

Zweckverband Verkehrsverbund Mittelsachsen
Am Rathaus 2, 09111 Chemnitz

Chemnitzer Modell, Stufe 4
Ausbau Chemnitz – Limbach-Oberfrohna
Planfeststellungsabschnitt 1

FESTSTELLUNGSENTWURF

- Unterlage 17.2 -
Untersuchung zu betriebsbedingten Erschütterungen

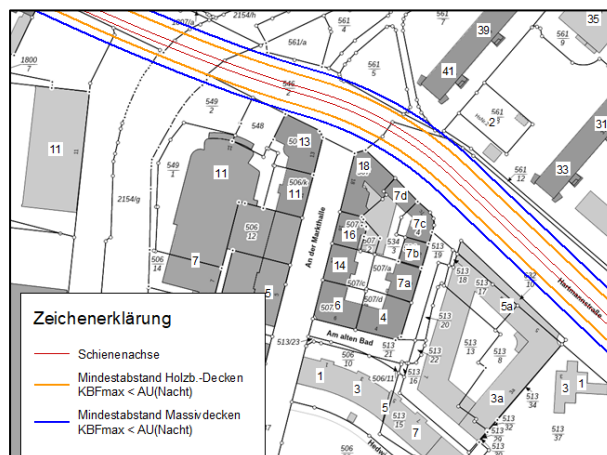
<p>Vorhabenträger: Zweckverband Verkehrsverbund Mittelsachsen</p> <p>Chemnitz, den 21.12.2023</p> <p>gez. Ronny Grabner</p> <p>.....</p> <p>i.A. Ronny Grabner Geschäftsbereichsleiter Verkehr / Infrastruktur</p>	<p>Maßnahmeträger: Chemnitzer Verkehrs-AG</p> <p>Chemnitz, den 21.12.2023</p> <p>gez. David Joram gez. Holger Auerbach</p> <p>.....</p> <p>ppa. David Joram Holger Auerbach Geschäftsbereichsleiter Betriebsleiter BOStrab Technischer Service</p>

Bericht Nr. 20-4188 / 02-1

Chemnitzer Modell - Stufe 4, PFA 1 Ausbau Chemnitz - Limbach-Oberfrohna

TA Hartmannstraße, Brückenstraße, Theaterstraße, Falkeplatz U17.2 Untersuchung zu betriebsbedingten Erschütterungen

Stand: 08.12.2023



Bearbeitet von Dipl.-Ing. L. Wiedemann

für

VCDB
VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH
Könneritzstraße 31
01067 Dresden

Ergebnisübersicht

Im Rahmen der Verkehrsbaumaßnahme "Chemnitzer Modell - CM4, PFA1" wird in den Teilabschnitten TA Hartmannstraße, Brückenstraße, Theaterstraße, Falkeplatz der Neubau eines Schienenverkehrsweges geplant.

Zum Planungsverfahren wurde eine erschütterungstechnische Untersuchung durchgeführt. Diese umfasst eine Emissionsmessung im Ist-Zustand im Erdboden und eine Prognose für den geplanten Zustand. Dabei wurde ein Erschütterungskorridor berechnet, innerhalb dessen mit Belästigungen durch Erschütterungen gerechnet werden muss (unterer Anhaltswert A_u nach DIN 4105-2 überschritten). Drei für den Untersuchungsabschnitt repräsentative Gebäude wurden ergänzend mittels einer detaillierten Prognoserechnung untersucht.

Die Erschütterungsprognose nach DIN 4150 hat für die Einwirkung auf Menschen in Gebäuden ergeben, dass lediglich in einem Erschütterungskorridor von 5,5 m (Holzbalkendecken) bzw. 9,5 m (Massivdecken) zum nächstgelegenen Gleis der untere Anhaltswert A_u nachts der DIN 4150-2 für Wohngebiete erreicht oder überschritten wird.

Da keine Gebäude mit schutzbedürftiger Nutzung innerhalb dieses möglichen Erschütterungs-Einwirkungsbereiches liegen, ist der Erschütterungsschutz im Rahmen des Bauvorhabens erfüllt.

Zudem halten die im Rahmen der detaillierten Prognose für 3 Gebäude unter Berücksichtigung der geplanten Verkehrsbelegung für das Bauvorhaben im Planzustand berechneten bewerteten Beurteilungsschwingstärken KB_{FT} die Anhaltswerte A_r der DIN 4150-2 entsprechend der Gebietseinstufung tags und nachts ein.

Auch die berechneten sekundären Luftschallpegel unterschreiten für alle Gebäude die zulässigen Innenpegel für Wohnräume in Anlehnung an die 24. BImSchV.

Damit werden durch das geplante Bauvorhaben keine Belästigungen von Menschen in Gebäuden verursacht. Bauliche Maßnahmen zum Erschütterungsschutz sind nicht erforderlich.

Die für Fundament bzw. Geschossdecke der Gebäude prognostizierten maximalen Schwinggeschwindigkeiten von deutlich unter 1 mm/s liegen erheblich unter den Anhaltswerten der Norm DIN 4150-3 für Wohngebäude.

Gebäudeschäden durch den Straßenbahnverkehr sind an diesen Gebäuden, sowie auch an allen anderen im Untersuchungsbereich liegenden Gebäuden, sicher auszuschließen.

Der Bericht enthält 74 Seiten inklusive 6 Anhänge.

Dresden, den 08.12.2023

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. Situation und Aufgabenstellung.....	6
2. Berechnungs- und Beurteilungsgrundlagen	7
2.1. Erschütterungs-Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	7
2.2. Erschütterungs-Einwirkung auf bauliche Anlagen	12
2.3. Sekundärer Luftschall	13
3. Verfahren der Erschütterungsprognose	15
3.1. Prognoseverfahren	16
3.2. Prinzipiell mögliche Maßnahmen zum Erschütterungsschutz	17
3.3. Qualität der Prognose	18
4. Emissionsdaten des Schienenverkehrs.....	19
4.1. Oberbau	19
4.2. Trassierung	19
4.3. Verkehrsbelegung, Geschwindigkeit	20
4.4. Terzspektren	20
5. Messungen	21
5.1. Messverfahren und Randbedingungen	21
5.2. Örtliche Gegebenheiten	22
5.3. Messobjekt	22
5.4. Ergebnisse für den Ist-Zustand	23
6. Erschütterungsprognose Schienenverkehr und Bewertung	24
6.1. Einwirkungsbereich	24
6.2. Prognose für ausgewählte repräsentative Gebäude	25
6.2.1. Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	25
6.2.2. Einwirkung auf Gebäude	27
6.3. Zusammenfassende Bewertung - Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	27
6.4. Zusammenfassende Bewertung - sekundärer Luftschall	28
6.5. Zusammenfassende Bewertung - Gebäudeschäden	28
6.6. Fazit der Bewertungen	28
6.7. Erschütterungseinwirkung des Straßenverkehrs	28
7. Normen und Literatur	29
8. Anhänge	30

Anhang 1	Lageplan, örtliche Gegebenheiten	31
Anhang 2	Oberbau	35
Anhang 3	Verkehrsmengen - Schienenverkehr	36
Anhang 4	Emissionsdaten des Schienenverkehrs (Messung)	37
Anhang 4.1	Messprotokoll.....	37
Anhang 4.2	Messwerte des Schienenverkehrs, Erdboden.....	41
Anhang 4.3	Erschütterungs-Emissionsspektren	52
Anhang 4.4	Ausbreitungsdämpfung des Erdbodens.....	53
Anhang 4.5	Gebäudeübertragungsfunktionen	55
Anhang 5	Erschütterungsprognose	56
Anhang 5.1	Prognose für Gebäude An der Markthalle 13.....	57
Anhang 5.2	Prognose für Gebäude Hartmannstraße 28a.....	59
Anhang 5.3	Prognose für Gebäude Theaterstraße 40/42	62
Anhang 5.4	Prognose für Einwirkungsbereich - Gebäude	64
Anhang 6	Lageplan des Einwirkungsbereiches ($KB_{Fmax} > A_u$)	68

1. Situation und Aufgabenstellung

Im Rahmen der Verkehrsbaumaßnahme "Chemnitzer Modell - CM4, PFA1" in den Teilabschnitten TA Hartmannstraße, Brückenstraße, Theaterstraße, Falkeplatz wird der Neubau eines Schienenverkehrsweges geplant. Dieser Neubau der Verkehrsanlagen beinhaltet Straßen- und Gleisanlagen, Radverkehrsanlagen und Gehwege.

Der hier untersuchte Planfeststellungsabschnitt 1 erstreckt sich vom Falkeplatz / Brückenstraße bis Hartmannstraße Ecke Leipziger Straße als erster Abschnitt der zukünftigen Gesamtstrecke Hainichen - Chemnitz - Limbach-Oberfrohna im Zentrum von Chemnitz. Das Planungsgebiet wird in die vier Teilabschnitte Falkeplatz (Abschnitt FP), Theaterstraße (Abschnitt TS), Brückenstraße (Abschnitt BS) und Hartmannstraße (Abschnitt HS) unterteilt.

Im Bereich des Vorhabens verkehren zukünftig Straßenbahnfahrzeuge der Chemnitzer Verkehrs-AG (CVAG) und Fahrzeuge der City-Bahn Chemnitz.

Zur Prüfung der Auswirkungen des Bauvorhabens auf die während des Straßenbahnbetriebes in der Nachbarschaft verursachten Schwingungen/Erschütterungen ist eine erschütterungstechnische Untersuchung durchzuführen. Dazu sind in einem erschütterungstechnischen Gutachten die nach Realisierung der Baumaßnahme vorhandenen Erschütterungs-Immissionen zu ermitteln und nach DIN 4150 zu bewerten (Teil 2 - Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden [4], Teil 3 - Einwirkungen auf Gebäude [5]).

