

Schwingungstechnischer Bericht 926.2

Zweigleisiger Ausbau Dörfeldstraße

Thema:	Zweigleisiger Ausbau der Straßenbahnstrecke in der Dörfeldstraße zwischen Anna-Seghers-Straße und Helbigstraße in Berlin Treptow-Köpenick OT Adlershof. Einfluss der Baumaßnahme auf die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in benachbarten Gebäuden. Anforderungen an eine geeignete Minderungsmaßnahme.												
Auftraggeber:	Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) über Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH Greifswalder Str. 80 A 10405 Berlin Tel. (030) 421 06-0												
Ortstermin:	Mittwoch, d. 09. Oktober 2019 Mittwoch, d. 17. November 2021												
Anmerkung:	Der Bericht umfasst insgesamt 39 Seiten. <table><tr><td>Text</td><td>Seiten</td><td>1 bis</td><td>23</td></tr><tr><td>Tabellen</td><td>Seiten</td><td>T 01 bis</td><td>T 15</td></tr><tr><td>Bild</td><td>Seite</td><td>B 01</td><td></td></tr></table> Der Bericht soll nur in Gänze an Dritte weitergegeben und darf nicht durch zusätzliche Einträge geändert werden. Ein auszugsweises Zitieren ist mit dem Verfasser abzustimmen.	Text	Seiten	1 bis	23	Tabellen	Seiten	T 01 bis	T 15	Bild	Seite	B 01	
Text	Seiten	1 bis	23										
Tabellen	Seiten	T 01 bis	T 15										
Bild	Seite	B 01											

Berlin-Charlottenburg,
im November 2023



Dipl.-Ing. C. Imelmann

Inhaltsverzeichnis

0	Vorbemerkung	4
1	Zusammenfassung	4
2	Beschreibung der Baumaßnahme aus schwingungstechnischer Sicht, Aufgabenstellung	6
3	Verwendete Unterlagen	7
4	Erläuterungen zu Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen	8
	4.1 Grundlagen und Begriffe	8
	4.2 Einflüsse und Minderungsmöglichkeiten	9
5	Regelwerk	10
	5.1 Beurteilung von Erschütterungsmissionen	12
	5.2 Beurteilung von Sekundärluftschallimmissionen	14
6	Durchführung der Untersuchung	15
	6.1 Grundlagen	16
	6.2 Schwingungstechnische Berechnungen	18
7	Ergebnisse der Schwingungstechnischen Berechnungen, Szenario ohne Minderungsmaßnahmen	20
8	Ergebnisse der Schwingungstechnischen Berechnungen, Szenario mit Minderungsmaßnahmen	21
9	Hinweise zum Masse-Feder-System	22

Verzeichnis der Tabellen und Bilder

Tabelle 1	Objekte im Einwirkungsbereich des Vorhabens, Abstände in Bestand und Planung	T 01
Tabelle 2	Schwingungs-Emissionsspektrum Flexity F8 auf NBS-G / NBS-A	T 02
Tabelle 3	Übertragungsfunktionen für Gebäude mit Holz- und Betondeckenaufbau	T 03
Tabelle 4.1	Beispielhafte Berechnung der Erschütterungs- und Sekundärluftschall- immissionen für die Gebäude Dörpfeldstr. 21 und 23 vom Straßenbahnverkehr auf Gleis 1 (Fahrtrichtung Osten) Szenario ohne Minderungsmaßnahmen	T 04
Tabelle 4.2	Beispielhafte Berechnung der Erschütterungs- und Sekundärluftschall- immissionen für die Gebäude Dörpfeldstr. 21 und 23 vom Straßenbahnverkehr auf Gleis 2 (Fahrtrichtung Westen) Szenario ohne Minderungsmaßnahmen	T 05
Tabelle 5 (Blatt 1 und 2)	Ergebnisse und Beurteilung der Schwingungstechnischen Berechnungen (Dörpfeldstraße / Südseite) Szenario ohne Minderungsmaßnahmen	T 06, T 07
Tabelle 5 (Blatt 3 und 4)	Ergebnisse und Beurteilung der Schwingungstechnischen Berechnungen (Dörpfeldstraße / Nordseite) Szenario ohne Minderungsmaßnahmen	T 08, T 09
Tabelle 6.1	Beispielhafte Berechnung der Erschütterungs- und Sekundärluftschall- immissionen für die Gebäude Dörpfeldstr. 21 und 23 vom Straßenbahnverkehr auf Gleis 1 (Fahrtrichtung Osten) Szenario mit Minderungsmaßnahme	T 10
Tabelle 6.2	Beispielhafte Berechnung der Erschütterungs- und Sekundärluftschall- immissionen für die Gebäude Dörpfeldstr. 21 und 23 vom Straßenbahnverkehr auf Gleis 2 (Fahrtrichtung Westen) Szenario mit Minderungsmaßnahme	T 11
Tabelle 7 (Blatt 1 und 2)	Ergebnisse und Beurteilung der Schwingungstechnischen Berechnungen (Dörpfeldstraße / Südseite) Szenario mit Minderungsmaßnahmen	T 12, T 13
Tabelle 7 (Blatt 3 und 4)	Ergebnisse und Beurteilung der Schwingungstechnischen Berechnungen (Dörpfeldstraße / Nordseite) Szenario mit Minderungsmaßnahmen	T 14, T 15
Bild 1	Prinzipdarstellung eines vollflächig gelagerten Masse-Feder-Systems (MFS) für Straßenbahnen	B 01

0 Vorbemerkung

Die vorliegende Schwingungstechnische Untersuchung ergänzt die Schalltechnische Untersuchung des Unterzeichners zu diesem Vorhaben (Schalltechnischer Bericht 925.6 „Zweigleisiger Ausbau Dörpfeldstraße“). Beide Untersuchungen basieren auf dem Bundes-Immissionsschutzgesetz.

Gegenstand der Schalltechnischen Untersuchung sind die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen des Straßenbahnbaus auf die Luftschallimmissionen im Wirkungsbereich des Vorhabens. Die Untersuchung wird im Hinblick auf die Frage durchgeführt, ob der künftige Straßenbahnverkehr zu Immissionsgrenzwertüberschreitungen führt und sich hieraus Anspruchsberechtigung auf passive Schallschutzmaßnahmen dem Grunde nach ergibt (Lärmvorsorge).

Gegenstand der Schwingungstechnischen Untersuchung sind die Auswirkungen der geplanten Baumaßnahmen auf die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen benachbarter Gebäude. Bei dieser Untersuchung steht die Frage im Vordergrund, ob die neuen Gleise der Straßenbahn mit einer zusätzlichen technischen Maßnahme zur Minderung des Schwingungseintrages in den Boden ausgerüstet werden müssen, um eine wesentliche Erhöhung der bisherigen Immissionen (der Vorbelastung) oder eine Überschreitung der geltenden Anhalts- und Immissionsrichtwerte auszuschließen.

1 Zusammenfassung

Der geplante zweigleisige Ausbau der Straßenbahnstrecke in der Dörpfeldstraße in Berlin Treptow-Köpenick OT Adlershof führt zu Änderungen der Gleisbauart und der Gleislage. Dies beeinflusst die vom Straßenbahnverkehr hervorgerufenen Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in benachbarten Gebäuden.

Die vorliegende Schwingungstechnische Untersuchung prognostiziert und bewertet die künftige Höhe der Immissionen. Hierdurch schafft sie die Voraussetzung, um durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass nach Durchführung der Bau-

maßnahme die geltenden Anhalts- und Richtwerte für die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in den benachbarten Gebäuden eingehalten werden.

Die entsprechenden Immissionsberechnungen wurden auf der Basis vorliegender Emissionsspektren nach einem Rechenverfahren gemäß einem Vorschlag der Deutschen Bahn AG durchgeführt. In einem Worst Case-Ansatz werden Gebäude mit Beton- und Holzbalkendeckenaufbau und unterschiedlichen Deckenresonanzfrequenzen betrachtet.

Grundlage ist das künftige Betriebsprogramm der BVG, das in der Summe beider Richtungen 213 Straßenbahnfahrten tags (von 6 Uhr bis 22 Uhr) und 97 Fahrten nachts (von 22 Uhr bis 6 Uhr) vorsieht.

Die Untersuchung dokumentiert, dass ohne geeignete Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen die geltenden Anhalts- und Immissionsrichtwerte des Regelwerks in der gesamten Randbebauung an der Ausbaustrecke nicht annähernd eingehalten werden können. Hieraus ergibt sich das Erfordernis, die neuen Gleise der Straßenbahn mit einer zusätzlichen technischen Maßnahme zur Minderung des Schwingungseintrages in den Boden auszurüsten. Dieses Ergebnis entspricht insofern der Erwartung, als auch bei dem bestehenden Gleis anlässlich der Sanierung im Jahre 1998 im Rahmen eines Betriebsversuches bereits besondere Maßnahmen zum Erschütterungs- und Sekundärluftschallschutz realisiert worden sind.

Nach dem Ergebnis der vorgenommenen Berechnungen gelten für das Einfügungsdämm-Maß ΔL der Minderungsmaßnahme die folgenden Zielwerte:

Frequenz f in Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5
Einfügungsdämm-Maß ΔL in dB	0,5	0,9	1,4	2,2	3,5	5,2	5,8	2,5	-2,0	-6,1
	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
	-9,6	-12,5	-15,2	-17,7	-19,9	-22,0	-24,2	-26,3	-28,2	-30,3

Die genannten Werte orientieren sich am Modell eines gedämpften Einmassenschwingers mit der Abstimmfrequenz $f_0 = 16$ Hz.

Die genannten Zielwerte sind anspruchsvoll. Sie können gemäß aktuellem Stand der Technik mit einem Masse-Feder-System (MFS) näherungsweise realisiert werden. Die technischen Details eines geeigneten MFS sind im Rahmen der Ausführungsplanung festzulegen.

2 Beschreibung der Baumaßnahme aus schwingungstechnischer Sicht, Aufgabenstellung

Anlässlich der Sanierung der eingleisigen Straßenbahnstrecke in der Dörfeldstraße im Jahre 1998 wurden von der BVG in aufeinanderfolgenden Gleisabschnitten versuchsweise drei unterschiedliche Maßnahmen zum Schutz vor Erschütterungen und Sekundärem Luftschall sowie zum Vergleich ein Rahmengleis eingebaut. Die unterschiedlichen Oberbauformen ersetzen die bislang dort verbauten Großverbundplatten (GVP). Im Einzelnen handelt es sich um

- ein Masse-Feder-System,
- eine kontinuierliche elastische Schienenlagerung der Fa. ORTEC GmbH,
- eine elastische Schienenlagerung der Fa. PHOENIX AG,
- ein eingedecktes Rahmengleis auf bituminöser Tragschicht.

Der nunmehr geplante zweigleisige Ausbau der Strecke führt zu einer Minderung der Abstände zwischen den Gleisen und der Straßenrandbebauung (auf der Südseite bis herab auf 4,60 m und auf der Nordseite bis herab auf 6,60 m). Die Abstände in Bestand und Planung nebst deren Änderungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Der gesamte Bauabschnitt (einschließlich der Übergangsbereiche zwischen der zweigleisigen Ausbaustrecke und den Bestandsgleisen) erstreckt sich von der Straße Adlergestell bis in Höhe des Hauses Dörfeldstr. 43. Im Einwirkungsbereich liegen auf der Südseite der Dörfeldstraße die Häuser Dörfeldstr. 1 bis 43 (ungerade) und auf der Nordseite die Häuser Dörfeldstr. 6 bis 46 (gerade). Es handelt sich teils um Neubauten mit Betondeckenaufbau, teils um Altbauten mit unbekanntem Deckenaufbau (im allgemeinen Holzbalkendecken). Die überwiegende Nutzung ist Wohnen, im Erdgeschoss befinden sich zumeist Ladengeschäfte. Es gibt Bestrebungen, die Dörfeldstraße von der ursprünglichen „Kiez-Geschäftsstraße“ zu einem aktiven Zentrum zu entwickeln.

Standardoberbau der BVG ist seit geraumer Zeit das „Neue Berliner Straßenbahn-
gleis“ (NBS). Das NBS besteht aus Rillenschienen mit elastischer Schienenfußum-
mantelung oder elastischen Stützpunktlagern auf einer Betontragschicht mit ein-
gegossenen, vorher justierten Zweiblockschwellen. Diese Oberbauart wurde in Zu-
sammenarbeit zwischen der BVG und der Industrie entwickelt und hat sich seit
Jahren bei Neubau- und Sanierungsstrecken bewährt. Jeweils an die spezifischen
Gegebenheiten der Verkehrsbetriebe angepasst, wird das NBS unter dem Namen
„Rheda City“ im In- und Ausland eingesetzt. Die nachgewiesenen positiven schwin-
gungstechnischen Eigenschaften werden maßgeblich durch die Elastizität der
Schienenlagerung in Verbindung mit der hohen Impedanz der Betonplatte be-
stimmt.

Aufgabe der Schwingungstechnischen Untersuchung ist nun die Klärung, ob be-
reits das NBS alleine zu hinreichend niedrigen Erschütterungs- und Sekundärluft-
schallimmissionen in der Straßenrandbebauung führt oder ob – wie gehabt – eine
zusätzliche Minderungsmaßnahme zum Einhalten der Anhalts- und Richtwerte des
Regelwerks erforderlich ist.

3 *Verwendete Unterlagen*

Es wird auf die Zusammenstellung in Kapitel 2 des Schalltechnischen Berichts
verwiesen.

Zusätzlich wurden herangezogen:

- /1/ Körperschall- und Erschütterungsschutz – Leitfaden für den Planer:
 Beweissicherung, Prognose, Beurteilung und Schutzmaßnahmen,
 Deutsche Bahn AG, ZBT 511 München
 (Ausgabe August 1996, berichtigt Februar 1999)

- /2/ Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luft-
 verunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge
 (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der Fassung der Be-
 kanntmachung vom 17. Mai 2013

- /3/ DIN 4150-2, Ausgabe:1999-06 Erschütterungen im Bauwesen –
 Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

4 Erläuterungen zu Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen

4.1 Grundlagen und Begriffe

Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen (unter dem Oberbegriff Schwingungsmissionen) haben ihre Ursache im Wesentlichen in dynamischen Erregerkräften in der Kontaktzone zwischen den Rädern des fahrenden Zuges und der Schiene. Die Schwingungen werden über den Oberbau und den Unterbau in den Boden übertragen, breiten sich dort in Wellenform aus und werden über die Fundamente in benachbarte Gebäude eingeleitet. Dort können sie zu wahrnehmbaren Bewegungen der Geschossdecken (Erschütterungen) und zu Schwingungen der Raumbegrenzungsflächen führen, die ihrerseits als Schall abgestrahlt werden (Sekundärer Luftschall).

Erschütterungen bezeichnen tieffrequente Schwingungen eines Gebäudes, die der Mensch mit seinem ganzen Körper wahrnehmen kann, sofern die auftretende Schwinggeschwindigkeit die sog. Fühlschwelle bei 0,1 mm/s übersteigt. Die Schwingungen können insbesondere dann zu Belästigungen führen, wenn Geschossdecken in Resonanz angeregt werden, woraus eine deutliche Verstärkung der Schwingungen resultiert. Je nach Aufbau und Spannweite der Decken liegt der Hauptfrequenzbereich zwischen 10 Hz und 50 Hz. Zur Kennzeichnung der Erschütterungsmissionen dient die bewertete Schwingstärke KB , die aus dem gleitenden Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals abgeleitet wird.

Anmerkung:

Im Zusammenhang mit den Erschütterungen können gewisse Erscheinungen auftreten, die oft störender sind als die Erschütterungen selbst (z.B. das bekannte Gläserklirren als Folgeeffekt). Es ist allerdings nicht möglich, hieraus einen Rückschluss auf die Höhe der Erschütterungen zu ziehen, da diese Effekte bereits bei den geringsten Erschütterungsmissionen auftreten können, sogar bei solchen, die unterhalb der Fühlschwelle liegen. Sie sind aber im Regelfall auch leicht zu beseitigen, etwa durch geringfügiges Verschieben der Gläser an einen anderen Platz. Das Auftreten dieser Effekte kann nicht prognostiziert werden.

