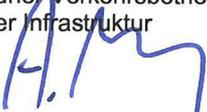
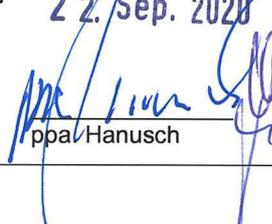


Landeshauptstadt Dresden
Dresdner Verkehrsbetriebe AG

Stadtbahn Dresden 2020, Teilabschnitt 1.2
Nossener Brücke / Nürnberger Straße

FESTSTELLUNGSENTWURF

– Unterlage 17.3 –
Erschütterungsgutachten

<p>aufgestellt: Dresdner Verkehrsbetriebe AG Center Infrastruktur</p> <p> Hemmersbach</p> <p>22. Sep. 2020</p> <p> ppa/Hanusch</p>	

Consulting

Dipl.-Ing. D. Friedemann

Bericht Nr. 20-4208 / 01

**Stadtbahn 2020, TA 1.2 Nossener Brücke / Nürnberger Straße
Untersuchung zu betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen
(Messung und Prognose)**

Stand: 27.08.2020



Bearbeitet von Dipl.-Ing. L. Wiedemann

für

Dresdner Verkehrsbetriebe AG
Trachenberger Straße 40
01129 Dresden

1. Zusammenfassung

Die Dresdner Verkehrsbetriebe AG (DVB AG) plant im Rahmen des Vorhabens "Stadtbahn 2020, TA 1.2" den Neubau einer Straßenbahnstrecke im Abschnitt Nossener Brücke / Nürnberger Straße.

Im Rahmen des Planungsverfahrens wurde eine erschütterungstechnische Untersuchung durchgeführt. Das vorliegende Erschütterungsgutachten umfasst eine Beweissicherungsmessung im Ist-Zustand und eine Prognose für den geplanten Zustand. Für Messung und Prognose wurden ein für den Untersuchungsabschnitt repräsentatives Gebäude sowie ein Erdboden-Querprofil ausgewählt.

Die Erschütterungsprognose nach DIN 4150 hat für die Einwirkung auf Menschen in Gebäuden ergeben, dass das Bauvorhaben in der benachbarten Bebauung keine Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 und damit keine Belästigungen von Menschen in Gebäuden verursacht (Anhaltswert A_r für Allgemeine Wohngebiete tags und nachts eingehalten). Alle Gebäude mit schutzbedürftiger Nutzung liegen außerhalb des Erschütterungseinwirkungsbereiches, in welchem der Anhaltswert A_r tags oder nachts erreicht oder überschritten wird.

Die berechneten sekundären Luftschallpegel unterschreiten die zulässigen Innenpegel für Wohnräume in Anlehnung an die 24. BImSchV.

Die für Fundament bzw. Geschossdecke prognostizierten maximalen Schwinggeschwindigkeiten liegen deutlich unter den Anhaltswerten der Norm DIN 4150-3 für Wohngebäude. Gebäudeschäden durch den Straßenbahnverkehr sind an allen im Untersuchungsbereich liegenden Gebäuden sicher auszuschließen.

Bauliche Maßnahmen zum Erschütterungsschutz sind nicht erforderlich.

Der Bericht enthält 86 Seiten inklusive 5 Anhänge.

Dresden, den 28.08.2020

cdf Schallschutz



Dipl.-Ing. L. Wiedemann
(Ltr. Prüfstelle Erschütterungen)



Dipl.-Ing. D. Friedemann
(Stellv. Prüfstelle Erschütterungen)



Akkreditiert für den Bereich: Ermittlung von Geräuschen und Erschütterungen; Modul Immissionsschutz

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	2
2. Aufgabenstellung	4
3. Situationsdarstellung.....	4
4. Berechnungs- und Bewertungsverfahren	5
4.1. Erschütterungs-Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	5
4.2. Erschütterungs-Einwirkung auf bauliche Anlagen	10
4.3. Sekundärer Luftschall	11
5. Ausgangsdaten und Verfahren der Erschütterungsprognose	13
5.1. Emissionsdaten des Straßenbahnverkehrs	14
5.2. Verkehrsbelegung, Geschwindigkeit	15
5.3. Oberbau	16
5.4. Prognoseverfahren	17
5.5. Prinzipiell mögliche Maßnahmen zum Erschütterungsschutz	18
5.6. Qualität der Prognose	18
6. Messungen	19
6.1. Messverfahren und Randbedingungen	19
6.2. Messobjekte	20
6.3. Ergebnisse für den Ist-Zustand	20
7. Erschütterungsprognose Schienenverkehr und Bewertung	22
7.1. Einwirkungsbereich	22
7.2. Prognose für ausgewähltes repräsentatives Gebäude	24
7.3. Zusammenfassende Bewertung - Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	26
7.4. Zusammenfassende Bewertung - sekundärer Luftschall	27
7.5. Zusammenfassende Bewertung - Gebäudeschäden	27
7.6. Erschütterungseinwirkung des Straßenverkehrs	28
8. Normen und Literatur	29
9. Anhänge	30
Anhang 1 Lageplan, Flächennutzungsplan.....	31
Anhang 2 Verkehrsmengen und Geschwindigkeiten.....	33
Anhang 3 Emissionsdaten der Straßenbahn (Messung).....	35
Anhang 3.1 Messprotokoll.....	35
Anhang 3.2 Messwerte des Straßenbahnverkehrs (Ist-Zustand)	42
Anhang 3.3 Erschütterungs-Emissionsspektrum	60
Anhang 3.4 Ausbreitungsdämpfung des Erdbodens.....	62
Anhang 3.5 Gebäudeübertragungsfunktionen	65
Anhang 4 Erschütterungsprognose	67
Anhang 4.1 Prognose für repräsentatives Gebäude	67
Anhang 4.2 Prognose für Gebäude mit geringem Abstand.....	69
Anhang 4.3 Prognose für Gebäude mit größter Annäherung.....	71
Anhang 4.4 Einwirkungsbereich - betroffene Gebäude (Planfall).....	73
Anhang 5 Lageplan des Einwirkungsbereiches ($KB_{FT} > A_r$).....	78

2. Aufgabenstellung

Im Rahmen des Bauvorhabens Stadtbahn 2020, TA 1.2 in Dresden (Abschnitt Nossener Brücke / Nürnberger Straße) wird der Neubau einer Straßenbahnstrecke geplant.

Zur Prüfung der Auswirkungen des Bauvorhabens auf die während des Straßenbahnbetriebes in der Nachbarschaft verursachten Schwingungen/Erschütterungen ist eine erschütterungstechnische Untersuchung durchzuführen. In einem erschütterungstechnischen Gutachten sind die im gegenwärtigen Zustand und nach der Baumaßnahme vorhandenen Erschütterungs-Immissionen zu ermitteln und nach DIN 4150 zu bewerten (Teil 2 - Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden [5], Teil 3 - Einwirkungen auf Gebäude [6]).

Die Untersuchung basiert auf Erschütterungsmessungen im Ist-Zustand. Diese dienen der Dokumentation des bestehenden Zustandes sowie der Ermittlung der Emissionsspektren.

Die Ausgangsdaten, die Vorgehensweise und die Ergebnisse der erschütterungstechnischen Untersuchung werden nachfolgend dargestellt.

3. Situationsdarstellung

Der zu untersuchende Bereich befindet sich zwischen der Bismarckbrücke im Zuge der Freiburger Straße und dem Knotenpunkt Nürnberger Straße / Hübnerstraße. Der Abschnitt 1.2 ist Bestandteil der Neubaustrecke 1 (Löbtau - Südvorstadt - Strehlen) des Stadtbahnprogrammes 2020 der Dresdner Verkehrsbetriebe AG.

Die benachbarte schutzbedürftige Bebauung befindet sich auf beiden Seiten der zukünftig in Ost-West-Richtung verlaufenden Straße in Abständen zwischen ca. 8 und > 40 m zur Achse des jeweils nächstgelegenen Richtungsgleises.

Die maximal zulässige Streckengeschwindigkeit beträgt 60 km/h auf der geraden Strecke und an der Einmündung Ebertplatz / Freiburger Str. 20 km/h (Gleisbögen) [18].

Die Erschütterungs-Bestandsmessung erfolgte an einem als repräsentativ für die Bebauung ausgewählten Gebäude sowie in einem unbebauten Geländeprofil. Die Messorte können den Lageplan-Ausschnitten entnommen werden (Anhang 3, Punkt VII und VIII).

4. Berechnungs- und Bewertungsverfahren

Als Erschütterungen werden Schwingungen im Bereich von 1 bis 80 Hertz bezeichnet. Bei der Ermittlung und Bewertung der Erschütterungseinwirkungen wird zwischen den Einwirkungen auf den Menschen (Gesundheitsschutz) und den Einwirkungen auf das Gebäude (Gebäudeschäden) unterschieden.

4.1. Erschütterungs-Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Erschütterungen sind mechanische Schwingungen der Gebäudestruktur, die vom Betroffenen überwiegend als Relativbewegungen zwischen Körper und Bauwerk empfunden werden. Die für den Menschen am stärksten wahrnehmbaren Erschütterungen treten erfahrungsgemäß auf den Geschossdecken (mittig im Raum) auf.

Hierfür wird die bewertete Schwingstärke KB verwendet, die aus der Messgröße Schwinggeschwindigkeit v im Frequenzbereich 1 bis 80 Hz ermittelt wird.

Für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen an Schienenverkehrswegen (wie auch an anderen Verkehrswegen) sind bisher gesetzlich festgelegte **Grenzwerte** nicht vorhanden. In der DIN 4150, Teil 2 (DIN 4150-2, [5]) sind jedoch folgende **Anhaltswerte** zur Beurteilung angegeben:

Tab. 1 Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungen nach DIN 4150, Teil 2 für oberirdischen Schienenverkehr

Zeile	Einwirkungsort/ Gebietseinteilung nach BauNVO		A_u	A_o	A_r	A_u	$A_o^{*)}$	A_r
			tags			nachts		
1	ausschließlich Gewerbe	GI	0,40	6,0	0,20	0,30	0,6	0,15
2	vorwiegend Gewerbe	GE	0,30	6,0	0,15	0,20	0,6	0,10
3	Mischgebiet	MI	0,20	5,0	0,10	0,15	0,6	0,07
4	Wohngebiet	WA,WR	0,15	3,0	0,07	0,10	0,6	0,05
5	Sondergebiet	SK	0,10	3,0	0,05	0,10	0,6	0,05

A_u unterer Anhaltswert

A_o oberer Anhaltswert; *) hier gebietsunabhängig $A_o = 0,6$

A_r Anhaltswert zum Vergleich mit der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTT}

Für oberirdische Schienenwege des ÖPNV gelten auf das 1,5-fache der Werte A_u und A_r nach Tab. 1 erhöhte Anhaltswerte:

Tab. 2 Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungen nach DIN 4150, Teil 2 für ÖPNV

Zeile	Einwirkungsort/ Gebietseinteilung nach BauNVO		A_u	A_o	A_r	A_u	$A_o^{*)}$	A_r
			tags			nachts		
1	ausschließlich Gewerbe	GI	0,60	6,0	0,30	0,45	0,6	0,225
2	vorwiegend Gewerbe	GE	0,45	6,0	0,225	0,30	0,6	0,15
3	Mischgebiet	MI	0,30	5,0	0,15	0,225	0,6	0,11
4	Wohngebiet	WA,WR	0,225	3,0	0,105	0,15	0,6	0,075
5	Sondergebiet	SK	0,15	3,0	0,08	0,15	0,6	0,08

A_u unterer Anhaltswert

A_o oberer Anhaltswert; *) hier gebietsunabhängig $A_o = 0,6$

A_r Anhaltswert zum Vergleich mit der Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r}

Beurteilungsverfahren nach DIN 4150, Teil 2

Für den Vergleich der Messergebnisse mit den Anhaltswerten ist die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ bzw. die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r} zu verwenden, die aus Messwerten der Erschütterungen im Raum des Betroffenen ermittelt werden. Dabei ist jeweils die größte Richtungskomponente an einem Messpunkt der Beurteilung zugrunde zu legen. Das Verfahren des nachstehenden Flussdiagramms ist einzuhalten.

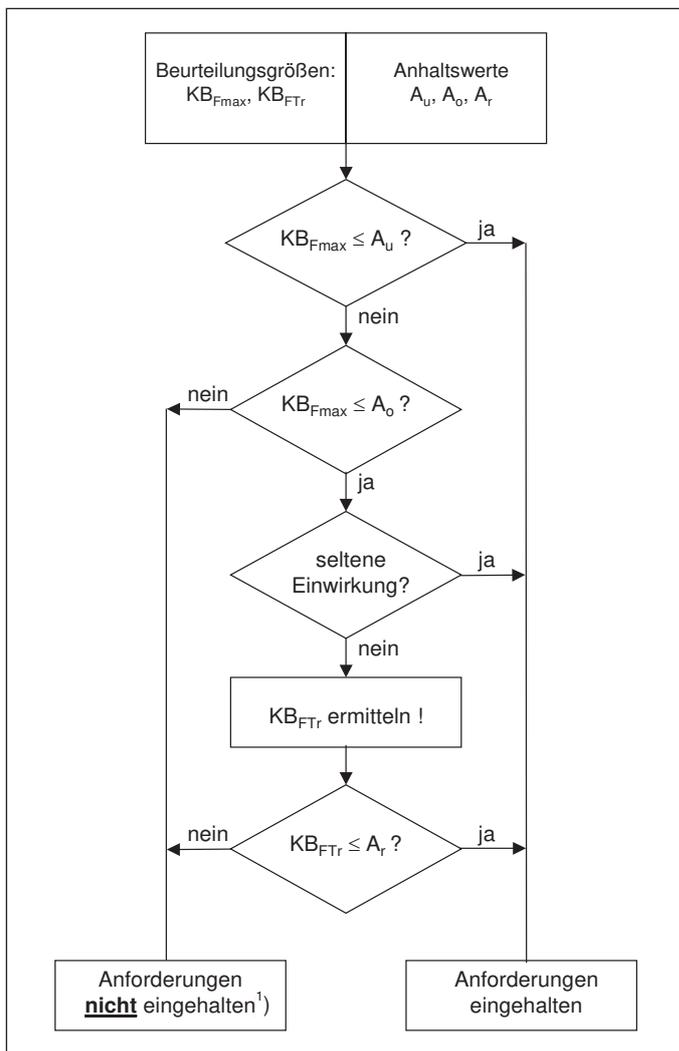


Bild 1 Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren nach DIN 4150, Teil 2 (Neubaustrecken)

Liegen die maximalen Schwingstärken KB_{Fmax} der Schienenfahrzeug-Vorbeifahrten unter dem in Tab. 1 benannten (unteren) Anhaltswert A_u , so sind die Anforderungen der Norm eingehalten und es treten erfahrungsgemäß keine erheblichen Belästigungen auf. Bei Nichteinhaltung ist die Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} erforderlich. Dabei wird die Häufigkeit der Einwirkungen berücksichtigt und es erfolgt der Vergleich mit den Anhaltswerten A_r .

¹⁾ Nach der DIN 4150-2 hat der obere Anhaltswert A_o (im Gegensatz zu dem in Bild 1 dargestellten allgemeinen Flussdiagramm) nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen nachts einzelne KB_{FTr} -Werte über dem oberen Anhaltswert A_o , so ist nach der Ursache zu forschen (z. B. Flachstellen an den Rädern) und diese möglichst rasch zu beheben. Diese hohen Werte sind bei der Bildung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} zu berücksichtigen.

Für **bestehende Verkehrswege** mit Erschütterungs-Vorbelastung der Nachbarschaft gibt die Norm DIN 4150-2 keine Anforderungen vor. Die Beurteilung bei Ausbauvorhaben erfolgt entsprechend der Richtlinie der DB AG [10]. Grundprinzip ist dabei die Prüfung, ob sich durch ein Bauvorhaben eine wesentliche Verschlechterung der Erschütterungssituation in der betroffenen Nachbarschaft ergibt.

Ausgehend vom Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom Dezember 2010 [11] ist bei Ausbaustrecken die Erschütterungs-Immission nach Inbetriebnahme (Prognose-Planfall) gegenüber dem Zustand ohne Baumaßnahme (Prognose-Nullfall) nicht fühlbar erhöht, wenn die vorhabensbedingte Erhöhung der Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FT,r}$ weniger als 25% beträgt. Bei sehr erheblicher Vorbelastung (deutlich mehr als das 1,5-fache der Anhaltswerte für Industriegebiete) kann der Schwellwert einzelfallbezogen niedriger als 25% angesetzt werden.

Abschnitte mit Beurteilungsschwingstärken mit $KB_{FT,r}$ ab einem Bereich von 1,1 tags und 0,7 nachts als Vorbelastung, die vorhabensbedingt ansteigt, sind gutachterlich besonders zu untersuchen [15].

Die Erschütterungsprognose erfolgt daher für **Ausbauvorhaben** auf folgender Grundlage:

- Werden die Anhaltswerte A_u und A_r nach DIN 4150-2, Tab. 1 im Plan-Zustand unterschritten, ist die Anforderung an den Erschütterungsschutz eingehalten.
- Werden die Anhaltswerte A_r oder A_o überschritten, wird die vorhabensbedingte Erhöhung der Erschütterungs-Immission auf die Erhöhung um 25% geprüft.

Wird eine Erhöhung der Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FT,r}$ um $< 25\%$ gegenüber dem Zustand ohne Ausbau berechnet, liegt keine wesentliche Änderung vor, und die Anforderung an den Erschütterungsschutz wird eingehalten. Bei größeren vorhabensbedingten Erhöhungen der Erschütterungs-Immission sind Schutzmaßnahmen oder Entschädigungen zu prüfen.

Die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r} berechnet sich mit

$$KB_{FT_r} = \sqrt{\frac{1}{T_r} (T_{e,j} KB_{FTm,j}^2)} \quad \text{Gl.(1)}$$

T_r Beurteilungszeitraum

tags 6:00 - 22:00 Uhr (57600 s), nachts 22:00 Uhr - 6:00 Uhr (28800 s)

$T_{e,j}$ Einwirkungszeit des Ereignisses j innerhalb des Beurteilungszeitraumes (1 Zugfahrt = 1 Takt von 30 s)

$KB_{FTm,j}$ Taktmaximal-Effektivwert nach Gl.(2) für die Einwirkungszeit $T_{e,j}$

und

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2} \quad \text{Gl.(2)}$$

KB_{FTi} Maximalwert der bewerteten Schwingstärke in einem Taktzeitraum i von 30 s

N Anzahl der Takte

Subjektive Wahrnehmung

Gemäß DIN 4150-2 ist bei Einhaltung der Anhaltswerte zu erwarten, dass "erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden".

In DIN 4150-2 wird ausgeführt, dass in der Umgebungssituation „Wohnen“ auch bereits gerade spürbare Erschütterungen von $KB = 0,1 - 0,2$ als störend empfunden werden und Erschütterungseinwirkungen um $KB = 0,3$ bei ruhigem Aufenthalt in Wohnungen überwiegend bereits als gut spürbar und störend wahrgenommen werden.

4.2. Erschütterungs-Einwirkung auf bauliche Anlagen

Die Wirkung von Erschütterungen auf die Gebäudestruktur wird durch die Messung des Spitzenwertes (Maximalwert des Zeitverlaufes der Schwinggeschwindigkeit $v_i(t)$) am Gebäudefundament beurteilt. Die DIN 4150, Teil 3 [6] legt Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit zur Beurteilung der Wirkung kurzzeitiger Erschütterungen fest. Werden die Anhaltswerte nicht überschritten, treten im allgemeinen keine Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes auf, deren Ursachen auf die Erschütterungen zurückzuführen wären.

Anhand des Bauzustandes, der Nutzung und des Alters des Gebäudes werden in der DIN 4150-3 folgende Anhaltswerte angegeben:

Tab. 3 Anhaltswerte für Schwinggeschwindigkeiten zur Beurteilung der Wirkung auf Gebäude

- * Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.
- ** Bei dieser Gebäudeart kann zur Verhinderung leichter Schäden eine deutliche Abminderung des Anhaltswertes notwendig werden.
- *** Die Immissionswerte für Frequenzen zwischen 10 und 50 Hz sowie zwischen 50 und 100 Hz sind durch lineare Interpolation zwischen den Immissionswerten der jeweiligen Zeilen zu ermitteln.

Zeile	Gebäudeart	Kurzeitige Erschütterungen				
		Fundament, horizontal, vertikal Frequenzen in Hz ***			Oberste Deckenebene, horizontal	Vertikale Deckenschwingung
		1 - 10	10 - 50	50 - 100 *	alle Freq.	alle Freq.
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten	20	20 - 40	40 - 50	40	20
2	Wohngebäude und in Konstruktion/Nutzung ähnliche Bauten	5	5 - 15	15 - 20	15	20
3	Besonders empfindliche Bauten, denkmalgeschützte Bauten	3	3 - 8	8 - 10	8	20 **

Die durch Schienenverkehr an Gebäuden bewirkten Schwinggeschwindigkeiten unterschreiten nach allgemeiner fachlicher Erfahrung die o.g. Anhaltswerte deutlich.

4.3. Sekundärer Luftschall

Als sekundärer Luftschall wird die durch Schwingungen von Wänden und Decken verursachte Schallabstrahlung innerhalb von Gebäuden bezeichnet. Als Berechnungsgrundlage dient ein durch Messreihen ermittelter Zusammenhang zwischen der Schwinggeschwindigkeit der Geschossdecke und dem sekundären Luftschallpegel. Die Bezeichnung „sekundär“ dient der Unterscheidung gegenüber dem direkten Schalldurchgang von einer äußeren Lärmquelle über Außenbauteile in das Gebäudeinnere.

Zur Bewertung des sekundären Luftschalls liegen bisher keine verbindlichen Anforderungen oder Grenzwerte vor. Für die Beurteilung wird entsprechend [10] der berechnete sekundäre Luftschallpegel hilfsweise mit den zulässigen Innengeräuschpegeln für Wohn- und Schlafräume verglichen, die in der 24. BImSchV [3] zur Dimensionierung von passiven Schallschutzmaßnahmen angewendet werden:

Tab. 4 Aus der 24. BImSchV für die Raumnutzung abgeleitete höchstzulässige Innenpegel

Raumnutzung	Korrektursummand D in dB	zumutbarer Innen- raumpegel in dB(A)
Räume, die überwiegend zum Schlafen benutzt werden	27	30
Wohnräume; Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftl. Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume	37	40
Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume	42	45
Großraumbüros, Schalterräume, Druckerräume von DV-Anlagen, soweit dort ständige Arbeitsplätze vorhanden sind	47	50
Sonstige Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind	entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen	

Dieses Vorgehen wird vom Bundesverwaltungsgericht (Urteil vom Dezember 2010 [11]) akzeptiert.

Eine Summierung und zusammenfassende Beurteilung von primärem und sekundärem Luftschall ist z. B. gemäß der DB AG-Richtlinie 820.2050 [10], den Festlegungen des Eisenbahn-Bundesamtes sowie der Rechtsprechung nicht vorgesehen.

Die Berechnung des sekundären Luftschallpegels L_{sek} wird wie folgt vorgenommen:

- Erschütterungs-Immissionsspektrum (Mitte der Geschossdecke)
 L_v in dB re. $5 \cdot 10^{-5}$ mm/s in den Terzbändern 4 - 315 Hz
als mittlerer Maximalpegel je Zuggattung
- A-Bewertung des L_v -Terzspektrums und Aufsummierung der Terzwerte 20 - 315 Hz
- Berechnung des sekundären Luftschallpegels L_{sek} aus L_{vA} nach der Gleichung
 $L_{\text{sek}} = a \cdot L_{vA} + b$
mit folgenden Koeffizienten ([10], A02, Seite 34):

	a	b
Holzbalkendecken	0,47	19,88
Betondecken	0,60	15,75

- Berechnung des Beurteilungspegels $L_{r,\text{sek}}$ unter Berücksichtigung der Zugzahlen und Beurteilungszeiträume tags / nachts

5. Ausgangsdaten und Verfahren der Erschütterungsprognose

Zur Untersuchung der erschütterungstechnischen Auswirkung des Bauvorhabens erfolgt die Berechnung eines Erschütterungskorridors, innerhalb dessen mit Belästigungen durch Erschütterungen gerechnet werden muss. Für die Bebauung außerhalb des Erschütterungskorridors sind im Allgemeinen keine Belästigungen oder gar gebäudeschädigende Erschütterungen zu erwarten.

Da eine vollständige exakte Erfassung der Erschütterungssituation durch Bestandsmessungen an allen Gebäuden nicht möglich ist, werden die Untersuchungen an einem als repräsentativ für die Bebauung ausgewählten Gebäude sowie mittels einer Ausbreitungsmessung im Erdboden durchgeführt.

Das **Gebäude Freiburger Str. 119** wird als repräsentativ für den Untersuchungsbereich hinsichtlich folgender Kriterien angesehen:

- geringer Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse im Ist- und Plan-Zustand
- mehrgeschossiger Bau mit Wohnungen in allen Etagen.

Im nachstehenden Abschnitt wird auf der Grundlage der Messergebnisse eine Erschütterungsprognose für das ausgewählte Gebäude durchgeführt. Dabei werden die maximal zu erwartenden Erschütterungen in den kritischen schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen infolge des Straßenbahnverkehrs nach Realisierung des Vorhabens rechnerisch ermittelt.

Aufgrund des Einflusses von Eigenfrequenzen (Resonanzen) sind die Prognoseergebnisse speziell bei Holzbalkendecken nicht zahlenmäßig von einem Gebäude auf ein anderes Gebäude übertragbar. Wegen der o.g. Kriterien kann jedoch eingeschätzt werden, dass in den übrigen Gebäuden des Untersuchungsbereiches nach Realisierung des Bauvorhabens vergleichbare oder geringere Erschütterungseinwirkungen vorliegen.

Für **weitere Gebäude** innerhalb des Erschütterungskorridors erfolgt eine detaillierte Prognose der Erschütterungen.

Die Grundlage dafür bilden die im Rahmen von Messungen an einer bestehenden Strecke im Ist-Zustand gewonnenen Emissionsspektren des Schienenverkehrs sowie die bei einer Messung nahe des Vorhabens ermittelte Boden-Ausbreitungsdämpfung.

Die sich zwischen den Ausgangsdaten der Messung und dem konkreten Vorhaben ergebenden Parameteränderungen (z. B. Abstands- und Geschwindigkeitsänderungen, Zugzahlen) werden rechnerisch berücksichtigt.

Vom Auftraggeber wurden folgende Unterlagen bzw. Informationen als Grundlagen der Berechnungen übergeben:

- Vorhabensbeschreibung (Erläuterungsbericht zur Planfeststellung [18])
- Verkehrsbelegung und Fahrgeschwindigkeiten
- Trassierungsentwurf einschließlich angrenzender Bebauung

Das Vorhaben wird für die Erschütterungsprognose in folgende Bereiche unterteilt:

Einmündung Ebertplatz / Freiburger Str.	= wesentliche Änderung
übrige Strecke bis Nürnberger Ei	= Neubau

Nachfolgend werden die Ausgangsdaten für die Erschütterungsprognose beschrieben.

5.1. Emissionsdaten des Straßenbahnverkehrs

Als Grundlage der Erschütterungsprognose stehen aus der eigenen Messung folgende Terzspektren zur Verfügung:

Boden-Ausbreitung im Bestands-Streckenabschnitt des zu untersuchenden Bereiches

- Straßenbahnen NGT D8DD und D12DD (45- und 30 m-Zug)
- Messort Freiburger Straße zwischen Hst. Oederaner Straße und Rosenstraße
- Oberbautyp 180 mm Rillenschiene auf Zwischenlage, Rippenplatte und Betonschwelle, Fahrbahn mit Gussasphalt auf Asphaltbinder und Asphalt-Tragschicht
- mittlere Geschwindigkeit am Messtag 11.08.2020 31...49 km/h

Emission am 8 m - Messpunkt im Boden, bestehende Strecke

- Straßenbahnen NGT D8DD (30 m-Zug), 60 km/h
- Messort Fritz-Reuter-Straße zwischen Hst. Friedensstraße und Bischofsplatz
- Oberbautyp Rheda City, Bauart DVB AG mit Rillenschienen und Asphaltdecke

Die Fahrzeuglänge im künftigen Zustand (30 m / 45 m) geht in die Prognoserechnung der Schwingstärke KB nicht direkt ein: In der Prognoserechnung der Schwingstärke KB_{FT} wird ein Zeittakt von 30 Sekunden je Vorbeifahrt berücksichtigt. Dieser Zeittakt schließt die realen Vorbeifahrtzeiten beider Fahrzeugtypen des Plan-Zustandes (Fahrzeuge von 30 m Länge und von 45 m Länge) sicher ein, vgl. 4.1 Gleichung 1.

5.2. Verkehrsbelegung, Geschwindigkeit

Folgende Verkehrsbelegung ist für den Zustand nach Abschluss der Baumaßnahme vorgesehen (Prognosehorizont 2030, übereinstimmend mit Schallimmissionsprognose [17]):

Tab. 5 Geplante Verkehrsbelegung (Neubaustrecke), Prognosehorizont 2030, mo-fr

Fahrzeug-Typ	Fahrten tags (6 - 22 Uhr)	Fahrten nachts (22 - 6 Uhr)
Zuglänge 45 m (Linien 7 + 14)	90 + 45	19 + 6
Zuglänge 30 m (Linie 14)	44	7
Summe Plan-Zustand, je Gleis:	179	32
Summe Plan-Zustand, beide Richtungen:	358	64

Die maximal zulässige Streckengeschwindigkeit beträgt für die gerade Strecke 60 km/h und an der Einmündung Ebertplatz / Freiburger Str. 20 km/h [18]. Die Erschütterungsprognose erfolgt entsprechend dieser zwei Geschwindigkeitswerte für die Teilbereiche "Kurve - wesentliche Änderung" und "gerade Strecke - Neubau".

Im Bereich der wesentlichen Änderung (Freiburger Str. / Ebertplatz) sind nachfolgende Verkehrsmengen zu berücksichtigen, vgl. Anhang 2 und [19]:

Tab. 6 Verkehrsbelegung für die Erschütterungsprognose im Bereich der Einmündung Ebertplatz;
* Zahlen mit 50/50%-Einsatz der 30m-/45m-Züge Li. 12 zzgl. Aus-/Einrucker Bf. Gorbitz, nur 45m-Züge

Fahrzeug-Typ	Fahrten tags (6 - 22 Uhr)	Fahrten nachts (22 - 6 Uhr)
Zuglänge 45 m (Linie 7, Bestand = Plan)	90	19
Zuglänge 45 m (Linie 12*, Prognose 2030)	50	16
Zuglänge 30 m (Linie 12*, Prognose 2030)	45	5
Summe Ist-Zustand, je Gleis:	185	40
Zuglänge 45 m (Linie 14, Plan)	45	6
Zuglänge 30 m (Linie 14, Plan)	44	7
Summe Plan-Zustand, je Gleis:	89	13
Summe Plan-Zustand, beide Richtungen:	548	106

Als Fahrgeschwindigkeiten werden in diesem Bereich 50 km/h für die bestehende Strecke Freiburger Str. - Kesselsdorfer Str. und 20 km/h für die neu geplante Einmündung berücksichtigt.