Die nächstgelegene schutzbedürftige Bebauung befindet sich auf beiden Seiten der geplanten Trasse in Abständen zwischen 11 m und > 30 m zur Achse des jeweils nächstgelegenen Richtungsgleises (vgl. Anhang 5.4).

Die Untersuchung basiert auf einer Messung der Erschütterungs-Emission eines vorhandenen Abschnittes mit gleichem Oberbau und vergleichbarem Fahrzeugtyp wie für den Plan-Zustand des Bauvorhabens vorgesehen. Für die Messung wurde ein unbebauter Bereich mit dem Plan-Oberbau und regulärem Straßenbahnverkehr ausgewählt.

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

2. Berechnungs- und Beurteilungsgrundlagen

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.

2.1. 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, [4]) 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

Legende:

A_u unterer Anhaltswert

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

A_r Anhaltswert zum Vergleich mit der Beurteilungsschwingstärke KB_{FT}

Für oberirdische Schienenwege des ÖPNV gelten nachfolgende 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

Legende:

A_u unterer Anhaltswert

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

A_r Anhaltswert zum Vergleich mit der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTT}

Beurteilungsverfahren nach DIN 4150, Teil 2

Für den Vergleich der Messergebnisse mit den Anhaltswerten ist die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} bzw. die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTT} 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.

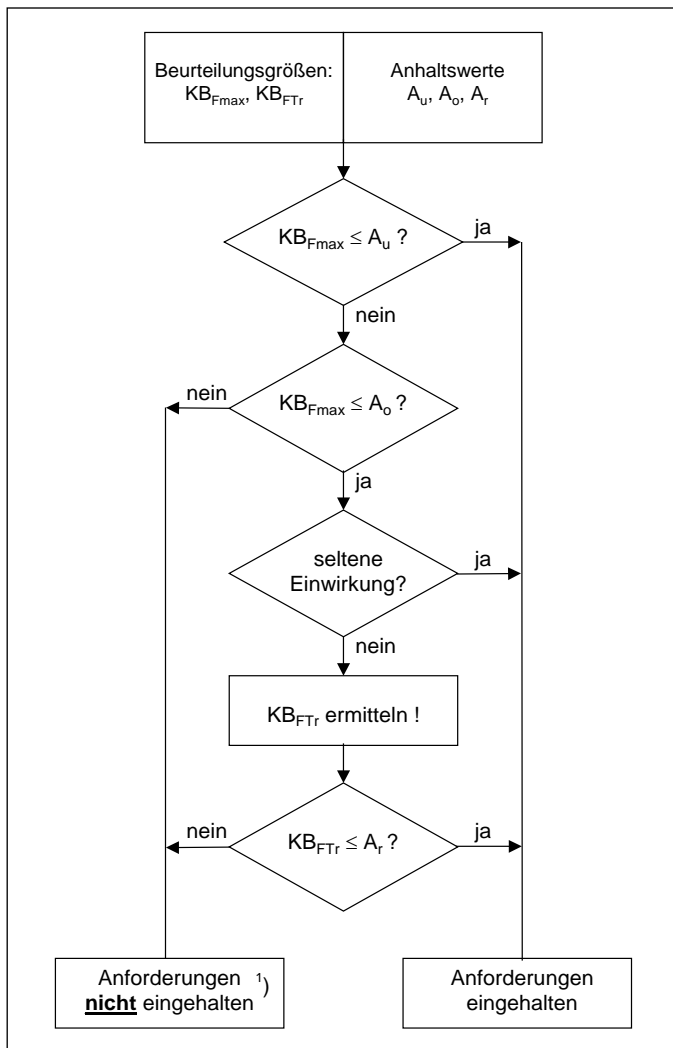


Bild 1 Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren nach DIN 4150, Teil 2 (Neubaustrecken)

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 [9]. 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 [10] 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} weniger als 25% beträgt. Diese Wahrnehmungsdifferenz wird auch in [9], Teil A03, Punkt 3.21-23 angeführt. 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} ab einem Bereich von 1,1 tags und 0,7 nachts als Vorbelastung, die vorhabensbedingt ansteigt, sind gutachterlich besonders zu untersuchen [14].

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} 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.

2.2. 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 [5] legt Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit zur Beurteilung der Wirkung kurzzeitiger Erschütterungen fest. Werden die Anhaltswerte nicht überschritten, treten allgemein 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

Zeile	Gebäudeart	Kurzzeitige 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 **

* 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.

Die durch Schienenverkehr (einschließlich Straßenbahn) an Gebäuden bewirkten Schwinggeschwindigkeiten unterschreiten nach allgemeiner fachlicher Erfahrung im üblichen Abstandsbereich ≥ 10 m die o.g. Anhaltswerte deutlich.

2.3. 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 [9] der berechnete sekundäre Luftschallpegel hilfsweise mit den zulässigen Innengeräuschpegeln für Wohn- und Schlaf Räume 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, wissenschaft. 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 [10]) akzeptiert.

Eine Summierung und zusammenfassende Beurteilung von primärem und sekundärem Luftschall ist z. B. gemäß der DB AG-Richtlinie 820.2050 [9], den Festlegungen des Eisenbahn-Bundesamtes sowie der Rechtsprechung nicht vorgesehen. Für ÖPNV und Straßenbahn sind keine davon abweichenden Regelungen bekannt.

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 Zugattung
- 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 ([9], 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

Der sekundäre Luftschallpegel bei Ausbaustrecken nach Inbetriebnahme (Prognose-Planfall) gegenüber dem Zustand ohne Baumaßnahme (Prognose-Nullfall) wird als nicht erheblich erhöht beurteilt, wenn die vorhabensbedingte Erhöhung weniger als 3 dB beträgt, vgl. in [9], Teil A03 (4.7).

3. Verfahren der Erschütterungsprognose

Zur Untersuchung der erschütterungstechnischen Auswirkung des Bauvorhabens erfolgt die Berechnung eines Erschütterungskorridors, innerhalb dessen mit Belästigungen durch Erschütterungen gerechnet werden muss (unterer Anhaltswert A_u nach DIN 4105-2 überschritten). Für die Bebauung außerhalb des Erschütterungskorridors sind im Allgemeinen keine Belästigungen oder gar gebäudeschädigende Erschütterungen zu erwarten.

Die Grundlage dafür bilden die im Rahmen von Messungen an einer bestehenden Strecke gewonnenen Emissionsspektren sowie die Boden-Ausbreitungsdämpfung nach [9].

Zudem erfolgt eine Untersuchung als detaillierte Prognose für als repräsentativ für die Bebauung ausgewählte Gebäude, basierend auf Messwerten im Erdboden (Emission, Ausbreitungsmessung). Nach Ortsbegehung und Prüfung der Bebauung werden Gebäude als repräsentativ für den Untersuchungsbereich hinsichtlich folgender Kriterien angesehen (vgl. 6.2):

- geringster Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse im Plan-Zustand
- mehrgeschossige Bauten mit Wohnungen in allen Etagen.

In der Erschütterungsprognose werden die maximal zu erwartenden Erschütterungen in den schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen infolge des Straßenbahnverkehrs nach Realisierung des Vorhabens rechnerisch ermittelt.

Aufgrund der höheren Schwankungsbreite der Eigenfrequenzen (Resonanzen) und der inneren Dämpfung sind die Prognoseergebnisse speziell bei Holzbalkendecken nicht zahlenmäßig 1:1 von einem Gebäude auf ein anderes Gebäude übertragbar. Wegen der o.g. Kriterien und der konservativen Prognoseansätze kann jedoch eingeschätzt werden, dass in den übrigen Gebäuden des Untersuchungsbereiches nach Realisierung des Bauvorhabens vergleichbare oder geringere Erschütterungseinwirkungen vorliegen.

3.1. Prognoseverfahren

Für die Erschütterungsprognose wird der Zugverkehr entsprechend der angegebenen Verkehrsdaten auf die beiden Gleise mit dem jeweiligen Abstand zum Wohngebäude gelegt.

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 [13]: $\Delta L_v = 20 \log (V_1 / V_2)$ 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 Mess-/Rechenwerten der Boden-Ausbreitungseigenschaften)
- Terzband-Korrekturwerte $\Delta L_{v,v}$ für geplante Geschwindigkeitsänderung (rechnerisch nach [13] 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}

Die sich zwischen den Ausgangsdaten der Messung und dem konkreten Vorhaben ergebenden Parameteränderungen (z. B. Abstands- und Geschwindigkeitsänderungen, Zugzahlen) werden rechnerisch berücksichtigt. Für die Erschütterungsprognose erfolgt im Bedarfsfall - sofern die bei den jeweiligen Emissionsmessungen gefahrenen Geschwindigkeiten von denen im Null- oder Plan-Fall abweichen - eine Umrechnung gemäß [13] auf die Plan-Geschwindigkeit. Ändert sich der Abstand zwischen Gebäude und Gleisachse, so erfolgt eine Umrechnung der Bodendämpfung entsprechend des Abstandes vom Emissions-Messpunkt auf den Plan-Zustand (am untersuchten Gebäude).

Die verwendeten Erschütterungs-Emissionsspektren sind in Anhang 4.3 dargestellt.

Die Fahrzeuglänge 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 aller Fahrzeugtypen sicher ein, vgl. 2.1 Gleichung 1.