Sekundärer Luftschall entsteht durch Körperschallabstrahlung von Decken und Wänden und kann innerhalb von Gebäuden in der Nachbarschaft von Schienenwegen hörbar sein. Die sekundären Luftschallimmissionen treten meist im Frequenzbereich um 63 Hz bis 100 Hz auf und werden als dumpfes Grollen wahrgenommen. Zur Kennzeichnung dient der A-bewertete Beurteilungspegel L_r in dB(A).

Anmerkung:

Bei oberirdischem Schienenverkehr wird der Sekundärluftschall in den Räumen auf der Seite des Schienenweges meist durch den Luftschalleintrag durch die Fenster überlagert, so dass er (wenn er überhaupt als solcher zu hören ist) weniger störend empfunden wird und mit einfachen Mitteln auch nicht gezielt zu messen ist. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Fenster nur eine geringe Schalldämmung aufweisen und der Schienenweg sehr nah ist. Dieser „primäre“ Luftschall ist Gegenstand der Schalltechnischen Untersuchung auf Grundlage der Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV.

4.2 Einflüsse und Minderungsmöglichkeiten

Die Stärke der auftretenden Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen wird maßgeblich bestimmt

- durch Art und Zustand von Fahrzeugen und Gleisen, insbesondere durch den Zustand der Kontaktflächen von Rad und Schiene,
- durch den Oberbau, Unterbau und den Untergrund,
- durch den Abstand zwischen dem Gleis und dem Gebäude mit schutzbedürftiger Nutzung,
- durch das Übertragungsverhalten des Bodens (Materialdämpfung),
- durch gebäudespezifische Übertragungsfaktoren,
- durch die Fahrgeschwindigkeit.

Da Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen zumeist mit Resonanzeffekten verbunden sind, ist nach Erfahrungen des Unterzeichners die Fahrgeschwindigkeit von geringerem Einfluss als bei den Luftschallimmissionen.

Zur Minderung von Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen sind über die regelmäßige Wartung der Rad-Schiene-Kontaktzone hinaus (Schleifen der Schienenoberfläche, Bearbeitung unrunder Räder)

- bauliche Maßnahmen im Bereich der Schienen- und Oberbaulagerung (z.B. Unterschottermatten, Elastische Schienen-Stützpunktlager, Kontinuierliche elastische Schienenlagerungen, Masse-Feder-Systeme, Elastische Lagerungen von Schwellen),
- Maßnahmen am Ausbreitungsweg (z.B. Abschirmmatten in Baugrundschnitzen),
- Maßnahmen bei der Gebäudegründung und -konstruktion (z.B. Versteifung von Decken, Abfederung ganzer Gebäude)

möglich und im Einzelfall hinsichtlich ihrer Wirksamkeit nachgewiesen, teilweise aber mit großem baulichen und finanziellen Aufwand verbunden.

Grundsätzlich gilt, dass moderne Fahrzeuge mit wirksamer Primärfederung und guten Radlauflächen zu deutlich geringeren Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen führen können als Fahrzeuge ohne Primärfederung. Dasselbe gilt für neu verlegte Gleise im Vergleich zu alten. Die Verbesserung bleibt aber nur bei sehr guter Gleis- und Radpflege dauerhaft erhalten.

5 Regelwerk

Die geplante Baumaßnahme liegt im Geltungsbereich des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG). Zweck dieses Gesetzes ist es, Menschen und Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen. Zu den Immissionen im Sinne des Gesetzes gehören Geräusche (hier zu verstehen als Luftschallabstrahlung innerhalb von Räumen infolge Körperschalleinleitung) und Erschütterungen.

Da allerdings in der Verordnungsermächtigung des § 43 Abs. 1 BImSchG, welche die Grundlage für die 16. BImSchV darstellt, Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen nicht angesprochen werden, fehlt im Verkehrsbereich die Rechtsgrundlage für den Erlass einer der 16. BImSchV entsprechenden Rechtsverordnung.

Daher fehlt bei den Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen eine verbindliche Festlegung

- von Grenzwerten sowie von Verfahren zur Ermittlung der Immissionen in Gebäuden, die anhand dieser Grenzwerte zu beurteilen wären,
- von Kriterien, wann ein erheblicher baulicher Eingriff zu einer wesentlichen Erhöhung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen führt, woraus das Erfordernis von entsprechenden Vorsorgemaßnahmen abgeleitet werden könnte.

In der Praxis sind bis zur endgültigen Klärung der rechtlichen und beurteilungstechnischen Fragen Ersatzlösungen eingeführt. Sie stützen sich insbesondere auf den Leitfaden der DB AG /1/.

Der Leitfaden unterscheidet die Vorgehensweise bei Neubaustrecken ohne Vorbelastung und bei Neu- oder Ausbaustrecken mit Vorbelastung. Beim Ausbau einer Strecke – dieser Fall liegt hier vor – ist durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass sich nach Durchführung der Baumaßnahme die Immissionen im Vergleich zum Istzustand nicht wesentlich erhöhen.

Bei den Erschütterungsimmisionen wird unter einer wesentlichen Erhöhung ein Anstieg um mehr als 25% der Bestandssituation verstanden, wobei ein prognostizierter Mittelwert von $KB_{Fmax} = 0,4$ noch als zumutbar angesehen wird. Dieser Wert gilt als Beurteilungsanhaltswert für die Erheblichkeits- bzw. Zumutbarkeitsschwelle.

Eine wesentliche Erhöhung des sekundären Luftschalls wird mit 3 dB(A) festgelegt. Zur Entscheidung, ob die Kriterien der wesentlichen Erhöhung erfüllt sind, ist in repräsentativen Gebäuden an der Ausbaustrecke die Durchführung von Messungen vor und nach der Baumaßnahme erforderlich (Beweissicherungs- und Kontrollmessungen).

Diese Vorgehensweise ist aus Sicht des Unterzeichners in der Dörpfeldstraße insofern problematisch, als die Ergebnisse der Beweissicherungsmessungen sowohl von der Bauart des verbauten Oberbaus als auch vom Verschleißzustand der Gleise abhängen und sich hieraus für den Vergleichsfall ohne Baumaßnahme ein zu hohes Wertenniveau ergeben kann. Dies aber könnte sich wegen des zulässigen Anstiegs um bis zu 25% beziehungsweise 3 dB(A) nachteilig auf die zukünftigen Immissionsverhältnisse auswirken.

Vor diesem Hintergrund strebt die vorliegende Untersuchung in Analogie zur Schalltechnischen Untersuchung das Einhalten der Immissionswerte an, die für den Neubau einer Strecke ohne Vorbelastung gelten. Erst wenn (in einzelnen Ausnahmefällen) aus technischen Gründen ein Einhalten der geltenden Erschütterungs-Anhaltswerte nicht gesichert ist, wird auf die Zumutbarkeitsschwelle $KB_{Fmax} = 0,4$ zurückgegriffen.

5.1 Beurteilung von Erschütterungsimmissionen

Zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in „Wohnungen und vergleichbar genutzten“ Räumen ist die DIN 4150-2 als Äußerung einschlägigen Sachverständes heranzuziehen. In dieser Norm sind bestimmte Anhaltswerte A_u , A_o und A_r definiert, mit denen die prognostizierte maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} beziehungsweise die hieraus abgeleiteten Beurteilungs-Schwingstärken KB_{FTr} (tags) und KB_{FTr} (nachts) zu vergleichen sind.

Die Anhaltswerte der Norm sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Für Gebäude, die keine Wohnungen oder vergleichbar genutzte Räume enthalten, sind keine Anhaltswerte festgelegt.

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 der 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.

Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen (Tabelle 1 aus DIN 4150-2 ohne Berücksichtigung von Sonderregelungen für Schienenwege des ÖPNV)

Die Beurteilung erfolgt allgemein anhand folgender Kriterien:

- Ist $KB_{F_{max}}$ kleiner / gleich dem unteren Anhaltswert A_u , dann ist die Anforderung der Norm eingehalten.
- Ist $KB_{F_{max}}$ größer als A_u und kleiner / gleich dem oberen Anhaltswert A_o , ist die Bestimmung der Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ erforderlich. Solange $KB_{F_{Tr}}$ den Beurteilungs-Anhaltswert A_r nicht überschreitet, ist die Anforderung der Norm ebenfalls eingehalten.
- Ist $KB_{F_{max}}$ größer als der obere Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung der Norm nicht eingehalten.

Für oberirdische Schienenwege des ÖPNV gelten Sonderregelungen. Die DIN 4150-2 erläutert hierzu (Anhang D, zu 6.5.3), dass die Möglichkeiten der Verminderung von Schwingungsemissionen von Schienenwegen zwar begrenzt seien, verweist aber beim innerstädtischen ÖPNV auf positive Erfahrungen mit Maßnahmen im Bereich der Schienenlagerung.

Die Sonderregelungen betreffen das Verfahren der Beurteilung, die Bedeutung der Anhaltswerte A_o sowie die Höhe der Anhaltswerte A_u und A_r .

- Die Beurteilung erfolgt grundsätzlich nur anhand des unteren Anhaltswertes A_u (für $KB_{F_{max}}$) und des Beurteilungs-Anhaltswertes (A_r für $KB_{F_{Tr}}$). Beide Anhaltswerte werden um den Faktor 1,5 angehoben.
- Der obere Anhaltswert A_o (tags) bleibt bei der Beurteilung unberücksichtigt.
- Für den Schienenverkehr hat der obere Anhaltswert A_o (nachts) nicht die Bedeutung, daß bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne Taktmaximalwerte der bewerteten Schwingstärke bei oberirdischen Streckengebieten unabhängig über $A_o = 0,6$ (...), so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z. B. Flachstellen an Rädern) und diese möglichst rasch zu beheben (Zitat DIN).

Anmerkungen:

- Die Bezeichnung „Anhaltswert“ anstelle von „Richtwert“ oder „Grenzwert“ soll darauf hinweisen, dass es sich um empfohlene Werte und nicht um gesicherte Grenzwerte handelt. Darüber hinaus soll sie – angesichts der zahlreichen Einflüsse, die in ihren Einzelheiten meist nicht erfasst werden können – die vergleichsweise große Unsicherheit bei der Prognose von Erschütterungsimmissionen und der Beurteilung ihrer Wirkung auf den Menschen widerspiegeln. Vor diesem Hintergrund kann ein Einhalten der Anhaltswerte grundsätzlich nicht

garantiert werden, insbesondere wenn die Abstände zwischen den Gleisen und den zu schützenden Objekten sehr gering sind und die maximale Wirksamkeit einer Schutzmaßnahme ausgeschöpft ist. In diesem Zusammenhang wird schließlich auch auf die in Nummer 5.4 und Tabelle 3 der DIN 4150-2 angesprochene Unsicherheitsmarge von 15 % verwiesen.

- Die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ hängt nur von der Höhe der Erschütterungsimmersionen während der Zugvorbeifahrten und nicht von deren Häufigkeit ab. Solange der untere Anhaltswert A_u eingehalten wird, kommt es bei der Beurteilung der Erschütterungsimmersionen also nicht auf die Zugzahlen an (diese spielen erst bei der Diskussion der Beurteilungs-Schwingstärken $KB_{F_{Tr}}$ eine Rolle).
- Bei besonders schutzbedürftigen Einwirkungsorten liegt der untere Anhaltswert nachts $A_u = 0,1$ in Höhe der Fühlschwelle ($KB = 0,1$ bzw. $v = 0,1$ mm/s). Hiernach dürfen auch bei größter Immissionsempfindlichkeit der Einwirkungsorte Erschütterungen (gerade) spürbar sein; die oft erhobene Forderung nach absoluter Nichtwahrnehmbarkeit ist aus dem Regelwerk nicht begründbar.
- Die Sonderregelungen für den oberen Anhaltswert A_o (nachts) gelten im Grunde genommen nur für die Beurteilung von Messungen. Die Anwendung dieses Wertes sollte nach Auffassung des Unterzeichners aber auch bei einer Prognose im Blick behalten werden.

5.2 Beurteilung von Sekundärluftschallimmissionen

Die Beurteilungspegel in Wohn- und Schlafräumen werden in Ermangelung rechtlich verbindlicher Grenzwerte hilfsweise mit denselben Immissionsrichtwerten verglichen, die auch der Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV zugrunde liegen. Diese Immissionsrichtwerte ergeben sich unter Anwendung eines Zuschlages von 3 dB(A) aus den Korrektursummanden D zur Berücksichtigung der Raumnutzung gemäß Tabelle 1 der Anlage zu § 2 Abs. 2 und § 3 Abs. 1, 3 und 4 dieser Verordnung und betragen in Wohnräumen 40 dB(A) tags und in Schlafräumen 30 dB(A) nachts. Bei weniger schutzbedürftigen Räumen wie z. B. Vortrags- und Arbeitsräumen steigen die Immissionsrichtwerte je nach Raumnutzung auf 45 dB(A) tags beziehungsweise 50 dB(A) tags. Die Anforderungen bezüglich der Sekundärluftschallimmissionen beschränken sich also nicht auf Wohnräume und vergleichbar genutzte Räume.

Anmerkung:

Die Frage, ob auch bei den Sekundärschallimmissionen den Besonderheiten des Schienenverkehrs in Analogie zu den Regelungen der 16. BImSchV durch einen Abschlag von 5 dB(A) („Schienenbonus“) Rechnung getragen werden soll, ist nicht abschließend geklärt. In der vorliegenden Untersuchung wird der Abschlag berücksichtigt, da aus Sicht des Unterzeichners die Ergebnisse der interdisziplinären Feldstudie zur Einführung des Schienenbonus' vom Ende der 1970er und Anfang der 1980er Jahre in weitgehend gleicher Weise sowohl für den primären als auch für den sekundären Luftschall gelten und keine gesicherten, einen neuen Kenntnisstand wiedergebende Forschungsergebnisse vorliegen, die gegen eine Berücksichtigung dieses Abschlages sprächen.

6 Durchführung der Untersuchung

Im Zentrum der Schwingungstechnischen Untersuchung stehen die rechnerische Prognose

- der maximalen bewerteten Schwingstärken $KB_{F_{max}}$ und der Beurteilungsschwingstärken $KB_{F_{Tr}}$ (tags) und $KB_{F_{Tr}}$ (nachts),
- der maximalen A-Bewerteten Sekundärluftschallpegel $L_{A_{max}}$ und der Beurteilungspegel L_r (tags) und L_r (nachts)

in der Randbebauung der Dörfeldstraße beim künftigen Straßenbahnverkehr auf der 2-gleisig ausgebauten Strecke. Grundlage ist das im Leitfaden /1/ beschriebene Verfahren. Die Berechnung erfolgt zunächst für ein Szenario ohne Minderungsmaßnahmen. Aufgrund der auftretenden Anhalts- und Immissionsrichtwertüberschreitungen wird die Berechnung sodann für das Szenario mit einer definierten Minderungsmaßnahme wiederholt.

Es werden alle in Tabelle 1 aufgeführten Objekte berücksichtigt.

Anmerkung:

Der Leitfaden /1/ weist ausdrücklich darauf hin, dass bei der Prognose bzw. bei der Berechnung von Erschütterungen niemals die Genauigkeit erreicht werden kann, wie sie im Bereich des Luftschalls vorhanden ist. Der Grund liegt in dem zu geringen Wissen über die Ausbreitungsparameter im Erdboden und im zu betrachtenden Gebäude.

Die Bewertung der Erschütterungsimmissionen erfolgt unter Anwendung der um den Faktor 1,5 angehobenen Anhaltswerte A_u und A_r gemäß Tabelle 1, Zeile 3 aus DIN 4150-2, gültig für Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO).