5.3. Oberbau

Im Plan-Zustand sind die Oberbau-Typen "straßenbündiger / besonderer Bahnkörper" (Ebertplatz und Oederaner Str., Fabrikstr. bis Nossener Brücke, Zwickauer Str. bis Knotenpunkt Budapester Str., Überfahrten) sowie "Rasengleis" (Nürnberger Str.) vorgesehen. Im Rahmen der Baumaßnahme werden folgende neue Aufbauten hergestellt ([18], Seite 96f.):

Tab. 7 Geplante Oberbau-Ausführung

Bereich	Aufbau
straßenbündiger / besonderer Bahnkörper	feste Fahrbahn des Typs Rheda-City gemäß DVB-Betriebsvorschrift T4-412/2 Betonschwellen TB/ZB 1450 k-W 25 bzw. k-W 25 Sp 13 cm Rillenschiene Ri53-10 / 4 cm Gussasphalt MA 11 S 1 cm Zwischenlage aus PU-Elastomer / ≥ 10 cm Asphaltbinder AC 16 B S Schienenfußunterlage aus PE-Schaum 22,5 cm Betontragschicht C 35/45 / Zweiblockschwelle ≥ 35 cm Tragschicht ohne Bindemittel 0/32;
Rasengleis	feste Fahrbahn des Typs Rheda City mit Raseneindeckung in Anlehnung an die DVB-Betriebsvorschrift T4-412/2 13 cm Rillenschiene Ri53-10 1 cm Zwischenlage aus PU-Elastomer / Schienenfußunterlage aus PE-Schaum $\geq 24,5$ cm Betontragschicht C 35/45 / Zweiblockschwelle zuzüglich 12,5 cm Mehrdicke Zweiblockschwelle ≥ 35 cm Tragschicht ohne Bindemittel 0/32; EV2 ≥ 150 MPa; zweilagig Deckenschluss mit 2,5 cm Rollrasen (ohne Einfluss auf die Erschütterungen)

Der Oberbau-Typ der im Jahre 2011 durchgeführten Emissionsmessung an der bestehenden Strecke der Linie 13 (deren Emissionswerte als Grundlage für die Prognose des Plan-Zustandes verwendet werden), dokumentiert im Bericht [16], stimmt bezüglich der Erschütterungs-Emission mit dem zukünftigen Zustand im Rahmen der Genauigkeit des Prognoseverfahrens überein (vgl. auch Erläuterung unter Punkt 5.6).

5.4. Prognoseverfahren

Für die Erschütterungsprognose wird der Zugverkehr entsprechend der angegebenen Verkehrsdaten auf die beiden Gleise mit dem jeweiligen Abstand zum Wohngebäude gelegt (typischer Abstand der Gleisachsen hier für die Prognoserechnung: 3,00 m).

Es erfolgen dann die Berechnungen für den Prognose-Planfall:

- Terzspektren des mittleren Maximalpegels der Schwinggeschwindigkeit $L_{v,8m}$ am Emissionsmesspunkt (8m-Punkt)
Einfluss der Fahrzeuggeschwindigkeit V auf den Erschütterungs-Emissionspegel L_v :
nach Tabelle 14.8, Zeile 1 in [14]: $\Delta L_v = 20 \log (V_1 / V_2)$ dB
- Terzpegel-Differenzen des Ausbreitungsweges zu Fundament und Geschossdecken des untersuchten Gebäudes ($\Delta L_{vB,G}$ aus Bodendämpfung)
- Terzband-Korrekturwerte $\Delta L_{v,d}$ für vorhabensbedingte Abstandsänderung (aus den Messungen der Boden-Ausbreitungseigenschaften)
- Terzband-Korrekturwerte $\Delta L_{v,v}$ für geplante Geschwindigkeitsänderung (rechnerisch nach [14] s.o.)
- Prognose-Terzspektren $L_{v,Prog}$ des mittleren Maximalpegels der Schwinggeschwindigkeit im untersuchten Gebäude: $L_{v,Prog} = L_{v,8m} + \Delta L_{vB,G} + \Delta L_{v,v}$
- Berechnung der bewerteten Schwingstärke $KB_{FTm(Prog)}$ und der Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FTr(Prog)}$ unter Berücksichtigung der Verkehrsmenge und Einwirkzeit
- bei Überschreitung der Anhaltswerte A_u nach DIN 4150-2:
Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} unter Berücksichtigung der Zugzahlen und Beurteilungszeiträume tags / nachts;
- Prognose des sekundären Luftschallpegels L_{sek}

Für die Erschütterungsprognose erfolgt im Bedarfsfall eine Umrechnung gemäß [14] von der bei den jeweiligen Emissionsmessungen gefahrenen Geschwindigkeit auf die Plan-Geschwindigkeit und eine Umrechnung des Abstandes zum Gebäude vom Emissions-Messpunkt auf den Plan-Zustand (am untersuchten Gebäude).

Das verwendete Erschütterungs-Emissionsspektrum ist in Anhang 3.3 dargestellt.

5.5. Prinzipiell mögliche Maßnahmen zum Erschütterungsschutz

Werden für einzelne Gebäude Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungseinwirkung erforderlich, so ist für jeden Einzelfall zu prüfen, ob eine ausreichende Wirkung zu erwarten ist und ob die Aufwendungen in einem angemessenen Verhältnis zum Schutzzweck stehen.

Dazu gehören:

- Elastische Lagerung des Oberbaus (Unterschottermatten, Masse-Feder-Systeme)
- Elastische Lagerung der Schienen
- Elastische Ummantelung der Schwellen
- Elastische Lagerung des Gebäudes
- Veränderung der Gebäudedecken-Resonanzfrequenz

Der frequenzabhängige Vergleich der Wirkung verschiedener erschütterungsmindernder Oberbauformen ist in [14] in Form von Diagrammen dargestellt.

5.6. Qualität der Prognose

Einige Parameter der Erschütterungs-Prognoserechnung sind in der Planungsphase mit Unsicherheiten behaftet. Insbesondere betrifft dies den Ausbreitungsweg (Oberbau, Ankopplung des Oberbaus an den Untergrund, Ausbreitungsverhältnisse auf dem Weg zum Immissionsort). Die Prognoseergebnisse stellen daher eine Abschätzung dar.

Die messtechnisch bedingte Unsicherheit bei der Ermittlung von KB-Schwingungswerten kann gemäß DIN 4150-2, 5.4 bis zu 15% betragen. Daher erfolgt bei der Berechnung der KB-Werte ein Zuschlag von +15% auf alle Einzahlwerte.

Nicht berücksichtigt wird die tendenziell erschütterungsmindernde Wirkung eines neu errichteten Oberbaus im Vergleich zum Bestand bei gleichem Bautyp (Neuerrichtung eines erschütterungstechnisch gleichwertigen Oberbaus an gleicher Stelle = Minderungswirkung von ca. 5 dB gegenüber dem Zustand vor der Baumaßnahme).

6. Messungen

6.1. Messverfahren und Randbedingungen

Die Messung und Auswertung zur Bestimmung der maßgeblichen Erschütterungen erfolgten gemäß DB-Richtlinie 820.2050 sowie DIN 45672 „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen“ [7].

An den Messorten wurden Schwingungen in folgenden Richtungen gemessen:

- x-Richtung (horizontal und parallel zur Straßenbahnstrecke),
- y-Richtung (horizontal und senkrecht zur Straßenbahnstrecke),
- z-Richtung, vertikal

Als Messpunkte im Gebäude wurden folgende Bauteile/Messorte gewählt:

- MP 1z: Fundament, z-Richtung, vertikal
- MP 1x: Fundament, x-Richtung, horizontal (parallel zur Außenwand)
- MP 1y: Fundament, y-Richtung, horizontal (senkrecht zur Außenwand)

- MP 2z: Deckenmitte, Erdgeschoss, z-Richtung, vertikal
- MP 3z: Deckenmitte, oberstes Wohngeschoss, z-Richtung, vertikal

- MP 4z: Erdboden vor dem Haus = Emissionsmesspunkt, z-Richtung, vertikal

Mit der zur Messung genutzten Software MEDA wurden die Schwinggeschwindigkeiten während der Vorbeifahrten aufgezeichnet und der Spitzenwert der Schwinggeschwindigkeit v_{\max} und die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{\max}}$ bzw. die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} ermittelt.

Die Aufzeichnung der Schwinggeschwindigkeits-Zeitverläufe erfolgte jeweils nur in Zeitabschnitten mit Straßenbahn-Vorbeifahrten. Bei Überschneidungen zwischen Straßenbahn- und PKW-Vorbeifahrten wurden die betreffenden Abschnitte des Zeitverlaufes von der Auswertung ausgenommen. Zum Einfluss anderer Erschütterungsquellen (Straßenverkehr) auf die Erschütterungssituation: siehe Abschnitt 7.6.

Mit den Erschütterungsmesswerten im Ist-Zustand werden folgende Auswertungen durchgeführt:

- Bildung von Terzspektren des Maximal- und Mittelungspegels der Schwinggeschwindigkeit (L_v re. $5 \cdot 10^{-5}$ mm/s) im Frequenzbereich 4 - 315 Hz sowie der bewerteten Schwingstärke (KB_{FTm}) je Zuggattung und Fahrtrichtung
- Bestimmung des Maximalwertes der Schwinggeschwindigkeit v_{\max} in mm/s

6.2. Messobjekte

Freiberger Straße 119 (Gebäude)

Bei dem untersuchten Gebäude handelt es sich um einen fünfgeschossigen Massivbau mit Holzbalkendecken in allen Geschossen, Baujahr 1900, saniert 2002.

Die Lage des untersuchten Objektes kann dem Übersichtsplan im Anhang 5, Blatt 1 sowie dem Messprotokoll in Anhang 3.1, Punkt VII entnommen werden. Der Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse beträgt im Ist-Zustand und im Plan-Zustand 8,0 m.

Freiberger Straße DREWAG-Gelände, Flurstück 522/4 (Erdboden)

Zur Bestimmung der Ausbreitungsparameter wurden vier Erdspieße senkrecht zur Straßenbahntrasse eingebracht. Deren Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse betrug 8, 17, 25 und 33 m.

Die Lage der Messpunkte ist im Anhang 3.1, Punkt VIII dargestellt.

6.3. Ergebnisse für den Ist-Zustand

Die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen im Ist-Zustand sind detailliert im Anhang 3 enthalten. Das Messprotokoll enthält eine Beschreibung und Fotos des Messobjektes und der Messstellen, die Lage des Objektes zum Gleis sowie die Messergebnisse.

Neben der Tabelle der bei jeder Zugvorbeifahrt ermittelten bewerteten Schwingstärke KB sind auch die Terz-MaxHold-Spektren aller Messpunkte und die Übertragungsfunktionen dargestellt.

Nachfolgende Tabellen fassen die Messergebnisse für den Ist-Zustand zusammen:

Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Tab. 8 KB-Messwerte im Ist-Zustand (KB_{Fmax} = jeweils größter Einzelmesswert Linien 7 + 12)

Messobjekt	Anhaltswert A_u tags / nachts A_o tags / nachts A_r tags / nachts	Bewertete Schwingstärke		
		Fundament	Decke EG	Decke 4.OG
Freiberger Str. 119	WA 0,225 / 0,15 3,0 / 0,6 0,105 / 0,075	$KB_{Fmax} = 0,41$ $KB_{FTm} = 0,19$ -	$KB_{Fmax} = 0,16$ $KB_{FTm} = 0,13$ $KB_{FTr} = 0,07 / 0,03$	$KB_{Fmax} = 0,19$ $KB_{FTm} = 0,10$ $KB_{FTr} = 0,04 / 0,03$

An den Messpunkten liegt im Ist-Zustand am Tage eine Erschütterungseinwirkung unterhalb des unteren Anhaltswertes nach DIN 4150-2 vor. In der Nacht wird der untere Anhaltswert A_u leicht überschritten.

$$\begin{array}{l} \text{Tag } KB_{Fmax} = 0,19 < A_u = 0,225 \\ \text{Nacht } KB_{Fmax} = 0,19 > A_u = 0,15 \end{array}$$

Der obere Anhaltswert A_o wird auf keiner Geschossdecke tags oder nachts erreicht.

Die aus KB_{FTm} und der Verkehrsmenge berechneten Beurteilungs-Schwingstärken KB_{FTr} halten die Anhaltswerte A_r tags und nachts sicher ein.

Einwirkung auf Gebäude

Tab. 9 v-Messwerte im Ist-Zustand (jeweils größter Einzelmesswert)

Messobjekt	Anhaltswert DIN 4150-3, Tab. 1 Zeile 2 (Wohngeb.)	Maximale Schwinggeschwindigkeit v_{max}
Freiberger Str. 119	Fundament 5 mm/s	Fundament 0,04 mm/s (x)
	Decken 15 mm/s	Decke EG 0,17 mm/s (z) Decke 4.OG 0,11 mm/s (z)

Die in Tab. 3 genannten Anhaltswerte nach DIN 4150-3 für die Einwirkung auf bauliche Anlagen werden sehr sicher unterschritten.

Anhang 3.2 enthält die Ergebnisse im Detail.

7. Erschütterungsprognose Schienenverkehr und Bewertung

7.1. Einwirkungsbereich

In der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung wurde eine Voreinschätzung der zu erwartenden Erschütterungen auf Basis des Anhaltswertes A_r gemäß DIN 4150-2 nachts durchgeführt. Diese hat ergeben, dass in Wohngebäuden der Anhaltswert A_r tags oder nachts durch KB_{FTr} (oder der zumutbare Innenraumpegel durch den sekundären Luftschallpegel) überschritten wird, wenn diese näher an der Gleisachse liegen als:

Tab. 10 Mindestabstände - Einwirkungsbereich von Erschütterungen oberhalb A_r

	<i>gerade Strecke</i>	<i>Kurve Ebertplatz</i>
	Wohngebiet, A_r (ÖPNV) = 0,075 nachts $L_{sek,m,N} < 30$ dB(A)	Wohngebiet, A_r (ÖPNV) = 0,075 nachts $L_{sek,m,N} < 30$ dB(A)
Holzbalkendecke (Resonanzfrequenz 20 Hz)	$d_{min} = 8,0$ m	$d_{min} = 4,0$ m
Massivdecke (Resonanzfrequenz 50 Hz)	$d_{min} = 7,0$ m	$d_{min} = 6,0$ m

Da die Deckentypen nicht bekannt sind, erfolgte die rechnerische Voruntersuchung sowohl für Holz- als auch für Massivdecken, vgl. Anhang 4.4 und nachfolgende Tabelle.

Tab. 11 Prognose-Ergebnis für Gebäude im Mindestabstand, gerade Strecke, Beispiel Holzbalkendecke

<i>Nossener Brücke / Nürnberger Str., Dresden - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Holzbalkendecke</i>				8,0 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB_{Fmax}	$KB_{FTr,Tag}$	$KB_{FTr,Nacht}$	Sekundärer Luftschall in dB(A)	$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$	$L_{sek,m}$
Prognoseergebnis	0,23	0,09	0,06	Prognoseergebnis	38,4	30,2	25,8
Anhaltswert A_u, A_r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,15	0,105	0,075	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	ja	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 2011			
Prognoseergebnis	0,08	0,27					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

Das untersuchte Gebiet ist ausgehend von der vorgefundenen örtlichen Nutzung sowie übereinstimmend mit dem Flächennutzungsplan der Stadt Dresden (Stand Juni 2017) als Wohngebiet (Freiberger Str., Ebertplatz, Nürnberger Str.) bzw. Gewerbegebiet (Nossener Brücke, Zwickauer Str.) einzustufen.

Nachfolgende Tabelle enthält die im Bereich der Straßenbahnstrecke befindlichen, zu betrachtenden Gebäude mit Bewertung der Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen (Basis: Bewertung bezüglich A_u nachts im Plan-Zustand).

Tab. 12 Gebäude und Erschütterungsbewertung; Abstandsangaben zum jeweils nächstgelegenen Gleis;
Genauigkeit der Abstandswerte 0,5 m

Gebäude	Typ, Nutzung	Mindestabstände zur Einhaltung des Anhaltswertes A_u (KB_{Fmax})			Bewertung Mindestab- stand
		Soll Holzbal- kendecke	Soll Massiv- decke	Abstand Plan- Zustand	
Freiberger Str. 117, 119, 121	Wohngeb.	≥ 4,0 m	≥ 6,0 m	8,0-8,5 m	erfüllt
Ebertplatz 1, 1b	Wohngeb.	≥ 4,0 m	≥ 6,0 m	13,0-17,0 m	erfüllt
Ebertplatz 2	Wohngeb.	≥ 8,0 m	≥ 7,0 m	24,0 m	erfüllt
Ebertplatz 2b, 3, 3b, 11	Wohngeb.	≥ 8,0 m	≥ 7,0 m	40,0 - 51,0 m	erfüllt
Fabrikstr. 5, 34	Gewerbe	(< 8,0 m)	(< 7,0 m)	29,5 - 58,0 m	erfüllt
Zwickauer Str. 37, 62, 66, 68c	Gewerbe	(< 8,0 m)	(< 7,0 m)	22,0 - 38,0 m	erfüllt
Nossener Brücke 8, 10, 12, Chemnitzer Str. 59 b	Gewerbe	(< 8,0 m)	(< 7,0 m)	23,0 - 25,5 m	erfüllt
Nürnberger Str. 2, 10, 12, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28	Wohngeb.	≥ 8,0 m	≥ 7,0 m	16,5 - 19,5 m	erfüllt
Nürnberger Str. 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 11a	Wohngeb.	≥ 8,0 m	≥ 7,0 m	20,0 - 26,0 m	erfüllt
Nürnberger Str. 13, 15, 17, 19, 29, 31	Wohngeb.	≥ 8,0 m	≥ 7,0 m	24,0 - 26,0 m	erfüllt
Nürnberger Str. 31a, 35	Wohngeb.	≥ 8,0 m	≥ 7,0 m	13,5 - 14,5 m	erfüllt
Bernhardstr. 34, Nürnberger Str. 33	Wohngeb.	≥ 8,0 m	≥ 7,0 m	17,0 - 19,0 m	erfüllt
Nürnberger Str. 28a, 28b	Wohngeb.	≥ 8,0 m	≥ 7,0 m	22,5 - 32,5 m	erfüllt
Nürnberger Str. 28c, 28d	Wohngeb.	≥ 8,0 m	≥ 7,0 m	13,0 - 15,5 m	erfüllt
Nürnberger Str. 37, 39, 41, 43, 45, 47	Wohngeb.	≥ 8,0 m	≥ 7,0 m	10,0 - 12,5 m	erfüllt
Nürnberger Str. 28e, 28f, 28g, 30, 30a, 30b	Wohngeb.	≥ 8,0 m	≥ 7,0 m	11,0 - 11,5 m	erfüllt
Nürnberger Str. 32, 34, Hübnerstr. 15	Wohngeb.	≥ 8,0 m	≥ 7,0 m	12,5 - 14,0 m	erfüllt

Anmerkung:

In Bereichen mit Gewerbegebiets-Einstufung wurde wegen der bereits nachgewiesenen Einhaltung der Mindestabstände für die empfindlichere Einstufung "WA" auf die Berechnung separater Abstandslinien verzichtet.

Obige Tabelle zeigt, dass keine Gebäude innerhalb des Abstandskorridors mit möglichen Überschreitungen des Anhaltswertes A_r tags oder nachts liegen.

7.2. Prognose für ausgewählte repräsentative Gebäude

Für ein aus den nächstgelegenen Gebäuden ausgewähltes Objekt im Allgemeinen Wohngebiet mit Wohnnutzung (Freiberger Str. 119) wurde eine detaillierte Prognoseberechnung auf Basis der Erschütterungsmessung im Ist-Zustand sowie der Verkehrsbelegung und des Gleisabstandes im Plan-Zustand durchgeführt. Die Details sind im Anhang 4 dargestellt.

Tab. 13 Prognoseergebnisse für Wohngebäude in 8,0 m Abstand zur Gleisachse, Kurve (vgl. Anhang 4.1)

Freiberger Str. 119, Dresden - Erdgeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Erdgeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)				8,0 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)	L _{sekmax}	L _{sek,m}	L _{sek,m}
Prognoseergebnis	0,26	0,09	0,06	Prognoseergebnis	40,9	32,6	28,7
Anhaltswert A _w , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,15	0,105	0,075	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	ja	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 2011			
Prognoseergebnis	0,07	0,33					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					
Freiberger Str. 119, Dresden - 4.Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), 4.Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)				8,0 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)	L _{sekmax}	L _{sek,m}	L _{sek,m}
Prognoseergebnis	0,22	0,08	0,05	Prognoseergebnis	32,2	24,0	20,0
Anhaltswert A _w , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,15	0,105	0,075	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	ja	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 2011			
Prognoseergebnis	0,07	0,31					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

Am Tage und in der Nacht wird der jeweilige Anhaltswert A_r eingehalten. Damit sind die Anforderungen an den Erschütterungsschutz nach DIN erfüllt. Der Richtwert für den zulässigen sekundären Luftschallpegel L_{sek} wird tags und nachts eingehalten.

Für die übrigen, nicht messtechnisch untersuchten Gebäude wurden als repräsentative Objekte ausgewählt:

Nürnberger Str. 31a (Abstand 13,5 m im Plan-Zustand, Neubau-Streckenabschnitt)

Ebertplatz 1b (größte vorhabensbedingte Abstandsverringerung um 13,5 m)

Für diese Gebäude erfolgten Prognoserechnungen mittels der im Querprofil Freiberger Straße (DREWAG-Gelände) gemessenen Bodenausbreitungsparameter und mit den Übertragungseigenschaften für Holzbalken- und Massivdecken gemäß DB-Richtlinie 820.2050 [10].

Tab. 14 Prognoseergebnisse für Wohngebäude mit geringem Abstand (13,5 m), gerade Strecke, vgl. Anhang 4.2

<i>Nürnberger Str. 31a, Dresden - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Holzbalkendecke</i>				13,5 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)	L _{sekmax}	L _{sek,m}	L _{sek,m}
Prognoseergebnis	0,19	0,08	0,05	Prognoseergebnis	35,3	27,5	23,1
Anhaltswert A _u , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,15	0,105	0,075	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	ja	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 2011			
Prognoseergebnis	0,05	0,23					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

<i>Nürnberger Str. 31a, Dresden - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Massivdecke</i>				13,5 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)	L _{sekmax}	L _{sek,m}	L _{sek,m}
Prognoseergebnis	0,10	0,04	0,02	Prognoseergebnis	38,1	30,2	25,7
Anhaltswert A _u , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,15	0,105	0,075	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	nein	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 2011			
Prognoseergebnis	0,05	0,12					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

Die Ergebnisse für das mehrgeschossige Wohngebäude Ebertplatz 1b mit einer erheblichen vorhabensbedingten Abstandsverringerng werden nachfolgend dargestellt.

Tab. 15 Prognoseergebnisse für Wohngebäude mit Annäherung der Gleisachse um 13,5 m (Anhang 4.3)

<i>Ebertplatz 1b, Dresden - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Holzbalkendecke DB-RiL</i>				17,0 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)	L _{sekmax}	L _{sek,m}	L _{sek,m}
Prognoseergebnis	0,17	0,09	0,05	Prognoseergebnis	34,1	28,0	23,9
Anhaltswert A _u , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,15	0,105	0,075	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	ja	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 2011			
Prognoseergebnis	0,06	0,28					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

<i>Ebertplatz 1b, Dresden - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Massivdecke DB-RiL</i>				17,0 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)	L _{sekmax}	L _{sek,m}	L _{sek,m}
Prognoseergebnis	0,08	0,04	0,02	Prognoseergebnis	36,6	30,4	26,2
Anhaltswert A _u , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,15	0,105	0,075	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	nein	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 2011			
Prognoseergebnis	0,06	0,13					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} hält im Plan-Zustand den jeweiligen Anhaltswert A_r tags und nachts ein. Der berechnete sekundäre Luftschallpegel hält auch in diesem Gebäude die Richtwerte für den Tag und für die Nacht ein.

Die für Fundamente bzw. Geschossdecken prognostizierten maximalen Schwinggeschwindigkeiten von v_{max} < 0,5 mm/s (Freiberger Str. 119: 0,1 mm/s am Fundament, 0,33 mm/s auf der Geschossdecke EG) liegen deutlich unter den zulässigen Anhaltswerten der Norm DIN 4150-3 für Wohngebäude von v_{max} = 5 mm/s bzw. v_{max} = 20 mm/s. Gebäudeschäden sind durch den Straßenbahnverkehr daher mit hoher Sicherheit nicht zu erwarten.

7.3. Zusammenfassende Bewertung - Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Die Ergebnisse der Erschütterungsprognose entsprechend der Bearbeitungsschritte in Pkt. 4.1 finden sich im Anhang 4. Diese enthalten für die Gebäude die frequenzabhängige Ausbreitungsrechnung mit den Ergebnissen der Messung im Ist-Zustand sowie den Zu- und Abschlägen für den Ausbreitungsweg. Die Berechnungsergebnisse werden in Form der Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FT,r}$ zusammengefasst und mit den Anhaltswerten nach DIN 4150, Teil 2 verglichen.

Die detaillierte Erschütterungsprognose hat folgende Auswirkungen der geplanten Baumaßnahme ergeben:

- Der untere Anhaltswert A_u kann an einem Teil der Gebäude überschritten werden, dies entspricht der zu erwartenden Situation an bestehenden Verkehrswegen.
- Im **Gebäude Freiburger Str. 119** (als Typenvertreter für die angrenzende Wohnbebauung mit dem kleinsten Abstand zur Gleisachse im Kurvenbereich) werden die Anhaltswerte A_r und A_o im Planzustand eingehalten. Die Anforderungen nach DIN 4150-2 sind eingehalten.
- Im Gebäude mit dem **kleinsten Plan-Abstand** zum Gleis von 13,5 m im Neubau-Abschnitt (Nürnberger Str. 31a) werden die Anhaltswerte A_r nach DIN 4150-2 am Tage und in der Nacht sicher eingehalten.
- Im Gebäude mit der **vorhabensbedingten Abstandsverringerung um 13,5 m** zum Gleis im Plan-Zustand (Ebertplatz 1b) werden die Anhaltswerte A_r tags und nachts trotz einer vorhabensbedingten Erhöhung der bewerteten Schwingstärke sicher eingehalten, d. h. die Anforderung nach DIN 4150-2 wird erfüllt.
- Alle **übrigen Gebäude** mit schutzbedürftiger Nutzung liegen außerhalb der Abstände, in denen die Überschreitung der Anhaltswerte A_r tags oder nachts (oder des oberen Anhaltswertes A_o) zu erwarten ist. Die Anforderungen nach DIN 4150-2 sind eingehalten.

Erhebliche Belästigungen durch Erschütterungen aus dem Straßenbahnbetrieb sind somit nicht zu erwarten.

7.4. Zusammenfassende Bewertung - sekundärer Luftschall

Im Gebäude Freiburger Str. 119 (als Typenvertreter für die angrenzende Wohnbebauung und als nächstgelegenes Gebäude, Abstand 8,0 m) werden die Richtwerte für den zulässigen sekundären Luftschallpegel L_{sek} nach Tab. 4 eingehalten.

Im Gebäude mit der erheblichen vorhabensbedingten Abstandsverringering zum Gleis um 13,5 m (Ebertplatz 1b) hält der sekundäre Luftschallpegel L_{sek} ebenfalls die aus der 24. BIm-SchV abgeleiteten zulässigen Innenpegel ein.

7.5. Zusammenfassende Bewertung - Gebäudeschäden

Während der Erschütterungsmessungen wurde am Gebäudfundament der Freiburger Straße 119 ein größter Einzelwert der Schwinggeschwindigkeit von maximal $v_{\text{max}} = 0,23$ mm/s ermittelt. In der Prognoserechnung für dieses nächstgelegene Gebäude wird eine Schwinggeschwindigkeit von maximal $v_{\text{max}} = 0,1$ mm/s am Fundament bzw. 0,33 mm/s auf einer Geschossdecke berechnet.

Die in Tab. 2 des Gutachtens zitierten Anhaltswerte wurden im Ist-Zustand bei keinem der erfassten Erschütterungsereignisse auch nur annähernd erreicht.

Aus den Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass durch den Straßenbahn-Schienenverkehr im Planzustand keine gebäudeschädigenden Erschütterungen zu erwarten sind (Anhaltswert für Geschossdecken von Wohngebäuden 15 mm/s, kleinster Anhaltswert für Fundamente bei Gebäuden der Kategorie „erschütterungsempfindlich / denkmalgeschützt“ 3 mm/s).

Gebäudeschäden sind durch den Straßenbahnverkehr daher mit hoher Sicherheit nicht zu erwarten.

7.6. Erschütterungseinwirkung des Straßenverkehrs

Die Erschütterungs-Immission des Straßenverkehrs liegt aufgrund der Gummibereifung bei ähnlichem Abstand zum Gebäude generell deutlich unter der des Straßenbahnverkehrs.

Eine gesonderte zahlenmäßige Auswertung hierzu ist nicht erforderlich.

Auf einer, wie geplant, neu hergestellten mängelfreien Oberfläche mit Asphaltbelag sind Schwinggeschwindigkeiten des Straßenverkehrs zu erwarten, die deutlich niedriger liegen als bei Straßenbahn-Vorbeifahrten. Der Anteil des Straßenverkehrs an der Gesamt-Immission bleibt damit vernachlässigbar gering.