Die Prognose der vorhabensbedingten Änderung erfolgt durch Vergleich der Ergebnisse mit dem genannten Emissionsspektrum unter Berücksichtigung der Gleislageänderungen a) als "Null-Fall" und b) als "Plan-Fall", berechnet gemäß 3.1.

3.2. 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.

Zu den bautechnischen, erschütterungsmindernden Maßnahmen gehören grundsätzlich:

- 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 z. B. in [13] in Form von Diagrammen dargestellt.

3.3. Qualität der Prognose

Einige, insbesondere bautechnische Parameter der Erschütterungs-Prognoserechnung sind in der Planungsphase mit Unsicherheiten behaftet. Die betrifft vor allem den Ausbreitungsweg (Oberbau, Ankopplung des Oberbaus an den Untergrund, Ausbreitungsverhältnisse auf dem Weg zum Immissionsort).

Die Prognoseergebnisse stellen daher eine Abschätzung auf der sicheren Seite dar:

1. 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.
2. 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).

4. Emissionsdaten des Schienenverkehrs

Vom Auftraggeber wurden folgende Informationen als Grundlagen der Prognose übergeben:

- Trassierung für den Plan-Zustand [15]
- Verkehrsbelegung und Fahrgeschwindigkeit Straßenbahn + Chemnitzer Modell [16]
- Vorhabensbeschreibung (Erläuterungsbericht) [17]
- Oberbau-Beschreibung [18], [19]

4.1. Oberbau

Im Rahmen der Baumaßnahme wird folgender neuer Aufbau hergestellt, welcher nachfolgend dem Aufbau am Messort für die Emissionswerte gegenübergestellt ist:

Tab. 5 Oberbau-Ausführung

Zustand	Aufbau
Plan-Zustand Vorhabensbereich	Rasengleis: Querschwellengleis mit Raseneindeckung <ul style="list-style-type: none"> - 14,9 cm Rillenlose Schiene R49 E1 - 0,6 cm Zwischenlage aus Kunststoff - 18,5 cm Spannbetonschwelle L= 2,2 m, Schwellenabstand a=0,75 m - ≥ 25 cm Tragschicht aus gebrochenem Material 0/45 - ≥ 31 cm Frostschutzschicht aus gebrochenem Material 0/45 Quelle: [19]
	Gleisdreieck/Gleisviereck und Anschluss an Bestand: Bauform Feste Fahrbahn <ul style="list-style-type: none"> - 18 cm Rillenschiene 59 R2 - 0,6 cm Kippschutzzwischenlage - 18,7 cm Betontragplatte C30/37 mit Zweiblockschwelle Rheda City TB/ZB-1435 NV-1Ri 180 - ≥ 45 cm Frostschutzschicht aus gebrochenem Material Material 0/45
Ist-Zustand Messort "Emission" L.-Meitner-Str.	Feste Fahrbahn mit Betontragplatte: <ul style="list-style-type: none"> - 18 cm Schiene 60 Ri 1 mit elastischen Kammerfüllelementen, Kleineisen und elastischem Fugenverguss - 1 cm Zwischenlage aus PU-Elastomer - 25 cm Zweiblock-Betonschwelle in Betontragschicht C30/37 - 31 cm Frostschutzschicht 0/45 Quelle: [18]

Der Oberbau-Typ der im November 2022 durchgeführten Emissionsmessung an der bestehenden Strecke in Chemnitz, Lise-Meitner-Straße zwischen Friedhof und Technologie-Campus (deren Emissionswerte als Grundlage für die Prognose des Plan-Zustandes verwendet werden), stimmt bezüglich der Erschütterungs-Emission im Rahmen der Genauigkeit des Prognoseverfahrens mit dem zukünftigen Zustand nach obiger Tabelle überein (vgl. auch Erläuterung unter Punkt 3.3).

4.2. Trassierung

Die Trassierung erfolgt mit einem Gleisachsabstand von mindestens 3,10 m [17].

4.3. Verkehrsbelegung, Geschwindigkeit

Folgende Verkehrsbelegung ist für den Zustand nach Abschluss der Baumaßnahme vorgesehen (Prognosehorizont 2030, aus dem Dokument zum Vorhaben [16], s. auch Anhang 3):

Tab. 6 Geplante Verkehrsbelegung, Prognosehorizont 2030

Fahrzeugtyp, Fahrtrichtung	Fahrten tags (6 - 22 Uhr) je Gleis	Fahrten nachts (22 - 6 Uhr) je Gleis
<u>TA Hartmannstraße + Theaterstraße Süd + Falkeplatz</u>		
CVAG, Straßenbahn-Niederflurfahrzeuge mit Klimaanlage	87	8
Citylink, Straßenbahn-Niederflurfahrzeuge mit Klimaanlage	29	2
<u>TA Brückenstraße + Theaterstraße Nord</u>		
CVAG, Straßenbahn-Niederflurfahrzeuge mit Klimaanlage	174	15

Die zulässige Geschwindigkeit beträgt 50 km/h. Im Bereich von Weichen und Kreuzungen ist die Geschwindigkeit auf 15 km/h reduziert, in Haltestellenbereichen auf 40 km/h [17].

Die Erschütterungsprognose für den Plan-Fall erfolgt entsprechend obiger Verkehrsmengen und für den maximalen Geschwindigkeitswert 50 km/h.

4.4. Terzspektren

Als Grundlage der Erschütterungsprognose stehen aus der eigenen Erschütterungsmessung folgende Daten zur Verfügung:

Emission am 8 m - Messpunkt im Boden

bestehende Strecke mit zukünftig geplantem Oberbau

- Messort: Lise-Meitner-Straße zwischen Friedhof und Technologie-Campus, Gleis in Richtung Hauptbahnhof/Zentrum
- Oberbautyp: gemäß Tab. 5 im Ist-Zustand
- Straßenbahnen der Typen Škoda 35T und Adtranz Variobahn. 6NGT-LDE, Linie 3
- Citylink-Bahnen der Typen Vossloh Citylink, Linien C13/C14/C15
- mittlere Geschwindigkeit am Messtag 15.11.2022
 $v_m = 45 \text{ km/h}$ (Citylink) bzw. 50 km/h (Straßenbahn)

Erschütterungs-Ausbreitungsdämpfung im Erdboden, gleicher Messort siehe oben

5. Messungen

5.1. Messverfahren und Randbedingungen

Die Messung und Auswertung zur Bestimmung der Erschütterungen erfolgten gemäß DIN 45672 „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen“ [6] sowie gemäß der DB-Richtlinie für Untersuchungen an Eisenbahnstrecken Nr. 820.2050 [9].

An den Messorten wurden Schwingungen in folgenden Richtungen gemessen:

- z-Richtung, vertikal im Erdboden

Als Messpunkte im Boden wurden folgende Messorte im Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse gewählt:

MP 1z:	8 m, z-Richtung, vertikal
MP 2z:	16 m, z-Richtung, vertikal
MP 3z:	24 m, z-Richtung, vertikal
MP 4z:	32 m, z-Richtung, vertikal

Mit der zur Messung genutzten Software MEDA wurden die Schwinggeschwindigkeiten während der Vorbeifahrten aufgezeichnet und der Spitzenwert der Schwinggeschwindigkeit v_{\max} 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 6.7.

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, Fahrtrichtung: stadtwärts / West
- Bestimmung des Maximalwertes der Schwinggeschwindigkeit v_{\max} in mm/s

5.2. Örtliche Gegebenheiten

Die Einstufung der Immissionsempfindlichkeit der umliegenden Bebauung erfolgte analog zur schalltechnischen Untersuchung [20].

Danach wird die unmittelbar angrenzende Bebauung nahezu vollständig als Mischgebiet und in nur einem kleinen Teilbereich als Allgemeines Wohngebiet charakterisiert, vgl. Übersichtslageplan im Anhang 1.

Für Schulen, Kindertagesstätten und Gebäude mit rein gewerblicher Nutzung erfolgt die Gebietseinstufung mit einem Schutzanspruch nur am Tage.

5.3. Messobjekt

Emissions-Messort Lise-Meitner-Straße, Flurstück 862 (Erdboden)

Zur Bestimmung des Emissionsspektrums für den Oberbau der Straßenbahntrasse im Plan-Zustand und der Boden-Ausbreitungsparameter wurden Erdspieße senkrecht zur Gleisachse im Erdboden eingebracht, vgl. 5.1. Die Lage der Messpunkte ist im Anhang 4.1, Punkt IX dargestellt.

Das ermittelte Emissionsspektrum in 8 m Abstand zum Gleis enthält Anhang 4.3.

Die Messungen beinhalten Erschütterungsdaten sowohl von Fahrzeugen des regulären Straßenbahnverkehrs als auch diejenigen des "Chemnitzer Modells" (Citylink).

5.4. Ergebnisse für den Ist-Zustand

Das Messprotokoll im Anhang 4.1 enthält eine Beschreibung und Fotos des Messobjektes und der Messstellen, die Lage der Objekte zum Gleis sowie die Messergebnisse. Die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen im Ist-Zustand sind detailliert im Anhang 4.2 und Anhang 4.3 enthalten.

Neben der bei jeder Vorbeifahrt ermittelten Schwinggeschwindigkeit v_{\max} sind auch die Terz-MaxHold-Spektren aller Messpunkte und die Übertragungsfunktionen dargestellt.