Die angesetzte Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkungen entspricht also nicht der gebietsbezogenen Einstufung, die der Schalltechnischen Untersuchung zugrunde liegt (reine und allgemeine Wohngebiete). Der Hintergrund ist, dass in den betrachteten Gebäuden, die nur wenige Meter von den Gleisen der Straßenbahn und den Fahrstreifen der Dörfeldstraße als Teil des übergeordneten Straßennetzes von Berlin entfernt sind, nicht dasselbe niedrige Erschütterungsniveau erwartet werden kann wie in Gebäuden abseits eines derart prägenden Verkehrsweges. Dieser Ansatz ist durch den Hinweis in Tabelle 1 der DIN 4150-2 gedeckt, dass die Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkungen nicht zwingend der Gebietseinteilung der BauNVO entspricht.

Die Bewertung der Sekundärschallimmissionen erfolgt unter Anwendung der Immissionsrichtwerte 40 dB(A) tags und 30 dB(A) nachts.

6.1 Grundlagen

Die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in den untersuchten Gebäuden ergeben sich aus den Emissionsspektren des Straßenbahnverkehrs, der Abstands- und Materialdämpfung im Boden sowie den Übertragungsfunktionen, die zur Charakterisierung der gebäudespezifischen Eigenschaften angesetzt werden und die Schwingungsweiterleitung vom Boden ins Fundament und vom Fundament zu den Geschossdecken beschreiben.

Die Emissionsspektren des Straßenbahnverkehrs wurden unter betriebsüblichen Bedingungen an einem neu gebauten NBS im Bauabschnitt 2.1 der Straßenbahn-Nordsüdtangente zwischen den Haltestellen Rüdickenstraße und Arnimstraße gemessen. Nähere Einzelheiten zeigt Tabelle 2.

Anmerkung:

Der charakteristische Verlauf der Spektren mit einem ausgeprägten Maximum im Bereich von 63 bis 100 Hz spiegelt wider, dass beim Straßenbahnverkehr der Körperschalleintrag in der Regel eher zu Immissionskonflikten führt als die tieffrequenten Erschütterungen.

Die Übertragungsfunktionen für Gebäude mit Beton- und Holzbalkendeckenaufbau sind dem Leitfaden /1/ entnommen. Die beiden unter realen Verhältnissen maßgeblichen Übertragungsfunktionen für Betondecken und Holzbalkendecken sind in Tabelle 3 dargestellt.

Bei Neubauten wurden die Berechnungen mit der Übertragungsfunktion für Betondecken durchgeführt. Da bei Altbauten der Deckenaufbau in seinen Einzelheiten nicht bekannt ist, wurden die Berechnungen einmal unter der Annahme durchgeführt, es handele sich um ein Gebäude mit Holzbalkendeckenaufbau, und ein weiteres Mal unter der Annahme, es handele sich um ein Gebäude mit Betondeckenaufbau.

Bei der Annahme von Holzbalkendecken werden die typischen Deckenresonanzfrequenzen im Bereich von 10 Hz bis 25 Hz angesetzt, bei der Annahme von Betondecken im Bereich von 20 Hz bis 50 Hz. Durch Variation der Deckenresonanzfrequenzen werden die Ergebnisse in Form einer Spanne ermittelt. Für die Beurteilung der Immissionen werden die Höchstwerte aus den beiden Berechnungsvarianten „Holz“ und „Beton“ herangezogen. Durch diesen Worst Case-Ansatz liegen die Ergebnisse – unabhängig von den tatsächlichen Eigenschaften des betrachteten Gebäudes – auf der sicheren Seite.

Anmerkungen:

- Nach einer statistischen Auswertung von 270 Decken in 135 Häusern mit Betondeckenaufbau liegt der Mittelwert der Deckenresonanzfrequenz in der Terz 31,5 Hz. Bei Gebäuden mit Holzbalkendecken liegt der Mittelwert in der Terz 20 Hz (172 Decken in 86 Häusern).
Quelle: Müller / Möser „Erschütterungen und sekundärer Luftschall aus dem Schienenverkehr“, Springer 2017, Kap. 3.3 Tabelle 4.
- Überschreiten die Ergebnisse der Variationsrechnung die zur Beurteilung herangezogenen Immissionswerte, bedeutet das nicht, dass in dem betrachteten Gebäude auch tatsächlich Überschreitungen auftreten. Es bedeutet nur, dass in ungünstigsten Fällen Überschreitungen nicht ausgeschlossen werden können.

Für die Abstands- und Materialdämpfung wird gemäß dem Leitfaden /1/ eine frequenzabhängig abgestufte Pegelminderung zwischen 0 dB und 11,4 dB je Entfernungsverdopplung angesetzt. Wegen der Anwendung des Taktmaximalverfahrens auf Basis einer Taktdauer von 30 s gehen nur die Mindestentfernungen zwischen den Gebäuden und den Gleisachsen in die Berechnung ein.

6.2 Schwingungstechnische Berechnungen

Eine beispielhafte Berechnungen der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen ist in Tabelle 4.1 dokumentiert. Das Beispiel gilt für die Gebäude Dörfeldstr. 21 und 23 bei Straßenbahnverkehr auf dem benachbarten Gleis 1 in Richtung Osten. Da es sich um Altbauten mit unbekanntem Deckenaufbau handelt – mutmaßlich Holzbalkendecken –, wurde die Berechnung sowohl für Holzbalken- als auch für Betondecken durchgeführt und die jeweiligen Höchstwerte ausgewertet. Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen sind in diesem Beispiel nicht berücksichtigt.

Die linke Seite der Tabelle zeigt die vollständige Einzelberechnung für die Übertragungsfunktion einer Holzbalkendecke gemäß Tabelle 3 mit einer typischen Deckenresonanzfrequenz von 20 Hz. Es ergeben sich

- die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}} = 0,405$
- der maximale A-bewertete Sekundärluftschallpegel $L_{A_{max}} = 46,4 \text{ dB(A)}$.

Die Ergebnisse der Mehrfachberechnung bei Variation der Übertragungsfunktionen und Deckenresonanzfrequenzen zeigt die rechte Seite der Tabellen in Form einer Matrix. Die berechneten Werte von $KB_{F_{max}}$ und $L_{A_{max}}$ finden sich in der Spalte für die Übertragungsfunktion ÜF 4 und in den Zeilen für die Deckenresonanzfrequenz $f = 20 \text{ Hz}$ wieder.

Die unterhalb der Matrix angegebenen Spannen gelten bei Berücksichtigung aller in /1/ dokumentierten Übertragungsfunktionen für Beton- und Holzbalkendecken (graue Zahlen) beziehungsweise bei Konzentration auf die unter realen Verhältnissen maßgeblichen Funktionen (schwarze Zahlen). Zieht man nun die Höchstwerte aus den realen Spannen für die Beurteilung der Immissionsverhältnisse heran und

lässt den Deckenaufbau unberücksichtigt, ergeben sich bei den beispielhaft betrachteten Objekten – ergänzt um die Immissionen von Gleis 2 gemäß Tabelle 4.2 – die maximalen bewerteten Schwingstärken KB_{Fmax} und die maximalen A-bewerteten Sekundärluftschallpegel L_{Amax} der folgenden Tabelle.

	Maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}	Maximaler A-bewerteter Sekundärluftschallpegel L_{Amax}
Immissionen von Gleis 1	0,996	55,0 dB(A)
Immissionen von Gleis 2	0,723	52,2 dB(A)

Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen - Maximalwerte.

Die Beurteilungs-Schwingstärken KB_{FTr} (tags) und KB_{FTr} (nachts) ergeben sich nach dem Taktmaximalverfahren aus den Höchstwerten KB_{Fmax} unter Berücksichtigung der Zugzahlen N_T (tags) und N_N (nachts) und unter Ansatz einer fiktiven Vorbeifahrtzeitdauer von 30 s. Hierbei gelten die Beziehungen

$$KB_{FTr,tags} = KB_{Fmax} \sqrt{\frac{N_T \cdot 30}{16 \cdot 60 \cdot 60}} \quad \text{und} \quad KB_{FTr,nachts} = KB_{Fmax} \sqrt{\frac{N_N \cdot 30}{8 \cdot 60 \cdot 60}}$$

Die entsprechenden Ausdrücke zur Berechnung der Beurteilungspegel lauten

$$L_{r,tags} = L_{Amax} + 10 \log \frac{N_T \cdot 30}{16 \cdot 60 \cdot 60} \text{ dB(A)} \quad \text{und} \quad L_{r,nachts} = L_{Amax} + 10 \log \frac{N_N \cdot 30}{8 \cdot 60 \cdot 60} \text{ dB(A)}$$

Bei zweigleisigen Strecken werden die Immissionen beider Gleise energetisch addiert. Mit $N_T = 105 / 108$ Zugfahrten tags und $N_N = 50 / 47$ Fahrten nachts je Richtung (Gleis 1 / Gleis 2) ergeben sich schließlich die folgenden Beurteilungsgrößen:

	Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr}		Beurteilungspegel L_r	
	tags	nachts	tags	nachts
Immissionen von Gleis 1	0,233	0,227	42,4 dB(A)	42,2 dB(A)
Immissionen von Gleis 2	0,172	0,160	39,7 dB(A)	39,1 dB(A)
Immissionen von beiden Gleisen	0,289	0,278	44,3 dB(A)	43,9 dB(A)

Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen - Beurteilungswerte.

Die Beurteilung der Ergebnisse wird im folgenden Kapitel erläutert.

7 Ergebnisse der Schwingungstechnischen Berechnungen, Szenario ohne Minderungsmaßnahmen

Die Ergebnisse der Schwingungstechnischen Untersuchung für das Szenario ohne Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen sind in Tabelle 5 zusammengefasst (Blatt 1 und 2 für die Gebäude auf der Südseite der Dörfeldstraße, Blatt 3 und 4 für die Nordseite). Der Inhalt der Spalten ist wie folgt:

- Spalten 1 bis 7: Allgemeine Angaben, Eingangsgrößen der Berechnung.
- Spalten 8 bis 10: Maximale bewertete Schwingstärken KB_{Fmax} und Beurteilungsschwingstärken KB_{FTr} tags und nachts für jedes Gleis und in der Summe (Zeile " Σ ").
- Spalten 11 bis 16: Schutzbedürftigkeit und geltende Anhaltswerte für die Beurteilung der Erschütterungsmissionen. Es werden einheitlich die um den Faktor 1,5 angehobenen Anhaltswerte für Kerngebiete, Mischgebiete und Dorfgebiete angesetzt.
- Spalten 17 bis 21: Vergleich der KB_{Fmax} und der KB_{FTr} mit den Anhaltswerten tags und nachts. Die Einträge bedeuten:
- "-" der Vergleich KB_{FTr} mit A_r ist nicht erforderlich, da KB_{Fmax} kleiner / gleich A_u ist.
 - ">" KB_{Fmax} ist größer A_u , also muss KB_{FTr} mit A_r verglichen werden
 - "Ü" KB_{Fmax} überschreitet A_o bzw. KB_{FTr} überschreitet A_r .
- Spalten 22 bis 24: Maximale A-bewertete Sekundärluftschallpegel L_{Amax} und Beurteilungspegel L_r tags und nachts für jedes Gleis und in der Summe (Zeile " Σ ").
- Spalten 25 und 26: Vergleich der L_r mit den Immissionsrichtwerten 40 dB(A) tags beziehungsweise 30 dB(A) nachts.

Die Untersuchung kommt erwartungsgemäß zu dem Ergebnis, dass ohne geeignete Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen die geltenden Anhalts- und Immissionsrichtwerte des Regelwerks – einschließlich der Erschütterungs-Zumutbarkeitsschwelle $KB_{Fmax} = 0,4$ – in der gesamten Randbebauung an der Ausbaustrecke nicht eingehalten werden können.

Hieraus ergibt sich zwangsläufig das Erfordernis, die neuen Gleise der Straßenbahn mit einer wirksamen technischen Maßnahme zur Minderung des Schwingungseintrages in den Boden auszurüsten. Angesichts der dichten Bebauungssituation in der Dörfeldstraße muss die Maßnahme in beiden Gleisen realisiert werden. Es gelten folgende Stationierungen:

- Stationierung Gleis 1 von Bau-km 0,0+31,000 bis Bau-km 0,6+12,727
- Stationierung Gleis 2 von Bau-km 0,0+34,000 bis Bau-km 0,5+94,644

Beim Einsatz der Maßnahme sind auch diejenigen Gleisabschnitte einzuschließen, die nur einseitig bebaut sind, etwa am Beginn der Baustrecke oder am Marktplatz.

8 Ergebnisse der Schwingungstechnischen Berechnungen, Szenario mit Minderungsmaßnahmen

Die Wirksamkeit einer technischen Maßnahme zur Minderung des Schwingungseintrags von den Gleisen in den Boden wird durch das frequenzabhängige Einfügungsdämm-Maß ΔL beschrieben. Es ergibt sich aus dem Verhältnis des Schwingungseintrags in den Szenarien ohne und mit der Minderungsmaßnahme.

Die Ermittlung der erforderlichen Einfügungsdämmung erfolgt in einem iterativen Verfahren, bis das Einhalten der geltenden Anhalts- und Immissionsrichtwerte in allen Gebäuden eingehalten oder die maximal erreichbare Minderung des Schwingungseintrags im Gleisbereich erreicht ist.

Nach dem Ergebnis der vorgenommenen Berechnungen gelten für das Einfügungsdämm-Maß ΔL der Minderungsmaßnahme die folgenden Zielwerte:

Frequenz f in Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5
Einfügungsdämm-Maß ΔL in dB	0,5	0,9	1,4	2,2	3,5	5,2	5,8	2,5	-2,0	-6,1
	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
	-9,6	-12,5	-15,2	-17,7	-19,9	-22,0	-24,2	-26,3	-28,2	-30,3

Die genannten Werte orientieren sich am Modell eines gedämpften Einmassenschwingers mit der Abstimmfrequenz $f_0 = 16$ Hz.

Die genannten Zielwerte sind insofern anspruchsvoll, als sie die maximal erreichbare Dämmung einer wirksamen Minderungsmaßnahme ausschöpfen. Sie können gemäß aktuellem Stand der Technik mit einem Masse-Feder-System (MFS) näherungsweise realisiert werden. Hinweise hierzu gibt das folgende Kapitel.

Die entsprechenden Berechnungen unter Berücksichtigung der Minderungsmaßnahme sind in den Tabellen 6 und 7 dokumentiert. Sie entsprechen den Tabellen 4 und 5 für das ursprünglich betrachtete Szenario ohne Minderungsmaßnahme.

Nach dem Ergebnis der Prognoserechnung in Tabelle 7 können die Erschütterungs-Anhaltswerte in den meisten Gebäuden bei Einsatz einer Minderungsmaßnahme mit der angegebenen Einfügungsdämmung vollumfänglich eingehalten werden.

Dies gilt jedoch nicht für den Anhaltswert A_r (nachts), der in den Häusern Dörpfeldstr. 21, 23, 39 und 41 aufgrund des geringen Abstands zu Gleis 1 geringfügig überschritten wird. Die Überschreitung ist jedoch angesichts der Vorbelastung unkritisch, da die Zumutbarkeitsschwelle $KB_{F_{\max}} = 0,4$ auch in diesen Objekten eingehalten wird.

Die Immissionsrichtwerte für den Sekundärluftschall können in allen Gebäuden eingehalten werden.

9 Hinweise zum Masse-Feder-System

Bei einem MFS wird der Gleiskörper vorzugsweise durch vollflächig verlegte, elastische Boden und Seitenmatten vom Baugrund entkoppelt. Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau.

In Müller / Möser „Erschütterungen und sekundärer Luftschall aus dem Schienenverkehr“, Springer 2017, Kap. 5 ist ein Masse-Feder-System wie folgt beschrieben:

Bei dem betrachteten Masse-Feder-System ist die gesamte Masse der Gleis-tragplatte inklusive Oberbau auf einer vollflächig ausgelegten Elastomermatte abgefedert, die üblicherweise als verlorene Schalung beim Betonieren fungiert.