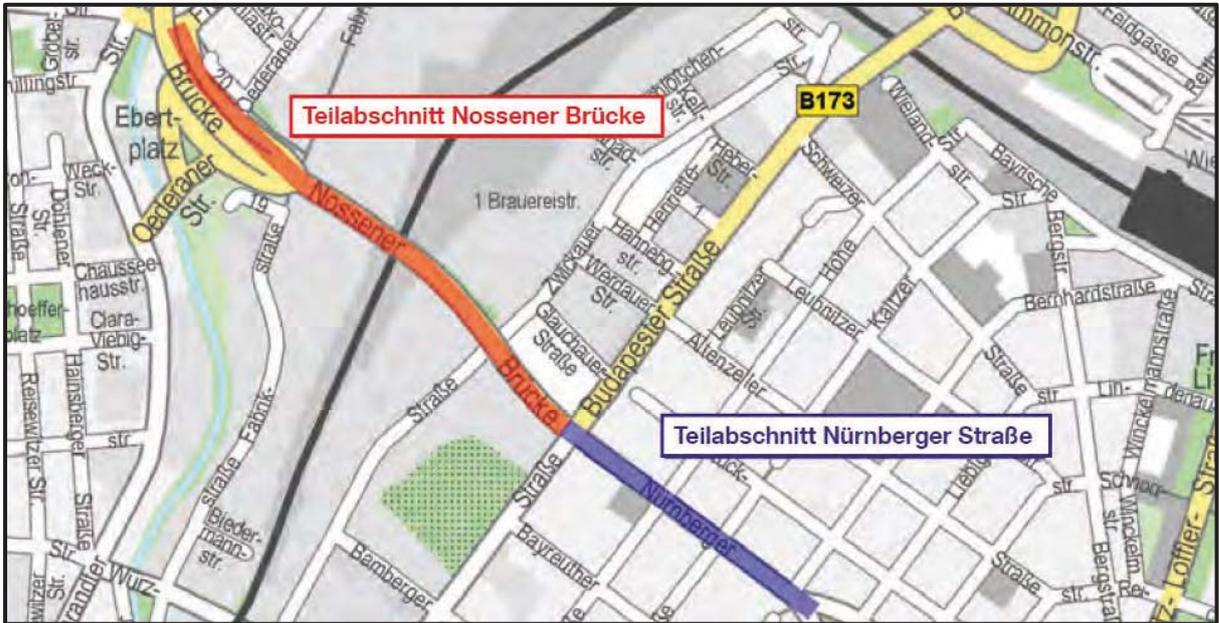
8. Normen und Literatur

- [1] Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert Art. 3, 18.07.2017 (BGBl. I S. 2771)
- [2] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung - BauNVO); BGBl. I, S. 133, 26.01.1990, zuletzt geändert 04.05.2017 (BGBl. I S. 1057)
- [3] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes - Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmen - 24. BImSchV) vom 4. Februar 1997; BGBl. Teil I, Jg. 1997 S. 172, letzte Änderung 23.09.1997
- [4] Umwelt-Leitfaden zur eisenbahnrechtlichen Planfeststellung und Plangenehmigung sowie für Magnetschwebbahnen, Teil VI Schutz vor Schallimmissionen aus Schienenverkehr; Eisenbahn-Bundesamt Berlin; Dezember 2012
- [5] DIN 4150; Teil 2; Juni 1999: Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
- [6] DIN 4150; Teil 3; Dezember 2016: Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf bauliche Anlagen
- [7] DIN 45672-1; Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenwegen; Teil 1: Messverfahren; Februar 2018
- [8] DIN 45669-2; Messung von Schwingungsimmissionen, T. 2: Messverfahren, Juni 2005
- [9] VDI 3837; Erschütterung in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen, Januar 2013
- [10] Erschütterungen und sekundärer Luftschall; Richtlinie 820.2050, Deutsche Bahn AG, Bautechnik, Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik, 15.09.2017
- [11] Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes Az. BVerwG 7A14.09 vom 21.12.2010
- [12] VDI 2057 Blatt 3; Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Beurteilung; Ausgabe Mai 1987
- [13] Keil, Koch, Garburg: Schutz vor Lärm und Erschütterungen, in: Handbuch Eisenbahninfrastruktur, S. 785ff., Springer-Verlag Berlin/Heidelberg, 2007
- [14] Krüger, F. u.a.: Schall- u. Erschütterungsschutz im Schienenverkehr, expert-Verlag, Renningen, 2001; S. 200 und S. 451
- [15] Verfügung zum Umgang mit betriebsbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall in der Planfeststellung, Eisenbahn-Bundesamt, Bonn, 30.01.2017
- [16] Vergleich der Straßenbahn-Oberbauarten Fritz-Reuter-Straße; Beurteilung anhand von Erschütterungs- und Schalldruckpegelmessungen; Bericht Nr. 11-2412 / 01, cdf Schallschutz, 28.09.2011
- [17] Unterlage 17.1.1 Schalltechnische Untersuchung, EIBS Entwurfs- und Ingenieurbüro Straßenwesen GmbH, Dresden, 29.06.2020, Seite 7
- [18] Unterlage 1 Erläuterungsbericht, Dresdner Verkehrsbetriebe AG, Bearbeitungsstand: 03.07.2020
- [19] Straßenbahn-Linienfahrten im Zuge der Freiburger Straße - Prognose 2030, Dresdner Verkehrsbetriebe AG, Gruppe Verkehrsplanung, 26.08.2020

9. Anhänge

Anhang 1 Lageplan, Flächennutzungsplan

Übersichts-Lageplan

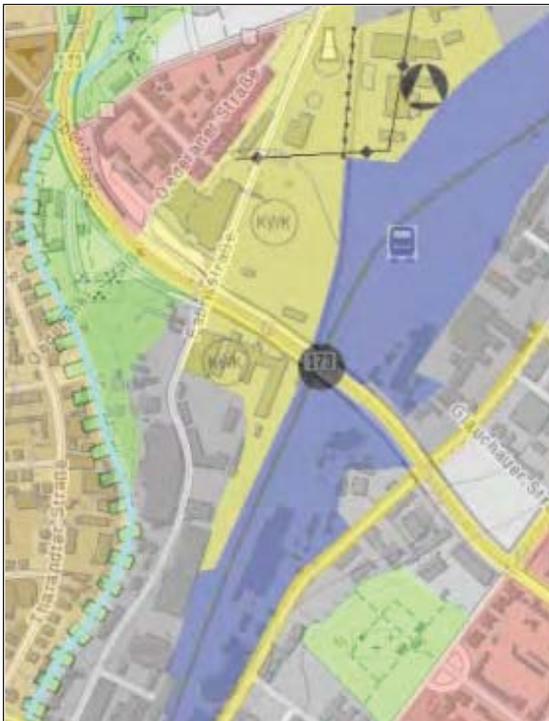


Bildquelle: DVB-Faltblatt "Stadtbahn Dresden 2020, Teilprojekt: Nossener Brücke - Nürnberger Straße"

Lagepläne 1:1000 mit Gleisachsen und Nachbarbebauung siehe Anhang 5

Auszug aus dem Flächennutzungsplan der Stadt Dresden, Stand 2019

(Quelle: Themenstadtplan)



Landeshauptstadt Dresden
Flächennutzungsplan
 in den Stadtgrenzen vom 1. Januar 1999

Legende

Bauflächen

- Wohnbaufläche mit hoher Wohndichte
- Wohnbaufläche mit geringer Wohndichte
- Gemischte Baufläche
- Gemischte Baufläche mit Kerngebietsfunktion
- Zweckbestimmung für Bauflächen mit Kerngebietsfunktion
- Z Stadtzentrum
- O Ortsteilzentrum
- W Wohnnahes Zentrum
- Gewerbliche Baufläche
- Gewerbliche Baufläche mit geringem Störungsgrad
- Sonderbaufläche

Bahnanlagen

Fuß- bzw. Radweg

Flächen für Ver- und Entsorgungsanlagen

E Elektrizitätswerk/Trafostation

Anhang 2 Verkehrsmengen und Geschwindigkeiten

gemäß der Schallimmissionsprognose [17]

Stadtbahn Dresden 2020, Stadtbahn-Neubaustrecke
Nossener Brücke – Nürnberger Straße (Teilstrecke 1.2)
Erläuterungsbericht Schalltechnische Untersuchung

Unterlage 17.1.1
Seite 7/16

4.3 Verkehrsbelastung und Emissionspegel

Straßenbahn (Schiene)

Die Zugbelegungszahlen wurden von der Dresdner Verkehrsbetriebe AG (DVB AG) mit E-Mail vom 30.09.2015/ 26.10.2016 [6] (als Endstand inklusive Prognosenullfall) zur Verfügung gestellt. Für die Ermittlung der Verkehrsbelastungen wurden die von der DVB AG übermittelten Taktzeiten bezogen auf Montag – Freitag (dichtestes Taktangebot) zu Grunde gelegt und die entsprechende Anzahl der Züge für den Tag- und Nachtzeitraum ermittelt.

Tabelle 2: Verkehrsbelastungszahlen Zugbelegung – Prognose 2030

Linie	Fahrten pro Richtung	
	Tag (6:00-22:00 Uhr)	Nacht (22:00-6:00 Uhr)
7	90	19
14	89	13

Folgende Parameter wurden den Berechnungen zu Grunde gelegt:

Zuglänge Linie 14: 45 m (Anzahl Fahrten tags: 45, nachts 6)
30 m (Anzahl Fahrten tags: 44, nachts 7)
Zuglänge Linie 7: alle Fahrten mit 45 m

gemäß Erläuterungsbericht [18]

4.3 Linienführung

Maßgebend für die Trassierung der Verkehrsanlage ist die sich in Mittellage befindende Stadtbahntrasse, für welche die Bemessungswerte der TRStrab Trassierung anzuwenden sind. Die Entwurfsgeschwindigkeit v_e wird für den besonderen Bahnkörper zwischen Ebertplatz und Nürnberger Ei mit 60 km/h festgelegt. Im Bereich des straßenbündigen Bahnkörpers beträgt die Entwurfsgeschwindigkeit v_e grundsätzlich 50 km/h. Die Spurweite beträgt 1.450 mm.

4.3.3 Linienführung im Lageplan

Die geplanten Gleisachsen bestimmen maßgeblich die Trassierung im Lageplan. Die Bezugsachse der Trassierung ist das südliche (stadteinwärtige) Streckengleis.

Die Trassierung am Bauanfang nimmt den im Teilabschnitt 1.1 realisierten Gleisachsabstand von 3,00 m auf. Im Gleisdreieck Ebertplatz sind Bogenerweiterungen zur Gewährleistung der Begegnung von Straßenbahnen notwendig. Es sind unterschiedliche Gleisbogenradien von 31 m bis 48 m vorgesehen. Für die Einordnung der Weichen wurden entsprechend lange Geraden geplant, so dass gerade Zungenvorrichtungen mit Radien von 50 m bzw. 100 m (Freiberger Straße) möglich sind. Die Gleisbogenradien im Ebertplatz lassen eine zulässige Geschwindigkeit von mindestens 20 km/h zu. An den Ebertplatz schließt ein Gleisbogen mit einem Radius von 250 m an. Zur Erreichung der zulässigen Geschwindigkeit von 60 km/h ist die Einordnung einer Überhöhung von 25 mm in diesem Bogen erforderlich. Eine Vergrößerung des Radius zur Trassierung mit Regelwerten ist aufgrund der Zwangspunkte (Widerlager Löbtauer Brücke) nicht möglich.

**Straßenbahn-Linienfahrten im Zuge der Freiburger Straße
(Linie 12, Prognose 2030)**

Dresdner Verkehrsbetriebe AG
Gruppe Verkehrsplanung

Stadtbahn Dresden 2020, Teilstrecke 1.2: Nossener Brücke – Nürnberger Straße

Straßenbahn-Linienfahrten im Zuge der Freiburger Straße

Prognose 2030 mit Stadtbahn Dresden 2020 (ohne Dienstfahrten, ohne zusätzliche Fahrten bei temporären Umleitungen etc.)

Linie	Fahrten pro Richtung							
	Fahrzeugtyp montags - freitags	montags bis freitags		Fahrzeugtyp samstags/sonn- und feiertags	samstags		sonn-/feiertags	
		6 - 22 Uhr	22 - 6 Uhr		6 - 22 Uhr	22 - 6 Uhr	6 - 22 Uhr	22 - 6 Uhr
12	30-/45-m-Stadtbahn NGTD8DD/NGTD12DD*	91	11	30-m-Stadtbahn NGTD8DD	59	10	57	10
Aus-/Einrücken Btf. Gorbitz	45-m-Stadtbahn NGTD12DD	4	10	45-m-Stadtbahn NGTD12DD	4	8	3	7

* 30-/45-m-Fahrzeugeinsatz jeweils im Wechsel (50:50)

Anhang 3 Emissionsdaten der Straßenbahn (Messung)

Anhang 3.1 Messprotokoll

I. Allgemeine Angaben

Messpersonal: Dipl.-Ing. Lorenz Wiedemann, Dipl.-Ing. Rajko Berger

Ort: 01159 Dresden, Freiburger Straße 119 und Flurstück 522/4 (DREWAG)

Datum, Zeit: 11.08.2020, 10:00 - 12:00 Uhr und 13:20 - 14:20 Uhr

II. Gegenstand der Messungen

- DIN 45672 Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen
Teil 1 - Messverfahren [7]
Teil 2 - Auswertverfahren

III. Betriebsbedingungen, Oberbau

- Messung während Straßenbahn-Vorbeifahrten (Regelbetrieb) in der Richtung Zentrum / Weixdorf / Striesen (nächstgelegenes Gleis), Linien 7 und 12
- Oberbau-Typ: Rillenschiene auf 7 mm Zwischenlage, 12 mm Rippenplatte, 2 mm Unterlage und Betonschwelle TBS1450 (Höhe Freiburger Str. 119) bzw. Betonschwelle B1500 (Höhe DREWAG/Kühlturm)

IV. Messgeräte

Funktion	Typ	Serien-Nr.	Fabrikat
Schwingungsmessgerät 3 mit 4x 1D-Geophon PE-3	SMK-401	02540392	Dr. Kebe
Schwingungsmessgerät 1 mit 3D-Geophon PE-6	SMK-3	01420591	Dr. Kebe
A/D-Datenerfassungskarte	KPCMCIA-12AI-C	19391	Keithley
Elektrodynamischer Eichtisch	11031	1024	Robotron
Infrarot-Lichtschranke mit Spiegel	HL2-31	Tag Heuer	8576, 8577
PC-Messsystem	MEDA	MEDA 2019-1	WÖLFEL Monitoring Systems
Meteo-Station	GFTB 100	-	GSG

Die verwendeten Messaufnehmer entsprechen der Klasse 2 nach DIN 45669-1. Die letzte Kalibrierung mithilfe eines akkreditierten Kalibrierlaboratoriums erfolgte im November 2018. Die Funktionsfähigkeit der Messkette wurde am Messort mittels Probeanregung (Klopfest) überprüft.

V. Durchführung der Messungen

- Messung des Zeitverlaufes der Schwinggeschwindigkeit v jeweils während der Straßenbahn-Vorbeifahrt
- Speicherung auf PC
- Berechnung der MAX HOLD-Terzspektren L_v und der bewerteten Schwingstärke KB
- Messung der Fahrtgeschwindigkeit

VI. Witterungsbedingungen

Temperatur:	+25 °C (10:30 Uhr) bzw. +31 °C (13:30 Uhr)	Wind:	< 1 m/s Nord
Niederschlag:	niederschlagsfrei	Luftdruck:	1004 hPa (Messort)
Wolken:	1/8	rel. Luftfeuchte:	70 %(10:30 Uhr) bzw. 45% (13:30 Uhr)

VII. Messpunkte im Gebäude

- **MP 1x,y,z** Gebäudefundament, straßenseitige Keller-Außenwand, Messung in alle Richtungskomponenten (z-, x-, y-Richtung)
- **MP 2z** EG rechts, Wohnraum, Deckenmitte, Messung in z-Richtung (vertikal)
- **MP 3z** 4.OG links, Wohnraum, Deckenmitte, Messung in z-Richtung (vertikal)
- **MP 4z** Fußweg vor dem Gebäude = Emissionsmesspunkt 8,0 m vom nächstgelegenen Gleis, Messung in z-Richtung (vertikal)



Abb. 1 Straßenansicht und Lage - Gebäude Freiberger Straße 119

Lage des Objektes:	östlich der Straßenbahnstrecke, Linie 7 / 12 Flurstück 323/1
Beschreibung:	fünfgeschossiger Massivbau, unterkellert, Holzbalkendecken Bj. 1900, Wohngebäude, zuletzt saniert 2002, bewohnt
Gelände:	Lage des Straßenbahngleises zum Gebäude: niveaugleich Gelände im Ausbreitungsweg: befestigter Fußweg + Straße



Abb. 2 Messaufnehmer am Gebäudefundament (Keller straßenseitig, MP 1 x/y/z Gebäude)



Abb. 3 Messaufnehmer im Erdgeschoss (Wohnzimmer straßenseitig re., MP 2z Gebäude)



Abb. 4 Messaufnehmer im 4. Obergeschoss (Wohnzimmer straßenseitig li., MP 3z Gebäude)



Abb. 5 Lichtschranken zur Geschwindigkeitsmessung, Fahrbahn vor dem untersuchten Gebäude

VIII. Messpunkte der Ausbreitungsmessung

- Erdspieße im Boden
8 m, 17 m, 25 m, 33 m zur nächstgelegenen Gleisachse; Messung in z-Richtung (vertikal)



Abb. 6 Lageplan des Messobjektes (Boden-Messpunkte entlang der farbigen Linie)

Lage des Objektes:	DREWAG-Gelände, Flurstück 522/4
Beschreibung:	unbebautes Gelände mit technischen Anlagen (Rohrleitung)
Gelände:	Lage des Straßenbahngleises zum Gebäude: nahezu niveaugleich Gelände im Ausbreitungsweg: befestigter Fußweg, Rasen, Gebüsch, betriebsinterne Straße

- **MP 1z 8 m** Erdboden, Rasen neben dem Fußweg, z-Richtung (vertikal)
- **MP 2z 17 m** Erdboden, Spalt im Asphaltbelag, z-Richtung (vertikal); Ankopplung nur mangelhaft realisierbar, Terzspektren nicht verwendet
- **MP 3z 25 m** Erdboden, Rasen, z-Richtung (vertikal)
- **MP 4z 33 m** Erdboden, Rasen, z-Richtung (vertikal)



Abb. 7 Messaufnehmer 8 m Abstand zum nächstgelegenen Gleis (MP 1z Boden)



Abb. 8 Messaufnehmer in 17 m Abstand zum nächstgelegenen Gleis (MP 2z Boden); Erdspieß nicht in ausreichender Tiefe einbringbar



Abb. 9 Messaufnehmer in 25 m Abstand zum nächstgelegenen Gleis (MP 3z Boden)



Abb. 10 Messaufnehmer in 33 m Abstand zum nächstgelegenen Gleis (MP 4z Boden)



Abb. 11 Standorte der Lichtschranken zur Geschwindigkeitserfassung



Abb. 12 Fahrzeug, Gleiszustand zum Zeitpunkt der Messung

Anhang 3.2 Messwerte des Straßenbahnverkehrs (Ist-Zustand)

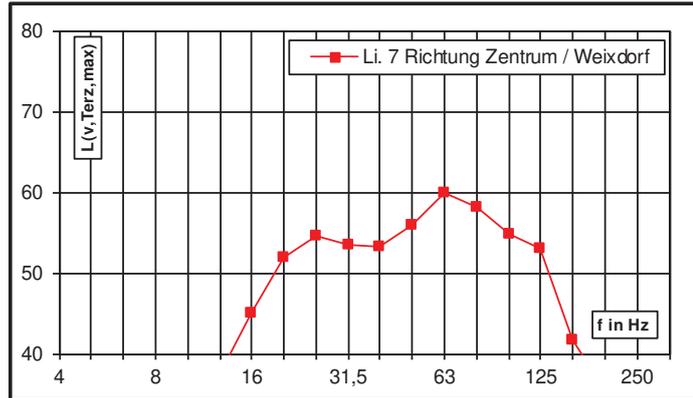
Erschütterungsmessung - Straßenbahnverkehr

Freiberger Straße 119, 01159 Dresden		MP 2z - EG, Wohnraum, z (vertikal)	Ist-Zustand	
Gebietstyp	W	W = Wohngebiet	Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	
		M = Mischgebiet / Außenb.	tags	nachts
		G = Gewerbegebiet	unterer Anhaltswert A_u	0,225 0,150
		I = Industriegebiet	oberer Anhaltswert A_o	3,00 0,60
		K = besondere Gebiete	Anhaltswert A_i	0,105 0,075

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

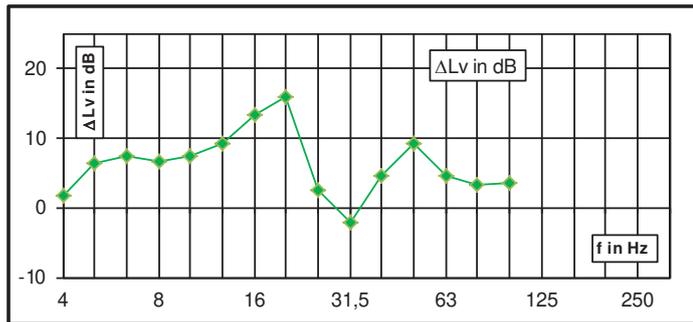
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
NGT D12DD (45 m)	30	280	70
NGT D8DD (30 m)	30	90	10
Zugzahlen = Li. 7 + 12 Prognose 2030			



Übertragungsweg

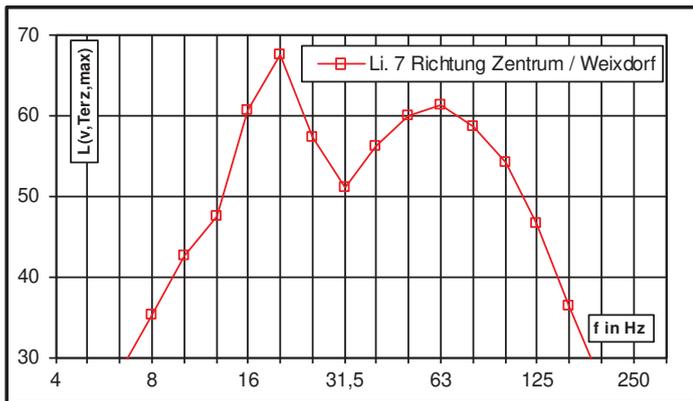
$\Delta L_v = L_v(\text{IO}) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke) EG

Gebäudeabstand	8,0 m
Deckentyp	Holzbalkendecke



Erschütterungs-lmmission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 10^{-5} \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal



Bewertete Schwingstärke KB					
		KB_{Fmax}	KB_{FTm}	KB_{FTr}	KB_{FTTr}
		Messwert	Messwert	Tag	Nacht
NGT D12DD (45 m)	Linie 7	0,16	0,13	0,06	0,03
NGT D8DD (30 m)	Linie 12	0,13	0,10	0,03	0,01
gesamt		0,16	0,13	0,07	0,03

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
KB_{Fmax}	KB_{Fmax}	KB_{Fmax}	KB_{Fmax}	KB_{FTr}	KB_{FTTr}
$> A_u$	$> A_u$	$> A_o$	$> A_o$	$> A_i$	$> A_i$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	ja	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v			
am Fundament	$v_{max} =$	0,04	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$	0,17	mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3		
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s	nein

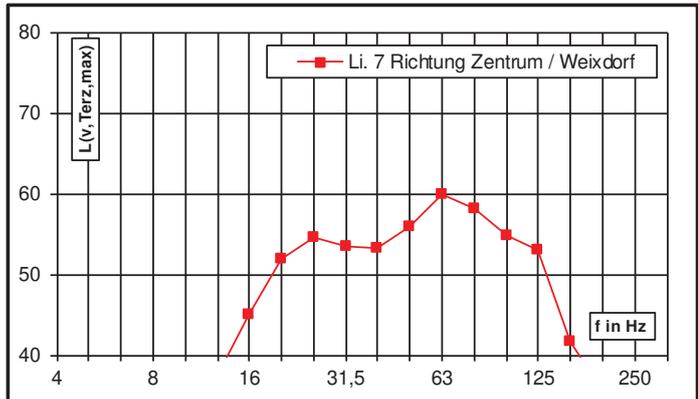
Erschütterungsmessung - Straßenbahnverkehr

Freiberger Straße 119, 01159 Dresden		MP 3z - 4.OG, Wohnraum, z (vertikal)	Ist-Zustand			
Gebietstyp	W	W = Wohngebiet	Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts	
		M = Mischgebiet / Außenb.		unterer Anhaltswert A_u	0,225	0,150
		G = Gewerbegebiet		oberer Anhaltswert A_o	3,00	0,60
		I = Industriegebiet		Anhaltswert A_r	0,105	0,075
		K = besondere Gebiete				

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

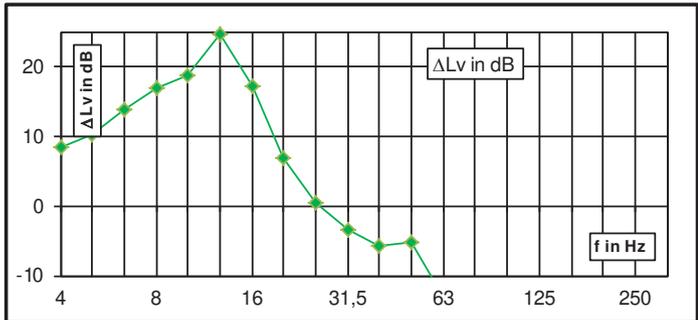
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
NGT D12DD (45 m)	30	280	70
NGT D8DD (30 m)	30	90	10
Zugzahlen = Li. 7 + 12 Prognose 2030			



Übertragungsweg

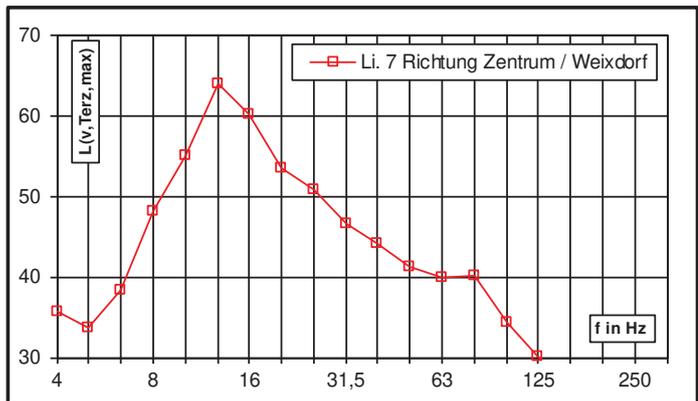
$\Delta L_v = L_v(10) - L_v(8m-MP)$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke) 4.OG

Gebäudeabstand	8,0 m
Deckentyp	Holzbalkendecke



Erschütterungs-Immission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 10^{-5} \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal



Bewertete Schwingstärke KB					
		KB_{Fmax}	KB_{FTm}	KB_{FTt}	KB_{FTt}
		Messwert	Messwert	Tag	Nacht
NGT D12DD (45 m)	Linie 7	0,18	0,09	0,03	0,02
NGT D8DD (30 m)	Linie 12	0,19	0,10	0,02	0,01
gesamt		0,19	0,10	0,04	0,03

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
KB_{Fmax}	KB_{Fmax}	KB_{Fmax}	KB_{Fmax}	KB_{FTt}	KB_{FTt}
$> A_u$	$> A_u$	$> A_o$	$> A_o$	$> A_r$	$> A_r$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	ja	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v			
	v_{max}		
am Fundament	$v_{max} = 0,04$	mm/s	
auf der Geschossdecke	$v_{max} = 0,11$	mm/s	

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3		
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s	nein

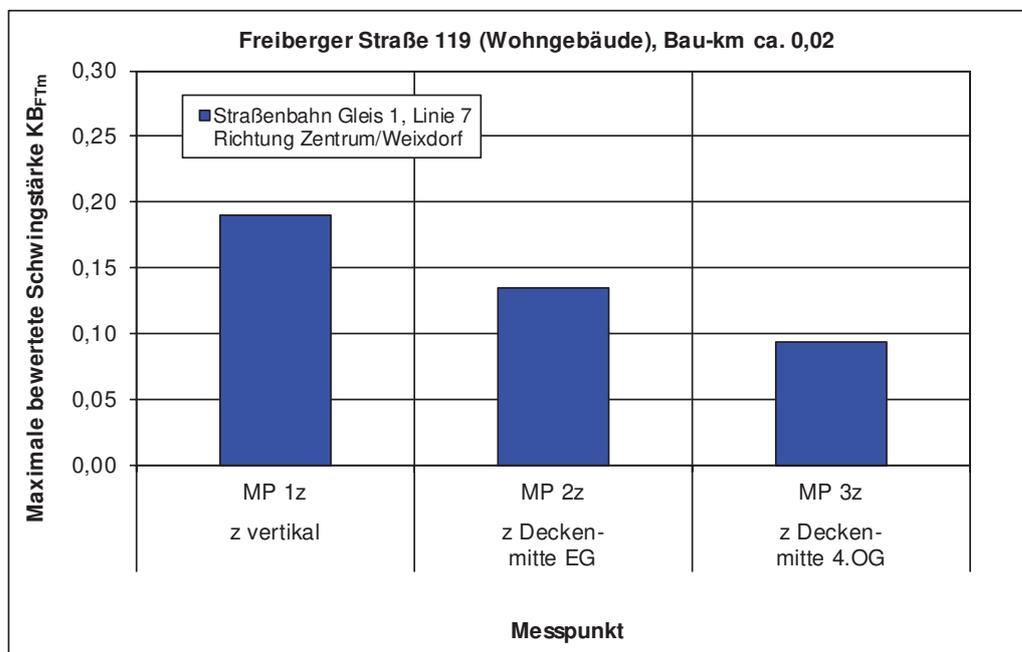
Maximalwerte der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} , Messwerte Ist-Zustand

Messobjekt: Freiburger Straße 119 (Wohngebäude), Bau-km ca. 0,02
 Datum: 11.08.2020

bahnseitige Fassade: West

Gleis-Nr., bezogen auf Messobjekt: 1 - nächstgelegenes Gleis (Bestand) Richtung Zentrum ->
 2 - Gleis (Bestand) Gegenrichtung <-

Datei/Uhrzeit	Zug-Nr./Fahrzeug	Fahrt-richt.	Fahr-geschw.	Zuglänge	Fundament	Wohnraum	Wohnraum
					z vertikal	z Decken-mitte EG	z Decken-mitte 4.OG
			km/h	m	MP 1z	MP 2z	MP 3z
<i>Straßenbahn Gleis 1, Linie 7 Richtung Zentrum/Weixdorf</i>							
10-14-51	NGT D12DD	->	23	45	0,064	0,124	0,053
10-27-09	NGT D12DD	->	22	45	0,026	0,116	0,083
10-35-47	NGT D12DD	->	28	44	0,038	0,125	0,055
10-46-55	NGT D12DD	->	32	44	0,033	0,158	0,045
10-56-55	NGT D12DD	->	26	45	0,035	0,154	0,067
11-05-46	NGT D12DD	->	28	45	0,022	0,125	0,073
11-17-54	NGT D12DD	->	33	44	0,009	0,065	0,160
11-27-10	NGT D12DD	->	31	44	0,411	0,156	0,178
11-37-13	NGT D12DD	->	32	45	0,298	0,152	0,061
11-44-59	NGT D12DD	->	27	44	0,311	0,143	0,054
energet. Mittelwert KB_{FTm}					0,19	0,13	0,09
Maximalwert KB_{Fmax}					0,41	0,16	0,18



Die Fahrzeuglänge wurde aus den erfassten Lichtschranken-Messwerten berechnet und unterliegt dementsprechend einer technisch begrenzten Genauigkeit.