Nachfolgende Diagramme fassen die Messwerte v_{\max} für den Ist-Zustand zusammen:

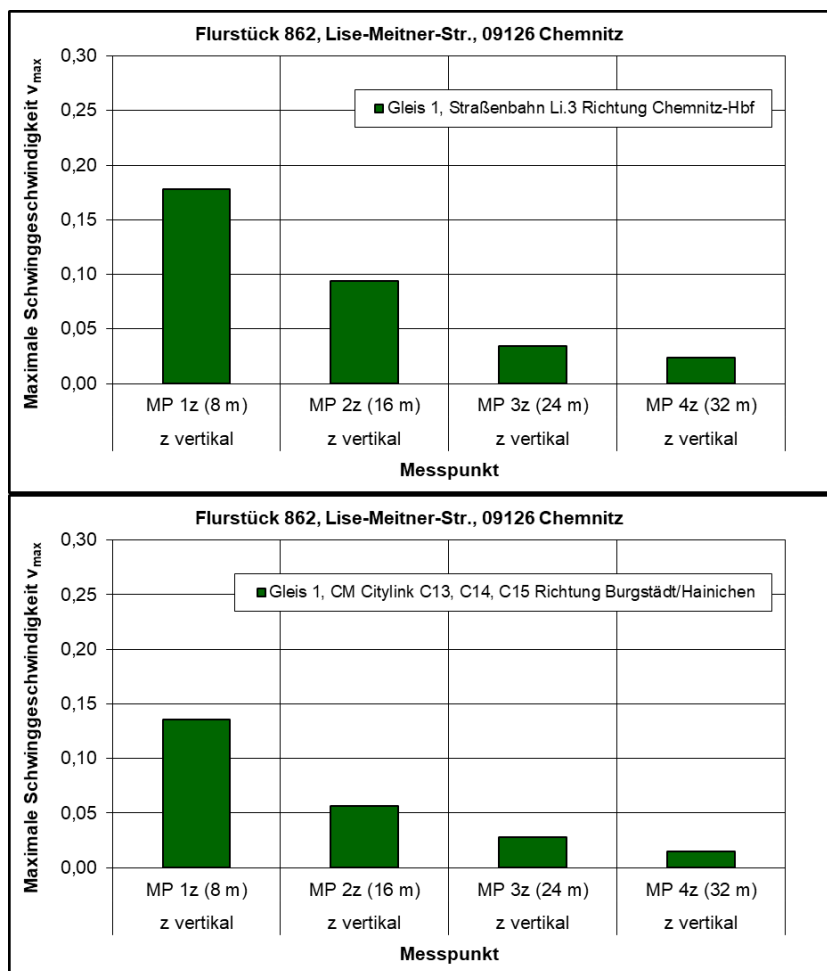


Bild 2 Gemessene Schwinggeschwindigkeiten im Erdboden bei Straßenbahn- bzw. Citylink-Vorbeifahrten

Die als Differenz der Schwinggeschwindigkeits-Terzspektren ermittelte Bodenübertragungsfunktion ist im Anhang 4.4 dargestellt.

6. Erschütterungsprognose Schienenverkehr und Bewertung

6.1. Einwirkungsbereich

In der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung wurde eine Voreinschätzung der zu erwartenden Erschütterungen auf Basis des unteren Anhaltswertes A_u gemäß DIN 4150-2 nachts durchgeführt. Da die Deckentypen nicht bekannt sind, erfolgte die rechnerische Voruntersuchung sowohl für Holz- als auch für Massivdecken, vgl. Tabelle in Anhang 5.4.

Die Prognose hat ergeben, dass in Wohngebäuden der untere Anhaltswert A_u nachts durch KB_{Fmax} überschritten wird, wenn diese näher an der Gleisachse liegen als:

Tab. 7 Mindestabstände - Einwirkungsbereich von Erschütterungen oberhalb A_u

	Wohngebiet, A_u (ÖPNV) = 0,15 nachts $L_{sek,m,N} < 30$ dB(A)
Holzbalkendecke (Resonanzfrequenz 16 Hz)	$d_{min} = 5,5$ m
Massivdecke (Resonanzfrequenz 50 Hz)	$d_{min} = 9,0$ m

Das untersuchte Gebiet ist ausgehend von der vorgefundenen örtlichen Nutzung sowie übereinstimmend mit den Angaben aus dem Flächennutzungsplan nahezu vollständig als Mischgebiet einzustufen, vgl. Anhang 1.

Von den im Bereich der Straßenbahnstrecke befindlichen, zu betrachtenden Gebäuden mit Bewertung der Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen liegen sowohl unter Annahme von Holzbalkendecken als auch unter Annahme von Massivdecken **keine Gebäude** im Einwirkungsbereich mit möglicher Überschreitung des unteren Anhaltswertes A_u nachts für Wohngebiete.

Im Anhang 5.4 ist die detaillierte Auflistung der Gebäude einschließlich der Abstände zur nächstgelegenen Gleisachse enthalten.

Aus den Gebäuden der ersten Bebauungsreihe wurden die im Abschnitt 6.2 untersuchten Prognoseobjekte zur detaillierten rechnerischen Prüfung ausgewählt.

6.2. Prognose für ausgewählte repräsentative Gebäude

Für drei Objekte wurde eine detaillierte Prognoseberechnung auf Basis der Erschütterungsmessung im Ist-Zustand (Emission am 8m-Messpunkt) sowie der Verkehrsbelegung und des Gleisabstandes im Plan-Zustand durchgeführt.

Das Gebäude **An der Markthalle 13** wurde in der detaillierten rechnerischen Prognose untersucht, da es dasjenige mit dem geringsten Abstand im Plan-Zustand darstellt (11,0 m) und augenscheinlich Holzbalkendecken aufweist.

Als Typenvertreter der Gebäude mit der Gebietseinstufung "Wohngebiet" wurde das Wohngebäude **Hartmannstraße 28a** in 16,5 m Abstand (Plan-Zustand) gewählt. Für dieses Gebäude wird als wahrscheinlich angenommen, dass Massivdecken vorliegen.

Als Typenvertreter der Gebäude mit der Gebietseinstufung "Mischgebiet" und mit Massivdecken wurde das Wohngebäude **Theaterstraße 40/42** in 16,5 m Abstand (Plan-Zustand) rechnerisch untersucht.

Die Details sind im Anhang 5 dargestellt. Nachfolgende Tabellen fassen die Ergebnisse zusammen.

6.2.1. Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Tab. 8 Prognoseergebnisse für Wohngebäude in **11,0 m Abstand zur Gleisachse** mit Holzbalkendecken (vgl. Anhang 5.1)

An der Markthalle 13, Chemnitz - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Holzbalkendecke				11,0 m	Gebiet: M		
Bewertete Schwingstärke KB	KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)	L _{sekmax}	L _{sekM}	L _{sekN}
Prognoseergebnis	0,07	0,02	0,01	Prognoseergebnis	33,8	23,8	16,2
Anhaltswert A _u , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,225	0,150	0,105	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	nein	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v _{max} in mm/s	Fundam.	Decke					
Prognoseergebnis	0,05	0,11					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein		Grundlage: Straßenbahn CVAG Li. 3 Citylink CM C13/C14/C15			

Am Tage und in der Nacht werden im Plan-Zustand auf Holzbalkendecken die Anhaltswerte A_u und A_r für Mischgebiete eingehalten. Damit ist die Anforderung an den Erschütterungsschutz nach DIN 4150-2 erfüllt.

Der Richtwert für den zulässigen sekundären Luftschallpegel L_{sek} wird für Holzbalkendecken ebenfalls tags und nachts eingehalten.

Tab. 9 Prognoseergebnisse für Wohngebäude in **16,5 m Abstand zur Gleisachse** mit Massivdecken im **Wohngebiet** (vgl. Anhang 5.2)

Hartmannstr. 28a, Chemnitz - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Massivdecke				16,5 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)	L _{sekmax}	L _{sekm}	L _{sekm}
Prognoseergebnis	0,07	0,02	0,01	Prognoseergebnis	34,8	24,8	17,2
Anhaltswert A _u , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,150	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					
Prognoseergebnis	0,03	0,09					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein		Grundlage: Straßenbahn CVAG Li. 3 Citylink CM C13/C14/C15			

Am Tage und in der Nacht werden im Plan-Zustand auf Massivdecken die Anhaltswerte A_u und A_r für Wohngebiete eingehalten. Damit ist die Anforderung an den Erschütterungsschutz nach DIN 4150-2 erfüllt.

Der Richtwert für den zulässigen sekundären Luftschallpegel L_{sek} wird ebenfalls tags und nachts eingehalten.

Tab. 10 Prognoseergebnisse für Wohngebäude in **16,5 m Abstand zur Gleisachse** mit Massivdecken im **Mischgebiet** (vgl. Anhang 5.3)

Theaterstr. 40/42, Chemnitz - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Massivdecke				16,5 m	Gebiet: M		
Bewertete Schwingstärke KB	KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)	L _{sekmax}	L _{sekm}	L _{sekm}
Prognoseergebnis	0,07	0,02	0,01	Prognoseergebnis	34,8	24,8	17,2
Anhaltswert A _u , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,225	0,150	0,105	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	nein	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v _{max} in mm/s	Fundam.	Decke					
Prognoseergebnis	0,03	0,09					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein		Grundlage: Straßenbahn CVAG Li. 3 Citylink CM C13/C14/C15			

Am Tage und in der Nacht werden im Plan-Zustand auf Massivdecken die Anhaltswerte A_u und A_r für Mischgebiete eingehalten. Damit ist die Anforderung an den Erschütterungsschutz nach DIN 4150-2 erfüllt.

Der Richtwert für den zulässigen sekundären Luftschallpegel L_{sek} wird ebenfalls tags und nachts eingehalten.