Die akustische Wirksamkeit dieser Lösung ist durch die Abstimmfrequenz des Systems bestimmt, die aus der dynamischen Steifigkeit der Elastomermatte und der abgefederten Masse des Systems, jeweils bezogen auf die Fläche je Meter Gleis, zu ermitteln ist. Das bedeutet, dass die Lagerung der Rillenschiene relativ steif ausgeführt werden sollte. Daraus ergibt sich der Vorteil kleiner Schieneneinsenkungen (üblicherweise < 1 mm) und damit geringer Relativbewegungen zwischen Schiene und Fahrbahn. Die Gefahr von Fehlern bei der Bauausführung und in deren Folge eine die Wirksamkeit des Systems vermin- dernde Körperschallbrücke kann durch bauliche Maßnahmen reduziert werden. Dabei ist zu beachten, dass die aus Boden- und Seitenmatte bestehende elastische Wanne vollständig und lückenlos geschlossen ist und die Fuge an der Oberkante der Seitenmatte fachgerecht ausgeführt sowie dauerelastisch vergossen wird. Besondere Aufmerksamkeit ist Einbauten der Straße und Wei- chenbauteilen zu schenken, weiter ist auf die Rillenenwässerung und die Entwässerung in der Federebene zu achten.

Bei einem Masse-Feder-System mit der Abstimmfrequenz $f_0 = 16$ Hz – wie vom Un- terzeichner gefordert – tritt im Frequenzbereich von 4 Hz bis 20 Hz eine (uner- wünschte) Verstärkung der Schwingungen auf, das Maximum wird bei der Ab- stimmfrequenz erreicht. Erst oberhalb des 1,4-fachen der Abstimmfrequenz stellt sich die erwartete Minderung ein. Zur Vermeidung negativer Auswirkungen ist die Verstärkung der Schwingungen bei der Abstimmfrequenz durch eine entsprechen- de Dämpfung des Systems so zu begrenzen, dass im eingebauten Zustand ein vom Unterzeichner zugelassener Wert von 6 dB nicht überschritten wird.

Ein reales Masse-Feder-System weist typischerweise im Frequenzbereich zwischen 63 Hz und 100 Hz eine Resonanzfrequenz auf, die die Einfügungsdämmung bei höheren Frequenzen begrenzt. Dies ist unschädlich, solange im eingebauten Zu- stand eine Mindestdämmung von 20 dB erreicht wird.

Die Auslegung eines Masse-Feder-Systems kann in der Regel durch den Hersteller der Elastomermatten erfolgen, gegebenenfalls in Verbindung mit einem auf diese Fragen spezialisierten Ingenieurbüro.

Die Schwingungstechnische Untersuchung ist mit diesen Hinweisen beendet.

Objekt	Bestand			Planung			Verschiebung				Oberbau im Bestand
	Abstand Haus-Gleisachse		Gleisachs- abstand Gl. 2 - Gl. 1	Abstand Haus-Gleisachse		Gleisachs- abstand Gl. 2 - Gl. 1	Gleis 1		Gleis 2		
	Gleis 1	Gleis 2		Gleis 1	Gleis 2		absolut	relativ	absolut	relativ	
Dörpfeldstr. 1-5	8,17 m	8,17 m	0,00 m	6,63 m	9,43 m	2,80 m	-1,55 m	-18,91%	1,26 m	15,39%	Rahmengleis
Dörpfeldstr. 7	8,07 m	8,07 m	0,00 m	6,50 m	9,30 m	2,80 m	-1,57 m	-19,49%	1,23 m	15,25%	MFS
Dörpfeldstr. 9	8,02 m	8,02 m	0,00 m	6,44 m	9,24 m	2,81 m	-1,58 m	-19,71%	1,22 m	15,28%	MFS
Gellertstr. 3 / Dörpfeldstr. 11	8,02 m	8,02 m	0,00 m	6,44 m	9,24 m	2,81 m	-1,59 m	-19,79%	1,22 m	15,17%	MFS
Dörpfeldstr. 13	8,10 m	8,10 m	0,00 m	6,50 m	9,31 m	2,81 m	-1,60 m	-19,77%	1,20 m	14,86%	Ortec
Dörpfeldstr. 15	8,11 m	8,11 m	0,00 m	6,52 m	9,32 m	2,81 m	-1,60 m	-19,67%	1,21 m	14,90%	Ortec
Dörpfeldstr. 17	8,71 m	8,71 m	0,00 m	7,00 m	9,79 m	2,79 m	-1,71 m	-19,67%	1,08 m	12,38%	Ortec
Dörpfeldstr. 19	8,65 m	8,65 m	0,00 m	6,95 m	9,74 m	2,79 m	-1,70 m	-19,66%	1,09 m	12,63%	Ortec
Dörpfeldstr. 21	6,35 m	6,35 m	0,00 m	4,67 m	7,46 m	2,79 m	-1,68 m	-26,49%	1,11 m	17,49%	Ortec
Dörpfeldstr. 23	6,35 m	6,35 m	0,00 m	4,67 m	7,46 m	2,79 m	-1,68 m	-26,49%	1,11 m	17,49%	Ortec
Dörpfeldstr. 27-29	7,19 m	7,19 m	0,00 m	5,38 m	8,89 m	3,51 m	-1,81 m	-25,13%	1,70 m	23,70%	Phoenix
Dörpfeldstr. 31	8,00 m	8,00 m	0,00 m	5,93 m	10,08 m	4,15 m	-2,07 m	-25,87%	2,08 m	26,00%	Phoenix
Dörpfeldstr. 33-35	8,82 m	8,82 m	0,00 m	6,75 m	10,92 m	4,17 m	-2,06 m	-23,41%	2,11 m	23,91%	Rahmengleis
Dörpfeldstr. 37	6,59 m	6,59 m	0,00 m	4,60 m	8,49 m	3,89 m	-2,00 m	-30,27%	1,90 m	28,79%	Rahmengleis
Dörpfeldstr. 39	6,07 m	7,80 m	1,74 m	4,94 m	8,20 m	3,26 m	-1,13 m	-18,56%	0,40 m	5,08%	Rahmengleis
Dörpfeldstr. 41	5,63 m	8,16 m	2,53 m	5,13 m	8,19 m	3,06 m	-0,51 m	-8,98%	0,02 m	0,30%	Rahmengleis
Dörpfeldstr. 43	5,44 m	8,19 m	2,75 m	5,28 m	8,19 m	2,91 m	-0,15 m	-2,84%	0,00 m	0,00%	Rahmengleis
Dörpfeldstr. 6	8,59 m	8,25 m	0,33 m	10,12 m	7,31 m	2,80 m	1,53 m	17,84%	-0,94 m	-11,37%	Rahmengleis
Dörpfeldstr. 8	8,73 m	8,73 m	0,00 m	10,27 m	7,46 m	2,80 m	1,54 m	17,63%	-1,27 m	-14,49%	Rahmengleis
Dörpfeldstr. 10	8,62 m	8,62 m	0,00 m	10,18 m	7,37 m	2,80 m	1,56 m	18,07%	-1,25 m	-14,46%	MFS
Dörpfeldstr. 12	8,59 m	8,59 m	0,00 m	10,16 m	7,36 m	2,80 m	1,57 m	18,31%	-1,23 m	-14,35%	MFS
Dörpfeldstr. 14	9,14 m	9,14 m	0,00 m	10,72 m	7,92 m	2,81 m	1,58 m	17,25%	-1,23 m	-13,43%	MFS
Dörpfeldstr. 16	8,40 m	8,40 m	0,00 m	9,98 m	7,18 m	2,81 m	1,59 m	18,89%	-1,22 m	-14,52%	MFS
Dörpfeldstr. 18	7,91 m	7,91 m	0,00 m	9,50 m	6,70 m	2,81 m	1,59 m	20,16%	-1,21 m	-15,32%	MFS
Dörpfeldstr. 20	7,91 m	7,91 m	0,00 m	9,50 m	6,70 m	2,81 m	1,59 m	20,16%	-1,21 m	-15,32%	MFS
Dörpfeldstr. 22-24	8,02 m	8,02 m	0,00 m	9,63 m	6,82 m	2,81 m	1,60 m	20,00%	-1,20 m	-14,97%	Ortec
Dörpfeldstr. 30	8,67 m	8,67 m	0,00 m	10,36 m	7,56 m	2,79 m	1,69 m	19,44%	-1,11 m	-12,77%	Ortec
Dörpfeldstr. 32	8,74 m	8,74 m	0,00 m	10,43 m	7,63 m	2,79 m	1,69 m	19,28%	-1,11 m	-12,68%	Ortec
Dörpfeldstr. 34	8,77 m	8,77 m	0,00 m	10,41 m	7,61 m	2,80 m	1,64 m	18,75%	-1,15 m	-13,14%	Phoenix
Dörpfeldstr. 36	8,73 m	8,73 m	0,00 m	10,36 m	7,56 m	2,80 m	1,63 m	18,64%	-1,17 m	-13,39%	Phoenix
Dörpfeldstr. 38	8,70 m	8,70 m	0,00 m	10,31 m	7,50 m	2,81 m	1,61 m	18,54%	-1,20 m	-13,77%	Phoenix
Dörpfeldstr. 40-42	8,59 m	8,59 m	0,00 m	10,62 m	6,59 m	4,02 m	2,02 m	23,57%	-2,00 m	-23,25%	Phoenix
Dörpfeldstr. 46	8,41 m	8,41 m	0,00 m	10,36 m	6,57 m	3,79 m	1,95 m	23,14%	-1,84 m	-21,89%	Rahmengleis

Legende: Rahmengleis Mit Gußasphalt eingedecktes Rahmengleis auf bituminöser Tragschicht
MFS Masse-Feder-System
Ortec Kontinuierliche Elastische Schienenlagerung der Fa. ORTEC GmbH
Phoenix Elastische Schienenlagerung der Fa. PHOENIX AG

Tabelle 1
Objekte im Einwirkungsbereich des Vorhabens, Abstände in Bestand und Planung

Schwingungs-Emissionsspektrum Flexity F8 auf NBS-G / NBS-A

Messort	Straßenbahn-Nordsüd-Tangente M5 / M17, Bauabschnitt 2.1, zw. Hst. Rüdickenstraße und Arminstraße in Höhe Z-Überweg bei km 0+604,520 bis 0+616,290
Gleis Oberbau	Gleis 1 (in Richtung stadteinwärts) W 49 NBS-A 75 mit Anschraubschiene, unmittelbar angrenzend W 49 NBS-G 75
Sensoren Abstand Messort - Gleisachse Datum	Zwei Geophone mit vertikaler Wirkungsrichtung mittels Vorrichtungen gemäß DIN 45669-2 auf Gehwegplatten ca. 6,50 m (Kanal A) und 9,30 m (Kanal B) 12. Juni 2013

interne Nr.	Fahrzeug	Fahrtzeit	Fahrtrichtung	Messabst.	Terzpegelspektrum der Schwinggeschwindigkeit in dB (re 5 * 10 ⁻⁸ m/s) - Vertikalkomponente																				Σ		
					4 Hz	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315		400	
205	F8	12:35	einw.	6,50m	22,1	22,5	25,2	25,8	25,3	39,0	46,5	49,7	53,7	60,0	67,8	66,7	71,5	73,6	69,7	59,5	53,2	45,6	39,7	37,5	27,5	77,8	
209	F8	12:47	einw.	6,50m	22,4	26,0	43,7	46,2	49,4	48,1	54,8	55,7	55,5	65,8	66,4	80,7	88,7	92,8	83,3	71,3	72,5	61,3	60,5	57,5	55,7	94,8	
213	F8	12:56	einw.	6,50m	27,7	31,2	31,8	26,4	28,7	38,5	46,7	53,7	51,7	60,8	64,3	70,8	78,6	82,4	82,1	72,3	63,2	55,9	49,4	42,0	34,8	86,5	
216	F8	13:07	einw.	6,50m	23,3	23,3	24,4	27,9	29,0	36,2	43,2	51,1	52,6	59,1	66,3	66,5	72,5	74,7	80,9	62,0	54,9	48,9	43,4	40,4	31,1	82,6	
221	F8	13:15	einw.	6,50m	23,8	22,0	25,0	30,9	30,9	34,1	44,6	51,8	52,8	61,1	65,0	65,7	70,5	69,7	67,2	55,2	49,7	45,1	39,9	38,6	31,5	75,4	
225	F8	13:26	einw.	6,50m	22,7	22,1	22,5	29,5	30,9	36,3	44,4	51,1	49,6	59,2	63,9	64,2	70,3	69,2	68,8	54,5	47,7	42,6	38,4	37,1	31,1	75,2	
229	F3	13:37	einw.	6,50m	22,0	24,5	25,0	25,9	23,4	38,6	47,2	47,2	53,4	58,3	68,7	71,8	72,5	77,5	67,8	56,0	52,8	42,2	40,3	37,0	29,0	80,2	
233	F8	13:46	einw.	6,50m	22,2	26,1	25,6	27,4	27,4	38,2	45,6	51,1	50,2	59,7	62,9	67,6	70,3	75,5	70,7	55,7	50,7	43,8	40,1	39,0	30,2	78,3	
Mittelwert 6,50m					23,3	24,7	27,9	30,0	30,6	38,6	46,6	51,4	52,4	60,5	65,7	69,2	74,4	76,9	73,8	60,8	55,6	48,2	44,0	41,1	33,9	81,3	
Korrektur 6,50m > 8,00m					0,0	0,0	0,0	0,0	-1,4	-1,4	-1,4	-2,0	-2,0	-2,9	-2,9	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	
Mittelwert 8,00m					23,3	24,7	27,9	30,0	29,2	37,2	45,2	49,4	50,5	57,6	62,8	65,8	70,9	73,5	70,4	57,4	52,1	44,7	40,6	37,7	30,4		77,3
mittleres Emissionsspektrum					23,2	24,1	26,5	29,6	29,0	37,2	45,4	51,1	50,3	56,7	62,6	67,1	71,4	72,5	71,1	59,3	51,3	43,0	36,3	33,0	28,1		77,3
205	F8	12:35	einw.	9,30m	22,0	22,2	26,9	26,0	27,0	39,0	45,8	49,6	49,0	54,0	62,7	64,6	67,7	67,1	64,6	54,9	44,3	34,3	25,6	22,8	22,0	72,9	
209	F8	12:47	einw.	9,30m	22,2	22,8	29,7	35,4	29,5	35,7	48,4	56,9	51,8	57,2	62,7	74,4	80,0	80,8	76,5	63,4	60,8	49,3	38,2	32,7	27,7	84,8	
213	F8	12:56	einw.	9,30m	22,0	22,1	22,9	27,8	27,7	35,6	43,5	52,2	49,7	55,9	59,5	67,8	72,3	73,7	76,4	65,9	50,4	43,1	33,1	29,4	24,1	79,8	
216	F8	13:07	einw.	9,30m	23,9	22,0	22,8	30,1	27,6	35,1	41,5	52,2	48,7	52,2	59,2	63,0	67,3	65,7	73,9	60,7	46,8	42,8	30,4	26,0	22,4	75,8	
221	F8	13:15	einw.	9,30m	22,5	22,1	25,5	29,6	29,0	33,1	43,2	51,6	49,8	54,1	58,8	63,2	67,0	64,7	65,0	57,7	45,5	35,8	27,9	23,8	23,2	71,8	
225	F8	13:26	einw.	9,30m	22,0	22,1	24,6	28,3	28,5	35,1	43,1	52,2	47,2	51,8	58,3	61,8	67,3	63,6	67,3	57,8	45,4	34,7	28,4	25,2	22,1	72,1	
229	F3	13:37	einw.	9,30m	22,0	24,2	24,1	27,8	25,8	37,9	47,2	44,9	45,8	50,7	62,2	66,9	67,4	68,1	62,4	53,9	45,4	34,6	25,7	22,8	22,0	73,2	
233	F8	13:46	einw.	9,30m	29,1	29,6	24,4	27,9	27,1	37,8	44,3	50,3	47,5	53,6	59,1	65,4	66,3	68,5	68,4	55,8	46,1	35,8	26,4	23,6	22,0	73,7	
Mittelwert 9,30m					23,2	23,4	25,1	29,1	27,8	36,2	44,6	51,2	48,7	53,7	60,3	65,9	69,4	69,0	69,3	58,8	48,1	38,8	29,5	25,8	23,2		75,5
Korrektur 9,30m > 8,00m					0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,4	1,4	2,1	2,1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	
Mittelwert 8,00m					23,2	23,4	25,1	29,1	28,8	37,2	45,7	52,7	50,1	55,8	62,4	68,4	71,9	71,5	71,8	61,3	50,6	41,3	31,9	28,3	25,7		77,4