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Freiburger Straße 119, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

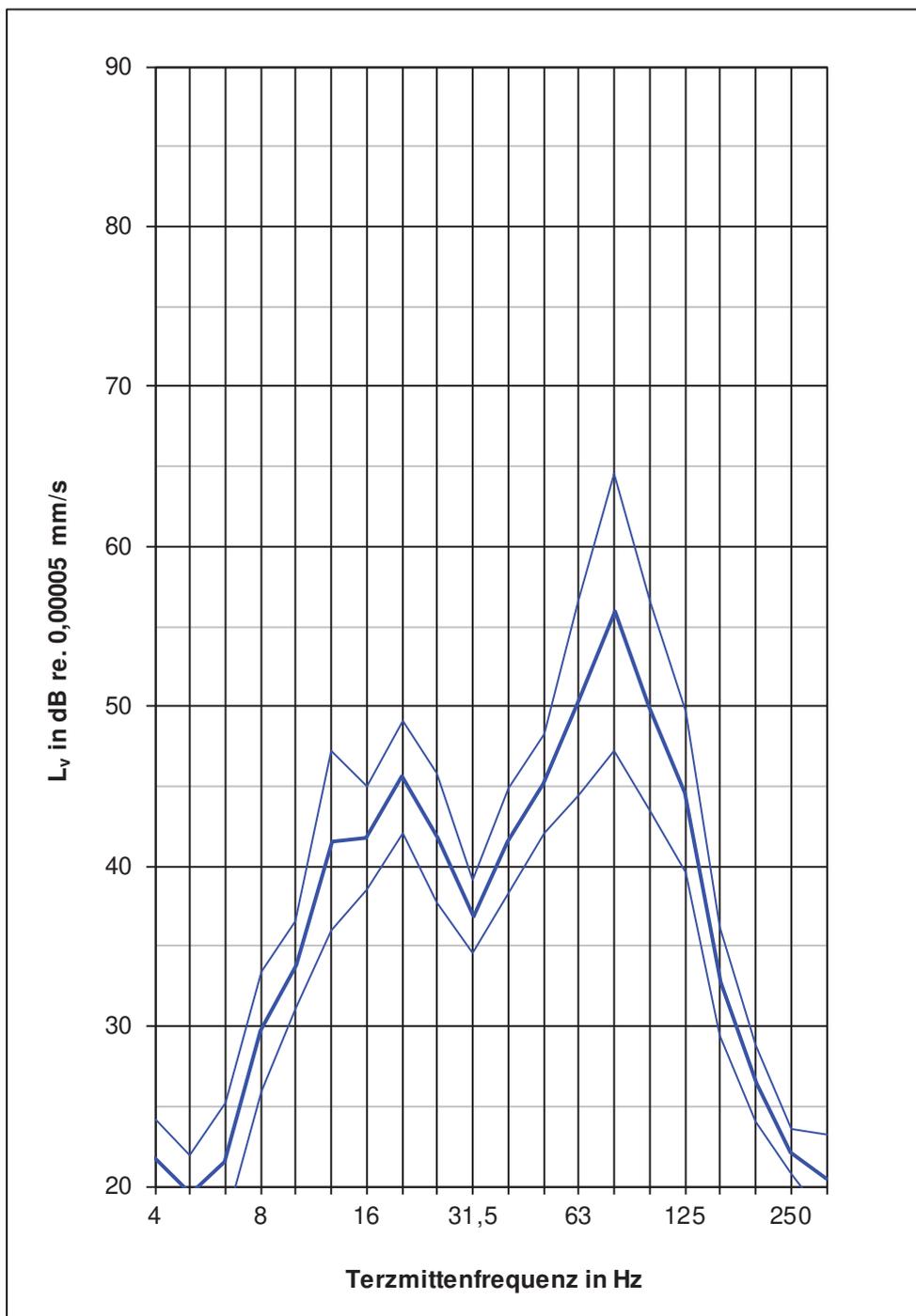
Zuggattung: **Straßenbahn (NGT D12DD)**

Geschwindigkeit: 23...33 km/h

Gleis: **Li. 7 Richtung Zentrum / Weixdorf**

ausgewertete Vorbeifahrten: 9

Messpunkt: **MP 1z - Fundament, z (vertikal)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Freiburger Straße 119, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

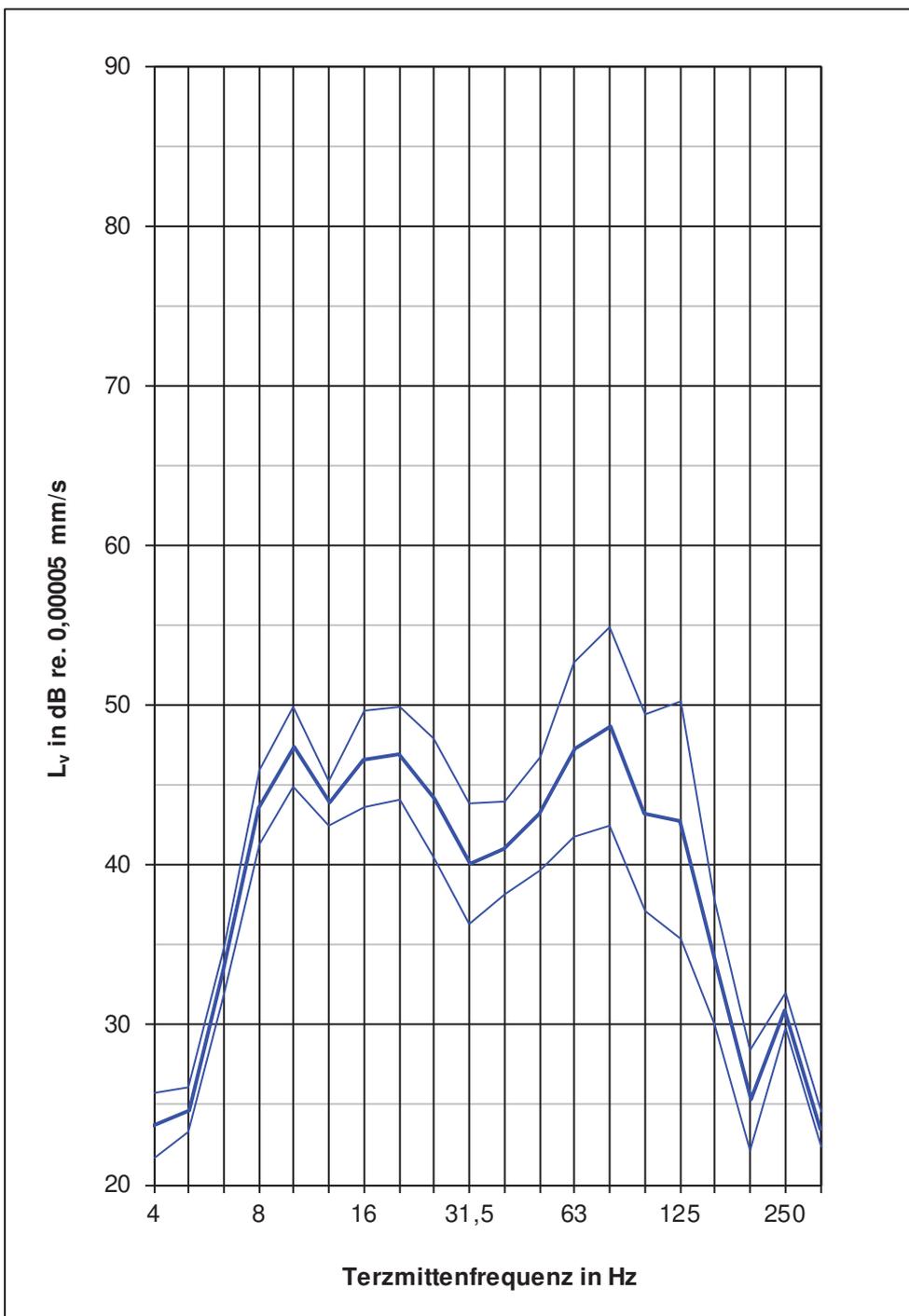
Zuggattung: **Straßenbahn (NGT D12DD)**

Geschwindigkeit: 23...33 km/h

Gleis: **Li. 7 Richtung Zentrum / Weixdorf**

ausgewertete Vorbeifahrten: 9

Messpunkt: **MP 1x - Fundament (horizontal, parallel zum Gleis)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Freiburger Straße 119, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

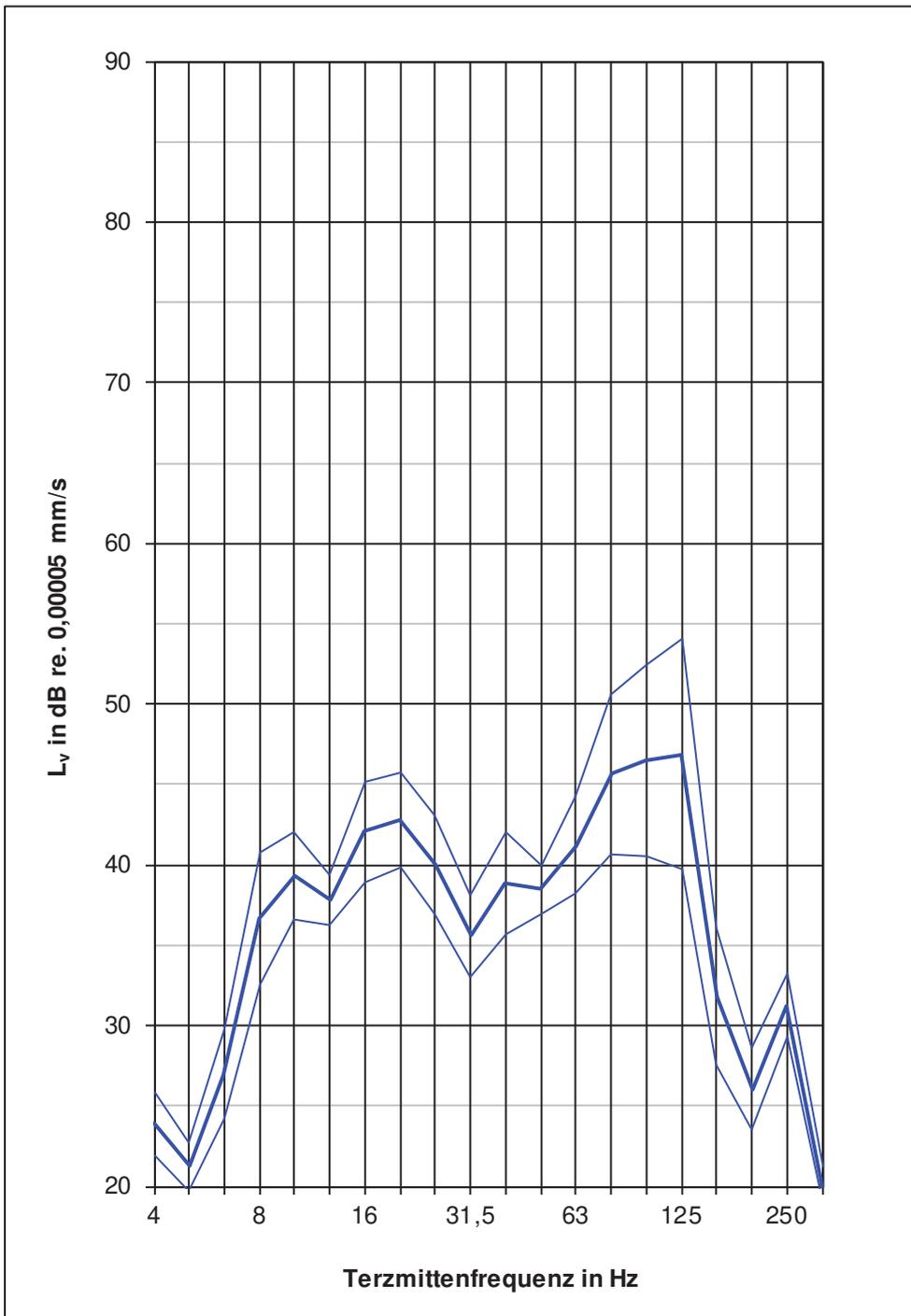
Zuggattung: **Straßenbahn (NGT D12DD)**

Geschwindigkeit: 23...33 km/h

Gleis: **Li. 7 Richtung Zentrum / Weixdorf**

ausgewertete Vorbeifahrten: 9

Messpunkt: **MP 1y - Fundament (horizontal, senkrecht zum Gleis)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Freiburger Straße 119, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

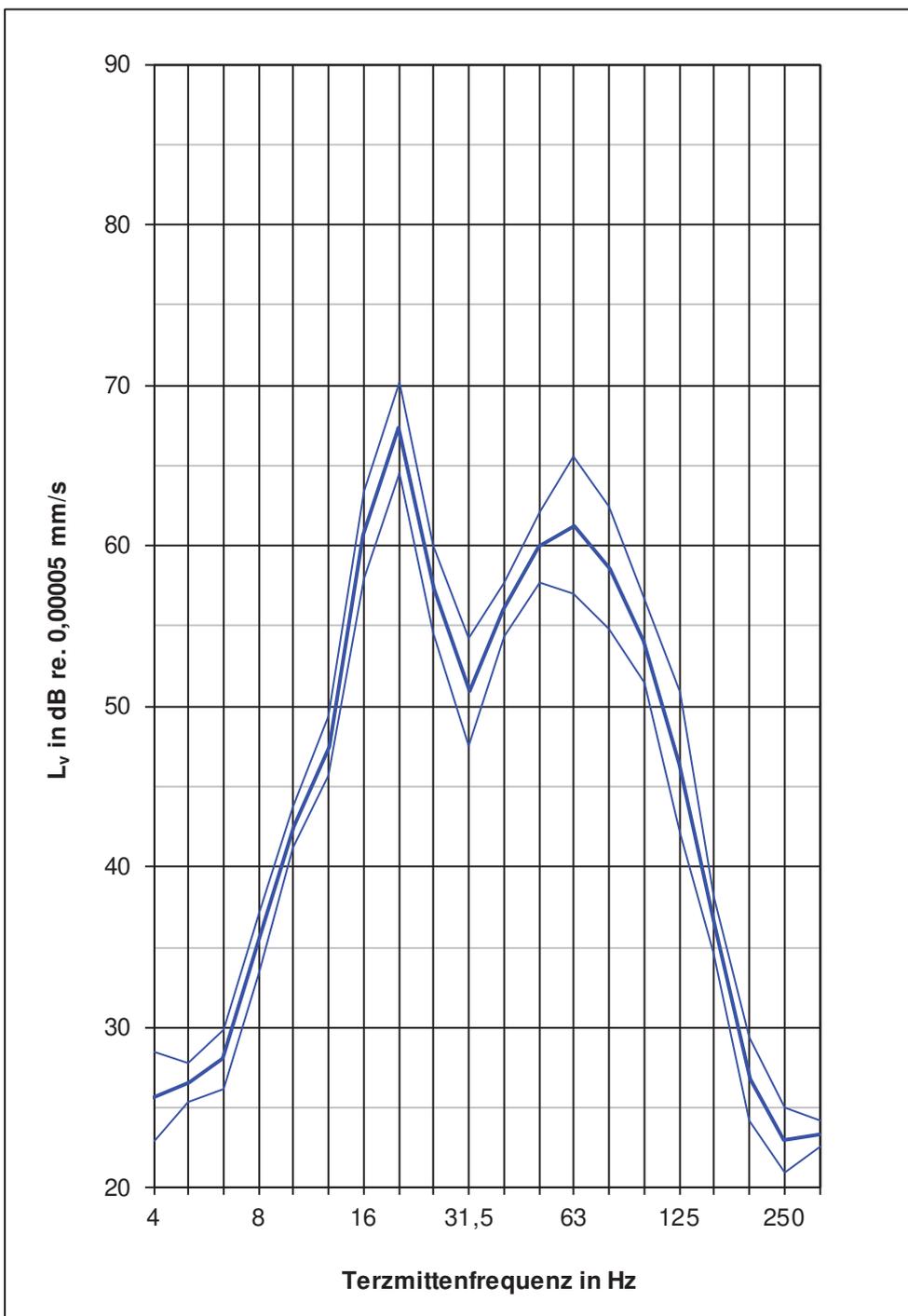
Zuggattung: **Straßenbahn (NGT D12DD)**

Geschwindigkeit: 23...33 km/h

Gleis: **Li. 7 Richtung Zentrum / Weixdorf**

ausgewertete Vorbeifahrten: 10

Messpunkt: **MP 2z - EG, Wohnraum, z (vertikal)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Freiburger Straße 119, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

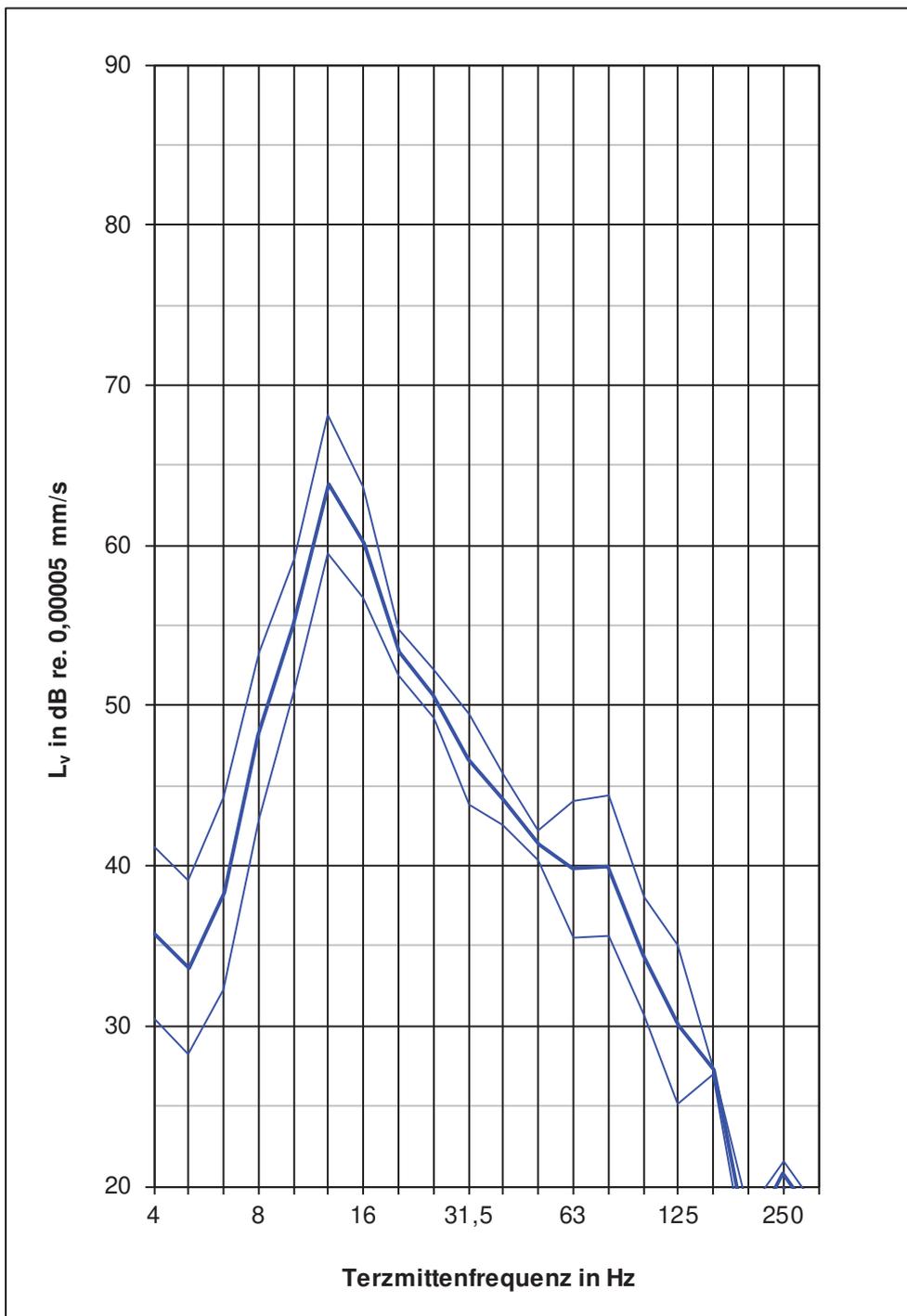
Zuggattung: **Straßenbahn (NGT D12DD)**

Geschwindigkeit: 23...33 km/h

Gleis: **Li. 7 Richtung Zentrum / Weixdorf**

ausgewertete Vorbeifahrten: 10

Messpunkt: **MP 3z - 4.OG, Wohnraum, z (vertikal)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Freiburger Straße 119, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

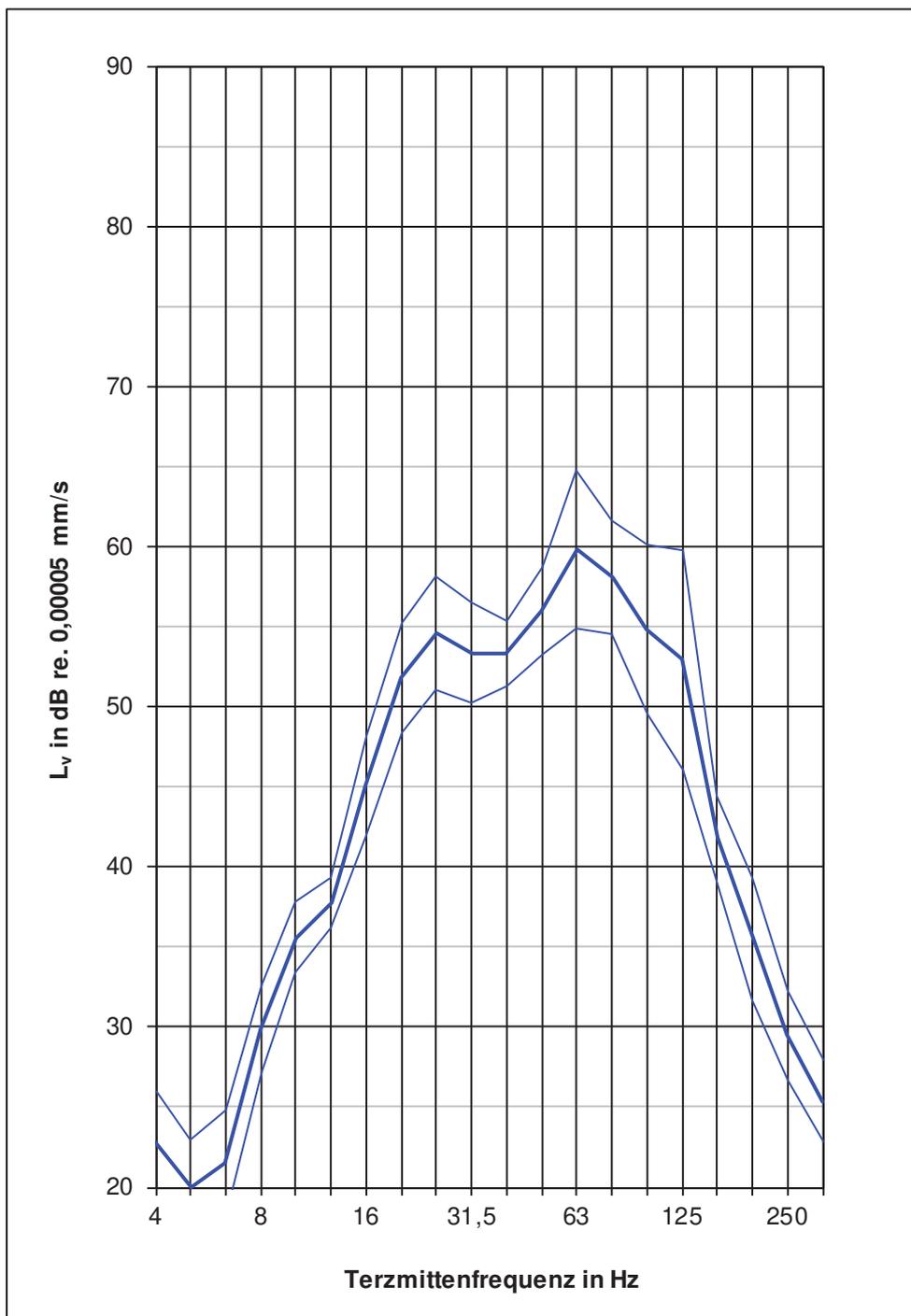
Zuggattung: **Straßenbahn (NGT D12DD)**

Geschwindigkeit: 23...33 km/h

Gleis: **Li. 7 Richtung Zentrum / Weixdorf**

ausgewertete Vorbeifahrten: 10

Messpunkt: **MP 4z - Fußweg am Gebäude = 8,0 m vom Gleis, z (vertikal)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

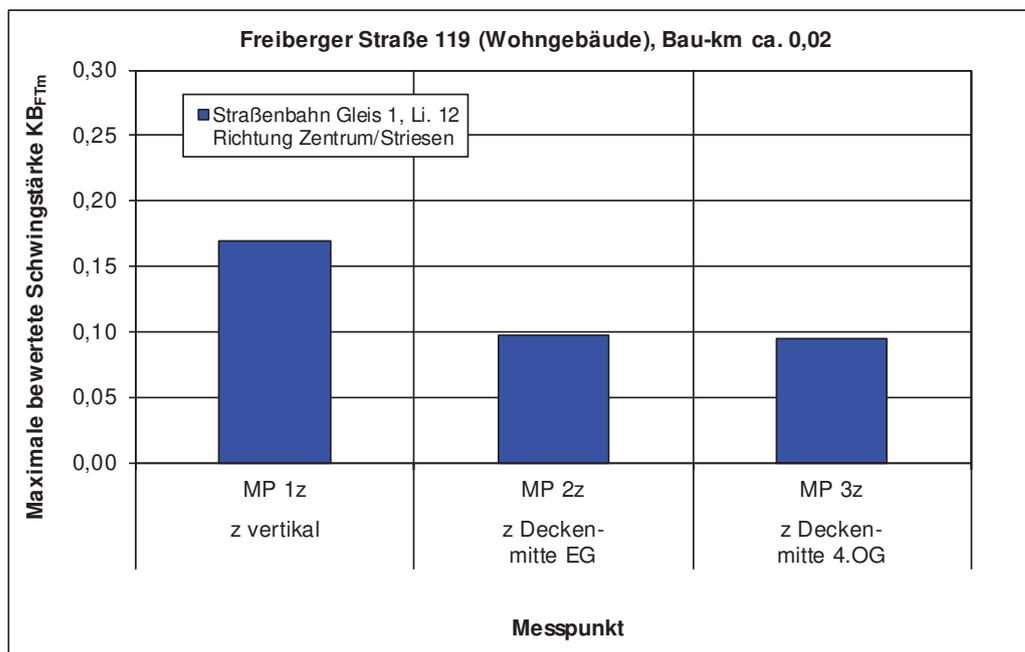
Maximalwerte der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} , Messwerte Ist-Zustand

Messobjekt: Freiburger Straße 119 (Wohngebäude), Bau-km ca. 0,02
 Datum: 11.08.2020

bahnseitige Fassade: West

Gleis-Nr., bezogen auf Messobjekt: 1 - nächstgelegenes Gleis (Bestand) Richtung Zentrum ->
 2 - Gleis (Bestand) Gegenrichtung <-

Datei/Uhrzeit	Zug-Nr./Fahrzeug	Fahrt-richt.	Fahr-geschw.	Zuglänge	Fundament	Wohnraum	Wohnraum
					z vertikal	z Decken-mitte EG	z Decken-mitte 4.OG
			km/h	m	MP 1z	MP 2z	MP 3z
<i>Straßenbahn Gleis 1, Li. 12 Richtung Zentrum/Striesen</i>							
10-25-08	NGT D8DD / NGT 6 DD	->	26	32	0,009	0,059	0,086
10-42-04	NGT D8DD / NGT 6 DD	->	27	31	0,014	0,103	0,037
10-53-42	NGT D8DD / NGT 6 DD	->	25	30	0,011	0,079	0,191
11-10-13	NGT D8DD / NGT 6 DD	->	33	32	0,011	0,064	0,087
11-25-23	NGT D8DD / NGT 6 DD	->	26	30	0,069	0,126	0,057
11-41-36	NGT D8DD / NGT 6 DD	->	26	30	0,313	0,121	0,046
11-53-33	NGT D8DD / NGT 6 DD	->	27	31	0,312	0,110	0,072
energet. Mittelwert KB_{FTm}					0,17	0,10	0,10
Maximalwert KB_{Fmax}					0,31	0,13	0,19



Im Messzeitraum verkehrten sowohl Straßenbahnen des Bautyps NGT D8DD als auch NGT 6 DD. Die Messwerte stellen somit Mittelwerte über die beiden Typen von 30m-Zügen dar.

Die Fahrzeuglänge wurde aus den erfassten Lichtschranken-Messwerten berechnet und unterliegt dementsprechend einer technisch begrenzten Genauigkeit.

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Freiburger Straße 119, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

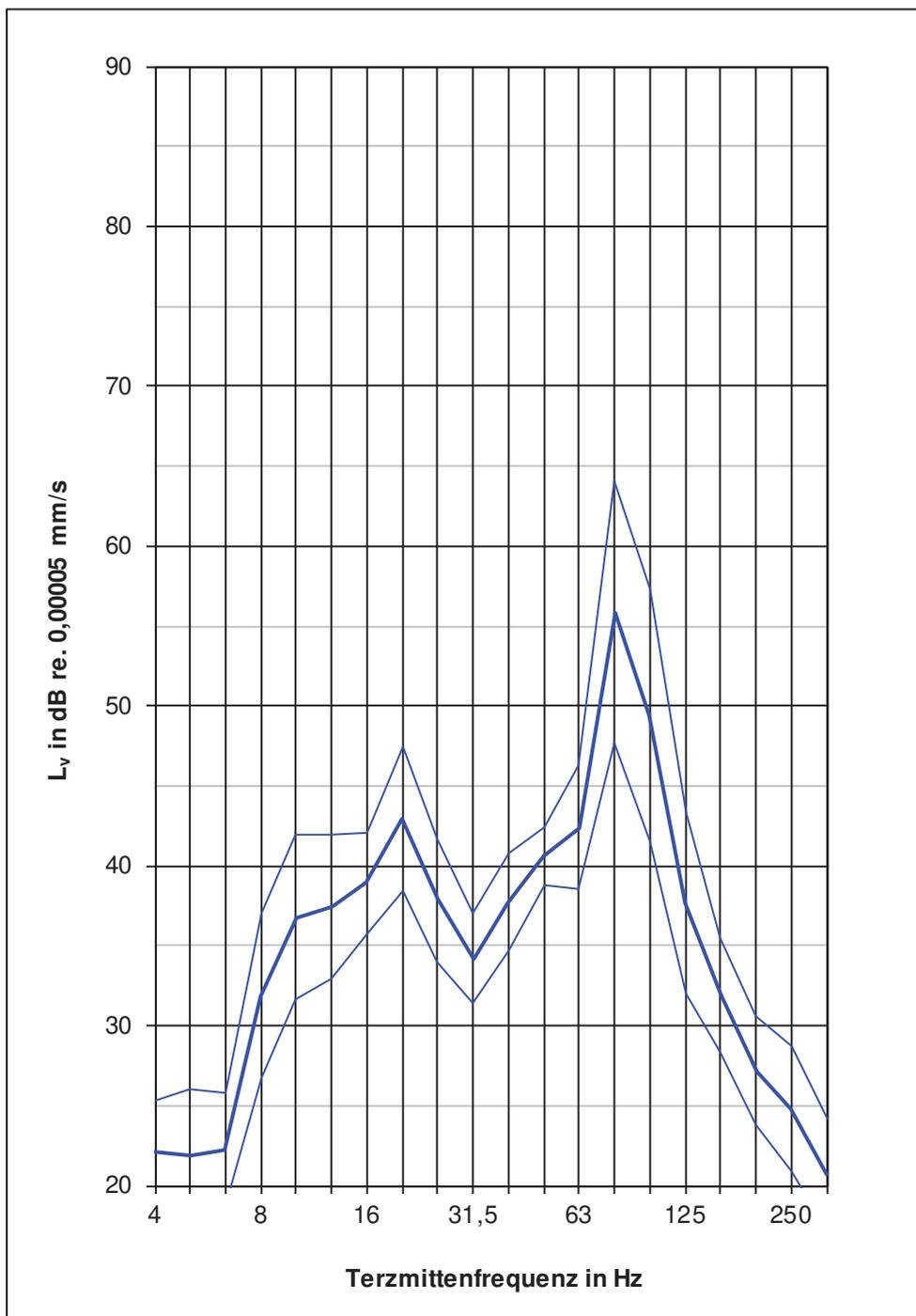
Zuggattung: **Straßenbahn (NGT D8DD)**

Geschwindigkeit: 25...33 km/h

Gleis: **Li. 12 Richtung Zentrum / Striesen**

ausgewertete Vorbeifahrten: 7

Messpunkt: **MP 1z - Fundament, z (vertikal)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Freiburger Straße 119, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

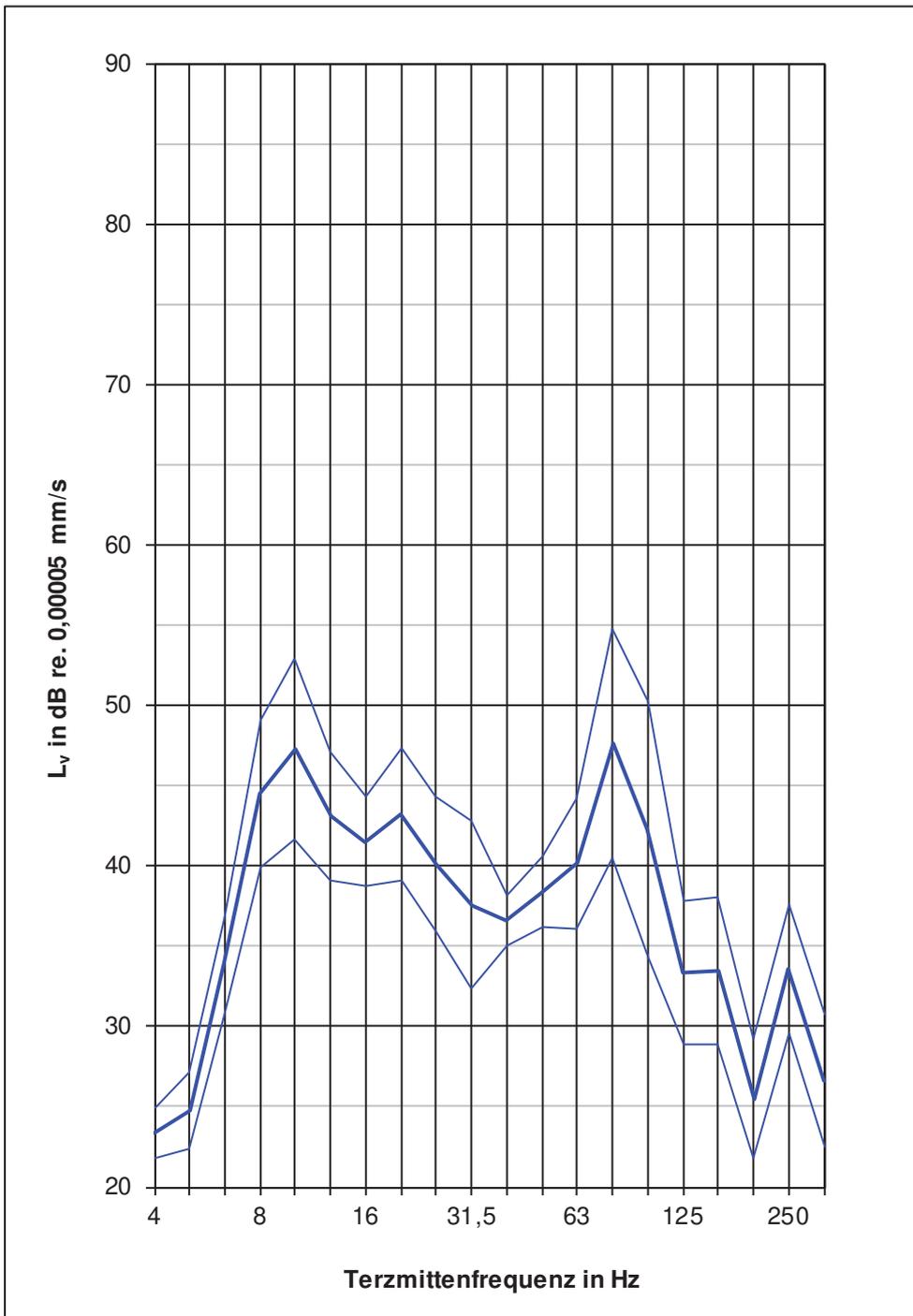
Zuggattung: **Straßenbahn (NGT D8DD)**

Geschwindigkeit: 25...33 km/h

Gleis: **Li. 12 Richtung Zentrum / Striesen**

ausgewertete Vorbeifahrten: 7

Messpunkt: **MP 1x - Fundament (horizontal, parallel zum Gleis)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Freiburger Straße 119, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

