 10$ %

Übertragungsverhalten Decke

Decke $f(D) = 31,5$ Hz

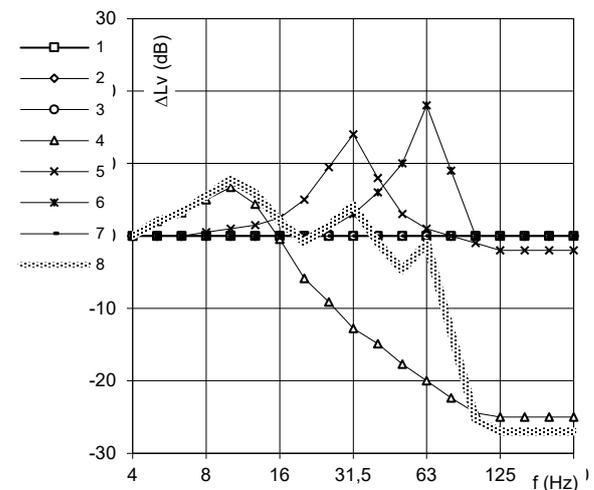
Übertragungsverhalten Estrich

Estrich $f(E) = 63$ Hz

Sonstiges

keine Maßnahmen

Summe



Immissionswerte (Prognose)

Schicht	KB _{FTm}	KB _{FTr}		L _{AFmax.}	
		Tags	Nachts	Tags	Nachts
1	0,06			27	27
2	0,11	0,01	0,01	31	31
3	0,17	0,02	0,01	37	37
4	0,13	0,02	0,01	41	41
5	0,10			32	32
6					
7					
8					
S =	0,17	0,03	0,02	37	38