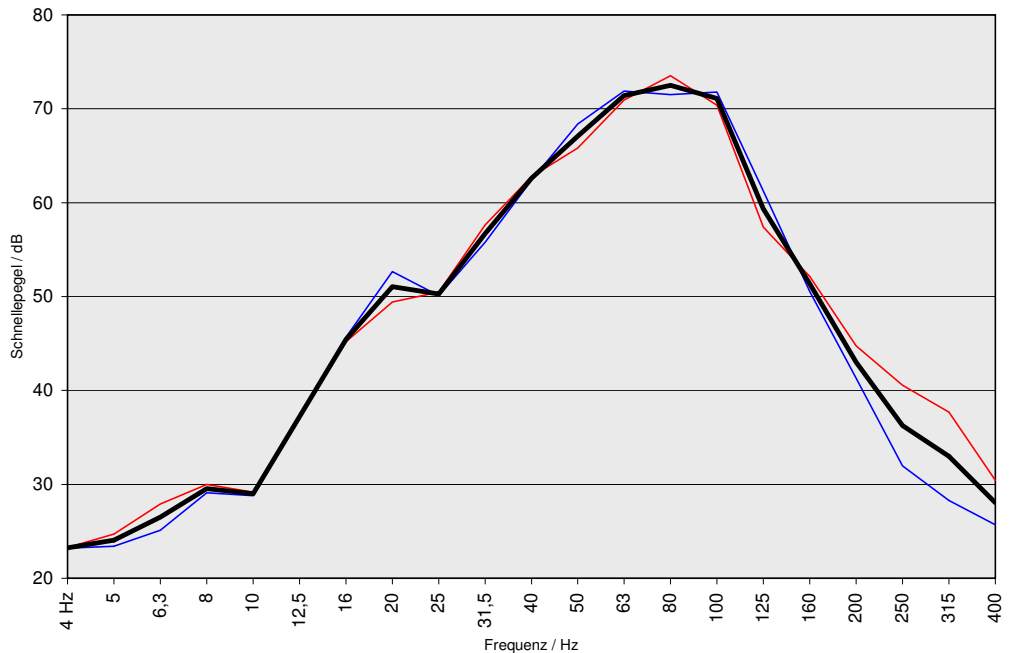


Tabelle 2
Schwingungs-Emissionsspektrum Flexity F8 auf NBS-G / NBS-A

		$f / f_0 = \text{Verhältnis der betrachteten Frequenz zur Resonanzfrequenz der Decke}$																										
		0,063	0,08	0,1	0,125	0,16	0,2	0,25	0,315	0,4	0,5	0,63	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0	
Beton ¹⁾		-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	1	2	6	13	4	0	-2	-2,5	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	
Holz ²⁾			0	0	1	2	3	4	5,5	7	10	17	21	11	6	2	-3	-5	-7	-9	-11	-13	-15	-17	-19	-21		

1) Übertragungsmaß vom Baugrund zur Decke für Gebäude mit Betondeckenaufbau (Mittelwert in dB)

2) dito für Gebäude mit Holzbalkendeckenaufbau

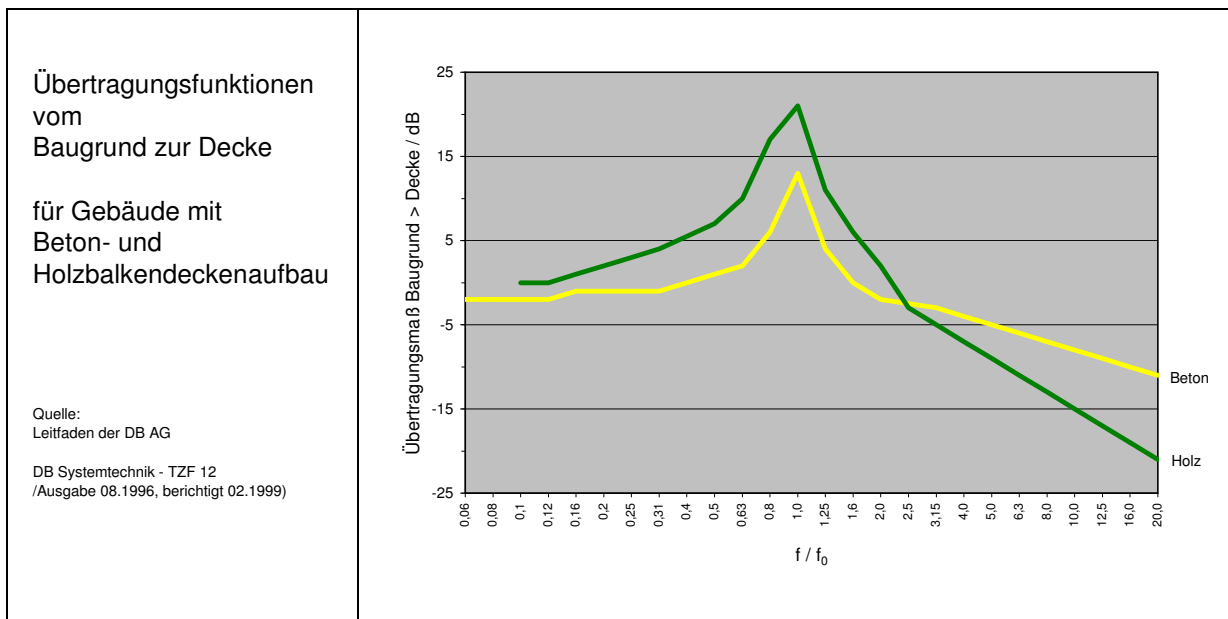


Tabelle 3
Übertragungsfunktionen für Gebäude mit Holz- und Betondeckenaufbau

Kennziffer für die Übertragungsfunktion	
Beton (MW+Std --> 1/ MW --> 2 / MW-Std --> 3):	
Holz (2.OG --> 4 / 1. OG --> 5 / EG --> 6):	4
Resonanzfrequenz d. Decke (f = 10 Hz ... 40 Hz)	20 Hz

Abstand Bezugspunkt / Gleisachse	4,67 m
-----------------------------------------	---------------

Erschütterungsprognose / Einzelberechnung		
Zeile 1:	LE	Emissionsspektrum Flexity / NBS
Zeile 2:	LM	Einfügungsdämmung elastischer Lagerungen oder anderer dämmender Maßnahmen 0
Zeile 3:	LB	Entfernungsbedingte Pegelabnahme 8,00 m
Zeile 4:	LG	Übertragungsfunktion Gebäude außen --> innen
Zeile 5:	LvR	Pegel der Deckenschnelle im Raum
Zeile 6:	KB	KB-Bewertung
Zeile 7:	LvRKB	KB-bewerteter Pegel der Deckenschnelle
Zeile 8:	KBFmax	KB bewertete Deckenschnelle in mm/s (mittlerer Maximalwert)

f / Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	ges.
1) LE	23,2	24,1	26,5	29,6	29,0	37,2	45,4	51,1	50,3	56,7	62,6	67,1	71,4	72,5	
2) LM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
3) LB	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	1,7	1,7	2,3	2,3	3,3	3,3	3,9	3,9	3,9	
4) LG	2,0	3,0	4,0	5,5	7,0	10,0	17,0	21,0	11,0	6,0	2,0	-3,0	-5,0	-7,0	
5) LvR	25,2	27,1	30,5	35,1	37,7	48,9	64,1	74,3	63,6	66,0	67,9	68,0	70,4	69,5	
6) KB	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	
7) LvRKB	20,5	23,5	28,0	33,3	36,5	48,1	63,6	74,0	63,4	65,9	67,8	68,0	70,3	69,4	78,2
8) KBFmax															0,405

KBFmax	0,405
---------------	--------------

Sekundärluftschallprognose / Einzelberechnung		
Zeile 6:	A	A-Bewertung
Zeile 7:	LvRA	A-bewerteter Pegel der Deckenschnelle
Zeile 8:	LAmx	A-bewerteter Schalldruckpegel

f / Hz	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	ges.
1) LE	45,4	51,1	50,3	56,7	62,6	67,1	71,4	72,5	71,1	59,3	51,3	43,0	36,3	33,0	
2) LM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
3) LB	1,7	2,3	2,3	3,3	3,3	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	
4) LG	17,0	21,0	11,0	6,0	2,0	-3,0	-5,0	-7,0	-9,0	-11,0	-13,0	-15,0	-17,0	-19,0	
5) LvR	64,1	74,3	63,6	66,0	67,9	68,0	70,4	69,5	66,0	52,3	42,3	32,0	23,2	17,9	
6) A	-56,7	-50,5	-44,7	-39,4	-34,6	-30,2	-26,2	-22,5	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	
7) LvRA	7,4	23,8	18,9	26,6	33,3	37,8	44,2	47,0	46,9	36,2	28,9	21,1	14,6	11,3	
8) LAmx															46,4

LAmx	46,4 dB(A)
-------------	-------------------

Erschütterungsprognose / Mehrfachberechnung						
----------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--

ÜF:	1	2	3	4	5	6
f / Hz:	Beton			Holz		
10				0,145	0,269	0,264
12,5				0,190	0,300	0,282
16				0,269	0,348	0,295
20	0,919	0,352	0,200	0,405	0,429	0,312
25	0,979	0,386	0,153	0,526	0,498	0,312
31,5	1,156	0,471	0,189			
40	1,528	0,660	0,271			
50	2,249	0,996	0,413			
Spanne	0,153 .. 2,249			0,145 .. 0,526		
	0,352 .. 0,996			0,145 .. 0,526		

Sekundärluftschallprognose / Mehrfachberechnung						
--------------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--

ÜF:	1	2	3	4	5	6
f / Hz:	Beton			Holz		
10				40,4	47,6	47,6
12,5				42,4	48,5	48,5
16				44,4	49,3	49,1
20	59,0	49,6	47,6	46,4	50,4	49,5
25	59,2	50,5	46,6	48,7	52,0	50,0
31,5	59,6	51,4	44,0			
40	60,5	52,4	44,5			
50	62,6	55,0	47,2			
Spanne	44,0 .. 62,6 dB(A)			40,4 .. 52,0 dB(A)		
	49,6 .. 55,0 dB(A)			40,4 .. 48,7 dB(A)		

Tabelle 4.1
Beispielhafte Berechnung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen für die Gebäude Dörfeldstr. 21 und 23 vom Straßenbahnverkehr auf Gleis 1 (Fahrrichtung Osten)
Szenario ohne Minderungsmaßnahmen

Kennziffer für die Übertragungsfunktion	
Beton (MW+Std --> 1/ MW --> 2 / MW-Std --> 3):	
Holz (2.OG --> 4 / 1. OG --> 5 / EG --> 6):	4
Resonanzfrequenz d. Decke (f = 10 Hz ... 40 Hz)	20 Hz

Abstand Bezugspunkt / Gleisachse	7,46 m
-----------------------------------------	---------------

Erschütterungsprognose / Einzelberechnung		
Zeile 1:	LE	Emissionsspektrum Flexity / NBS
Zeile 2:	LM	Einfügungsdämmung elastischer Lagerungen oder anderer dämmender Maßnahmen 0
Zeile 3:	LB	Entfernungsbedingte Pegelabnahme 8,00 m
Zeile 4:	LG	Übertragungsfunktion Gebäude außen --> innen
Zeile 5:	LvR	Pegel der Deckenschnelle im Raum
Zeile 6:	KB	KB-Bewertung
Zeile 7:	LvRKB	KB-bewerteter Pegel der Deckenschnelle
Zeile 8:	KBFmax	KB bewertete Deckenschnelle in mm/s (mittlerer Maximalwert)

f / Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	ges.
1) LE	23,2	24,1	26,5	29,6	29,0	37,2	45,4	51,1	50,3	56,7	62,6	67,1	71,4	72,5	
2) LM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
3) LB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	
4) LG	2,0	3,0	4,0	5,5	7,0	10,0	17,0	21,0	11,0	6,0	2,0	-3,0	-5,0	-7,0	
5) LvR	25,2	27,1	30,5	35,1	36,5	47,7	62,9	72,7	62,0	63,7	65,6	65,2	67,6	66,7	
6) KB	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	
7) LvRKB	20,5	23,5	28,0	33,3	35,3	46,9	62,4	72,4	61,7	63,5	65,5	65,2	67,5	66,6	76,0
8) KBFmax															0,316

KBFmax	0,316
---------------	--------------

Sekundärluftschallprognose / Einzelberechnung		
Zeile 6:	A	A-Bewertung
Zeile 7:	LvRA	A-bewerteter Pegel der Deckenschnelle
Zeile 8:	LAmix	A-bewerteter Schalldruckpegel

f / Hz	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	ges.
1) LE	45,4	51,1	50,3	56,7	62,6	67,1	71,4	72,5	71,1	59,3	51,3	43,0	36,3	33,0	
2) LM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
3) LB	0,5	0,7	0,7	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
4) LG	17,0	21,0	11,0	6,0	2,0	-3,0	-5,0	-7,0	-9,0	-11,0	-13,0	-15,0	-17,0	-19,0	
5) LvR	62,9	72,7	62,0	63,7	65,6	65,2	67,6	66,7	63,2	49,5	39,5	29,2	20,4	15,1	
6) A	-56,7	-50,5	-44,7	-39,4	-34,6	-30,2	-26,2	-22,5	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	
7) LvRA	6,2	22,2	17,3	24,3	31,0	35,0	41,4	44,2	44,1	33,4	26,1	18,3	11,8	8,5	
8) LAmix															43,6

LAmix	43,6 dB(A)
--------------	-------------------

Erschütterungsprognose / Mehrfachberechnung						
----------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--

f / Hz:	ÜF:					
	1 2 3 Beton			4 5 6 Holz		
10				0,108	0,197	0,192
12,5				0,143	0,220	0,205
16				0,209	0,256	0,215
20	0,674	0,260	0,147	0,316	0,318	0,228
25	0,719	0,285	0,113	0,403	0,368	0,228
31,5	0,852	0,348	0,140			
40	1,129	0,490	0,201			
50	1,636	0,723	0,301			
Spanne	0,113 .. 1,636			0,108 .. 0,403		
	0,260 .. 0,723			0,108 .. 0,403		

Sekundärluftschallprognose / Mehrfachberechnung						
--------------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--

f / Hz:	ÜF:					
	1 2 3 Beton			4 5 6 Holz		
10				37,6	44,8	44,8
12,5				39,6	45,7	45,7
16				41,6	46,5	46,3
20	56,2	46,8	44,8	43,6	47,6	46,7
25	56,4	47,7	43,8	45,9	49,2	47,2
31,5	56,8	48,6	41,3			
40	57,7	49,6	41,7			
50	59,8	52,2	44,4			
Spanne	41,3 .. 59,8 dB(A)			37,6 .. 49,2 dB(A)		
	46,8 .. 52,2 dB(A)			37,6 .. 45,9 dB(A)		

Tabelle 4.2
Beispielhafte Berechnung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen für die Gebäude Dörfeldstr. 21 und 23 vom Straßenbahnverkehr auf Gleis 2 (Fahrrichtung Westen)
Szenario ohne Minderungsmaßnahmen