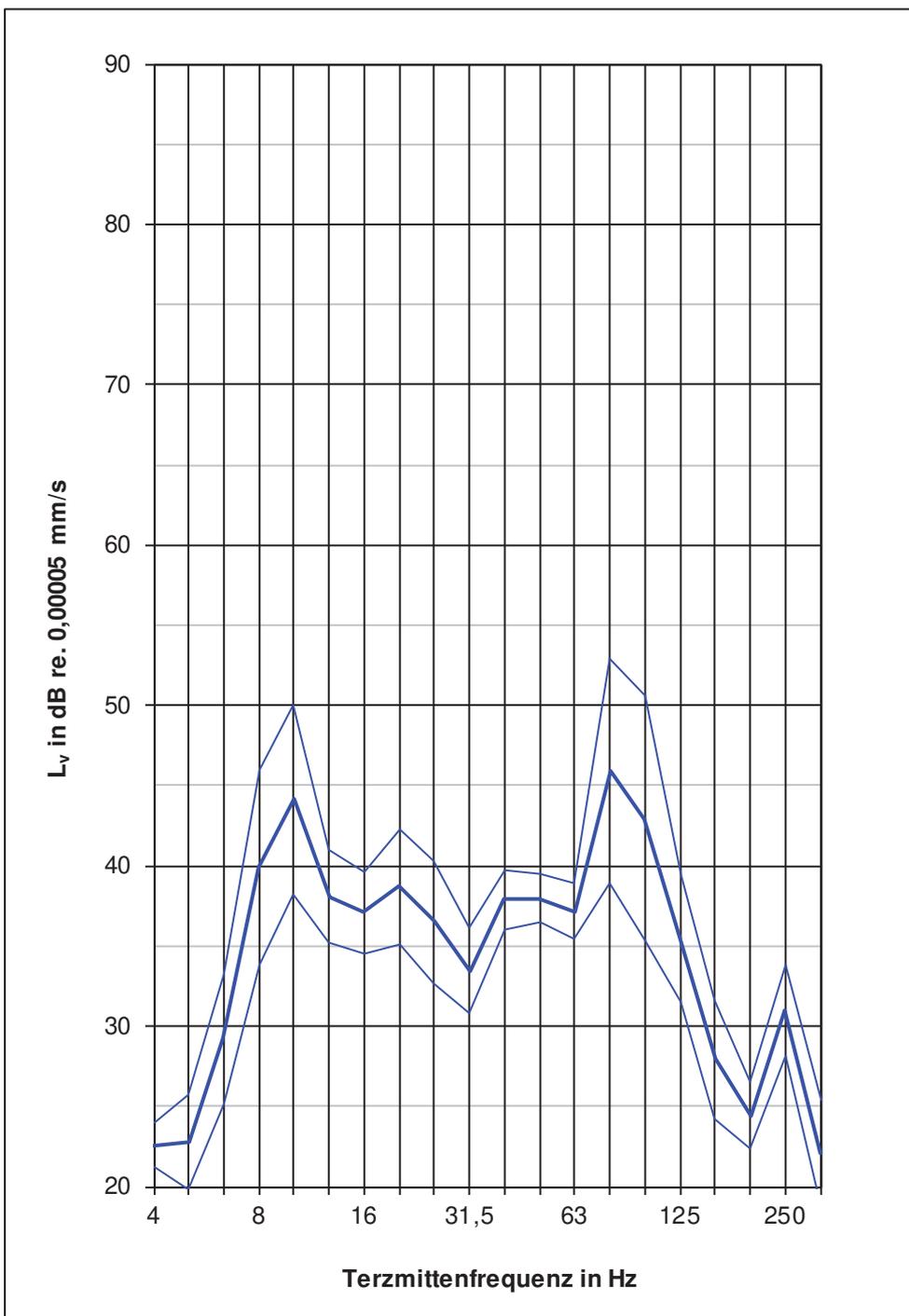
Zuggattung: **Straßenbahn (NGT D8DD)**

Geschwindigkeit: 25...33 km/h

Gleis: **Li. 12 Richtung Zentrum / Striesen**

ausgewertete Vorbeifahrten: 7

Messpunkt: **MP 1y - Fundament (horizontal, senkrecht zum Gleis)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Freiburger Straße 119, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

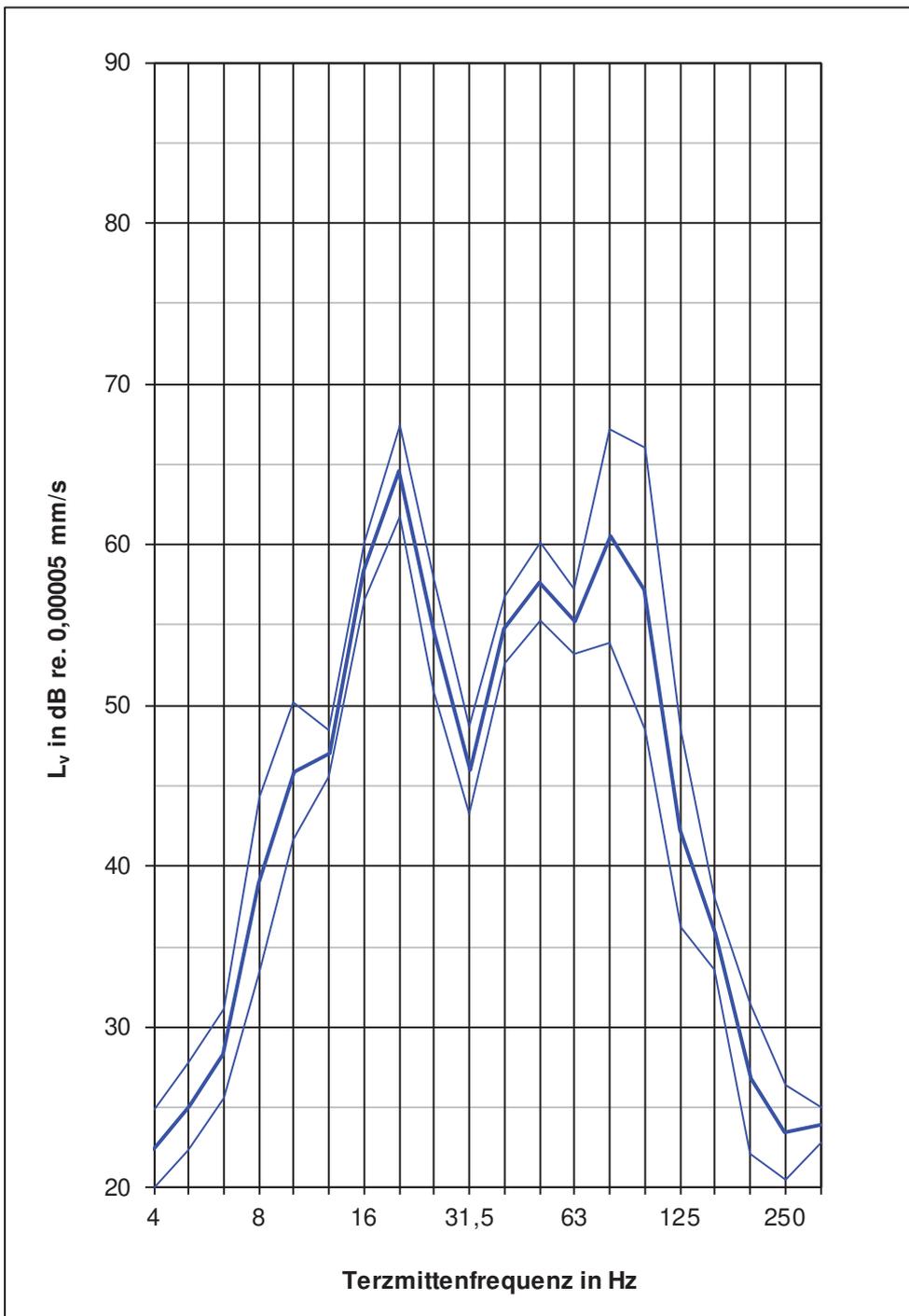
Zuggattung: **Straßenbahn (NGT D8DD)**

Geschwindigkeit: 25...33 km/h

Gleis: **Li. 12 Richtung Zentrum / Striesen**

ausgewertete Vorbeifahrten: 7

Messpunkt: **MP 2z - EG, Wohnraum, z (vertikal)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Freiburger Straße 119, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

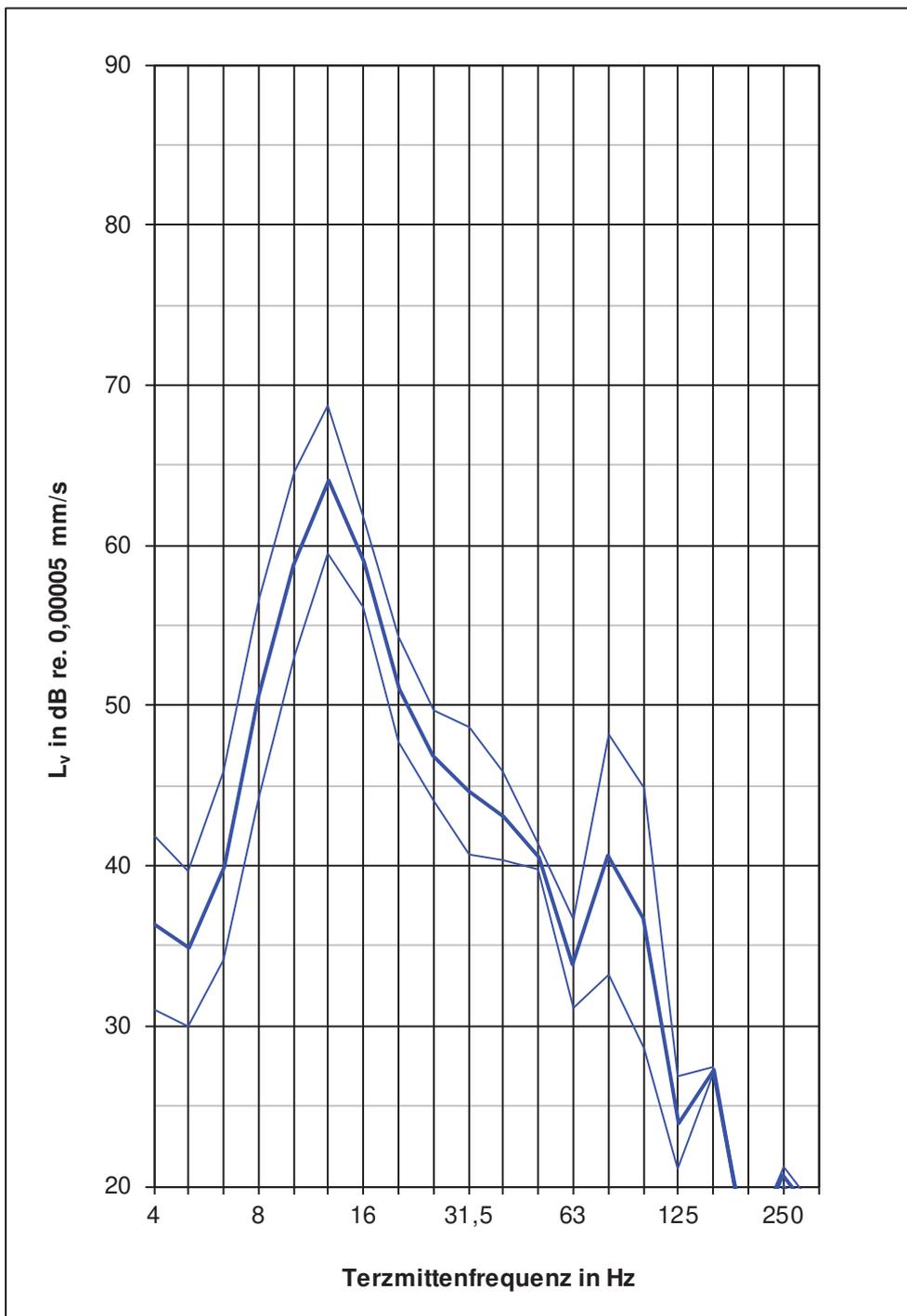
Zuggattung: **Straßenbahn (NGT D8DD)**

Geschwindigkeit: 25...33 km/h

Gleis: **Li. 12 Richtung Zentrum / Striesen**

ausgewertete Vorbeifahrten: 7

Messpunkt: **MP 3z - 4.OG, Wohnraum, z (vertikal)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Freiburger Straße 119, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

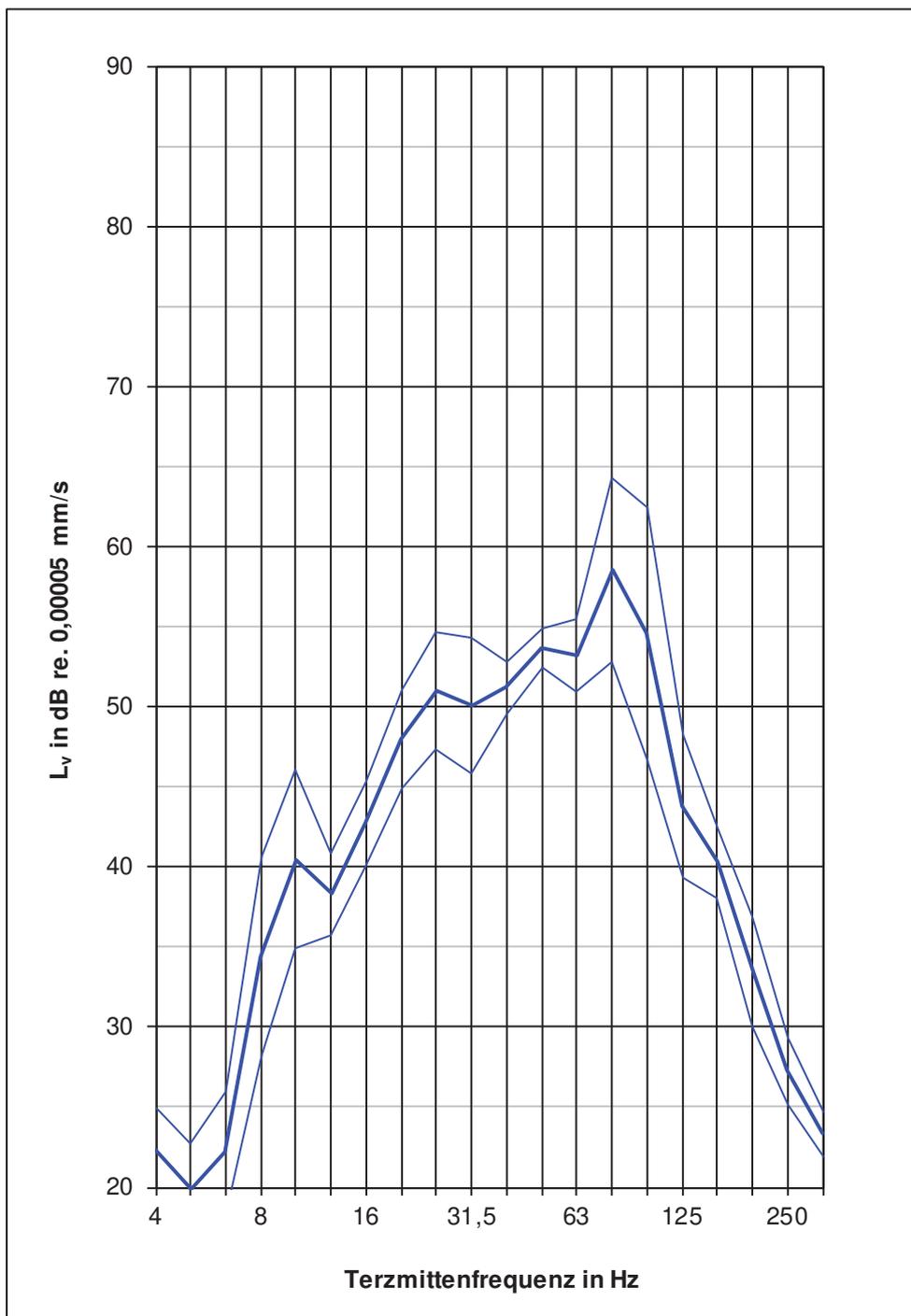
Zuggattung: **Straßenbahn (NGT D8DD)**

Geschwindigkeit: 25...33 km/h

Gleis: **Li. 12 Richtung Zentrum / Striesen**

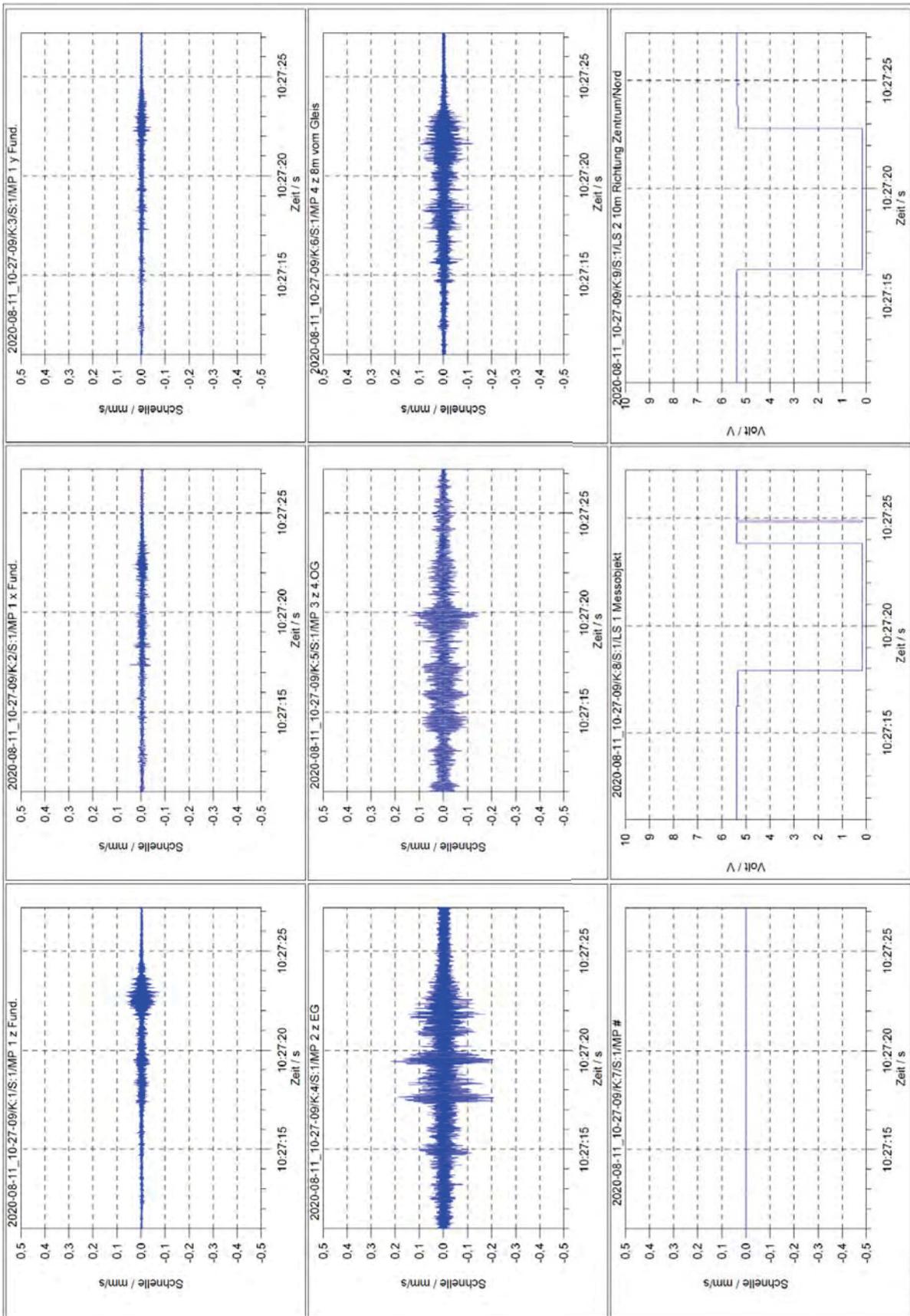
ausgewertete Vorbeifahrten: 7

Messpunkt: **MP 4z - Fußweg am Gebäude = 8,0 m vom Gleis, z (vertikal)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Schwingungsgeschwindigkeits-Zeitverlauf einer ausgewählten Vorbeifahrt (45 m - Zug)



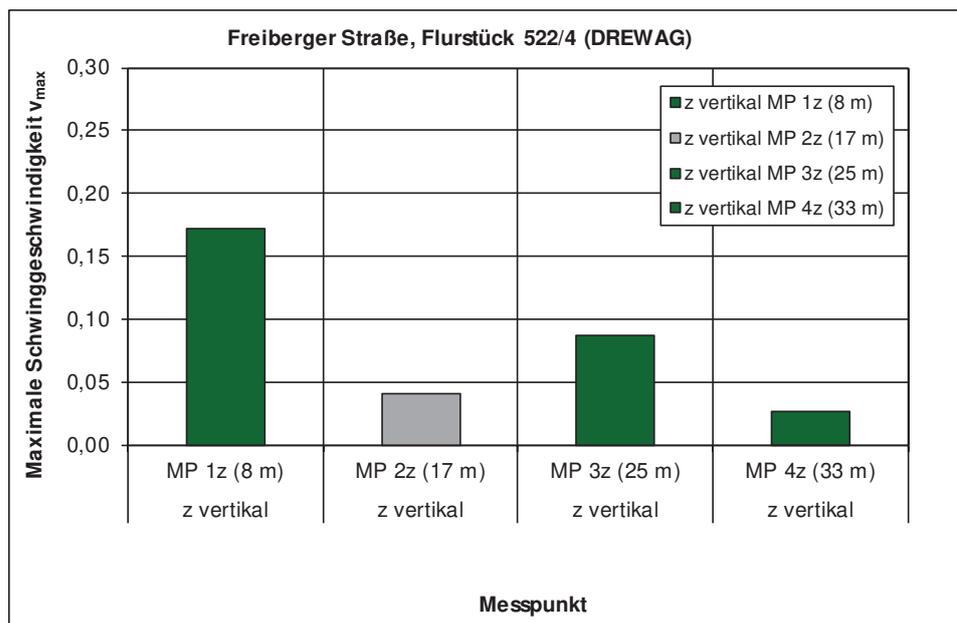
Maximalwerte der bewerteten Schwingstärke $KB_{F_{max}}$, Messwerte Ist-Zustand

Messobjekt: Freiburger Straße, Flurstück 522/4 (DREWAG)
 Datum: 11.08.2020

Erdboden

Gleis-Nr., bezogen auf Messobjekt: 1 - nächstgelegenes Gleis (Bestand) Richtung Zentrum ->
 2 - Gleis (Bestand) Gegenrichtung <-

Datei/Uhrzeit	Zug-Nr./Fahrzeug	Fahrt-richt.	Fahr-geschw.	Zuglänge	Erdboden	Erdboden	Erdboden	Erdboden
					z vertikal	z vertikal	z vertikal	z vertikal
					MP 1z (8 m)	MP 2z (17 m)	MP 3z (25 m)	MP 4z (33 m)
<i>Straßenbahn Gleis 1, Li. 7+12 Richtung Zentrum</i>								
13-24-54	Li. 12 NGT D8DD	->	29	31	0,16	0,04	0,08	0,00
13-27-33	Li. 7 NGT D12DD	->	38	45	0,23	0,05	0,09	0,03
13-49-26	Li. 7 NGT D12DD	->	35	45	0,22	0,04	0,09	0,03
13-56-09	Li. 12 NGT D8DD	->	31	31	0,13	0,03	0,09	0,03
13-56-51	Li. 7 NGT D12DD	->	49	44	0,13	0,04	0,09	0,02
14-08-11	Li. 7 NGT D12DD	->	32	45	0,14	0,04	0,08	0,03
14-19-09	Li. 7 NGT D12DD	->	35	45	0,16	0,04	0,09	0,03
Mittelwert v_{max}					0,17	0,04	0,09	0,03
Maximalwert v_{max}					0,23	0,05	0,09	0,03



Hinweis: MP 2z mit mangelhafter Ankopplung, da Erdspieß in den Untergrund nicht tief genug eingebracht werden konnte.

Die Fahrzeuglängen wurde aus den erfassten Lichtschranken-Messwerten berechnet und unterliegt dementsprechend einer technisch begrenzten Genauigkeit.

Anhang 3.3 Erschütterungs-Emissionsspektrum

Terzspektrum am Emissionsmesspunkt im Abstand 8 m, verwendet für die Prognose Oberbau entsprechend des Bauvorhabens, Messung im Bericht [16]

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: 8 m von Gleismitte Fritz-Reuter-Straße in Dresden

Datum: 23.08.2011

Zuggattung: **Straßenbahn**

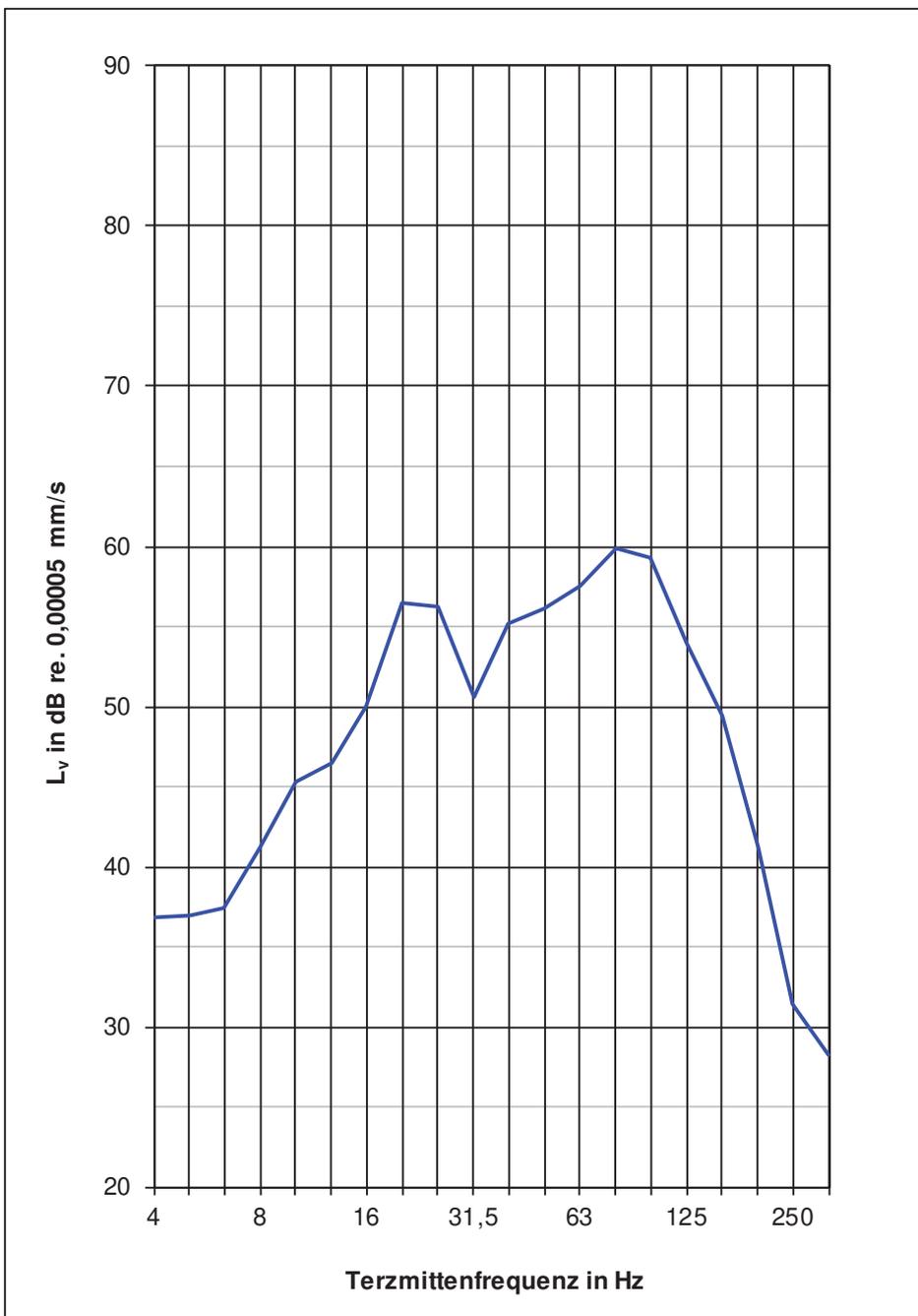
Geschwindigkeit: 60 km/h

Oberbau: **Feste Fahrbahn - Dresdner Bauart Rheda City**

Vorbeifahrten: 3

EM 85A Schwellenabstand 0,75 m

Messpunkt: **MP 1z - 8 m vom Gleis, z (vertikal)**



f _m in Hz	L _v MaxH in dB
4	36,9
5	37,0
6,3	37,4
8	41,2
10	45,3
12,5	46,5
16	50,0
20	56,5
25	56,2
31,5	50,5
40	55,2
50	56,1
63	57,5
80	59,9
100	59,4
125	54,1
160	49,4
200	41,2
250	31,4
315	28,3

Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren

Terzspektrum am Emissionsmesspunkt im unbebauten Gelände (hier: Abstand 8 m), Bestands-Oberbau mit Rillenschiene auf Betonschwellen im Schotterbett

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Erdboden, Flurstück 522/4, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