Hinweis:

Eine detaillierte Prognoserechnung für ein Gebäude im Teilabschnitt Brückenstraße (mit ausschließlichem Verkehr der Straßenbahn, aber höheren Verkehrsmengen als in den anderen Teilabschnitten) erübrigt sich, da für alle Gebäude bereits für die von der Verkehrsmenge unabhängige Größe KB_{Fmax} die Einhaltung der unteren Anhaltswerte tags und nachts nachgewiesen wurde (siehe Tabelle in Anhang 5.4).

6.2.2. Einwirkung auf Gebäude

Die für Fundamente bzw. Geschossdecken prognostizierten maximalen Schwinggeschwindigkeiten von $v_{\max} < 0,5 \text{ mm/s}$ liegen deutlich unter den zulässigen Anhaltswerten der Norm DIN 4150-3 für Wohngebäude von $v_{\max} = 5 \text{ mm/s}$ bzw. $v_{\max} = 20 \text{ mm/s}$.

Selbst für eine angenommene Einstufung einzelner Gebäude als "besonders empfindliche Bauten, denkmalgeschützte Bauten" ($v_{\max} = 3 \text{ mm/s}$ am Fundament) ist eine sehr sichere Unterschreitung gegeben.

Gebäudeschäden sind durch den Straßenbahnverkehr im Rahmen des geplanten Bauvorhabens daher mit hoher Sicherheit nicht zu erwarten.

6.3. Zusammenfassende Bewertung - Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Die Ergebnisse der Erschütterungsprognose entsprechend der Bearbeitungsschritte in Pkt. 2.1 finden sich im Anhang 5. 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 maximalen bewerteten Schwingstärke $KB_{F_{\max}}$ sowie der Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ 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 wird an keinem der nächstgelegenen Gebäude überschritten.
- Die Anhaltswerte A_r werden im Plan-Zustand auch in den Gebäuden mit dem **geringsten Abstand** zur nächstgelegenen Gleisachse am Tage und in der Nacht eingehalten. Die Anforderungen nach DIN 4150-2 sind damit eingehalten.
- Für alle **Gebäude** mit schutzbedürftiger Nutzung außerhalb der Abstände, in denen die Überschreitung des unteren Anhaltswertes A_u nachts zu erwarten ist (5,5 m bzw. 9,5 m) werden die Anforderungen nach DIN 4150-2 eingehalten.

Erhebliche Belästigungen durch Erschütterungen aus dem Straßenbahnbetrieb sind somit nicht zu erwarten. Bauliche Maßnahmen zum Erschütterungsschutz sind nicht erforderlich.

6.4. Zusammenfassende Bewertung - sekundärer Luftschall

In den detailliert untersuchten Gebäuden (als Typenvertreter für die angrenzende Wohnbebauung und als nächstgelegene Gebäude) werden die Richtwerte für den zulässigen sekundären Luftschallpegel L_{sek} nach Tab. 4 auf Holzbalkendecken im Plan-Fall eingehalten.

6.5. Zusammenfassende Bewertung - Gebäudeschäden

In der Prognoserechnung für die nächstgelegenen Gebäude werden Schwinggeschwindigkeiten von $v_{\text{max}} < 0,5 \text{ mm/s}$ am Fundament bzw. $< 2 \text{ mm/s}$ auf den Geschossdecken berechnet.

Die in Tab. 2 des Gutachtens zitierten Anhaltswerte nach DIN 4150-3 werden bei keinem Gebäude erreicht.

Aus den Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass durch den Schienenverkehr im Plan-Zustand 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.

6.6. Fazit der Bewertungen

Aus der erschütterungstechnischen Untersuchung folgt, dass keine der unter 3.2 beschriebenen zusätzlichen baulichen Maßnahmen zum Erschütterungsschutz erforderlich sind.

6.7. 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.

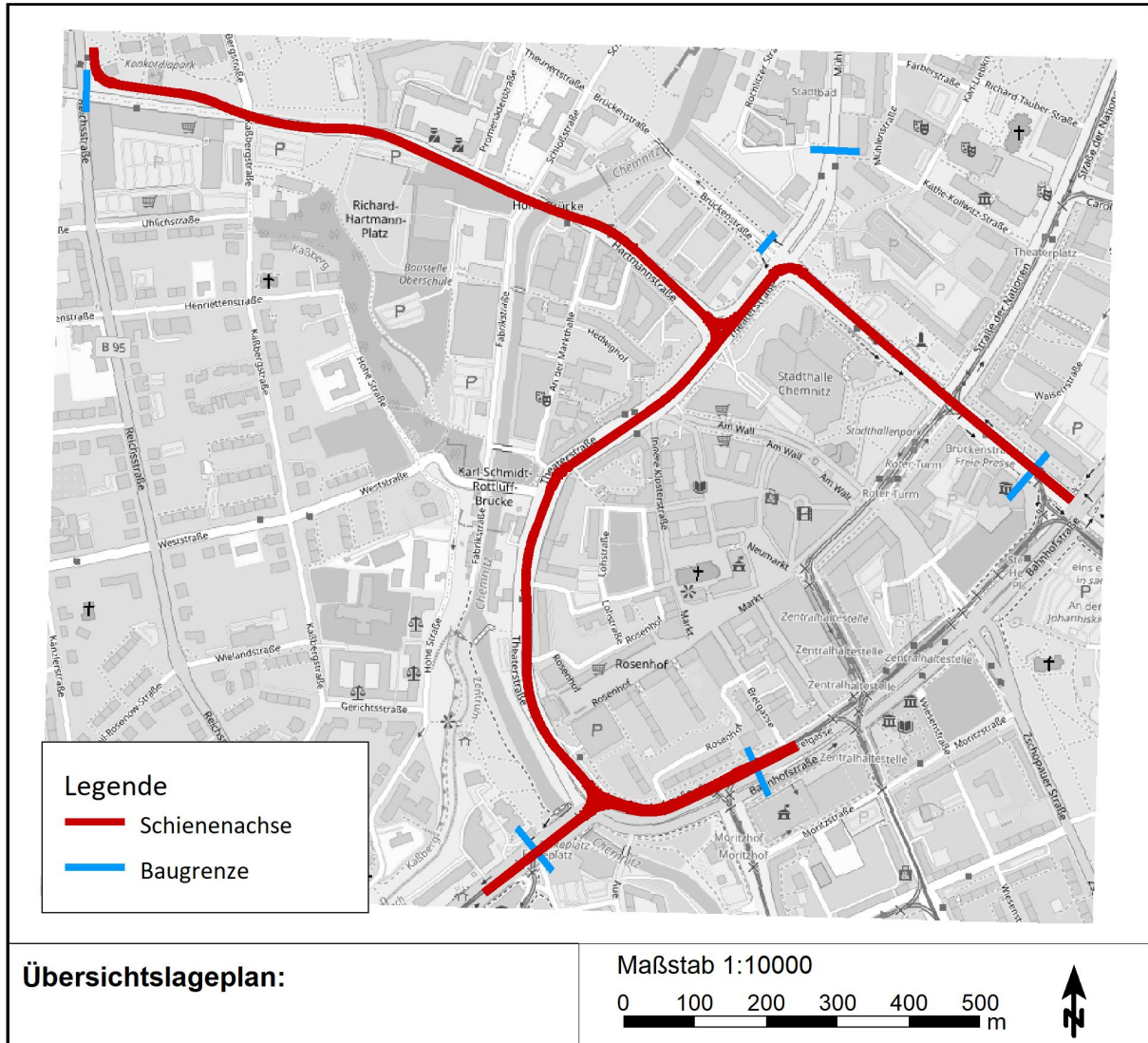
7. Normen und Literatur

- [1] Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 3 des Gesetzes vom 19. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1792)
- [2] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung - BauNVO); BGBl. I, S. 133, 26.01.1990, zuletzt geändert 04.01.2023 (BGBl. I Nr. 6)
- [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] DIN 4150; Teil 2; Juni 1999: Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
- [5] DIN 4150; Teil 3; Dezember 2016: Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf bauliche Anlagen
- [6] DIN 45672-1; Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenwegen; Teil 1: Messverfahren; Februar 2018
- [7] DIN 45669-2; Messung von Schwingungsimmissionen, T. 2: Messverfahren, Juni 2005
- [8] VDI 3837; Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen, Januar 2013
- [9] Erschütterungen und sekundärer Luftschall; Richtlinie 820.2050, Deutsche Bahn AG, Bautechnik, Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik, 15.09.2017
- [10] Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes Az. BVerwG 7A14.09 vom 21.12.2010
- [11] VDI 2057 Blatt 3; Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Beurteilung; Ausgabe Mai 1987
- [12] Keil, Koch, Garburg: Schutz vor Lärm und Erschütterungen, in: Handbuch Eisenbahninfrastruktur, S. 785ff., Springer-Verlag Berlin/Heidelberg, 2007
- [13] Krüger, F. u.a.: Schall- u. Erschütterungsschutz im Schienenverkehr, expert-Verlag, Renningen, 2001; S. 200 und S. 451
- [14] Verfügung zum Umgang mit betriebsbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall in der Planfeststellung, Eisenbahn-Bundesamt, Bonn, 30.01.2017
- [15] Schienenachsen - Planung, VCDB VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH, Dresden, 28.09.2022 und Änderungen im Bypassgleis 08.12.2023
- [16] Chemnitzer Modell Stufe 4, PFA1; Eingangsdaten Schallgutachten Schiene, VCDB VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH, Dresden, 12.05.2021
- [17] Chemnitzer Modell - Stufe 4, Ausbau Chemnitz - Limbach-Oberfrohna, Planfeststellungsabschnitt 1; Unterlage 1 - Erläuterungsbericht, VCDB VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH, Dresden, 08.12.2023
- [18] Oberbauform Reichenhainer Str. / Lise-Meitner-Str., E-Mail Chemnitzer Verkehrs-AG, Technischer Service/Infrastruktur, 24.11.2022
- [19] Oberbauform im Plan-Zustand, E-Mail VCDB VerkehrsConsult, 24.11.2022
- [20] Schalltechnische Untersuchung; Bericht Nr. 20-4188/01-1, cdf Schallschutz, Dresden, 08.12.2023