1	2	3	4	5	6	7	Auswertung Erschütterungen										Auswertung Sekundärer Luftschall								
							8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Objekt	Gleis	Emissions- spektrum	Linien	Anzahl Züge tags	Anzahl Züge nachts	Abstand Haus Gleisachse	KBFmax	KBFT _r tags	KBFT _r nachts	Schutz- bedürf- tigkeit	Au tags	Ar tags	Ao nachts	Au nachts	Ar nachts	KBFmax ≤ Au tags	KBFT _r ≤ Ar tags	KBFmax ≤ Ao nachts	KBFmax ≤ Au nachts	KBFT _r ≤ Ar nachts	LA max	Lr tags	Lr nachts	Lr tags ≤ 40 dB(A)	Lr nachts ≤ 30 dB(A)
Dörpfeldstr. 1-5 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,63 m	0,905	0,212	0,207	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	54,1 dB(A)	41,5 dB(A)	41,3 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	9,43 m	0,466	0,110	0,103												48,3 dB(A)	35,8 dB(A)	35,2 dB(A)		
	Σ			213	97		0,905	0,239	0,231												54,1 dB(A)	42,5 dB(A)	42,2 dB(A)		
Dörpfeldstr. 7 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,50 m	0,939	0,220	0,214	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	54,4 dB(A)	41,8 dB(A)	41,6 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	9,30 m	0,478	0,113	0,106												48,5 dB(A)	36,0 dB(A)	35,4 dB(A)		
	Σ			213	97		0,939	0,247	0,239												54,4 dB(A)	42,8 dB(A)	42,5 dB(A)		
Dörpfeldstr. 9 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,44 m	0,956	0,224	0,218	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	54,6 dB(A)	42,0 dB(A)	41,8 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	9,24 m	0,484	0,115	0,107												48,6 dB(A)	36,1 dB(A)	35,5 dB(A)		
	Σ			213	97		0,956	0,251	0,243												54,6 dB(A)	43,0 dB(A)	42,7 dB(A)		
Gellertstr. 3 / Dörpfeldstr. 11 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,44 m	0,956	0,224	0,218	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	54,6 dB(A)	42,0 dB(A)	41,8 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	9,24 m	0,484	0,115	0,107												48,6 dB(A)	36,1 dB(A)	35,5 dB(A)		
	Σ			213	97		0,956	0,251	0,243												54,6 dB(A)	43,0 dB(A)	42,7 dB(A)		
Dörpfeldstr. 13 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,50 m	0,939	0,220	0,214	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	54,4 dB(A)	41,8 dB(A)	41,6 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	9,31 m	0,477	0,113	0,106												48,5 dB(A)	36,0 dB(A)	35,4 dB(A)		
	Σ			213	97		0,939	0,247	0,239												54,4 dB(A)	42,8 dB(A)	42,5 dB(A)		
Dörpfeldstr. 15 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,52 m	0,934	0,218	0,213	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	54,4 dB(A)	41,8 dB(A)	41,6 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	9,32 m	0,476	0,113	0,105												48,5 dB(A)	36,0 dB(A)	35,4 dB(A)		
	Σ			213	97		0,934	0,246	0,238												54,4 dB(A)	42,8 dB(A)	42,5 dB(A)		
Dörpfeldstr. 17 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	7,00 m	0,817	0,191	0,186	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	53,2 dB(A)	40,6 dB(A)	40,4 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	9,79 m	0,434	0,103	0,096												47,7 dB(A)	35,2 dB(A)	34,6 dB(A)		
	Σ			213	97		0,817	0,217	0,210												53,2 dB(A)	41,7 dB(A)	41,4 dB(A)		
Dörpfeldstr. 19 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,95 m	0,828	0,194	0,189	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	53,3 dB(A)	40,7 dB(A)	40,5 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	9,74 m	0,438	0,104	0,097												47,8 dB(A)	35,3 dB(A)	34,7 dB(A)		
	Σ			213	97		0,828	0,220	0,212												53,3 dB(A)	41,8 dB(A)	41,5 dB(A)		
Dörpfeldstr. 21 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	4,67 m	0,996	0,233	0,227	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	55,0 dB(A)	42,4 dB(A)	42,2 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	7,46 m	0,723	0,172	0,160												52,2 dB(A)	39,7 dB(A)	39,1 dB(A)		
	Σ			213	97		0,996	0,289	0,278												55,0 dB(A)	44,3 dB(A)	43,9 dB(A)		
Dörpfeldstr. 23 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	4,67 m	0,996	0,233	0,227	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	55,0 dB(A)	42,4 dB(A)	42,2 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	7,46 m	0,723	0,172	0,160												52,2 dB(A)	39,7 dB(A)	39,1 dB(A)		
	Σ			213	97		0,996	0,289	0,278												55,0 dB(A)	44,3 dB(A)	43,9 dB(A)		
Dörpfeldstr. 27-29 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	5,38 m	0,996	0,233	0,227	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	55,0 dB(A)	42,4 dB(A)	42,2 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	8,89 m	0,520	0,123	0,115												49,3 dB(A)	36,8 dB(A)	36,2 dB(A)		
	Σ			213	97		0,996	0,264	0,255												55,0 dB(A)	43,4 dB(A)	43,1 dB(A)		
Dörpfeldstr. 31 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	5,93 m	0,996	0,233	0,227	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	55,0 dB(A)	42,4 dB(A)	42,2 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	10,08 m	0,411	0,097	0,091												47,2 dB(A)	34,7 dB(A)	34,1 dB(A)		
	Σ			213	97		0,996	0,252	0,245												55,0 dB(A)	43,1 dB(A)	42,8 dB(A)		
Dörpfeldstr. 33-35 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,75 m	0,874	0,204	0,199	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	53,8 dB(A)	41,2 dB(A)	41,0 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	10,92 m	0,353	0,084	0,078												45,9 dB(A)	33,4 dB(A)	32,8 dB(A)		
	Σ			213	97		0,874	0,221	0,214												53,8 dB(A)	41,8 dB(A)	41,6 dB(A)		

Tabelle 5 (Blatt 1 von 4)
Ergebnisse und Beurteilung der Schwingungstechnischen Berechnungen (Dörpfeldstraße / Südseite)
Szenario ohne Minderungsmaßnahmen

1	2	3	4	5	6	7	Auswertung Erschütterungen										Auswertung Sekundärer Luftschall								
							8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Objekt	Gleis	Emissions- spektrum	Linien	Anzahl Züge tags	Anzahl Züge nachts	Abstand Haus Gleisachse	KBFmax	KBFT _r tags	KBFT _r nachts	Schutz- bedürf- tigkeit	Au tags	Ar tags	Ao nachts	Au nachts	Ar nachts	KBFmax ≤ Au tags	KBFT _r ≤ Ar tags	KBFmax ≤ Ao nachts	KBFmax ≤ Au nachts	KBFT _r ≤ Ar nachts	LA max	Lr tags	Lr nachts	Lr tags ≤ 40 dB(A)	Lr nachts ≤ 30 dB(A)
Dörpfeldstr. 37 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	4,60 m	0,996	0,233	0,227	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	55,0 dB(A)	42,4 dB(A)	42,2 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	8,49 m	0,567	0,135	0,126												50,0 dB(A)	37,5 dB(A)	36,9 dB(A)		
	Σ			213	97		0,996	0,269	0,260												55,0 dB(A)	43,6 dB(A)	43,3 dB(A)		
Dörpfeldstr. 39 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	4,94 m	0,996	0,233	0,227	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	55,0 dB(A)	42,4 dB(A)	42,2 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	8,20 m	0,606	0,144	0,134												50,6 dB(A)	38,1 dB(A)	37,5 dB(A)		
	Σ			213	97		0,996	0,274	0,264												55,0 dB(A)	43,8 dB(A)	43,4 dB(A)		
Dörpfeldstr. 41 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	5,13 m	0,996	0,233	0,227	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	55,0 dB(A)	42,4 dB(A)	42,2 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	8,19 m	0,608	0,144	0,134												50,6 dB(A)	38,1 dB(A)	37,5 dB(A)		
	Σ			213	97		0,996	0,274	0,264												55,0 dB(A)	43,8 dB(A)	43,4 dB(A)		
Dörpfeldstr. 43 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	5,28 m	0,996	0,233	0,227	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	55,0 dB(A)	42,4 dB(A)	42,2 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	8,19 m	0,607	0,144	0,134												50,6 dB(A)	38,1 dB(A)	37,5 dB(A)		
	Σ			213	97		0,996	0,274	0,264												55,0 dB(A)	43,8 dB(A)	43,4 dB(A)		

Tabelle 5 (Blatt 2 von 4)
Ergebnisse und Beurteilung der Schwingungstechnischen Berechnungen (Dörpfeldstraße / Südseite)
Szenario ohne Minderungsmaßnahmen

1	2	3	4	5	6	7	Auswertung Erschütterungen										Auswertung Sekundärer Luftschall								
							8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Objekt	Gleis	Emissions- spektrum	Linien	Anzahl Züge tags	Anzahl Züge nachts	Abstand Haus Gleisachse	KBFmax	KBFT _r tags	KBFT _r nachts	Schutz- bedürf- tigkeit	Au tags	Ar tags	Ao nachts	Au nachts	Ar nachts	KBFmax ≤ Au tags	KBFT _r ≤ Ar tags	KBFmax ≤ Ao nachts	KBFmax ≤ Au nachts	KBFT _r ≤ Ar nachts	LA max	Lr tags	Lr nachts	Lr tags ≤ 40 dB(A)	Lr nachts ≤ 30 dB(A)
Dörpfeldstr. 6 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,12 m	0,408	0,095	0,093	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	47,1 dB(A)	34,5 dB(A)	34,3 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	7,31 m	0,751	0,178	0,166												52,5 dB(A)	40,0 dB(A)	39,4 dB(A)		
	Σ			213	97		0,751	0,202	0,191												52,5 dB(A)	41,1 dB(A)	40,6 dB(A)		
Dörpfeldstr. 8 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,27 m	0,397	0,093	0,091	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	46,9 dB(A)	34,3 dB(A)	34,1 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	7,46 m	0,724	0,172	0,160												52,2 dB(A)	39,7 dB(A)	39,1 dB(A)		
	Σ			213	97		0,724	0,195	0,184												52,2 dB(A)	40,8 dB(A)	40,3 dB(A)		
Dörpfeldstr. 10 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,18 m	0,403	0,094	0,092	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	47,0 dB(A)	34,4 dB(A)	34,2 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	7,37 m	0,740	0,176	0,164												52,4 dB(A)	39,9 dB(A)	39,3 dB(A)		
	Σ			213	97		0,740	0,199	0,188												52,4 dB(A)	41,0 dB(A)	40,5 dB(A)		
Dörpfeldstr. 12 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,16 m	0,405	0,095	0,092	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	47,1 dB(A)	34,5 dB(A)	34,3 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	7,36 m	0,744	0,176	0,165												52,4 dB(A)	39,9 dB(A)	39,3 dB(A)		
	Σ			213	97		0,744	0,200	0,189												52,4 dB(A)	41,0 dB(A)	40,5 dB(A)		
Dörpfeldstr. 14 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,72 m	0,366	0,086	0,083	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	46,2 dB(A)	33,6 dB(A)	33,4 dB(A)	ok	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	7,92 m	0,647	0,154	0,143												51,2 dB(A)	38,7 dB(A)	38,1 dB(A)		
	Σ			213	97		0,647	0,176	0,166												51,2 dB(A)	39,9 dB(A)	39,4 dB(A)		
Dörpfeldstr. 16 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	9,98 m	0,418	0,098	0,095	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	47,4 dB(A)	34,8 dB(A)	34,6 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	7,18 m	0,779	0,185	0,172												52,8 dB(A)	40,3 dB(A)	39,7 dB(A)		
	Σ			213	97		0,779	0,209	0,197												52,8 dB(A)	41,4 dB(A)	40,9 dB(A)		
Dörpfeldstr. 18 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	9,50 m	0,459	0,107	0,105	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	48,2 dB(A)	35,6 dB(A)	35,4 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	6,70 m	0,888	0,211	0,196												54,0 dB(A)	41,5 dB(A)	40,9 dB(A)		
	Σ			213	97		0,888	0,236	0,223												54,0 dB(A)	42,5 dB(A)	42,0 dB(A)		
Dörpfeldstr. 20 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	9,50 m	0,459	0,107	0,105	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	48,2 dB(A)	35,6 dB(A)	35,4 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	6,70 m	0,888	0,211	0,196												54,0 dB(A)	41,5 dB(A)	40,9 dB(A)		
	Σ			213	97		0,888	0,236	0,223												54,0 dB(A)	42,5 dB(A)	42,0 dB(A)		
Dörpfeldstr. 22-24 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	9,63 m	0,448	0,105	0,102	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	48,0 dB(A)	35,4 dB(A)	35,2 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	6,82 m	0,857	0,203	0,190												53,6 dB(A)	41,1 dB(A)	40,5 dB(A)		
	Σ			213	97		0,857	0,229	0,215												53,6 dB(A)	42,1 dB(A)	41,6 dB(A)		
Dörpfeldstr. 30 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,36 m	0,390	0,091	0,089	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	46,8 dB(A)	34,2 dB(A)	34,0 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	7,56 m	0,705	0,167	0,156												51,9 dB(A)	39,4 dB(A)	38,8 dB(A)		
	Σ			213	97		0,705	0,191	0,180												51,9 dB(A)	40,5 dB(A)	40,0 dB(A)		
Dörpfeldstr. 32 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,43 m	0,385	0,090	0,088	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	46,6 dB(A)	34,0 dB(A)	33,8 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	7,63 m	0,693	0,164	0,153												51,8 dB(A)	39,3 dB(A)	38,7 dB(A)		
	Σ			213	97		0,693	0,188	0,177												51,8 dB(A)	40,4 dB(A)	39,9 dB(A)		
Dörpfeldstr. 34 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,41 m	0,387	0,090	0,088	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	46,7 dB(A)	34,1 dB(A)	33,9 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	7,61 m	0,697	0,165	0,154												51,8 dB(A)	39,3 dB(A)	38,7 dB(A)		
	Σ			213	97		0,697	0,188	0,178												51,8 dB(A)	40,4 dB(A)	39,9 dB(A)		
Dörpfeldstr. 36 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,36 m	0,390	0,091	0,089	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	46,8 dB(A)	34,2 dB(A)	34,0 dB(A)	Ü	Ü
	2	Flexity / NBS		108	47	7,56 m	0,706	0,167	0,156												51,9 dB(A)	39,4 dB(A)	38,8 dB(A)		
	Σ			213	97		0,706	0,191	0,180												51,9 dB(A)	40,5 dB(A)	40,0 dB(A)		

Tabelle 5 (Blatt 3 von 4)
Ergebnisse und Beurteilung der Schwingungstechnischen Berechnungen (Dörpfeldstraße / Nordseite)
Szenario ohne Minderungsmaßnahmen

							Auswertung Erschütterungen															Auswertung Sekundärer Luftschall				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Objekt	Gleis	Emissions- spektrum	Linien	Anzahl Züge tags	Anzahl Züge nachts	Abstand Haus Gleisachse	KBFmax	KBFTTr tags	KBFTTr nachts	Schutz- bedürf- tigkeit	Au tags	Ar tags	Ao nachts	Au nachts	Ar nachts	KBFmax <= Au tags	KBFTTr <= Ar tags	KBFmax <= Ao nachts	KBFmax <= Au nachts	KBFTTr <= Ar nachts	LA max	Lr tags	Lr nachts	Lr tags <= 40 dB(A)	Lr nachts <= 30 dB(A)	
Dörpfeldstr. 38 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,31 m	0,394	0,092	0,090	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	46,8 dB(A)	34,2 dB(A)	34,0 dB(A)	Ü	Ü	
	2	Flexity / NBS		108	47	7,50 m	0,717	0,170	0,159												52,1 dB(A)	39,6 dB(A)	39,0 dB(A)			
	Σ			213	97		0,717	0,193	0,182												52,1 dB(A)	40,7 dB(A)	40,2 dB(A)			
Dörpfeldstr. 40-42 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,62 m	0,373	0,087	0,085	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	46,4 dB(A)	33,8 dB(A)	33,6 dB(A)	Ü	Ü	
	2	Flexity / NBS		108	47	6,59 m	0,914	0,217	0,202												54,2 dB(A)	41,7 dB(A)	41,1 dB(A)			
	Σ			213	97		0,914	0,234	0,219												54,2 dB(A)	42,4 dB(A)	41,8 dB(A)			
Dörpfeldstr. 46 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,36 m	0,390	0,091	0,089	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	Ü	Ü	>	Ü	46,8 dB(A)	34,2 dB(A)	34,0 dB(A)	Ü	Ü	
	2	Flexity / NBS		108	47	6,57 m	0,920	0,218	0,204												54,3 dB(A)	41,8 dB(A)	41,2 dB(A)			
	Σ			213	97		0,920	0,237	0,222												54,3 dB(A)	42,5 dB(A)	42,0 dB(A)			