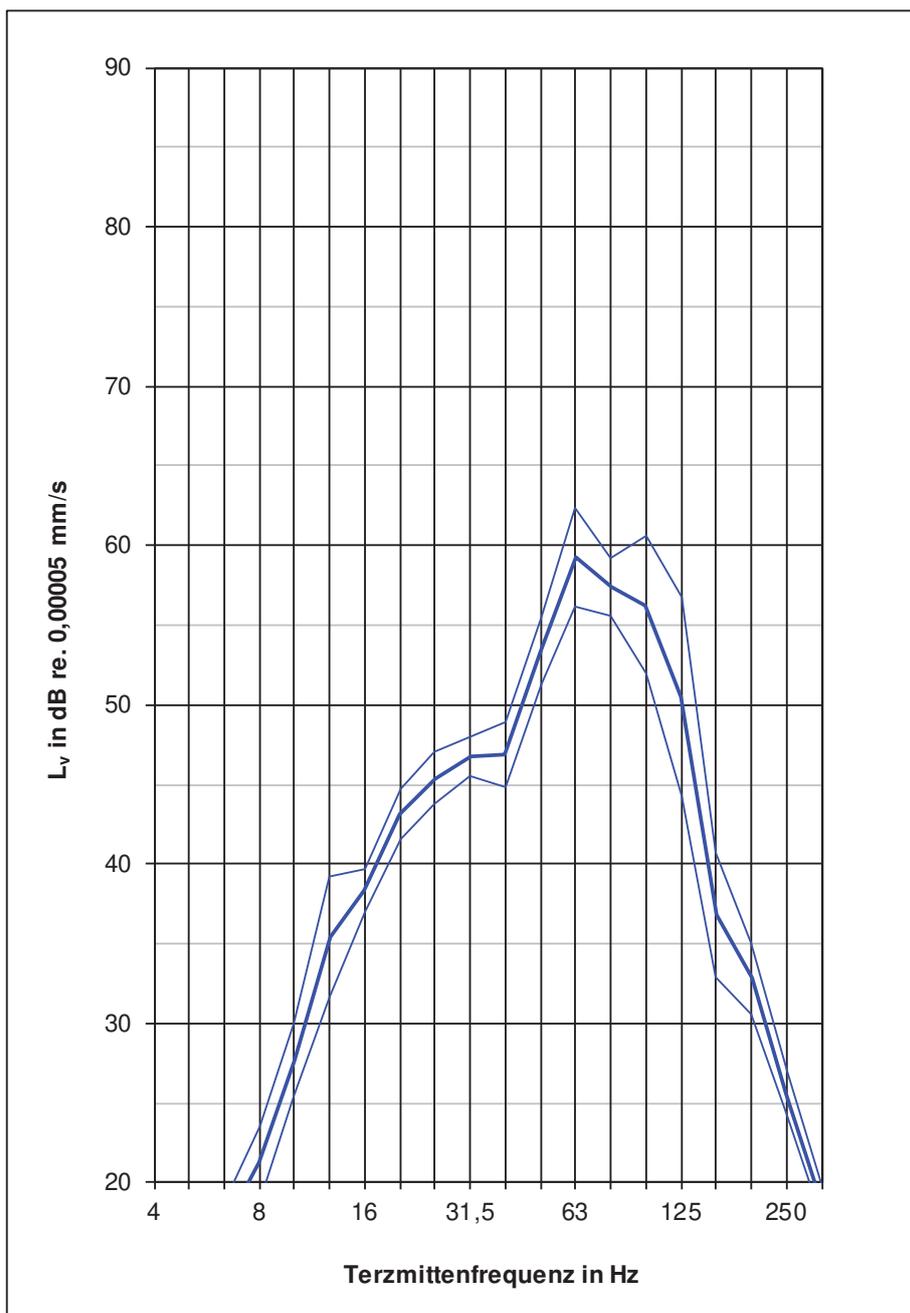
Zuggattung: **NGT D12DD (45 m)**

Geschwindigkeit: 32...49 km/h

Gleis: **Richtung Zentrum, Li. 7**

Vorbeifahrten: 5

Messpunkt: **MP 1z - 8,0 m vom Gleis, Erdspieß, z (vertikal)**



f _m in Hz	L _v MaxH in dB
4	10,0
5	13,8
6,3	17,1
8	21,2
10	27,7
12,5	35,4
16	38,3
20	43,1
25	45,4
31,5	46,8
40	46,9
50	53,3
63	59,2
80	57,4
100	56,3
125	50,5
160	36,8
200	32,8
250	25,6
315	18,7

Nr.	Uhrzeit
1	13-27-33
2	13-49-26
3	13-56-51
4	14-08-11
5	14-19-09
6	
7	
8	
9	
10	

Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Anhang 3.4 Ausbreitungsdämpfung des Erdbodens

Übertragungsfaktor (Pegeldifferenz) im Erdboden

Messobjekt: Erdboden, Flurstück 522/4, 01159 Dresden

Datum: 11.08.2020

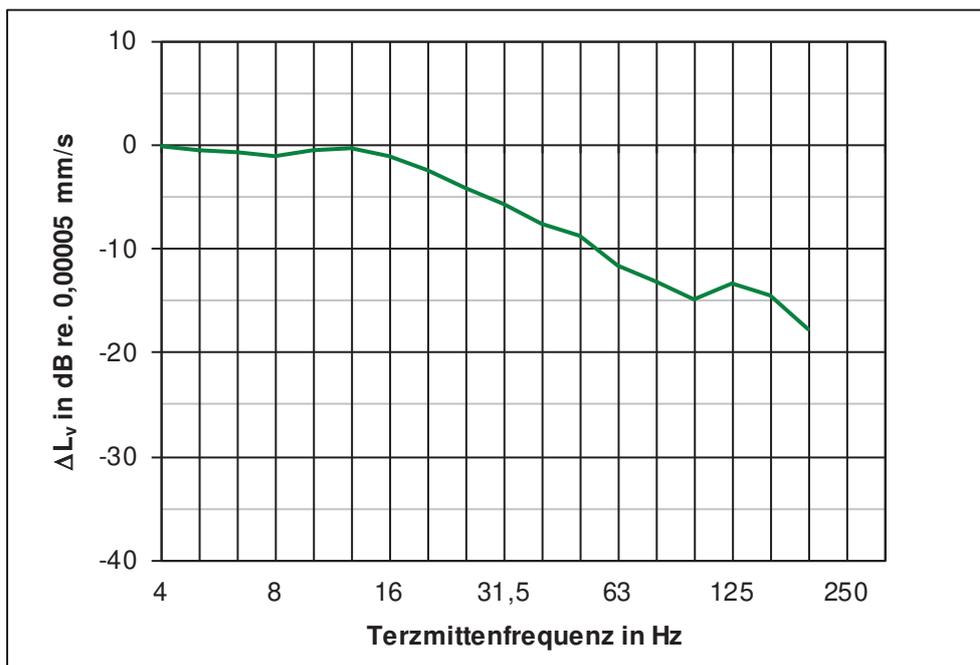
Zuggattung: **NGT D12DD (45 m)**

Gleis: **Richtung Zentrum, Li. 7**

Vorbeifahrten: 5

MP 1z - 8,0 m vom Gleis, Erdspeiß, z (vertikal)

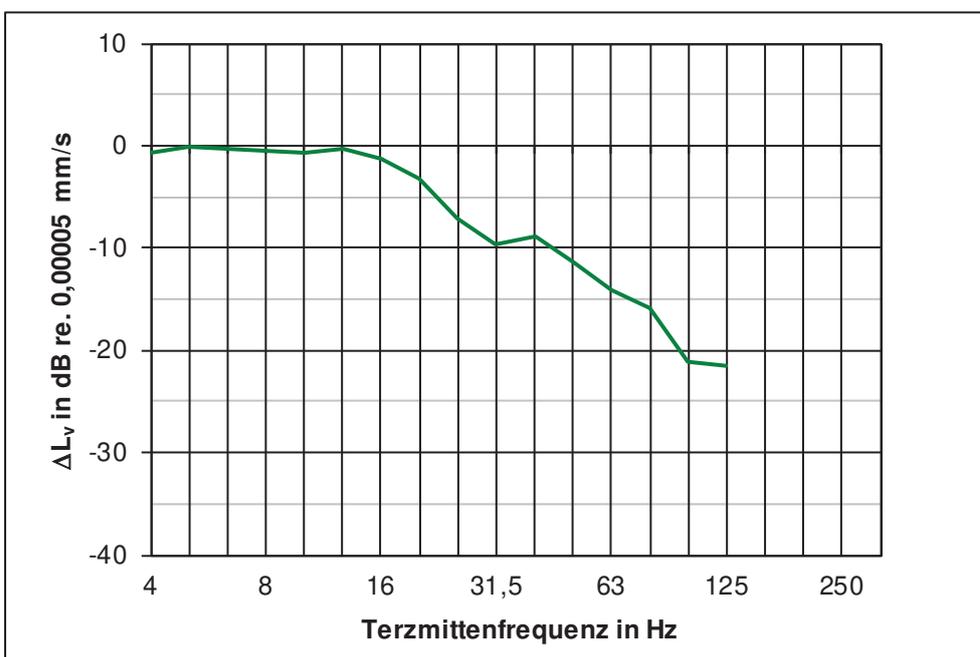
MP 2z - 17 m vom Gleis, Erdspeiß, z (vertikal)

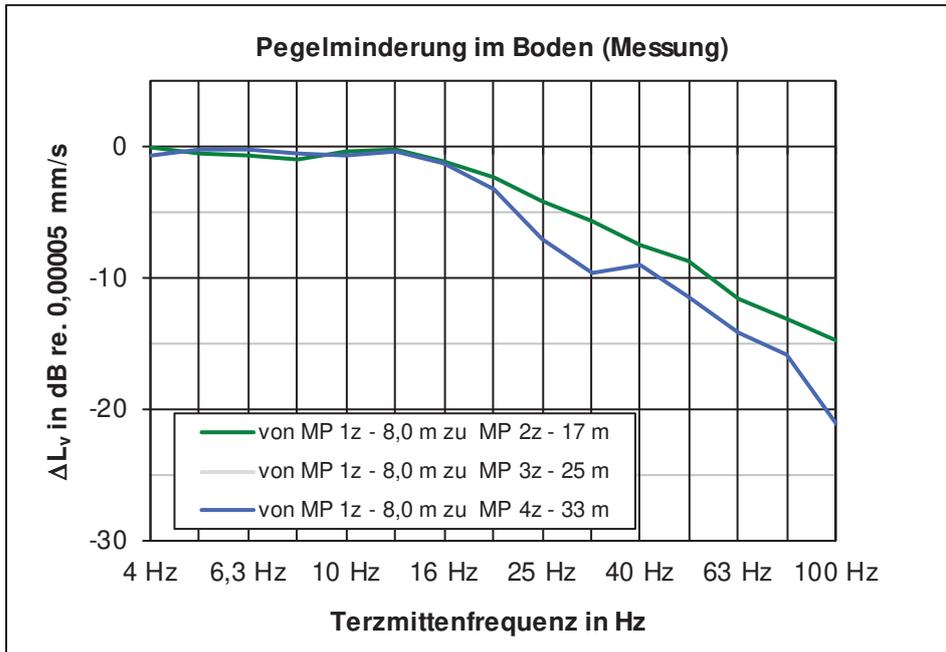


Darstellung: Pegel-Differenz der Mittelungsspektren ($L_{v,eq}$); > 0 dB = Verstärkung im Ausbreitungsweg

MP 1z - 8,0 m vom Gleis, Erdspeiß, z (vertikal)

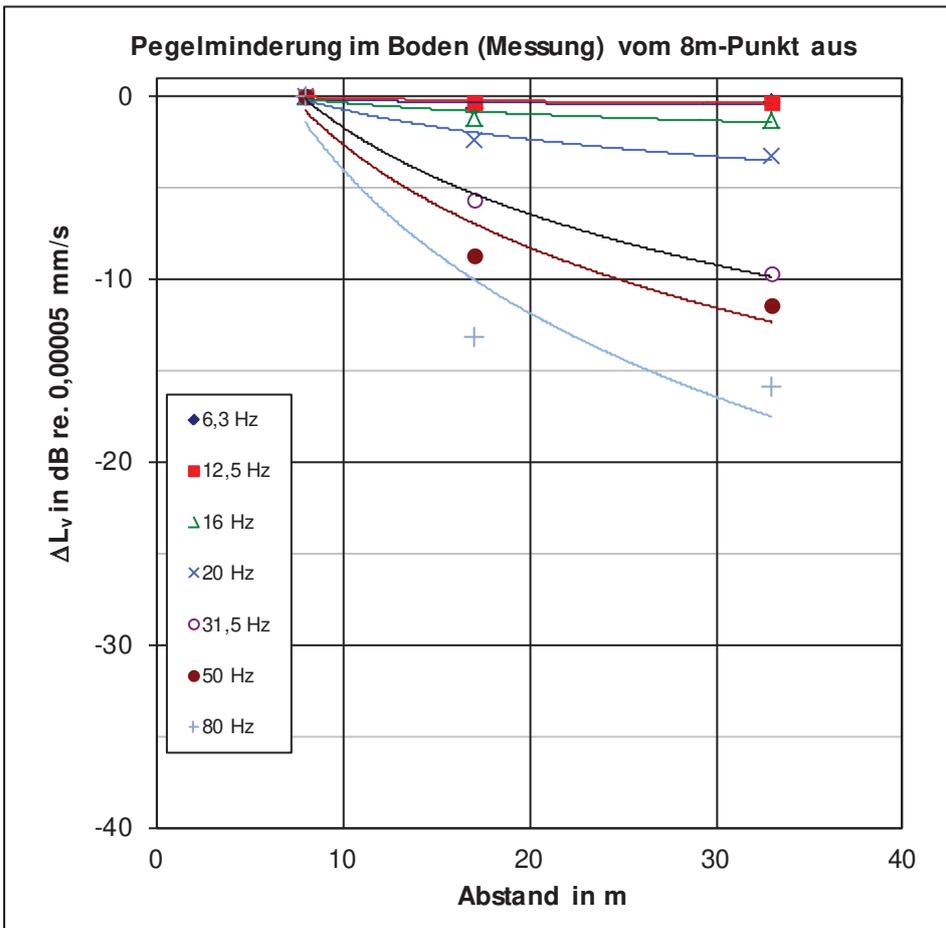
MP 4z - 33 m vom Gleis, Erdspeiß, z (vertikal)





25 m-Kurve: ankopplungsbedingt nicht verwendbar

logarithmische Trendlinien der Ausbreitungsdämpfung, ausgewählte Terzbänder



Darstellung: Pegel-Differenz der Mittelungsspektren ($L_{v,eq}$); >0 dB = Verstärkung im Ausbreitungsweg

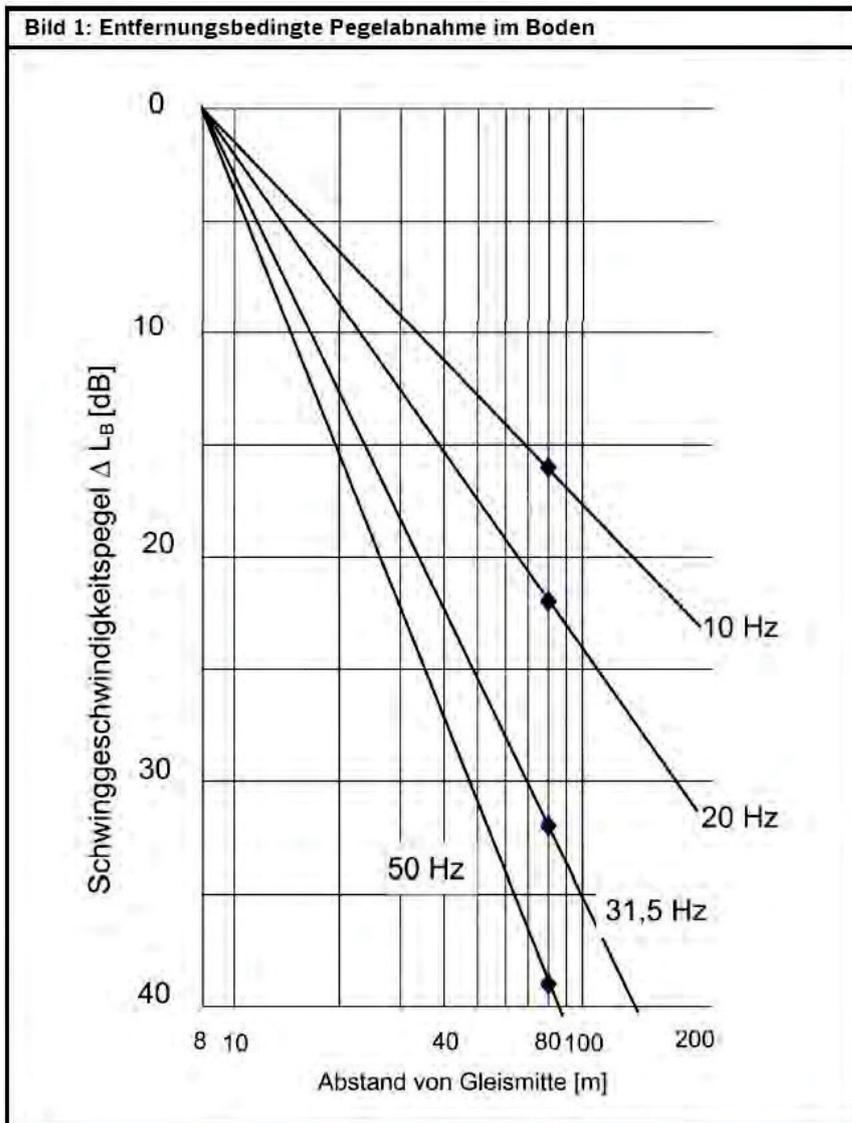


Abb. 13 Boden-Ausbreitungsdämpfung für Bereiche ohne Messung nach [10], Seite 19 - bezogen auf den **8m**-Emissionsmesspunkt

Anhang 3.5 Gebäudeübertragungsfunktionen

Übertragungsfaktor (Pegeldifferenz) zwischen Boden am Gebäude und Immissionsort

Messobjekt: Freiburger Straße 119, 01159 Dresden

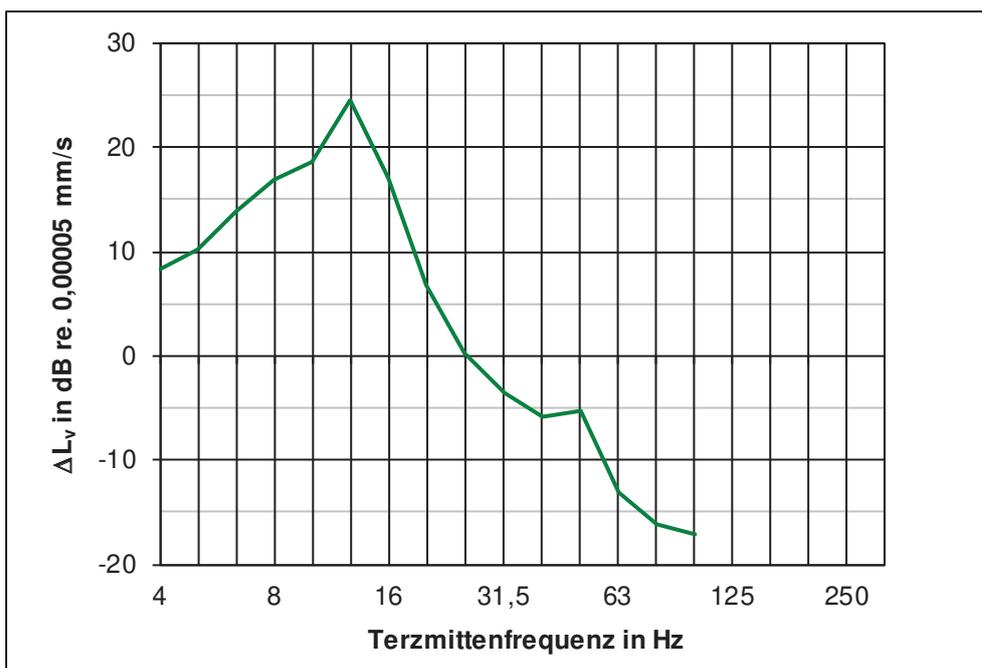
Datum: 11.08.2020

Zuggattung: **Straßenbahn (NGT D12DD)**

Gleis: **Li. 7 Richtung Zentrum / Weixdorf** ausgewertete Vorbeifahrten: 10

MP 4z - Fußweg am Gebäude = 8,0 m vom Gleis, z (vertikal)

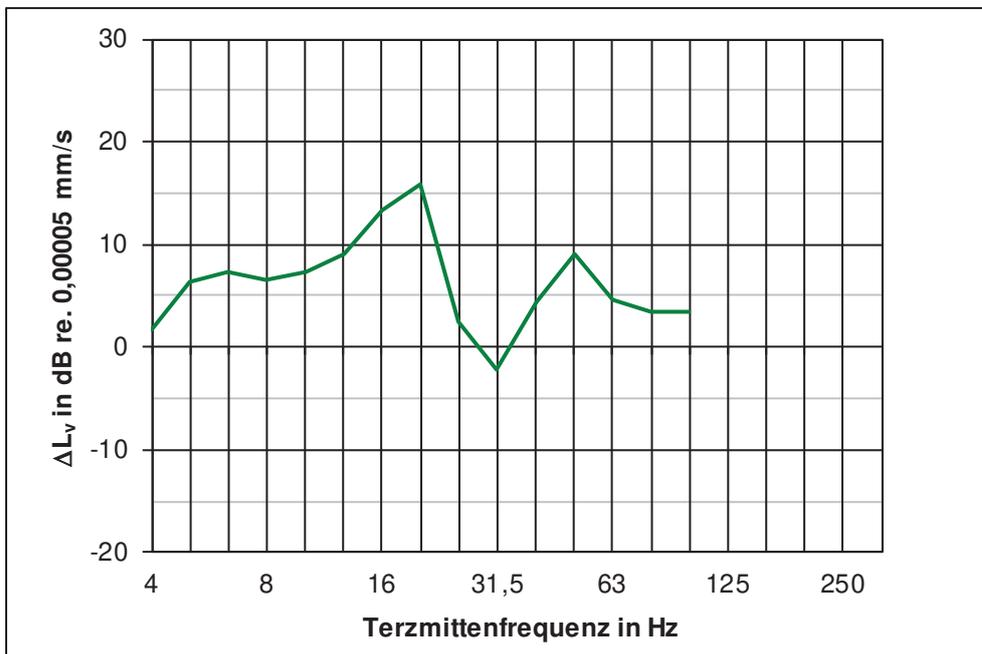
MP 3z - 4.OG, Wohnraum, z (vertikal)



Darstellung: Pegel-Differenz der Mittelungsspektren ($L_{v,eq}$); > 0 dB = Verstärkung im Ausbreitungsweg

MP 4z - Fußweg am Gebäude = 8,0 m vom Gleis, z (vertikal)

MP 2z - EG, Wohnraum, z (vertikal)



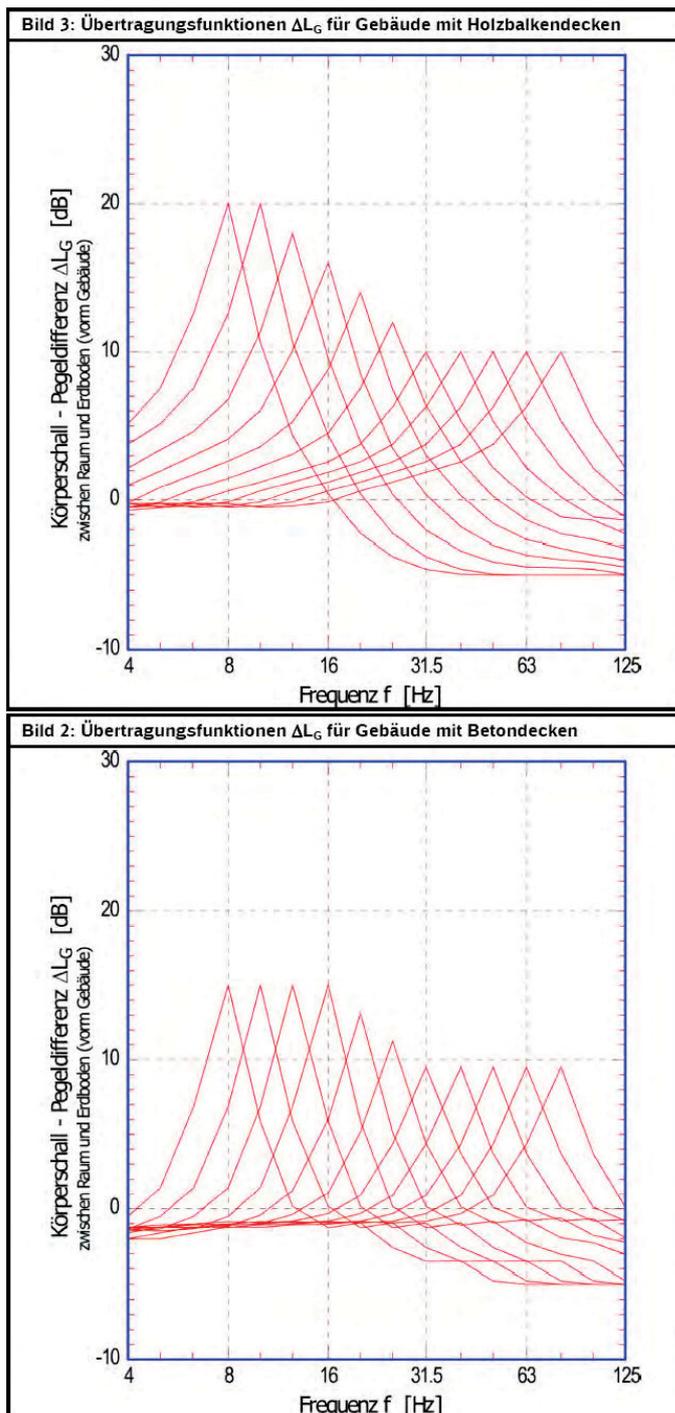


Abb. 14 Gebäude-Übertragungsfunktionen für Bereiche ohne Messung nach [10]

Angewendete Übertragungsfunktionen für die Prognose (Gebäude ohne Messung):

- vom Erdboden in Gebäude mit Holzbalkendecken, ungünstigste Eigenfrequenz 20 Hz
- vom Erdboden in Gebäude mit Massivdecken, typische Eigenfrequenz 50 Hz
- vom Erdboden zum Fundament/Erdbeschoss (nach: LIS-Berichte; Nr. 107 - Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen, NRW 1992, Bild 7.8a)

Anhang 4 Erschütterungsprognose

Anhang 4.1 Prognose für repräsentatives Gebäude

Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

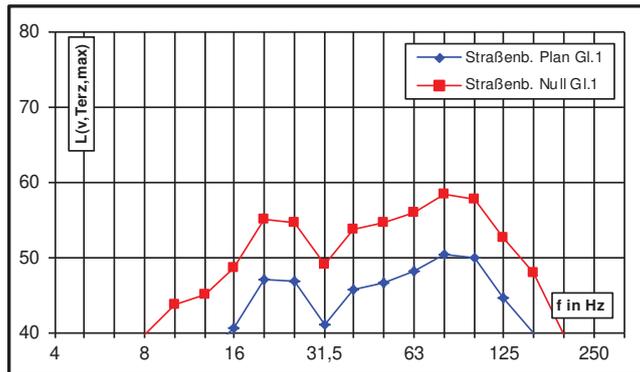
Freiberger Str. 119, Dresden		Erdgeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)		Planfall			
Gebietstyp	W	W = Wohngebiet		Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts	
		M = Mischgebiet / Außenb.			unterer Anhaltswert A_u	0,225	0,150
		G = Gewerbegebiet			oberer Anhaltswert A_o	3,00	0,60
		I = Industriegebiet			Anhaltswert A_v	0,105	0,075
		K = besondere Gebiete					

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	20	179	32
Straßenb. Plan Gl.2	20	179	32
Straßenb. Null Gl.1	50	95	21
Straßenb. Null Gl.2	50	95	21

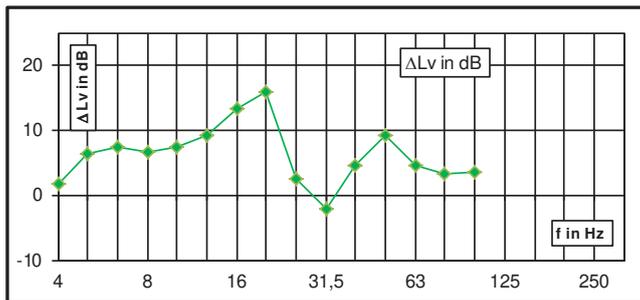
Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 201



Übertragungsweg

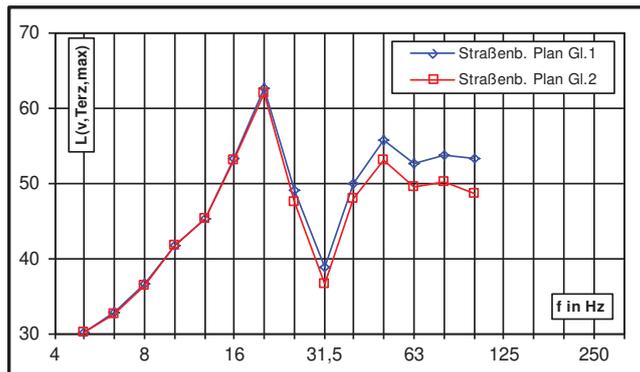
$\Delta L_v = L_v(10) - L_v(8m-MP)$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	8,0 m
Deckentyp	Holz balkend. EG Mbg.



Erschütterungs-Immission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 10^{-5} \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal



	Bewertete Schwingstärke KB		
	KB_{FTm}	KB_{FTTr} Tag	KB_{FTTr} Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	0,10	0,03	0,02
Straßenb. Plan Gl.2	0,09	0,03	0,02
Straßenb. Null Gl.1	0,26	0,06	0,04
Straßenb. Null Gl.2	0,22	0,05	0,03
gesamt	0,26	0,09	0,06

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
40,9	32,6	28,7

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{FTTr} > A_T$	$KB_{FTTr} > A_T$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
ja	ja	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v		
am Fundament	$v_{max} =$ 0,07	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$ 0,33	mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3		
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s	nein

Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Freiberger Str. 119, Dresden 4.Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte) Planfall

Gebietstyp	W	W = Wohngebiet
		M = Mischgebiet / Außenb.
		G = Gewerbegebiet
		I = Industriegebiet
		K = besondere Gebiete

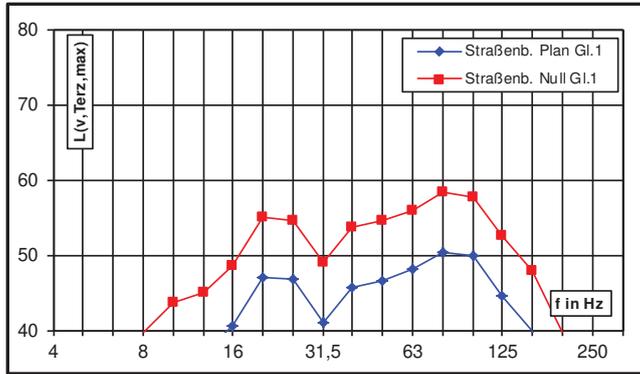
Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2			tags	nachts
unterer Anhaltswert A_u			0,225	0,150
oberer Anhaltswert A_o			3,00	0,60
Anhaltswert A_v			0,105	0,075

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	20	179	32
Straßenb. Plan Gl.2	20	179	32
Straßenb. Null Gl.1	50	95	21
Straßenb. Null Gl.2	50	95	21

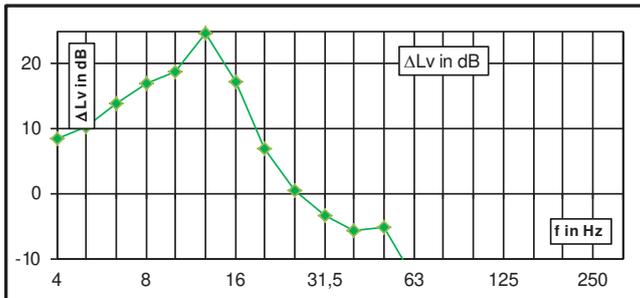
Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 201



Übertragungsweg

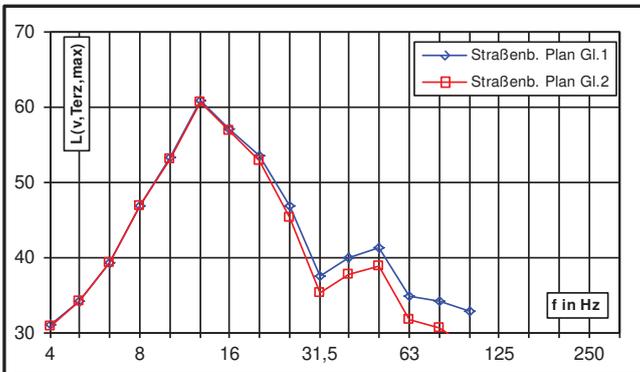
$\Delta L_v = L_v(10) - L_v(8m-MP)$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	8,0 m
Deckentyp	Holzbalkend. 4.OG Msg.