8. Anhänge

Anhang 1 Lageplan, örtliche Gegebenheiten

Übersichts-Lageplan der Gesamt-Baumaßnahme



Lageplan mit Grenzen der Teilabschnitte (TA 1-4)

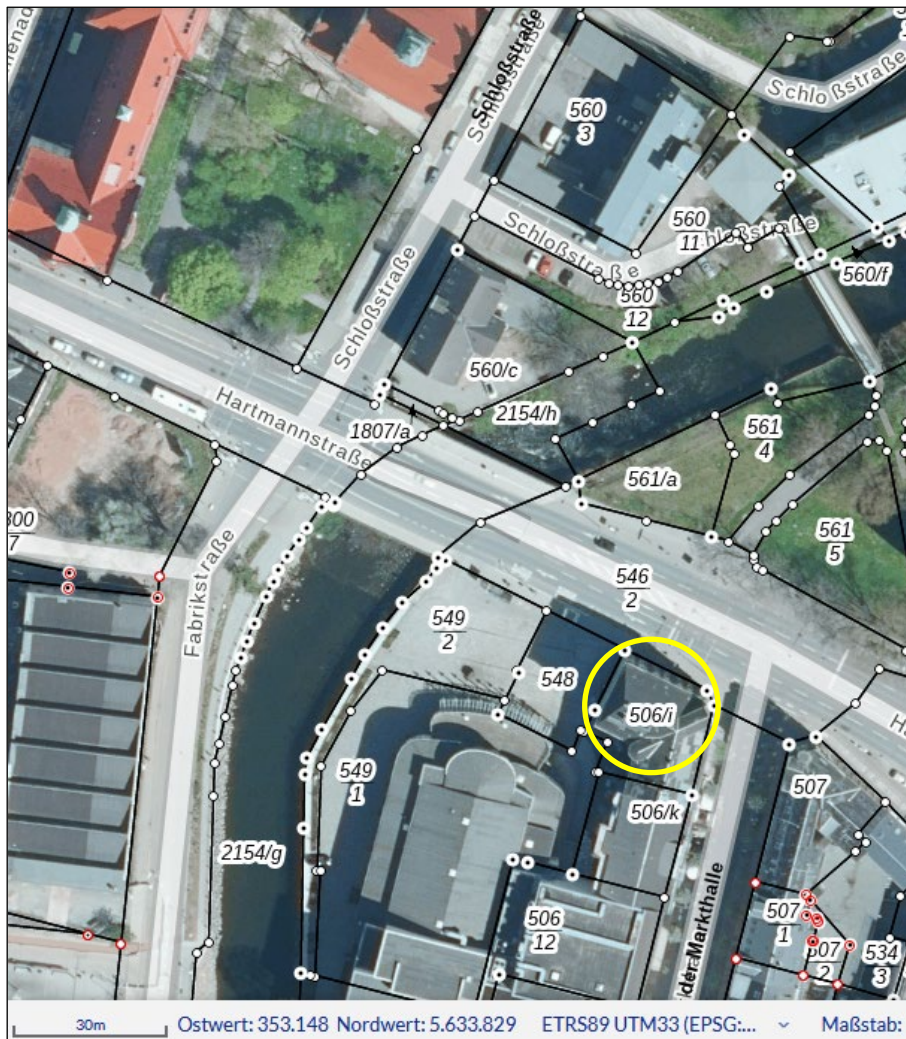


Quelle:

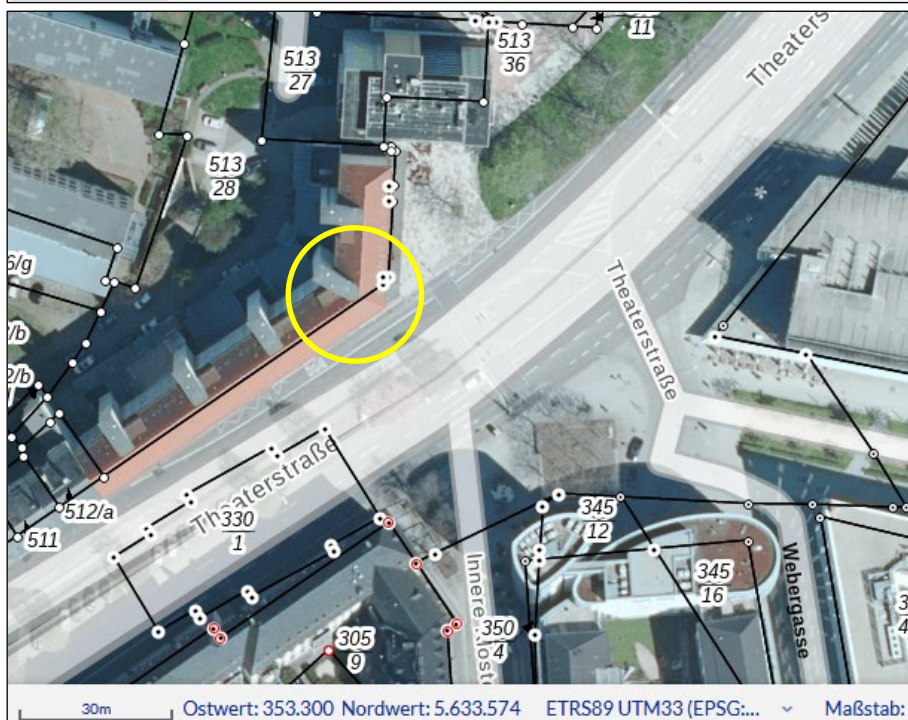
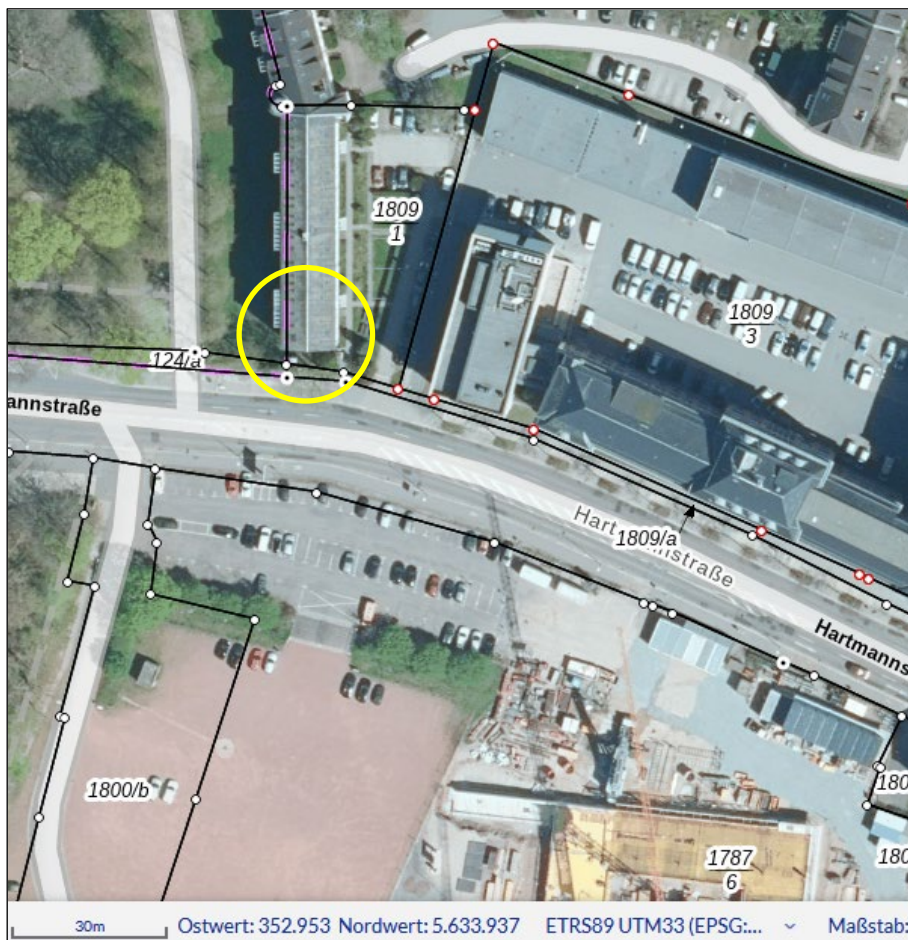
Übersichtslageplan (VCDB) 4_00_U030000_B001_2_0_Übersichtslageplan, VCDB, 30.06.2023

Lageplan- und Luftbild-Ausschnitte

Bildquelle: Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen, Geoportal



markiert: Gebäude 1 mit detaillierter Prognose-Untersuchung



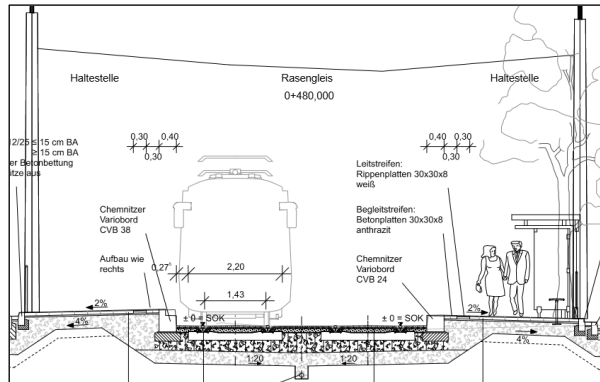
markiert: Gebäude 2 und 3 mit detaillierter Prognose-Untersuchung