Tabelle 5 (Blatt 4 von 4)
Ergebnisse und Beurteilung der Schwingungstechnischen Berechnungen (Dörpfeldstraße / Nordseite)
Szenario ohne Minderungsmaßnahmen

Kennziffer für die Übertragungsfunktion	
Beton (MW+Std --> 1/ MW --> 2 / MW-Std --> 3):	
Holz (2.OG --> 4 / 1. OG --> 5 / EG --> 6):	4
Resonanzfrequenz d. Decke (f = 10 Hz ... 40 Hz)	20 Hz

Abstand Bezugspunkt / Gleisachse	4,67 m
-----------------------------------------	---------------

Erschütterungsprognose / Einzelberechnung		
Zeile 1:	LE	Emissionsspektrum Flexity / NBS
Zeile 2:	LM	Einfügungsdämmung elastischer Lagerungen oder anderer dämmender Maßnahmen 6
Zeile 3:	LB	Entfernungsbedingte Pegelabnahme 8,00 m
Zeile 4:	LG	Übertragungsfunktion Gebäude außen --> innen
Zeile 5:	LvR	Pegel der Deckenschnelle im Raum
Zeile 6:	KB	KB-Bewertung
Zeile 7:	LvRKB	KB-bewerteter Pegel der Deckenschnelle
Zeile 8:	KBFmax	KB bewertete Deckenschnelle in mm/s (mittlerer Maximalwert)

f / Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	ges.
1) LE	23,2	24,1	26,5	29,6	29,0	37,2	45,4	51,1	50,3	56,7	62,6	67,1	71,4	72,5	
2) LM	0,5	0,9	1,4	2,2	3,5	5,2	5,8	2,5	-2,0	-6,1	-9,6	-12,5	-15,2	-17,7	
3) LB	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	1,7	1,7	2,3	2,3	3,3	3,3	3,9	3,9	3,9	
4) LG	2,0	3,0	4,0	5,5	7,0	10,0	17,0	21,0	11,0	6,0	2,0	-3,0	-5,0	-7,0	
5) LvR	25,8	27,9	31,9	37,3	41,1	54,0	69,9	76,8	61,6	60,0	58,3	55,5	55,2	51,8	
6) KB	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	
7) LvRKB	21,1	24,4	29,3	35,5	40,0	53,2	69,4	76,5	61,4	59,8	58,2	55,5	55,2	51,8	77,6
8) KBFmax															0,379

KBFmax	0,379
---------------	--------------

Sekundärluftschallprognose / Einzelberechnung		
Zeile 6:	A	A-Bewertung
Zeile 7:	LvRA	A-bewerteter Pegel der Deckenschnelle
Zeile 8:	LAmx	A-bewerteter Schalldruckpegel

f / Hz	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	ges.
1) LE	45,4	51,1	50,3	56,7	62,6	67,1	71,4	72,5	71,1	59,3	51,3	43,0	36,3	33,0	
2) LM	5,8	2,5	-2,0	-6,1	-9,6	-12,5	-15,2	-17,7	-19,9	-22,0	-24,2	-26,3	-28,2	-30,3	
3) LB	1,7	2,3	2,3	3,3	3,3	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	
4) LG	17,0	21,0	11,0	6,0	2,0	-3,0	-5,0	-7,0	-9,0	-11,0	-13,0	-15,0	-17,0	-19,0	
5) LvR	69,9	76,8	61,6	60,0	58,3	55,5	55,2	51,8	46,2	30,3	18,0	5,7	-5,0	-12,3	
6) A	-56,7	-50,5	-44,7	-39,4	-34,6	-30,2	-26,2	-22,5	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	
7) LvRA	13,2	26,3	16,9	20,6	23,7	25,3	29,0	29,3	27,1	14,2	4,6	-5,2	-13,6	-18,9	
8) LAmx															30,3

LAmx	30,3 dB(A)
-------------	-------------------

Erschütterungsprognose / Mehrfachberechnung						
----------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--

f / Hz:	ÜF:					
	1	2	3	4	5	6
10	Beton			Holz		
12,5				0,075	0,075	0,056
16				0,133	0,101	0,063
20				0,268	0,159	0,079
25	0,344	0,157	0,067	0,379	0,203	0,093
31,5	0,305	0,126	0,055	0,316	0,175	0,084
40	0,334	0,149	0,065			
50	0,406	0,183	0,079			
	0,493	0,224	0,096			
Spanne	0,055 .. 0,493			0,056 .. 0,379		
	0,126 .. 0,224			0,075 .. 0,379		

Sekundärluftschallprognose / Mehrfachberechnung						
--------------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--

f / Hz:	ÜF:					
	1	2	3	4	5	6
10	Beton			Holz		
12,5				23,3	29,8	29,8
16				25,4	30,7	30,5
20				27,6	31,7	31,1
25	40,9	31,9	28,9	30,3	33,1	31,5
31,5	41,2	32,8	27,5	32,9	34,5	31,8
40	42,0	33,9	26,1			
50	43,6	35,9	28,1			
	46,7	39,4	31,7			
Spanne	26,1 .. 46,7 dB(A)			23,3 .. 34,5 dB(A)		
	31,9 .. 39,4 dB(A)			23,3 .. 32,9 dB(A)		

Tabelle 6.1
Beispielhafte Berechnung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen für die Gebäude Dörfeldstr. 21 und 23 vom Straßenbahnverkehr auf Gleis 1 (Fahrrichtung Osten)
Szenario mit Minderungsmaßnahme

Kennziffer für die Übertragungsfunktion	
Beton (MW+Std --> 1/ MW --> 2 / MW-Std --> 3):	
Holz (2.OG --> 4 / 1. OG --> 5 / EG --> 6):	4
Resonanzfrequenz d. Decke (f = 10 Hz ... 40 Hz)	20 Hz

Abstand Bezugspunkt / Gleisachse	7,46 m
-----------------------------------------	---------------

Erschütterungsprognose / Einzelberechnung		
Zeile 1:	LE	Emissionsspektrum Flexity / NBS
Zeile 2:	LM	Einfügungsdämmung elastischer Lagerungen oder anderer dämmender Maßnahmen 6
Zeile 3:	LB	Entfernungsbedingte Pegelabnahme 8,00 m
Zeile 4:	LG	Übertragungsfunktion Gebäude außen --> innen
Zeile 5:	LvR	Pegel der Deckenschnelle im Raum
Zeile 6:	KB	KB-Bewertung
Zeile 7:	LvRKB	KB-bewerteter Pegel der Deckenschnelle
Zeile 8:	KBFmax	KB bewertete Deckenschnelle in mm/s (mittlerer Maximalwert)

f / Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	ges.
1) LE	23,2	24,1	26,5	29,6	29,0	37,2	45,4	51,1	50,3	56,7	62,6	67,1	71,4	72,5	
2) LM	0,5	0,9	1,4	2,2	3,5	5,2	5,8	2,5	-2,0	-6,1	-9,6	-12,5	-15,2	-17,7	
3) LB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	
4) LG	2,0	3,0	4,0	5,5	7,0	10,0	17,0	21,0	11,0	6,0	2,0	-3,0	-5,0	-7,0	
5) LvR	25,8	27,9	31,9	37,3	40,0	52,8	68,7	75,2	60,0	57,6	55,9	52,7	52,4	49,0	
6) KB	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	
7) LvRKB	21,1	24,4	29,3	35,5	38,8	52,0	68,2	74,9	59,8	57,5	55,9	52,7	52,4	49,0	76,0
8) KBFmax															0,316

KBFmax	0,316
---------------	--------------

Sekundärluftschallprognose / Einzelberechnung		
Zeile 6:	A	A-Bewertung
Zeile 7:	LvRA	A-bewerteter Pegel der Deckenschnelle
Zeile 8:	LAmix	A-bewerteter Schalldruckpegel

f / Hz	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	ges.
1) LE	45,4	51,1	50,3	56,7	62,6	67,1	71,4	72,5	71,1	59,3	51,3	43,0	36,3	33,0	
2) LM	5,8	2,5	-2,0	-6,1	-9,6	-12,5	-15,2	-17,7	-19,9	-22,0	-24,2	-26,3	-28,2	-30,3	
3) LB	0,5	0,7	0,7	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
4) LG	17,0	21,0	11,0	6,0	2,0	-3,0	-5,0	-7,0	-9,0	-11,0	-13,0	-15,0	-17,0	-19,0	
5) LvR	68,7	75,2	60,0	57,6	55,9	52,7	52,4	49,0	43,4	27,5	15,2	2,9	-7,8	-15,1	
6) A	-56,7	-50,5	-44,7	-39,4	-34,6	-30,2	-26,2	-22,5	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	
7) LvRA	12,0	24,7	15,3	18,2	21,3	22,5	26,2	26,5	24,3	11,4	1,8	-8,0	-16,4	-21,7	
8) LAmix															27,7

LAmix	27,7 dB(A)
--------------	-------------------

Erschütterungsprognose / Mehrfachberechnung						
----------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--

ÜF:	1	2	3	4	5	6
f / Hz:	Beton			Holz		
10				0,063	0,059	0,043
12,5				0,114	0,083	0,048
16				0,231	0,133	0,063
20	0,280	0,128	0,054	0,316	0,167	0,075
25	0,243	0,101	0,045	0,259	0,140	0,067
31,5	0,256	0,114	0,050			
40	0,306	0,139	0,060			
50	0,361	0,164	0,071			
Spanne	0,045 .. 0,361			0,043 .. 0,316		
	0,101 .. 0,164			0,063 .. 0,316		

Sekundärluftschallprognose / Mehrfachberechnung						
--------------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--

ÜF:	1	2	3	4	5	6
f / Hz:	Beton			Holz		
10				20,6	27,1	27,0
12,5				22,6	27,9	27,7
16				24,9	29,0	28,3
20	38,1	29,1	26,1	27,7	30,3	28,7
25	38,4	30,0	24,7	30,3	31,8	29,0
31,5	39,2	31,2	23,4			
40	40,9	33,3	25,4			
50	43,9	36,6	28,9			
Spanne	23,4 .. 43,9 dB(A)			20,6 .. 31,8 dB(A)		
	29,1 .. 36,6 dB(A)			20,6 .. 30,3 dB(A)		

Tabelle 6.2

Beispielhafte Berechnung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen für die Gebäude Dörfeldstr. 21 und 23 vom Straßenbahnverkehr auf Gleis 2 (Fahrtrichtung Westen)
Szenario mit Minderungsmaßnahme

1	2	3	4	5	6	7	Auswertung Erschütterungen										Auswertung Sekundärer Luftschall								
							8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Objekt	Gleis	Emissions- spektrum	Linien	Anzahl Züge tags	Anzahl Züge nachts	Abstand Haus Gleisachse	KBFmax	KBFT _r tags	KBFT _r nachts	Schutz- bedürf- tigkeit	Au tags	Ar tags	Ao nachts	Au nachts	Ar nachts	KBFmax ≤ Au tags	KBFT _r ≤ Ar tags	KBFmax ≤ Ao nachts	KBFmax ≤ Au nachts	KBFT _r ≤ Ar nachts	LA max	Lr tags	Lr nachts	Lr tags ≤ 40 dB(A)	Lr nachts ≤ 30 dB(A)
Dörpfeldstr. 1-5 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,63 m	0,204	0,048	0,047	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	38,6 dB(A)	26,0 dB(A)	25,8 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	9,43 m	0,107	0,025	0,024												32,8 dB(A)	20,3 dB(A)	19,7 dB(A)		
	Σ			213	97		0,204	0,054	0,052												38,6 dB(A)	27,0 dB(A)	26,7 dB(A)		
Dörpfeldstr. 7 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,50 m	0,366	0,086	0,084	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	38,9 dB(A)	26,3 dB(A)	26,1 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	9,30 m	0,250	0,059	0,055												33,0 dB(A)	20,5 dB(A)	19,9 dB(A)		
	Σ			213	97		0,366	0,104	0,100												38,9 dB(A)	27,3 dB(A)	27,0 dB(A)		
Dörpfeldstr. 9 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,44 m	0,215	0,050	0,049	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	39,0 dB(A)	26,4 dB(A)	26,2 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	9,24 m	0,111	0,026	0,025												33,1 dB(A)	20,6 dB(A)	20,0 dB(A)		
	Σ			213	97		0,215	0,057	0,055												39,0 dB(A)	27,4 dB(A)	27,1 dB(A)		
Gellertstr. 3 / Dörpfeldstr. 11 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,44 m	0,215	0,050	0,049	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	39,0 dB(A)	26,4 dB(A)	26,2 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	9,24 m	0,111	0,026	0,025												33,1 dB(A)	20,6 dB(A)	20,0 dB(A)		
	Σ			213	97		0,215	0,057	0,055												39,0 dB(A)	27,4 dB(A)	27,1 dB(A)		
Dörpfeldstr. 13 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,50 m	0,366	0,086	0,084	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	38,9 dB(A)	26,3 dB(A)	26,1 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	9,31 m	0,250	0,059	0,055												33,0 dB(A)	20,5 dB(A)	19,9 dB(A)		
	Σ			213	97		0,366	0,104	0,100												38,9 dB(A)	27,3 dB(A)	27,0 dB(A)		
Dörpfeldstr. 15 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,52 m	0,365	0,085	0,083	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	38,8 dB(A)	26,2 dB(A)	26,0 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	9,32 m	0,249	0,059	0,055												33,0 dB(A)	20,5 dB(A)	19,9 dB(A)		
	Σ			213	97		0,365	0,104	0,100												38,8 dB(A)	27,2 dB(A)	26,9 dB(A)		
Dörpfeldstr. 17 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	7,00 m	0,338	0,079	0,077	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	37,7 dB(A)	25,1 dB(A)	24,9 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	9,79 m	0,237	0,056	0,052												32,2 dB(A)	19,7 dB(A)	19,1 dB(A)		
	Σ			213	97		0,338	0,097	0,093												37,7 dB(A)	26,2 dB(A)	25,9 dB(A)		
Dörpfeldstr. 19 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,95 m	0,341	0,080	0,078	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	37,8 dB(A)	25,2 dB(A)	25,0 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	9,74 m	0,238	0,056	0,053												32,2 dB(A)	19,7 dB(A)	19,1 dB(A)		
	Σ			213	97		0,341	0,098	0,094												37,8 dB(A)	26,3 dB(A)	26,0 dB(A)		
Dörpfeldstr. 21 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	4,67 m	0,379	0,089	0,086	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	Ü	39,4 dB(A)	26,8 dB(A)	26,6 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	7,46 m	0,316	0,075	0,070												36,6 dB(A)	24,1 dB(A)	23,5 dB(A)		
	Σ			213	97		0,379	0,116	0,111												39,4 dB(A)	28,7 dB(A)	28,3 dB(A)		
Dörpfeldstr. 23 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	4,67 m	0,379	0,089	0,086	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	Ü	39,4 dB(A)	26,8 dB(A)	26,6 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	7,46 m	0,316	0,075	0,070												36,6 dB(A)	24,1 dB(A)	23,5 dB(A)		
	Σ			213	97		0,379	0,116	0,111												39,4 dB(A)	28,7 dB(A)	28,3 dB(A)		
Dörpfeldstr. 27-29 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	5,38 m	0,224	0,052	0,051	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	39,4 dB(A)	26,8 dB(A)	26,6 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	8,89 m	0,119	0,028	0,026												33,7 dB(A)	21,2 dB(A)	20,6 dB(A)		
	Σ			213	97		0,224	0,060	0,058												39,4 dB(A)	27,8 dB(A)	27,5 dB(A)		
Dörpfeldstr. 31 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	5,93 m	0,379	0,089	0,086	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	39,4 dB(A)	26,8 dB(A)	26,6 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	10,08 m	0,229	0,054	0,051												31,7 dB(A)	19,2 dB(A)	18,6 dB(A)		
	Σ			213	97		0,379	0,104	0,100												39,4 dB(A)	27,5 dB(A)	27,2 dB(A)		
Dörpfeldstr. 33-35 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	6,75 m	0,197	0,046	0,045	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	38,3 dB(A)	25,7 dB(A)	25,5 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	10,92 m	0,083	0,020	0,018												30,4 dB(A)	17,9 dB(A)	17,3 dB(A)		
	Σ			213	97		0,197	0,050	0,049												38,3 dB(A)	26,3 dB(A)	26,1 dB(A)		