Erschütterungs-Immission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 10^{-5} \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal



	Bewertete Schwingstärke KB		
	KB_{FTm}	KB_{FTd} Tag	KB_{FTn} Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	0,09	0,03	0,02
Straßenb. Plan Gl.2	0,08	0,03	0,02
Straßenb. Null Gl.1	0,22	0,05	0,03
Straßenb. Null Gl.2	0,21	0,05	0,03
gesamt	0,22	0,08	0,05

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
32,2	24,0	20,0

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{FTd} > A_v$	$KB_{FTn} > A_v$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	ja	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v		
am Fundament	$v_{max} =$ 0,07	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$ 0,31	mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3		
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s	nein

Anhang 4.2 Prognose für Gebäude mit geringem Abstand

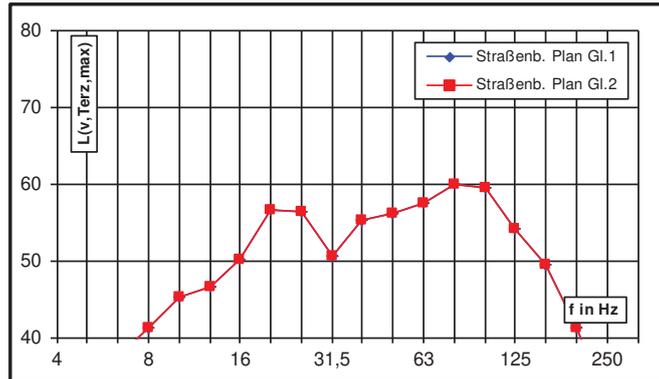
Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Nürnberger Str. 31a, Dresden		Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)		Planfall	
Gebietstyp	W	W = Wohngebiet			
		M = Mischgebiet / Außenb.			
		G = Gewerbegebiet			
		I = Industriegebiet			
		K = besondere Gebiete			
Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2				tags	nachts
unterer Anhaltswert A_u				0,225	0,150
oberer Anhaltswert A_o				3,00	0,60
Anhaltswert A_r				0,105	0,075

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

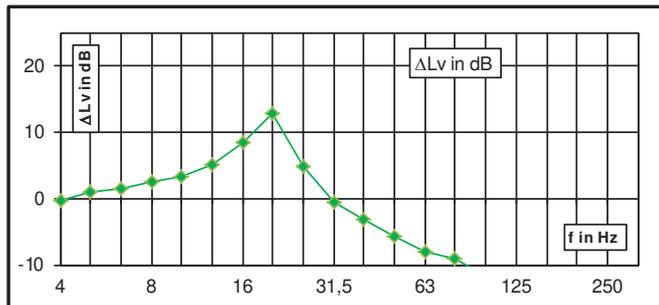
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	60	179	32
Straßenb. Plan Gl.2	60	179	32
Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 201			



Übertragungsweg

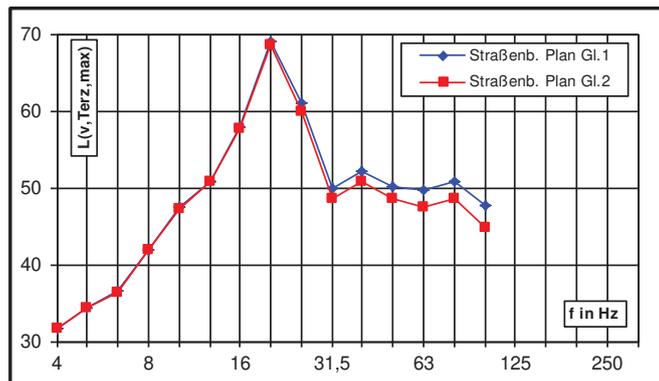
$\Delta L_v = L_v(\text{IO}) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	13,5 m
Deckentyp	Holzbalkendecke



Erschütterungs-Immission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 10^{-5.5} \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal



Bewertete Schwingstärke KB			
	KB_{FTm}	KB_{FTTr} Tag	KB_{FTTr} Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	0,19	0,06	0,03
Straßenb. Plan Gl.2	0,18	0,05	0,03
gesamt	0,19	0,08	0,05

Sekundärer Luftschall			in dB(A)	
$L_{\text{sek,max}}$	$L_{\text{sek,m}}$ Tag	$L_{\text{sek,m}}$ Nacht		
35,3	27,5	23,1		

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{FTTr} > A_r$	$KB_{FTTr} > A_r$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	ja	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v			
am Fundament	$v_{\text{max}} =$	0,05	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{\text{max}} =$	0,23	mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3		
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s	nein

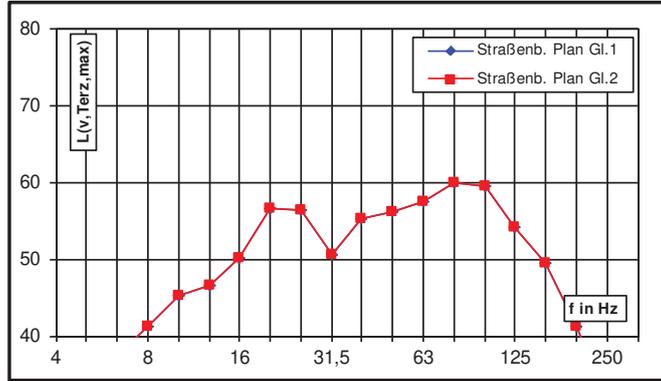
Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Nürnberger Str. 31a, Dresden		Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)	Planfall
Gebietstyp	W	W = Wohngebiet	Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2 tags nachts unterer Anhaltswert A_u 0,225 0,150 oberer Anhaltswert A_o 3,00 0,60 Anhaltswert A_r 0,105 0,075
		M = Mischgebiet / Außenb.	
		G = Gewerbegebiet	
		I = Industriegebiet	
		K = besondere Gebiete	

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
 im Boden, 8 m von der Gleisachse

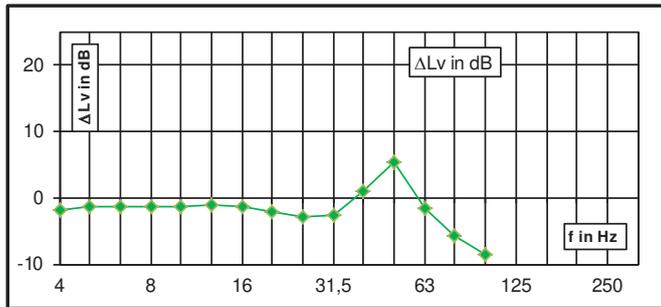
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	60	179	32
Straßenb. Plan Gl.2	60	179	32
Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 201			



Übertragungsweg

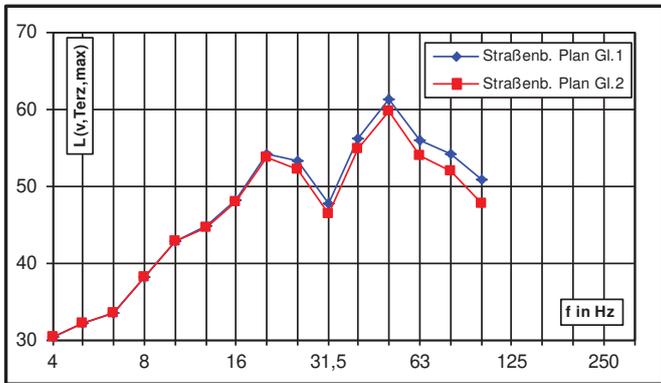
$\Delta L_v = L_v(\text{IO}) - L_v(\text{8m-MP})$ in dB
 vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	13,5 m
Deckentyp	Massivdecke



Erschütterungs-Immission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 10^{-5} \text{ mm/s})$
 auf der Geschossdecke, vertikal



	Bewertete Schwingstärke KB		
	KB_{FTm}	KB_{FTd} Tag	KB_{FTn} Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	0,10	0,03	0,02
Straßenb. Plan Gl.2	0,09	0,03	0,02
gesamt	0,10	0,04	0,02

Sekundärer Luftschall			in dB(A)	
$L_{\text{sek,max}}$	$L_{\text{sek,m}}$ Tag	$L_{\text{sek,m}}$ Nacht		
38,1	30,2	25,7		

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
KB_{Fmax} $> A_u$	KB_{Fmax} $> A_u$	KB_{Fmax} $> A_o$	KB_{Fmax} $> A_o$	KB_{FTd} $> A_r$	KB_{FTn} $> A_r$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	nein	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v			
am Fundament	$v_{\text{max}} =$	0,05	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{\text{max}} =$	0,12	mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3		
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s	nein

Anhang 4.3 Prognose für Gebäude mit größter Annäherung

Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

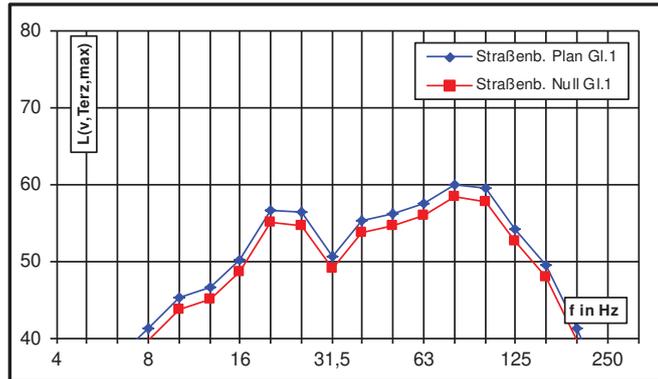
Ebertplatz 1b, Dresden		Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)		Planfall	
Gebietstyp	W	W = Wohngebiet			
		M = Mischgebiet / Außenb.			
		G = Gewerbegebiet			
		I = Industriegebiet			
		K = besondere Gebiete			
Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2				tags	nachts
unterer Anhaltswert A_u				0,225	0,150
oberer Anhaltswert A_o				3,00	0,60
Anhaltswert A_f				0,105	0,075

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
 im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum	Zugtyp	v in km/h	Anzahl Züge	
			Tag	Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	60	179	32	
Straßenb. Plan Gl.2	60	179	32	
Straßenb. Null Gl.1	50	95	21	
Straßenb. Null Gl.2	50	95	21	

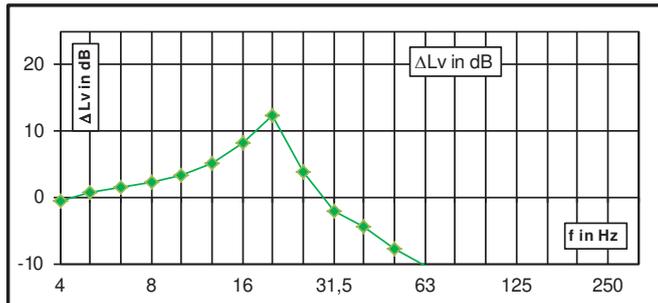
Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 20



Übertragungsweg

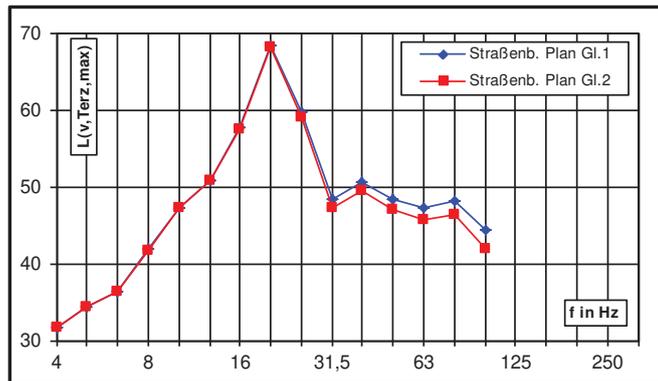
$\Delta L_v = L_v(\text{IO}) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
 vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	17,0 m
Deckentyp	Holzbalkendecke DB-RiL



Erschütterungs-Immission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 10^{-5} \text{ mm/s})$
 auf der Geschossdecke, vertikal



Bewertete Schwingstärke KB	KB		
	KB_{FTm}	KB_{FTd} Tag	KB_{FTn} Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	0,17	0,05	0,03
Straßenb. Plan Gl.2	0,16	0,05	0,03
Straßenb. Null Gl.1	0,14	0,03	0,02
Straßenb. Null Gl.2	0,14	0,03	0,02
gesamt	0,17	0,09	0,05

Sekundärer Luftschall			in dB(A)	
$L_{\text{sek,max}}$	$L_{\text{sek,m}}$ Tag	$L_{\text{sek,m}}$ Nacht		
34,1	28,0	23,9		

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
KB_{Fmax} > A_u	KB_{Fmax} > A_u	KB_{Fmax} > A_o	KB_{Fmax} > A_o	KB_{FTd} > A_f	KB_{FTn} > A_f
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	ja	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v			
am Fundament	v_{max}	0,06	mm/s
auf der Geschossdecke	v_{max}	0,28	mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3		
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s	nein

Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

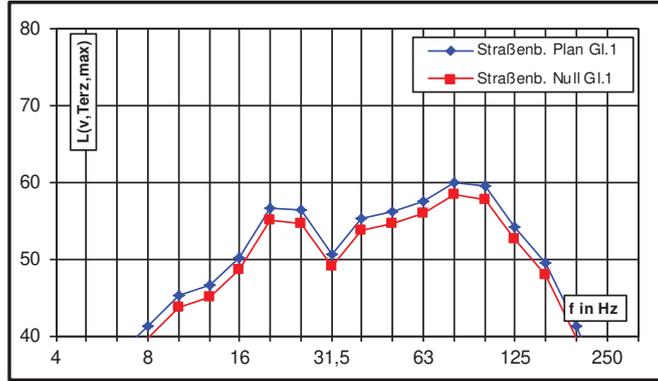
Ebertplatz 1b, Dresden		Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)		Planfall			
Gebietstyp	W	W = Wohngebiet		Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts	
		M = Mischgebiet / Außenb.			unterer Anhaltswert A_u	0,225	0,150
		G = Gewerbegebiet			oberer Anhaltswert A_o	3,00	0,60
		I = Industriegebiet			Anhaltswert A_f	0,105	0,075
		K = besondere Gebiete					

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	60	179	32
Straßenb. Plan Gl.2	60	179	32
Straßenb. Null Gl.1	50	95	21
Straßenb. Null Gl.2	50	95	21

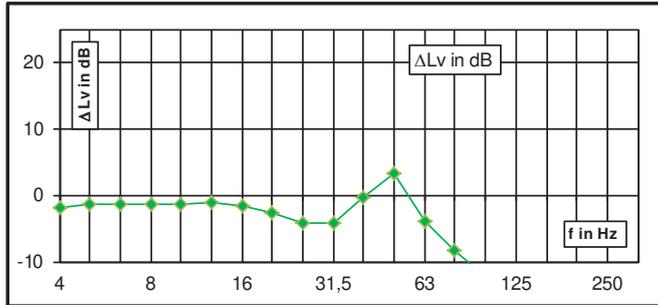
Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 201



Übertragungsweg

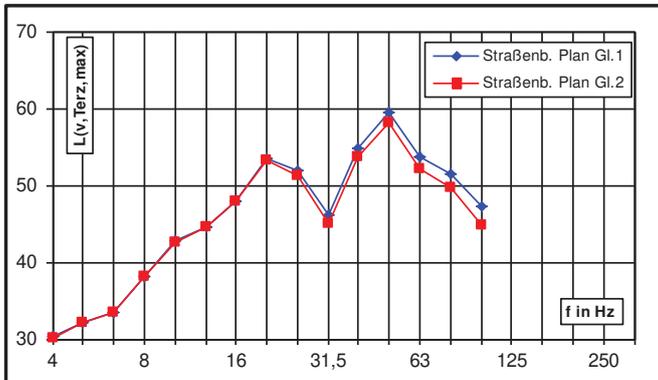
$\Delta L_v = L_v(10) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	17,0 m
Deckentyp	Massivdecke DB-RiL



Erschütterungs-Immission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 10^{-5} \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal



	Bewertete Schwingstärke KB		
	KB_{FTm}	KB_{FTd} Tag	KB_{FTn} Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	0,08	0,03	0,02
Straßenb. Plan Gl.2	0,07	0,02	0,01
Straßenb. Null Gl.1	0,07	0,02	0,01
Straßenb. Null Gl.2	0,06	0,01	0,01
gesamt	0,08	0,04	0,02

Sekundärer Luftschall			in dB(A)	
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht		
36,6	30,4	26,2		

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{FTd} > A_f$	$KB_{FTn} > A_f$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	nein	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v			
am Fundament	$v_{max} =$	0,06	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$	0,13	mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3		
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s	nein

Anhang 4.4 Einwirkungsbereich - betroffene Gebäude (Planfall)

Schutzbedürftige Gebäude im Einwirkungsbereich von Straßenbahn-Erschütterungen

"x": Anhaltswert A_r (Tag/Nacht) nach DIN 4150-3 im Plan-Zustand durch KB_{FT} erreicht oder überschritten, oder $L_{sek,m,Nacht} > 30$ dB(A)

d = kürzester Abstand Gebäude - nächstgelegene Gleisachse, Angaben mit Genauigkeit 0,5 m

d _{min} , Plan	d _{min} , Ist	Ände- rung	Gebäude liegt im Einwirkungsbereich für Deckentyp:		Straße, Haus-Nr.	Gebiets- einstufung, Nutzung
			Holzbalcken	massiv		
8,0	8,0	+0,0	-	-	Freiberger Straße 117, 119	WA
8,5	8,5	+0,0	-	-	Freiberger Straße 121	WA
13,0	15,5	-2,5	-	-	Ebertplatz 1	WA
17,0	30,5	-13,5	-	-	Ebertplatz 1 b	WA
34,0	-	Neubau	-	-	Tharandter Straße 1 (Imbiss)	Gewerbe tags ¹⁾
24,0	-	Neubau	-	-	Ebertplatz 2	WA
40,0	-	Neubau	-	-	Ebertplatz 2 b	WA
45,5	-	Neubau	-	-	Ebertplatz 3	WA
50,0	-	Neubau	-	-	Ebertplatz 3 b	WA
51,0	-	Neubau	-	-	Ebertplatz 11	MI
58,0	-	Neubau	-	-	Fabrikstraße 34	GE
29,5	-	Neubau	-	-	Fabrikstraße 5 (DREWAG-Betriebshof)	GE
22,0	-	Neubau	-	-	Zwickauer Straße 68 c	GE
31,0	-	Neubau	-	-	Zwickauer Straße 66	GE
34,0	-	Neubau	-	-	Zwickauer Straße 62	GE
38,0	-	Neubau	-	-	Zwickauer Straße 37	GE
28,5	-	Neubau	-	-	Zwickauer Straße 37 HH	GE
25,5	-	Neubau	-	-	Nossener Brücke 8, 10, 12	GE
23,0	-	Neubau	-	-	Chemnitzer Straße 59 b	GE
16,5	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 2	WA
24,0	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 4, 6	WA
20,0	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 3, 5	WA
26,0	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 7, 9, 11, 11 a	WA
18,5	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 10, 12, 16, 18	WA
26,0	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 13, 15, 17, 19	WA
19,5	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 18, 20, 22, 24	WA
27,5	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 21, 23, 25, 27	WA
18,5	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 26, 28	WA
24,0	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 29, 31	WA
13,5	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 31 a	WA
17,0	-	Neubau	-	-	Bernhardstraße 34	WA
19,0	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 33	WA
14,5	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 35	WA
32,5	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 28 a	WA
22,5	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 28 b	WA
15,5	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 28 c	WA
13,0	-	Neubau	-	-	Nürnberger Straße 28 d	WA
12,0	12,0	+0,0	-	-	Nürnberger Straße 37	WA
10,5	10,5	+0,0	-	-	Nürnberger Straße 39, 41	WA
11,0	11,0	+0,0	-	-	Nürnberger Straße 28 e	WA
10,0	10,0	+0,0	-	-	Nürnberger Straße 43, 45	WA
11,0	11,0	+0,0	-	-	Nürnberger Straße 28 f	WA
11,0	11,0	+0,0	-	-	Nürnberger Straße 28 g	WA
11,0	11,0	+0,0	-	-	Nürnberger Straße 30	WA
11,5	11,5	+0,0	-	-	Nürnberger Straße 30 a	WA
11,5	11,5	+0,0	-	-	Nürnberger Straße 30 b	WA
14,0	14,0	+0,0	-	-	Nürnberger Straße 32, 34	WA
12,5	12,5	+0,0	-	-	Hübnerstraße 15	WA
12,5	12,5	+0,0	-	-	Nürnberger Straße 47	WA

¹⁾ Schutzanspruch entsprechend Nutzung nur am Tage
 In Bereichen mit Mischgebiets- oder Gewerbegebiets-Einstufung wurde wegen der bereits nachgewiesenen Einhaltung der Mindestabstände für die empfindlichere Einstufung "WA" auf die Berechnung separater Abstandslinien verzichtet.

Abstandslinien für die Einhaltung von A_r durch KB_{FT} tags + nachts

Minimal-/Maximalwerte:

	gerade Str.	Kurve		
	Wohngebiet, A_r (ÖPNV) = 0,075 nachts $L_{sek,m,N} < 30$ dB(A)	Wohngebiet, A_r (ÖPNV) = 0,075 nachts $L_{sek,m,N} < 30$ dB(A)	kleinster Abstand (WA)	größte Annäherung
Holzbalkendecke (Resonanzfrequenz 20 Hz)	$d_{min} = 8,0$ m	$d_{min} = 4,0$ m	8,0 m	-13,5 m
Massivdecke (Resonanzfrequenz 50 Hz)	$d_{min} = 7,0$ m	$d_{min} = 6,0$ m	min.	delta max.

Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Mindestabstand zur Einhaltung von A_r

Nossener Brücke / Nürnberger Str., Dresden Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte) Planfall

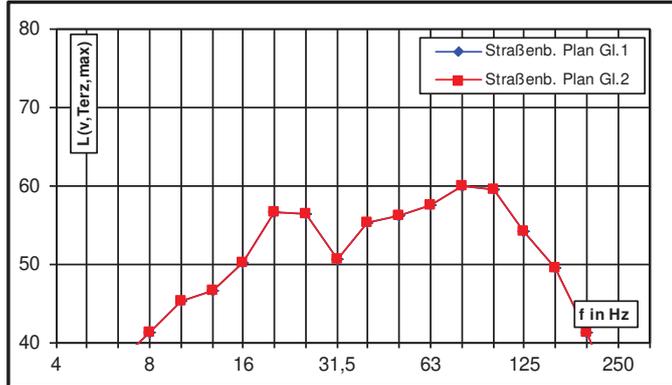
Gebietstyp	W	W = Wohngebiet
		M = Mischgebiet / Außenb.
		G = Gewerbegebiet
		I = Industriegebiet
		K = besondere Gebiete

Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts
unterer Anhaltswert A_u	0,225	0,150
oberer Anhaltswert A_o	3,00	0,60
Anhaltswert A_r	0,105	0,075

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

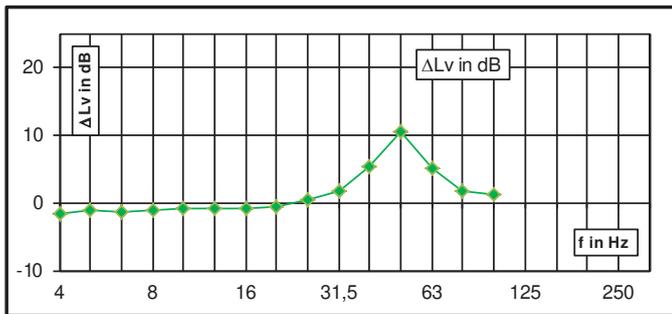
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	60	179	32
Straßenb. Plan Gl.2	60	179	32
Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 201			



Übertragungsweg

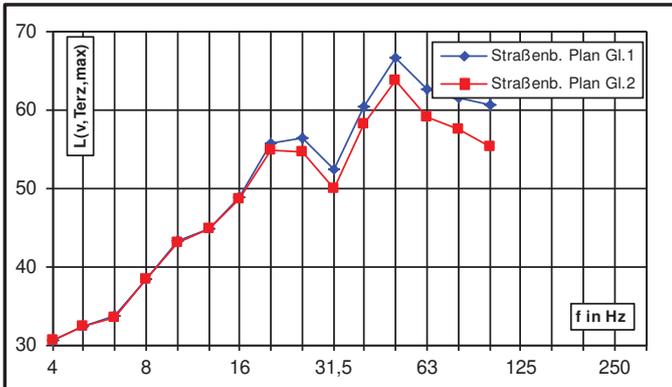
$\Delta L_v = L_v(10) - L_v(8m-MP)$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	7,0 m
Deckentyp	Massivdecke



Erschütterungs-Immission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 10^{-5} \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal



	Bewertete Schwingstärke KB		
	KB_{FTm}	KB_{FTr} Tag	KB_{FTr} Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	0,19	0,06	0,04
Straßenb. Plan Gl.2	0,13	0,04	0,02
gesamt	0,19	0,07	0,04

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
42,8	34,4	29,9

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{FTr} > A_r$	$KB_{FTr} > A_r$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	ja	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v	
am Fundament	$v_{max} = 0,09$ mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} = 0,21$ mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3	
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s nein

Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Mindestabstand zur Einhaltung von A_r

Nossener Brücke / Nürnberger Str., Dresden Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte) Planfall

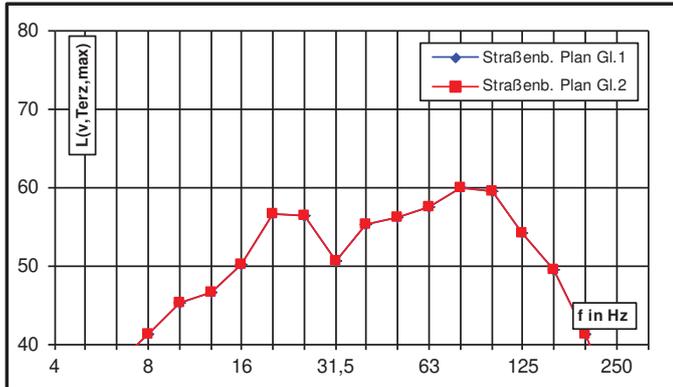
Gebietstyp	W	W = Wohngebiet
		M = Mischgebiet / Außenb.
		G = Gewerbegebiet
		I = Industriegebiet
		K = besondere Gebiete

Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts
unterer Anhaltswert A_u	0,225	0,150
oberer Anhaltswert A_o	3,00	0,60
Anhaltswert A_r	0,105	0,075

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

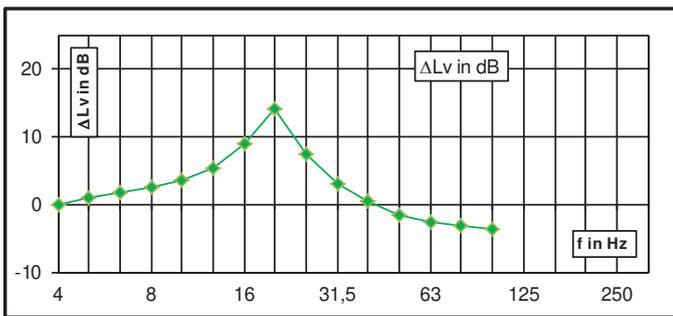
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	60	179	32
Straßenb. Plan Gl.2	60	179	32
Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 201			



Übertragungsweg

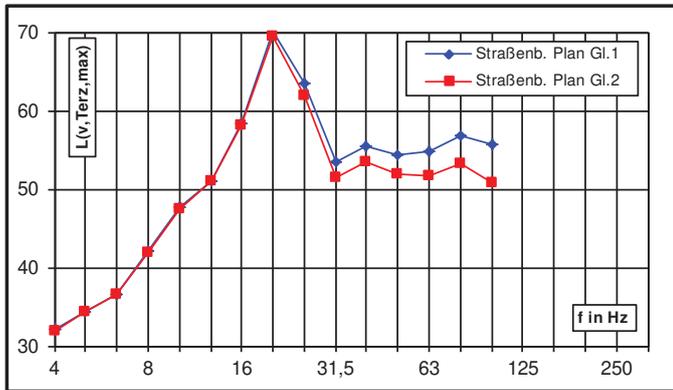
$\Delta L_v = L_v(I0) - L_v(8m-MP)$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	8,0 m
Deckentyp	Holzbalkendecke



Erschütterungs-Immission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 10^{-5} \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal



	Bewertete Schwingstärke KB		
	KB_{FTm}	KB_{FTd} Tag	KB_{FTn} Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	0,23	0,07	0,04
Straßenb. Plan Gl.2	0,20	0,06	0,04
gesamt	0,23	0,09	0,06

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
38,4	30,2	25,8

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{FTd} > A_r$	$KB_{FTn} > A_r$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
ja	ja	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v	
am Fundament	$v_{max} = 0,08$ mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} = 0,27$ mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3	
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s nein

Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Mindestabstand zur Einhaltung von A_r

Freiberger Str. / Kurve Ebertplatz, Dresden Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte) Planfall

Gebietstyp	W	W = Wohngebiet
		M = Mischgebiet / Außenb.
		G = Gewerbegebiet
		I = Industriegebiet
		K = besondere Gebiete

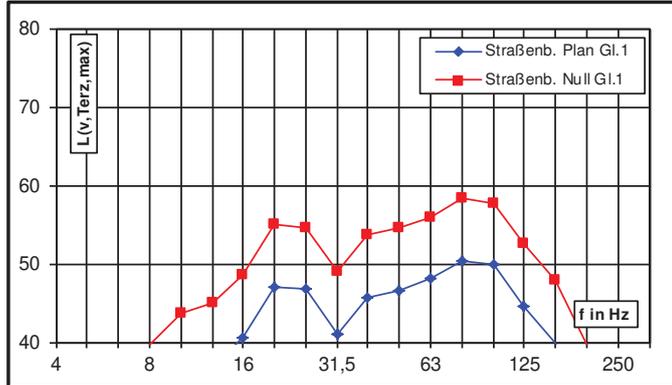
Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts
unterer Anhaltswert A_u	0,225	0,150
oberer Anhaltswert A_o	3,00	0,60
Anhaltswert A_r	0,105	0,075

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	20	179	32
Straßenb. Plan Gl.2	20	179	32
Straßenb. Null Gl.1	50	95	21
Straßenb. Null Gl.2	50	95	21

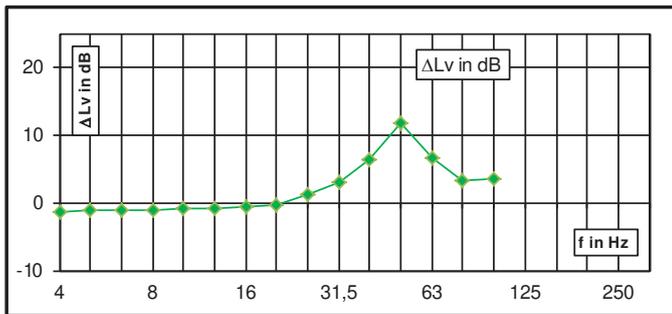
Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 201