Anhang 2 Oberbau

Geplanter Oberbau

Beispiel: Regelquerschnitt H3-H3, Haltestelle Festplatz / Oberschule

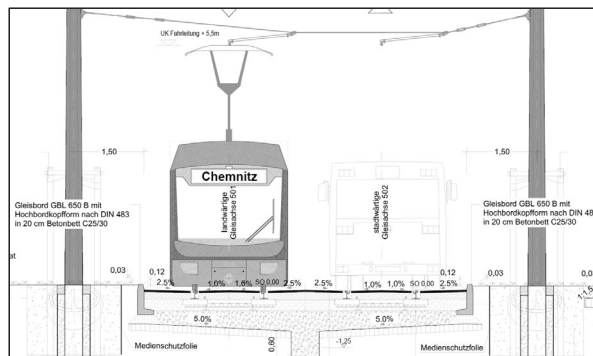
Plannummer: 3_HS_U140000_B002_0_0, Stand 31.08.2022



Querswellengleis mit Raseneindeckung

- 14,9 cm rillenlose Schiene (1)
zuzüglich Schienenbefestigungsmittel (2-4,7,8)
und Schienenkammerfüllelemente (6) lt. Tabelle
- 0,6 cm Zwischenlage (5) aus Kunststoff
- 18,5 cm Spannbetonschwelle
l = 2,2 m; Schwellenabstand a = 0,75 m
- ≥ 25 cm Tragschicht aus gebrochenem Material;
Gesteinskörnung 0/45
- ≥ 31 cm Frostschutzschicht aus gebrochenem Material;
Gesteinskörnung 0/45; Ev2 > 120MPa
Planum, Ev2 > 45MPa

Oberbau am Emissions-Messort [18]

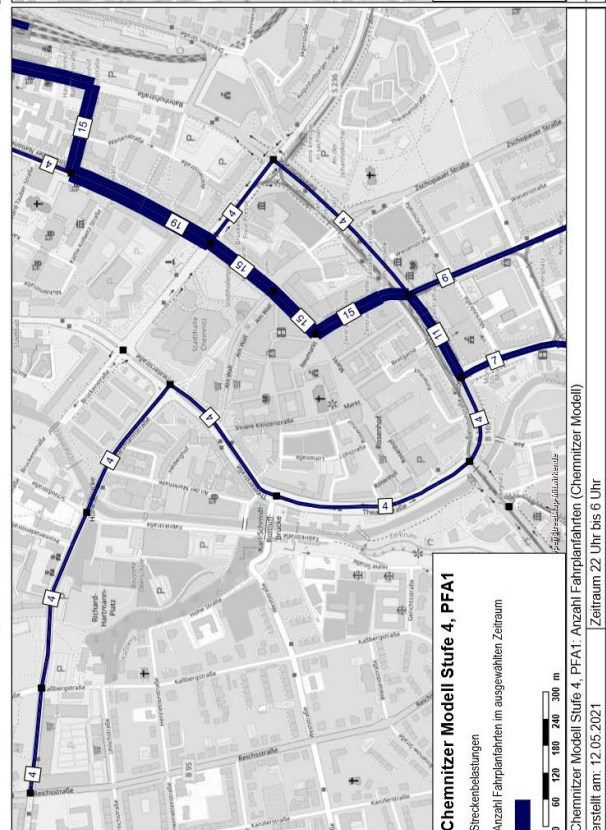
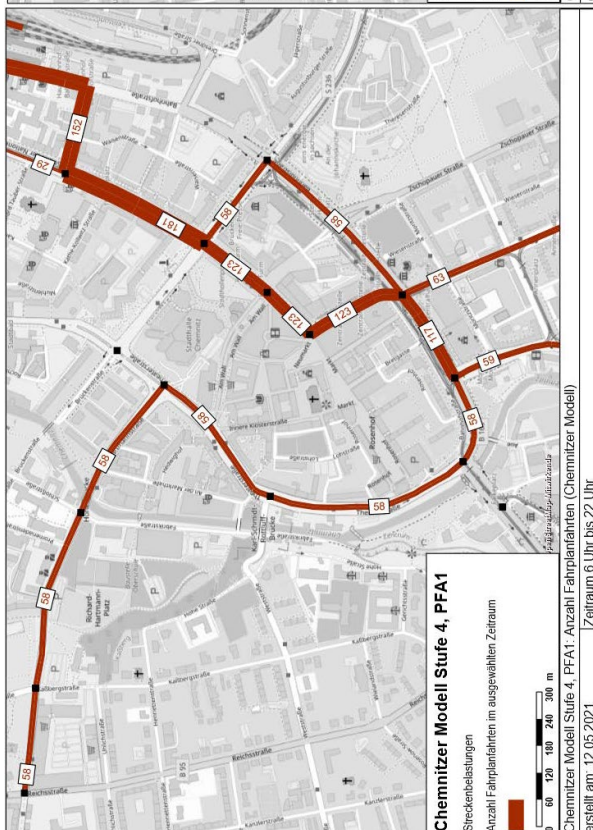
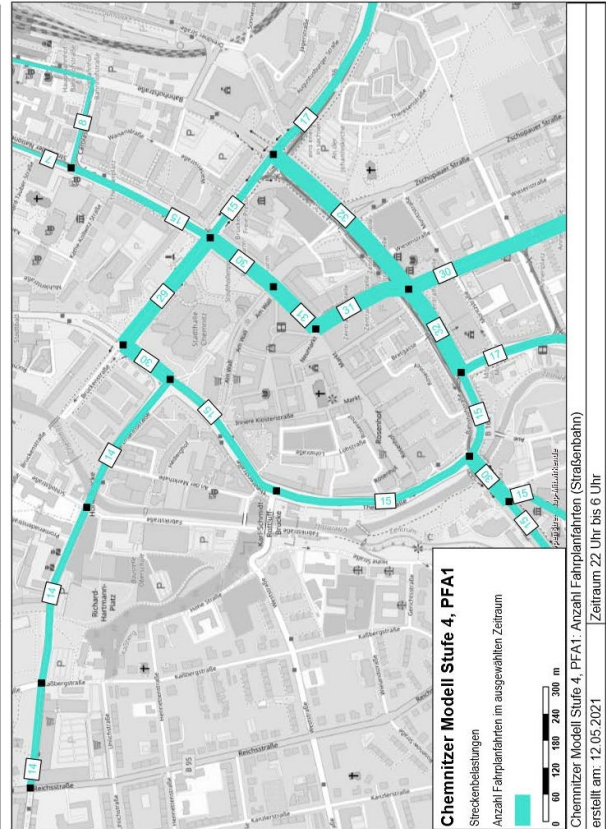
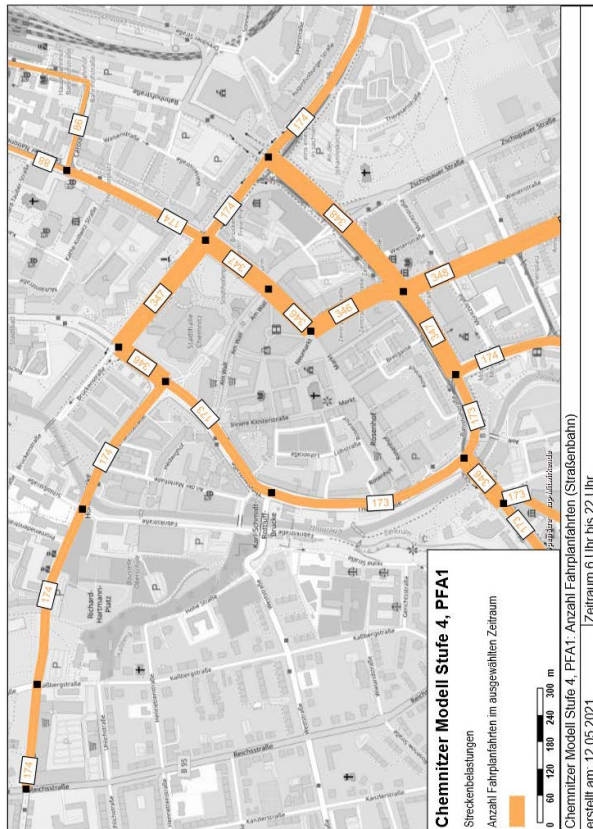


Feste Fahrbahn mit Betontragplatte

- 18 cm Schiene 60 Ri 1 mit elastischen Kammerfüllelementen, Kleisen und elastischem Fugenverguss
- 1,0 cm Zwischenlage aus PU-Elastomer
- 25 cm Zweiblock-Betonschwelle in Betontragschicht C30/37
- 31 cm Frostschutzschicht 0/45, Ev2 > 120 MPa
- 75 cm Gesamtaufbau
- 15 cm Bodenverfestigung mit hydraulischem Bindemittel

Anhang 3 Verkehrsmengen - Schienenverkehr

Verkehrsmengen aus [16]:



Anhang 4 Emissionsdaten des Schienenverkehrs (Messung)

Anhang 4.1 Messprotokoll

I. Allgemeine Angaben

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

Ort: Lise-Meitner-Straße, Flurstück 862
09126 Chemnitz

Datum, Zeit: 15.11.2022, 10:00 - 13:00 Uhr

II. Gegenstand der Messungen

- DIN 45672 Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen
Teil 1 - Messverfahren [6] und Teil 2 - Auswerteverfahren

III. Betriebsbedingungen, Oberbau

- Messung während Vorbeifahrten von Straßenbahn-Linie 3 und Citylink C13/C14/C15 (Regelbetrieb)
- Oberbau-Typ: Feste Fahrbahn "Rheda City" (siehe Anhang 2 unten)

IV. Messgeräte

Funktion	Typ	Serien-Nr.	Fabrikat
Schwingungsmessgerät 3 mit 4x 1D-Geophon PE-3	SMK-401	02540392	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 2022-1	WÖLFEL Engineering GmbH & Co. KG
Meteo-Station	GFTB 100	-	GSG

Die verwendeten Messaufnehmer erhielten die letzte Kalibrierung mithilfe eines akkreditierten Kalibrierlaboratoriums im Juli 2022. Die Funktionsfähigkeit der Messkette wurde am Messort mittels Probeanregung (Klopftest) überprüft.