Tabelle 7 (Blatt 1 von 4)
Ergebnisse und Beurteilung der Schwingungstechnischen Berechnungen (Dörpfeldstraße / Südseite)
Szenario mit Minderungsmaßnahme

1	2	3	4	5	6	7	Auswertung Erschütterungen										Auswertung Sekundärer Luftschall								
							8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Objekt	Gleis	Emissions- spektrum	Linien	Anzahl Züge tags	Anzahl Züge nachts	Abstand Haus Gleisachse	KBFmax	KBFT _r tags	KBFT _r nachts	Schutz- bedürf- tigkeit	Au tags	Ar tags	Ao nachts	Au nachts	Ar nachts	KBFmax ≤ Au tags	KBFT _r ≤ Ar tags	KBFmax ≤ Ao nachts	KBFmax ≤ Au nachts	KBFT _r ≤ Ar nachts	LA max	Lr tags	Lr nachts	Lr tags ≤ 40 dB(A)	Lr nachts ≤ 30 dB(A)
Dörpfeldstr. 37 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	4,60 m	0,224	0,052	0,051	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	39,4 dB(A)	26,8 dB(A)	26,6 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	8,49 m	0,130	0,031	0,029												34,5 dB(A)	22,0 dB(A)	21,4 dB(A)		
	Σ			213	97		0,224	0,061	0,059												39,4 dB(A)	28,0 dB(A)	27,7 dB(A)		
Dörpfeldstr. 39 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	4,94 m	0,379	0,089	0,086	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	Ü	39,4 dB(A)	26,8 dB(A)	26,6 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	8,20 m	0,285	0,068	0,063												35,1 dB(A)	22,6 dB(A)	22,0 dB(A)		
	Σ			213	97		0,379	0,111	0,107												39,4 dB(A)	28,2 dB(A)	27,9 dB(A)		
Dörpfeldstr. 41 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	5,13 m	0,379	0,089	0,086	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	Ü	39,4 dB(A)	26,8 dB(A)	26,6 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	8,19 m	0,286	0,068	0,063												35,1 dB(A)	22,6 dB(A)	22,0 dB(A)		
	Σ			213	97		0,379	0,112	0,107												39,4 dB(A)	28,2 dB(A)	27,9 dB(A)		
Dörpfeldstr. 43 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	5,28 m	0,224	0,052	0,051	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	39,4 dB(A)	26,8 dB(A)	26,6 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	8,19 m	0,139	0,033	0,031												35,1 dB(A)	22,6 dB(A)	22,0 dB(A)		
	Σ			213	97		0,224	0,062	0,060												39,4 dB(A)	28,2 dB(A)	27,9 dB(A)		

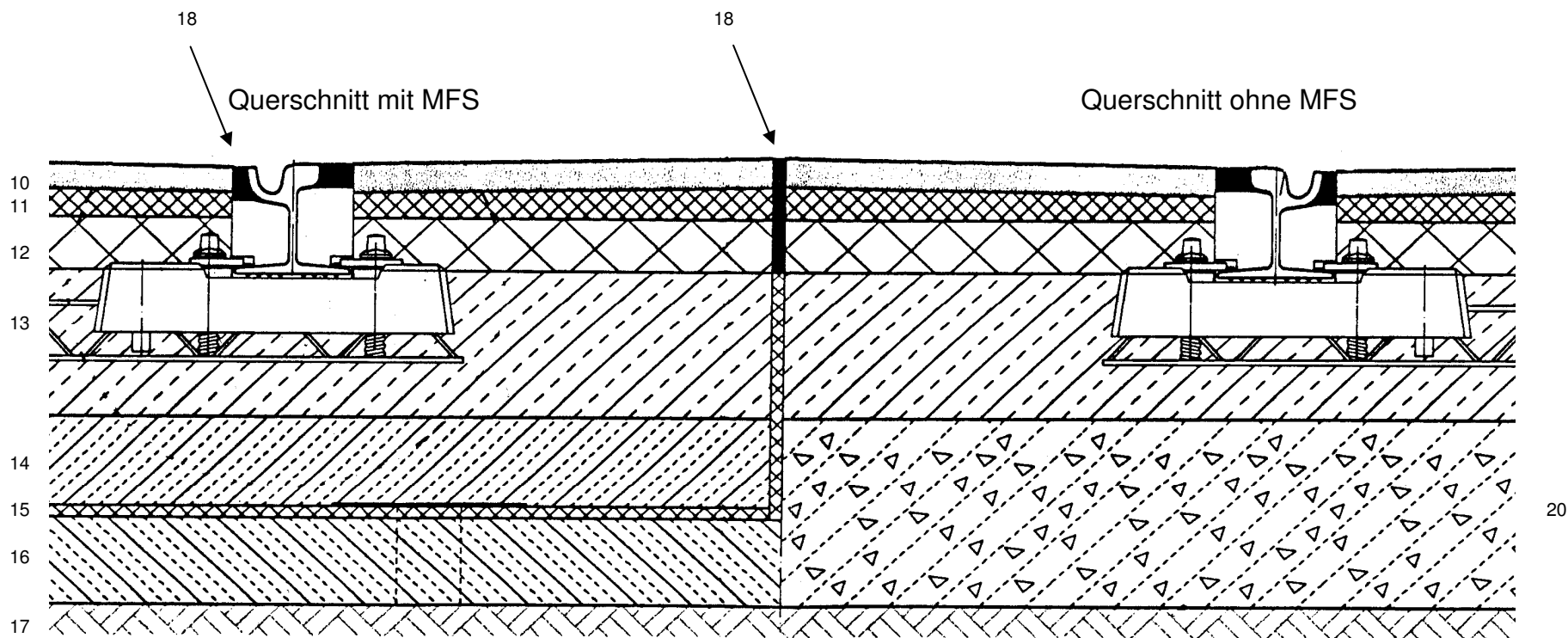
Tabelle 7 (Blatt 2 von 4)
Ergebnisse und Beurteilung der Schwingungstechnischen Berechnungen (Dörpfeldstraße / Südseite)
Szenario mit Minderungsmaßnahme

1	2	3	4	5	6	7	Auswertung Erschütterungen										Auswertung Sekundärer Luftschall								
							8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Objekt	Gleis	Emissions- spektrum	Linien	Anzahl Züge tags	Anzahl Züge nachts	Abstand Haus Gleisachse	KBFmax	KBFT _r tags	KBFT _r nachts	Schutz- bedürf- tigkeit	Au tags	Ar tags	Ao nachts	Au nachts	Ar nachts	KBFmax ≤ Au tags	KBFT _r ≤ Ar tags	KBFmax ≤ Ao nachts	KBFmax ≤ Au nachts	KBFT _r ≤ Ar nachts	LA max	Lr tags	Lr nachts	Lr tags ≤ 40 dB(A)	Lr nachts ≤ 30 dB(A)
Dörpfeldstr. 6 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,12 m	0,229	0,053	0,052	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	31,6 dB(A)	19,0 dB(A)	18,8 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	7,31 m	0,323	0,077	0,071												36,9 dB(A)	24,4 dB(A)	23,8 dB(A)		
	Σ			213	97		0,323	0,093	0,088												36,9 dB(A)	25,5 dB(A)	25,0 dB(A)		
Dörpfeldstr. 8 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,27 m	0,092	0,022	0,021	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	31,4 dB(A)	18,8 dB(A)	18,6 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	7,46 m	0,164	0,039	0,036												36,6 dB(A)	24,1 dB(A)	23,5 dB(A)		
	Σ			213	97		0,164	0,045	0,042												36,6 dB(A)	25,2 dB(A)	24,7 dB(A)		
Dörpfeldstr. 10 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,18 m	0,227	0,053	0,052	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	31,5 dB(A)	18,9 dB(A)	18,7 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	7,37 m	0,320	0,076	0,071												36,8 dB(A)	24,3 dB(A)	23,7 dB(A)		
	Σ			213	97		0,320	0,093	0,088												36,8 dB(A)	25,4 dB(A)	24,9 dB(A)		
Dörpfeldstr. 12 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,16 m	0,228	0,053	0,052	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	31,5 dB(A)	18,9 dB(A)	18,7 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	7,36 m	0,321	0,076	0,071												36,9 dB(A)	24,4 dB(A)	23,8 dB(A)		
	Σ			213	97		0,321	0,093	0,088												36,9 dB(A)	25,5 dB(A)	25,0 dB(A)		
Dörpfeldstr. 14 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,72 m	0,215	0,050	0,049	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	>	ok	30,7 dB(A)	18,1 dB(A)	17,9 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	7,92 m	0,296	0,070	0,066												35,6 dB(A)	23,1 dB(A)	22,5 dB(A)		
	Σ			213	97		0,296	0,086	0,082												35,6 dB(A)	24,3 dB(A)	23,8 dB(A)		
Dörpfeldstr. 16 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	9,98 m	0,232	0,054	0,053	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	31,8 dB(A)	19,2 dB(A)	19,0 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	7,18 m	0,329	0,078	0,073												37,3 dB(A)	24,8 dB(A)	24,2 dB(A)		
	Σ			213	97		0,329	0,095	0,090												37,3 dB(A)	25,9 dB(A)	25,3 dB(A)		
Dörpfeldstr. 18 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	9,50 m	0,106	0,025	0,024	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	32,6 dB(A)	20,0 dB(A)	19,8 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	6,70 m	0,200	0,048	0,044												38,4 dB(A)	25,9 dB(A)	25,3 dB(A)		
	Σ			213	97		0,200	0,054	0,051												38,4 dB(A)	26,9 dB(A)	26,4 dB(A)		
Dörpfeldstr. 20 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	9,50 m	0,244	0,057	0,056	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	32,6 dB(A)	20,0 dB(A)	19,8 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	6,70 m	0,355	0,084	0,078												38,4 dB(A)	25,9 dB(A)	25,3 dB(A)		
	Σ			213	97		0,355	0,102	0,096												38,4 dB(A)	26,9 dB(A)	26,4 dB(A)		
Dörpfeldstr. 22-24 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	9,63 m	0,241	0,056	0,055	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	32,4 dB(A)	19,8 dB(A)	19,6 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	6,82 m	0,348	0,082	0,077												38,1 dB(A)	25,6 dB(A)	25,0 dB(A)		
	Σ			213	97		0,348	0,100	0,095												38,1 dB(A)	26,6 dB(A)	26,1 dB(A)		
Dörpfeldstr. 30 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,36 m	0,091	0,021	0,021	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	31,2 dB(A)	18,6 dB(A)	18,4 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	7,56 m	0,160	0,038	0,035												36,4 dB(A)	23,9 dB(A)	23,3 dB(A)		
	Σ			213	97		0,160	0,044	0,041												36,4 dB(A)	25,0 dB(A)	24,5 dB(A)		
Dörpfeldstr. 32 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,43 m	0,090	0,021	0,020	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	31,1 dB(A)	18,5 dB(A)	18,3 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	7,63 m	0,158	0,037	0,035												36,2 dB(A)	23,7 dB(A)	23,1 dB(A)		
	Σ			213	97		0,158	0,043	0,040												36,2 dB(A)	24,8 dB(A)	24,3 dB(A)		
Dörpfeldstr. 34 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,41 m	0,090	0,021	0,020	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	31,1 dB(A)	18,5 dB(A)	18,3 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	7,61 m	0,158	0,038	0,035												36,3 dB(A)	23,8 dB(A)	23,2 dB(A)		
	Σ			213	97		0,158	0,043	0,041												36,3 dB(A)	24,9 dB(A)	24,4 dB(A)		
Dörpfeldstr. 36 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,36 m	0,223	0,052	0,051	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	31,2 dB(A)	18,6 dB(A)	18,4 dB(A)	ok	ok
	2	Flexity / NBS		108	47	7,56 m	0,311	0,074	0,069												36,4 dB(A)	23,9 dB(A)	23,3 dB(A)		
	Σ			213	97		0,311	0,090	0,086												36,4 dB(A)	25,0 dB(A)	24,5 dB(A)		

Tabelle 7 (Blatt 3 von 4)
Ergebnisse und Beurteilung der Schwingungstechnischen Berechnungen (Dörpfeldstraße / Nordseite)
Szenario mit Minderungsmaßnahme

							Auswertung Erschütterungen															Auswertung Sekundärer Luftschall				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Objekt	Gleis	Emissions- spektrum	Linien	Anzahl Züge tags	Anzahl Züge nachts	Abstand Haus Gleisachse	KBFmax	KBFT _r tags	KBFT _r nachts	Schutz- bedürf- tigkeit	Au tags	Ar tags	Ao nachts	Au nachts	Ar nachts	KBFmax ≤ Au tags	KBFT _r ≤ Ar tags	KBFmax ≤ Ao nachts	KBFmax ≤ Au nachts	KBFT _r ≤ Ar nachts	LA max	Lr tags	Lr nachts	Lr tags ≤ 40 dB(A)	Lr nachts ≤ 30 dB(A)	
Dörpfeldstr. 38 (Deckenaufbau nicht bekannt)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,31 m	0,224	0,052	0,051	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	>	ok	ok	>	ok	31,3 dB(A)	18,7 dB(A)	18,5 dB(A)	ok	ok	
	2	Flexity / NBS		108	47	7,50 m	0,314	0,074	0,069												36,5 dB(A)	24,0 dB(A)	23,4 dB(A)			
	Σ			213	97		0,314	0,091	0,086												36,5 dB(A)	25,1 dB(A)	24,6 dB(A)			
Dörpfeldstr. 40-42 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,62 m	0,087	0,020	0,020	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	30,8 dB(A)	18,2 dB(A)	18,0 dB(A)	ok	ok	
	2	Flexity / NBS		108	47	6,59 m	0,206	0,049	0,046												38,7 dB(A)	26,2 dB(A)	25,6 dB(A)			
	Σ			213	97		0,206	0,053	0,050												38,7 dB(A)	26,8 dB(A)	26,3 dB(A)			
Dörpfeldstr. 46 (Betondecken)	1	Flexity / NBS	61, 63	105	50	10,36 m	0,091	0,021	0,021	MI	0,300	0,150	0,600	0,225	0,105	ok	-	ok	ok	-	31,2 dB(A)	18,6 dB(A)	18,4 dB(A)	ok	ok	
	2	Flexity / NBS		108	47	6,57 m	0,208	0,049	0,046												38,7 dB(A)	26,2 dB(A)	25,6 dB(A)			
	Σ			213	97		0,208	0,054	0,050												38,7 dB(A)	26,9 dB(A)	26,4 dB(A)			

Tabelle 7 (Blatt 4 von 4)
Ergebnisse und Beurteilung der Schwingungstechnischen Berechnungen (Dörpfeldstraße / Nordseite)
Szenario mit Minderungsmaßnahme



- 10 Gussasphalt o. ä.
- 11 Asphaltbinder
- 12 Asphalttragschicht
- 13 Beton
- 14 Unterbeton
- 15 vollflächige elastische Boden- und Seitenmatte (z. B. zelliges PUR-Elastomer)
- 16 verfestigte untere Tragschicht
- 17 Erdplanum
- 18 elastischer Fugenverguss

20 Recyclingtragschicht

Bild 1
Prinzipdarstellung eines vollflächig gelagerten Masse-Feder-Systems (MFS) für Straßenbahnen