Übertragungsweg

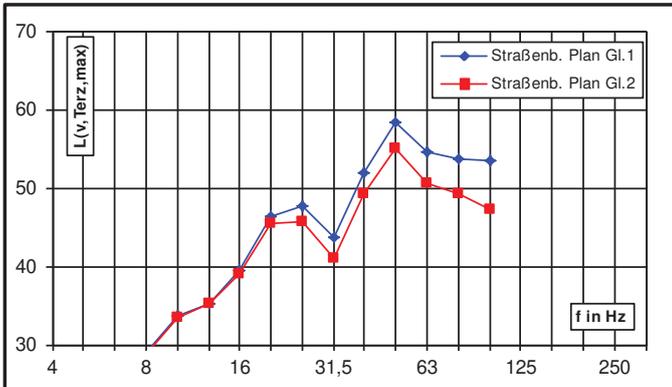
$\Delta L_v = L_v(10) - L_v(8m-MP)$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	6,0 m
Deckentyp	Massivdecke DB-FiL



Erschütterungs-Immission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 10^{-5} \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal



	Bewertete Schwingstärke KB		
	KB_{FTm}	KB_{FTr} Tag	KB_{FTr} Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	0,08	0,02	0,01
Straßenb. Plan Gl.2	0,05	0,02	0,01
Straßenb. Null Gl.1	0,19	0,04	0,03
Straßenb. Null Gl.2	0,12	0,03	0,02
gesamt	0,19	0,06	0,04

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
42,9	33,8	29,9

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{FTr} > A_r$	$KB_{FTr} > A_r$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	ja	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v		
am Fundament	$v_{max} =$	0,09 mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$	0,21 mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3		
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s	nein

Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Mindestabstand zur Einhaltung von A_r

Freiberger Str. / Kurve Ebertplatz, Dresden Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte) Planfall

Gebietstyp	W	W = Wohngebiet
		M = Mischgebiet / Außenb.
		G = Gewerbegebiet
		I = Industriegebiet
		K = besondere Gebiete

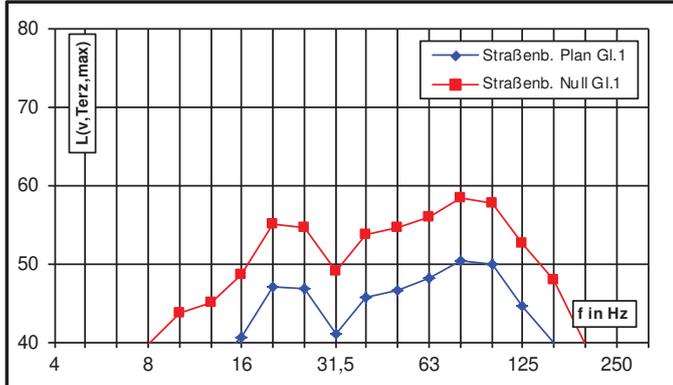
Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts
unterer Anhaltswert A_u	0,225	0,150
oberer Anhaltswert A_o	3,00	0,60
Anhaltswert A_r	0,105	0,075

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	20	179	32
Straßenb. Plan Gl.2	20	179	32
Straßenb. Null Gl.1	50	95	21
Straßenb. Null Gl.2	50	95	21

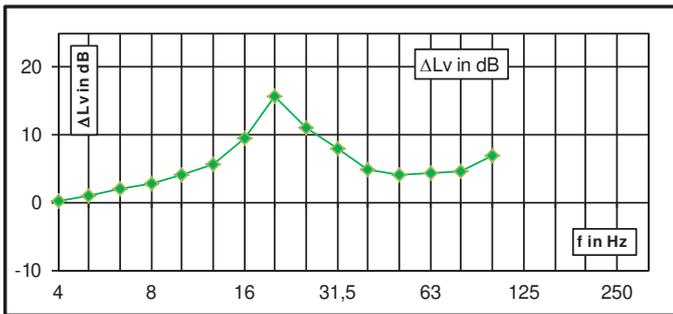
Straßenbahn NGT D8DD 60 km/h F.-Reuter-Str. 201



Übertragungsweg

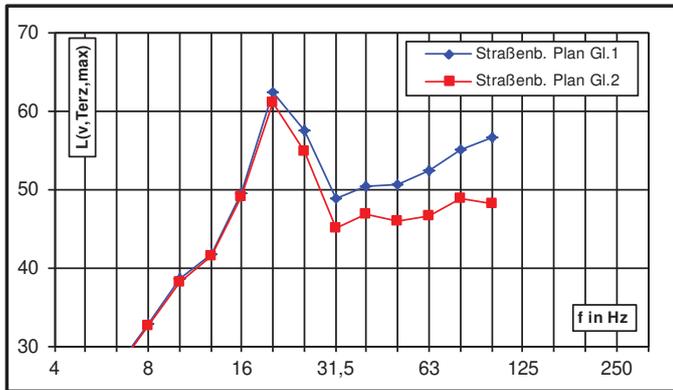
$\Delta L_v = L_v(10) - L_v(8m-MP)$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	4,0 m
Deckentyp	Holzbalkendecke DB-RiL



Erschütterungs-Immission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 10^{-5} \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal



	Bewertete Schwingstärke KB		
	KB_{FTm}	KB_{FTr} Tag	KB_{FTr} Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	0,11	0,03	0,02
Straßenb. Plan Gl.2	0,08	0,02	0,01
Straßenb. Null Gl.1	0,27	0,06	0,04
Straßenb. Null Gl.2	0,20	0,04	0,03
gesamt	0,27	0,09	0,06

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
42,0	33,1	29,1

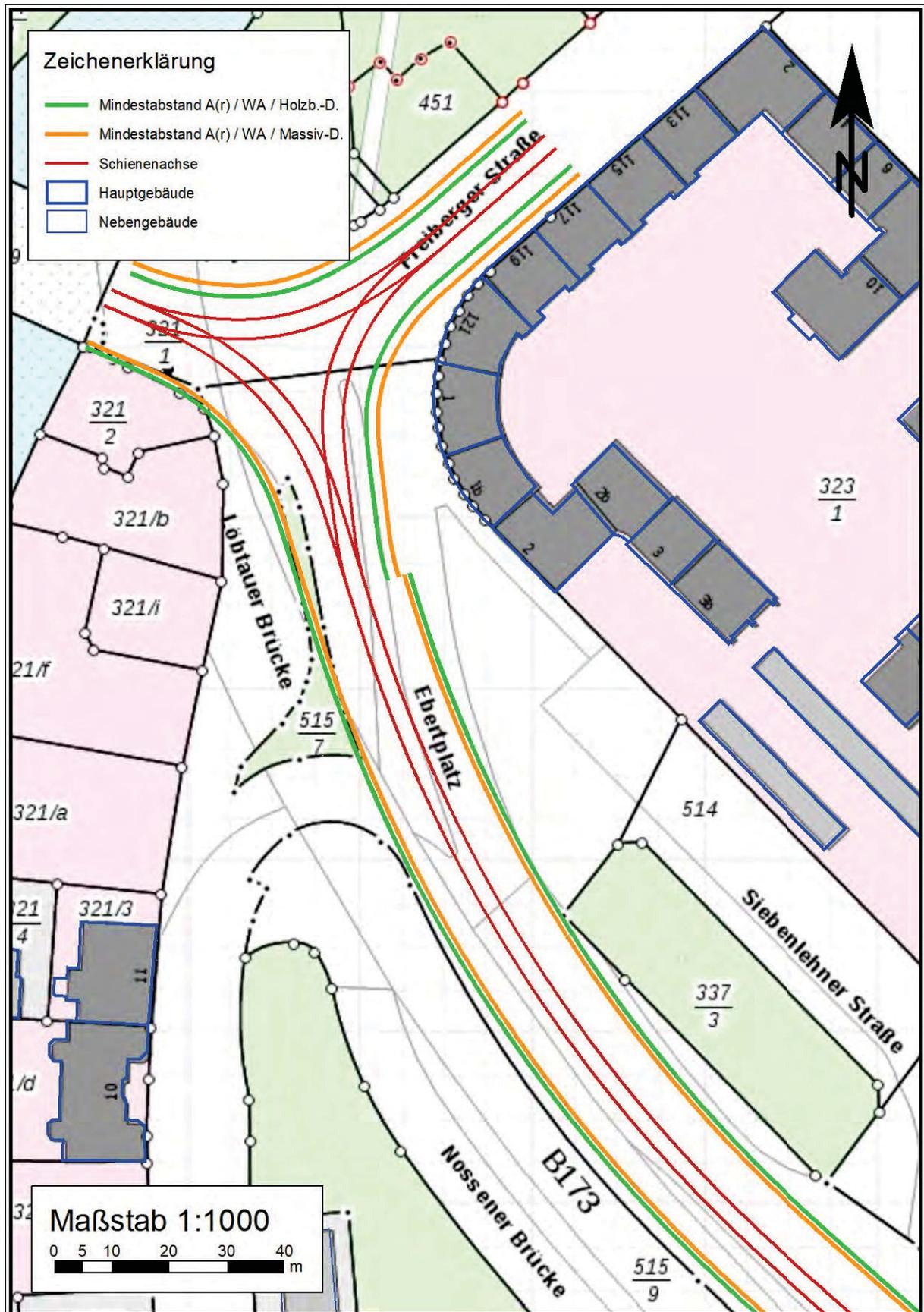
Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{FTr} > A_r$	$KB_{FTr} > A_r$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
ja	ja	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v		
am Fundament	$v_{max} =$	0,15 mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$	0,33 mm/s

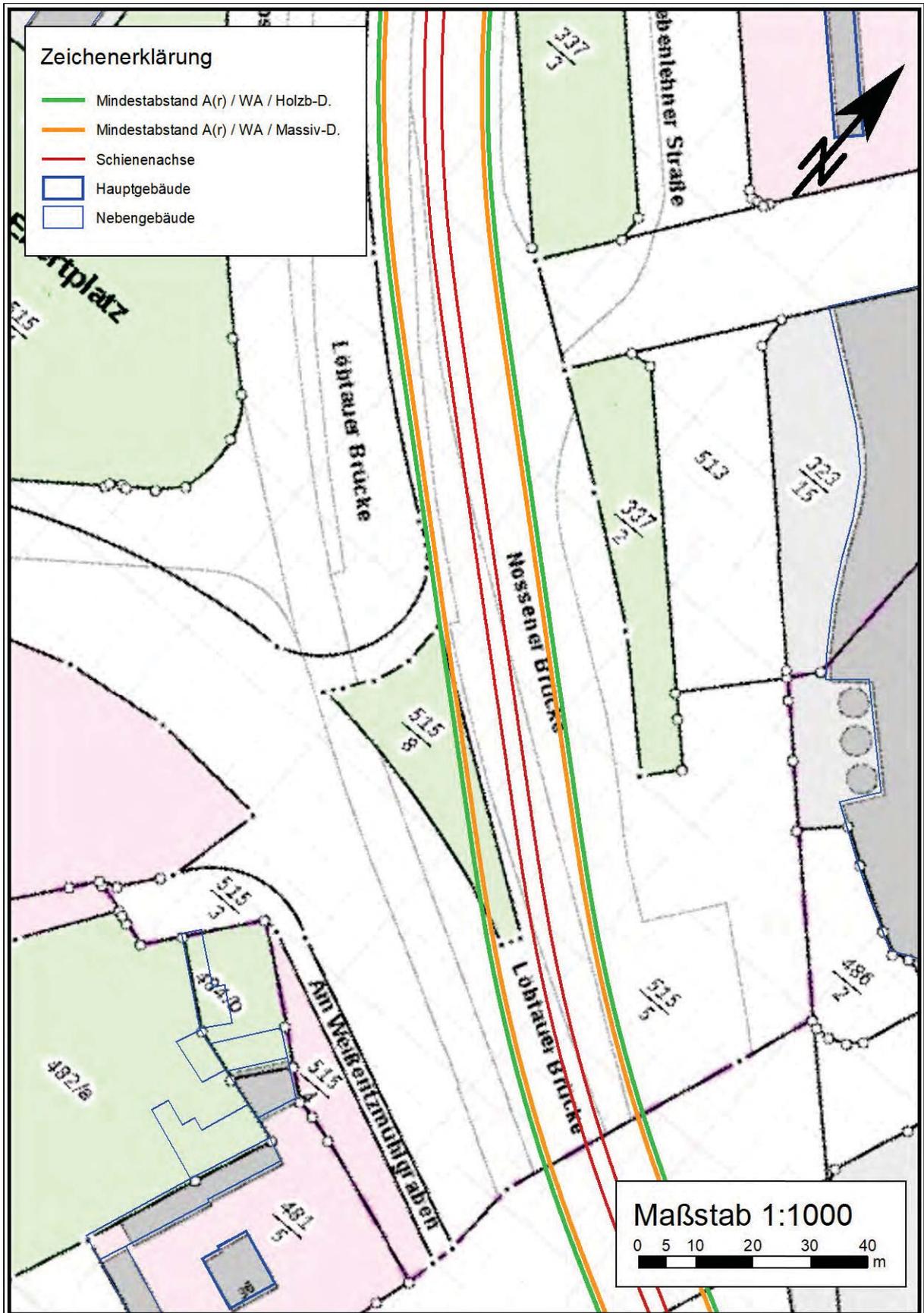
Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3		
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s	nein

Anhang 5 Lageplan des Einwirkungsbereiches ($KB_{FT_r} > A_r$)

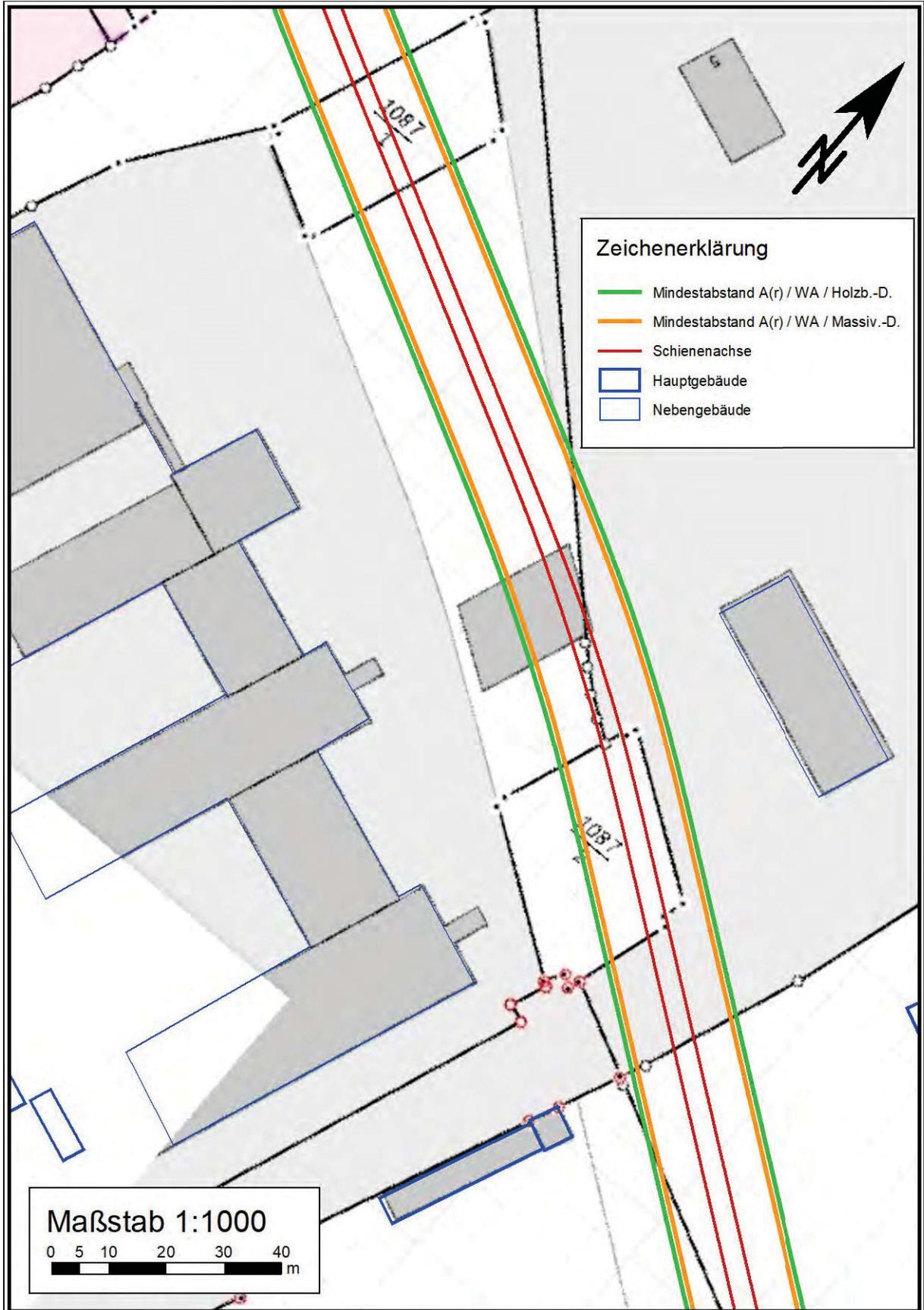
Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 1



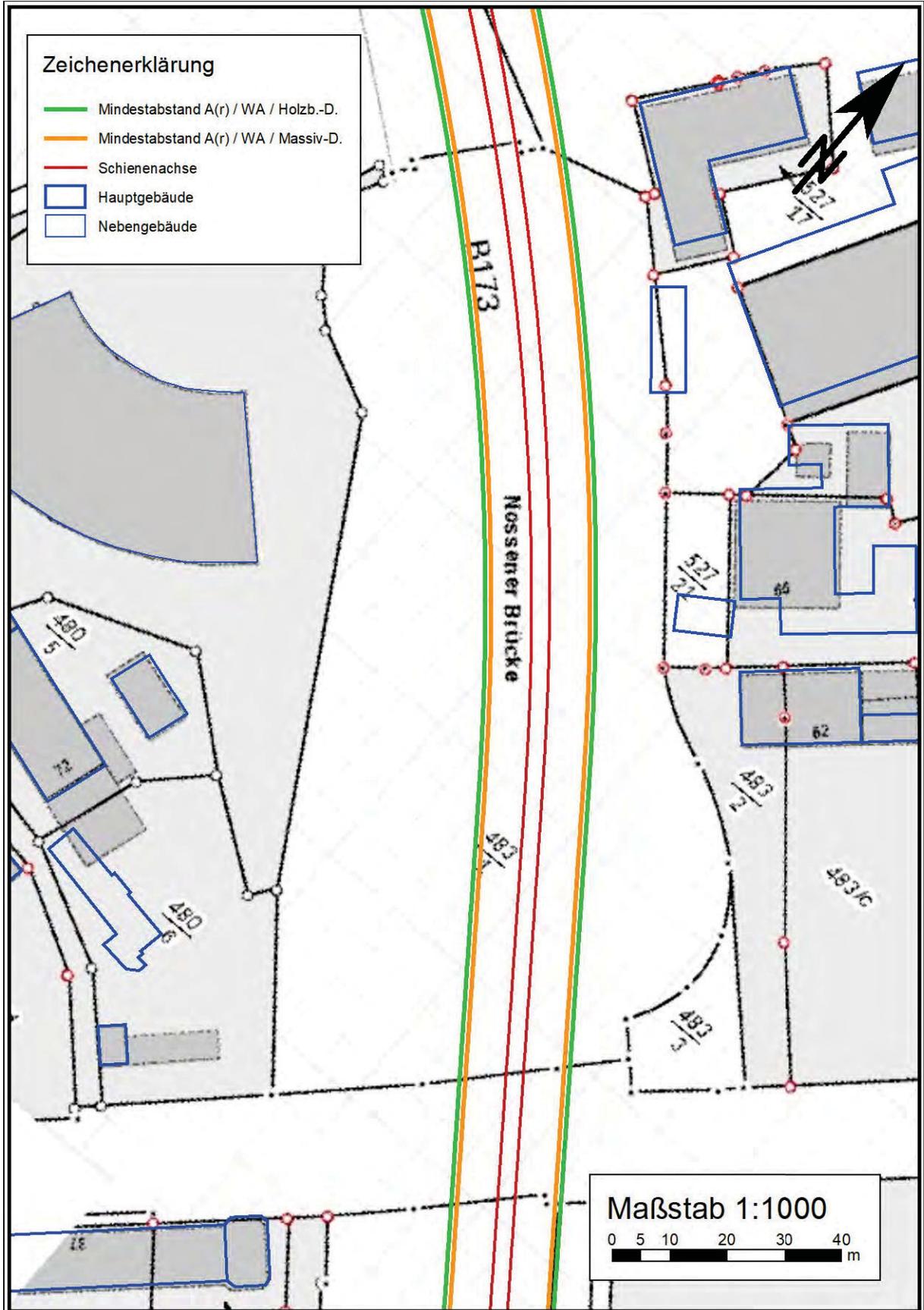
Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 2



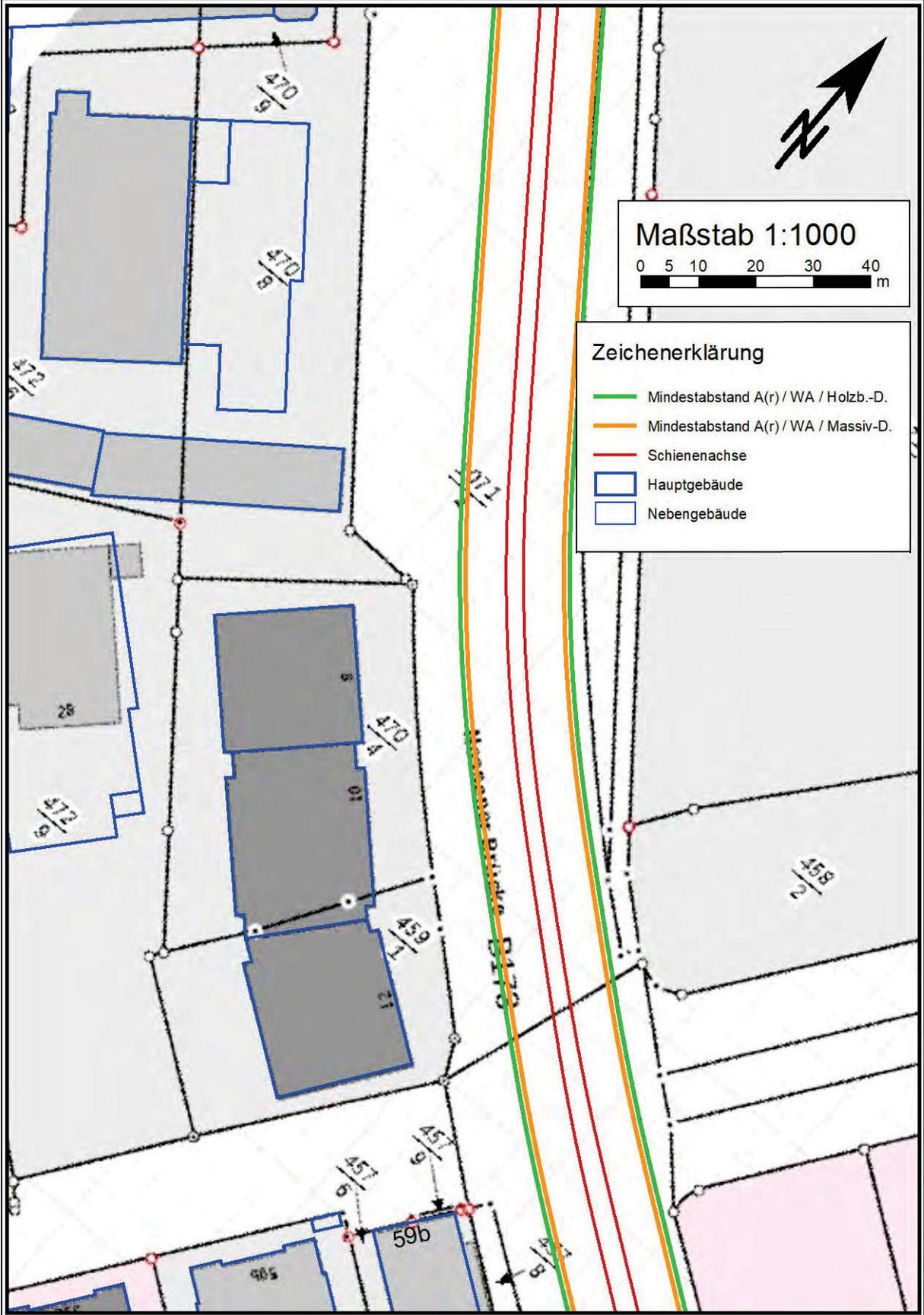
Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 3



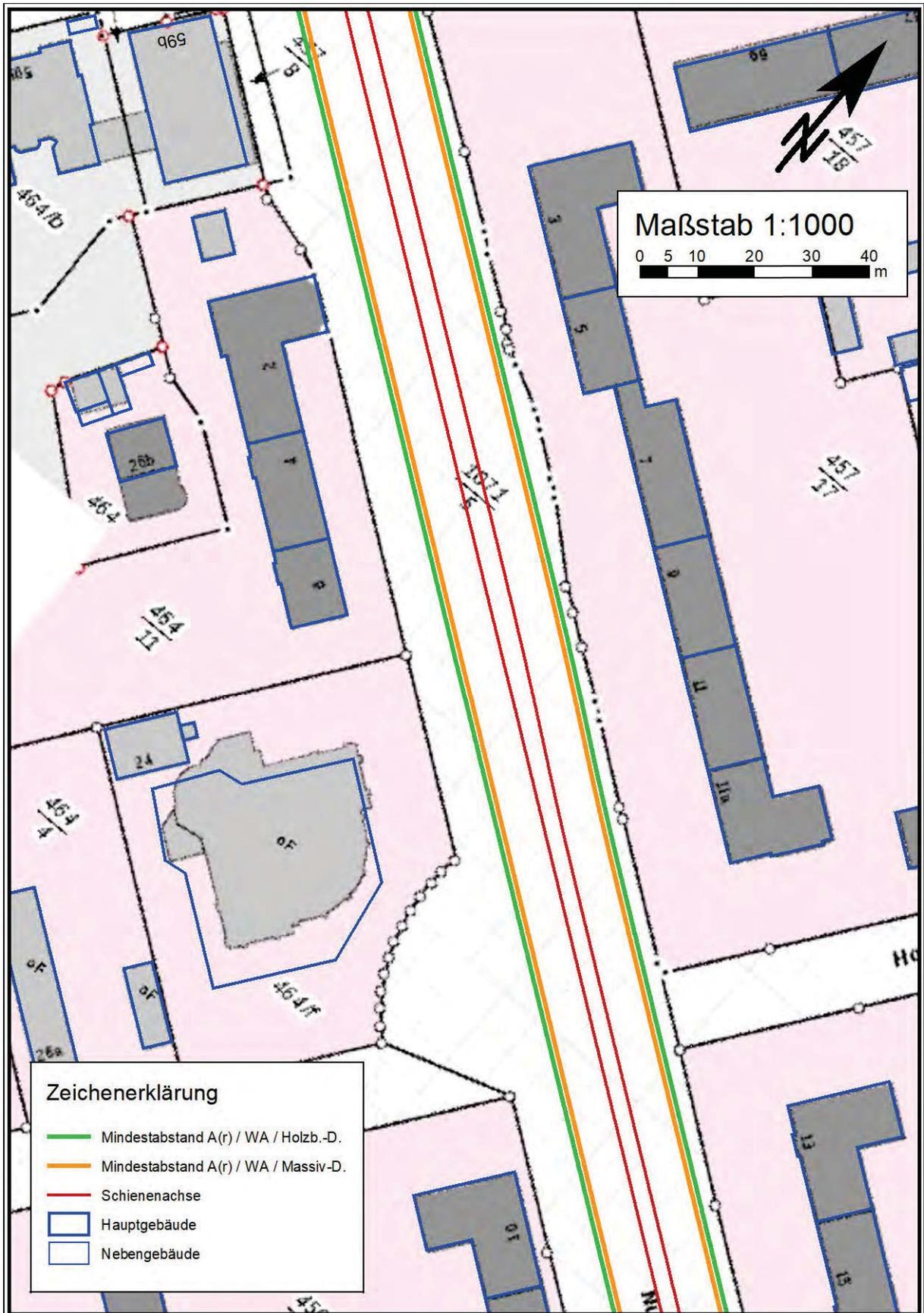
Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 4



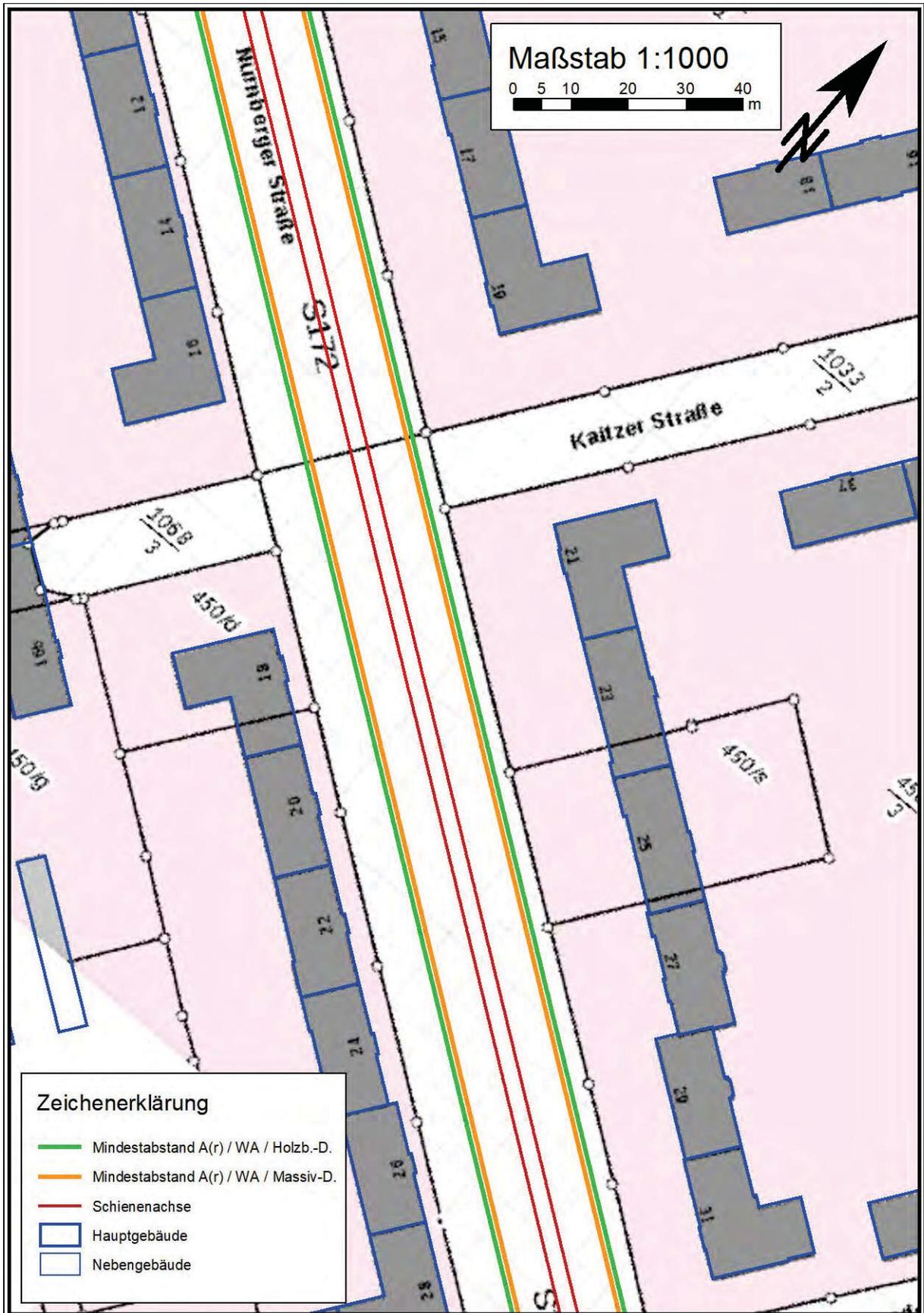
Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 5



Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 6



Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 7



Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 8