V. Durchführung der Messungen

- Messung des Zeitverlaufes der Schwinggeschwindigkeit v jeweils während der
- Bahn-Vorbeifahrt, Speicherung auf PC
- Berechnung der MAX HOLD- und EQ-Terzspektren der Schwinggeschwindigkeit L_v
- Messung der Fahrtgeschwindigkeit

VI. Witterungsbedingungen

Temperatur: +15 °C

Wind: ≤ 2 m/s S

Niederschlag: --

Luftdruck: 974 hPa (Messort)

Wolken: 0...1/8

rel. Luftfeuchte: 55 %

VII. Fahrzeugtypen



VIII. Fahrbahnzustand am Messtag



Bewertung: Schienen ohne sichtbare Mängel

IX. Messpunkte der Emissions- und Ausbreitungsmessung "Oberbau Plan"

- Erdspeie im Boden
8 m, 16 m, 24 m, 32 m zur nächstgelegenen Gleisachse; Messung in z-Richtung (vertikal)



Abb. 1 Lageplan des Messobjektes (Boden-Messpunkte entlang der farbigen Linie)

Lage des Objektes:	Lise-Meitner-Straße, Flurstück 862; 09126 Chemnitz
Beschreibung:	Erdboden neben Straßenbahnstrecke mit dem für das Bauvorhaben geplanten Oberbau
Gelände:	Lage des Straßenbahngleises zum Gelände: niveaugleich Gelände im Ausbreitungsweg: befestigter Fußweg, Rasen, Gebüsch

- **MP 1z 8 m** Erdboden, Rasen neben dem Fußweg, z-Richtung (vertikal)
- **MP 2z 16 m** Erdboden, Rasen, z-Richtung (vertikal)
- **MP 3z 24 m** Erdboden, Rasen, z-Richtung (vertikal)
- **MP 4z 32 m** Erdboden, Rasen, z-Richtung (vertikal)
- **LS1, LS2** Lichtschranken in 20 m Abstand



Abb. 2 Messaufnehmer 8 m Abstand zum nächstgelegenen Gleis (MP 1z Boden)



Abb. 3 Messaufnehmer in 16 m Abstand zum nächstgelegenen Gleis (MP 2z Boden)



Abb. 4 Messaufnehmer in 24 m Abstand zum nächstgelegenen Gleis (MP 3z Boden)

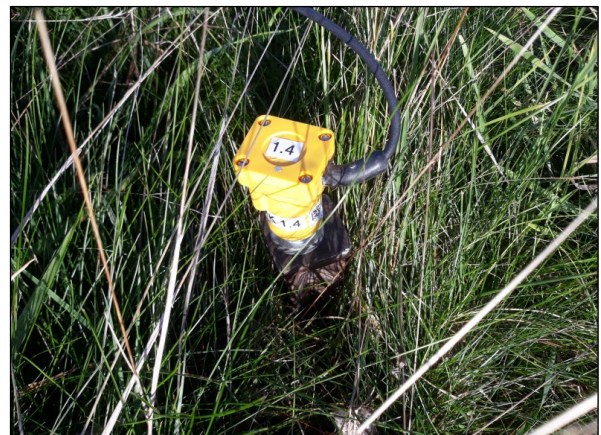


Abb. 5 Messaufnehmer in 32 m Abstand zum nächstgelegenen Gleis (MP 4z Boden)

Anhang 4.2 Messwerte des Schienenverkehrs, Erdboden

Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit v_{\max} , Messwerte Ist-Zustand

Messobjekt: Flurstück 862, Lise-Meitner-Str., 09126 Chemnitz

Erdboden

$v_m = 45 \text{ km/h}$

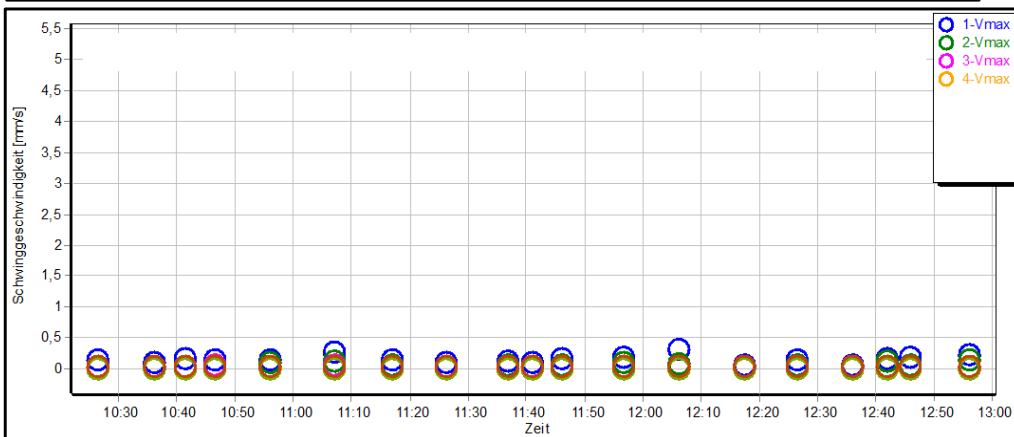
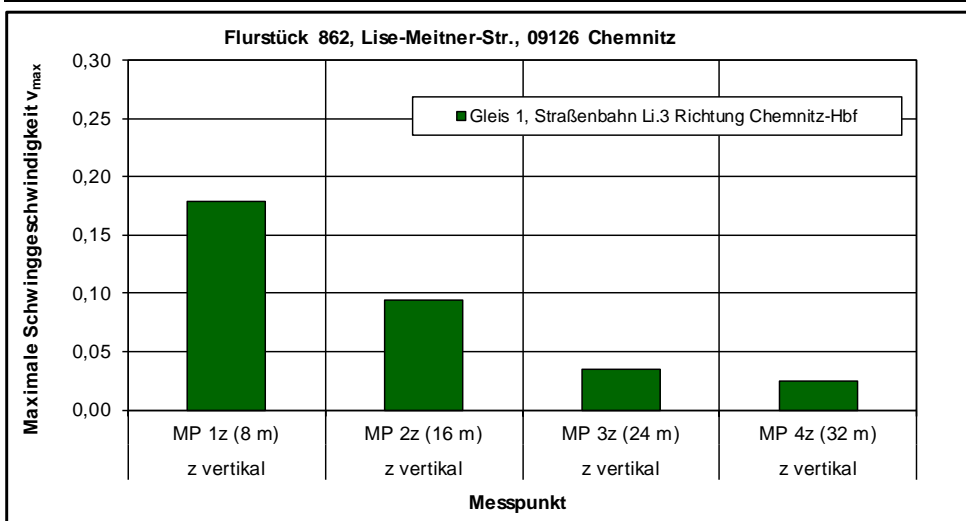
Datum: 15.11.2022

Gleis-Nr., bezogen auf Messobjekt:

1 - nächstgelegenes Gleis (Bestand) Richtung Hauptbahnhof/Zentrum ->

2 - Gleis (Bestand) Gegenrichtung <-

Datei/Uhrzeit	Zug-Nr./Fahrzeugtyp	Fahrt- richt., Linie	Fahr- geschw.	Zuglänge	Erdboden	Erdboden	Erdboden	Erdboden
					z vertikal	z vertikal	z vertikal	z vertikal
			km/h	m	MP 1z (8 m)	MP 2z (16 m)	MP 3z (24 m)	MP 4z (32 m)
Gleis 1, Straßenbahn Li.3 Richtung Chemnitz-Hbf								
10-26-17	924, Škoda 35T	->	59	31	0,149	0,050	0,024	0,02
10-41-27	916, Škoda 35T	->	57	32	0,167	0,049	0,020	0,02
10-55-51	605, Adtranz Variob. 6NGT-LDE	->	34	32	0,155	0,103	0,037	0,03
11-06-54	604, Adtranz Variob. 6NGT-LDE	->	45	31	0,281	0,135	0,062	0,04
11-26-10	916, Škoda 35T	->	44	33	0,107	0,038	0,014	0,012
11-41-02	914, Škoda 35T	->	39	32	0,114	0,047	0,014	0,012
11-56-31	604, Adtranz Variob. 6NGT-LDE	->	43	31	0,200	0,102	0,047	0,028
12-26-18	914, Škoda 35T	->	52	32	0,141	0,065	0,020	0,016
12-41-33	609, Adtranz Variob. 6NGT-LDE	->	26	30	0,171	0,120	0,035	0,023
12-55-50	606, Adtranz Variob. 6NGT-LDE	->	52	32	0,227	0,147	0,040	0,035
Mittelwert v_{\max}					0,18	0,09	0,03	0,02
Maximalwert v_{\max}					0,28	0,15	0,06	0,04



Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit v_{\max} , Messwerte Ist-Zustand

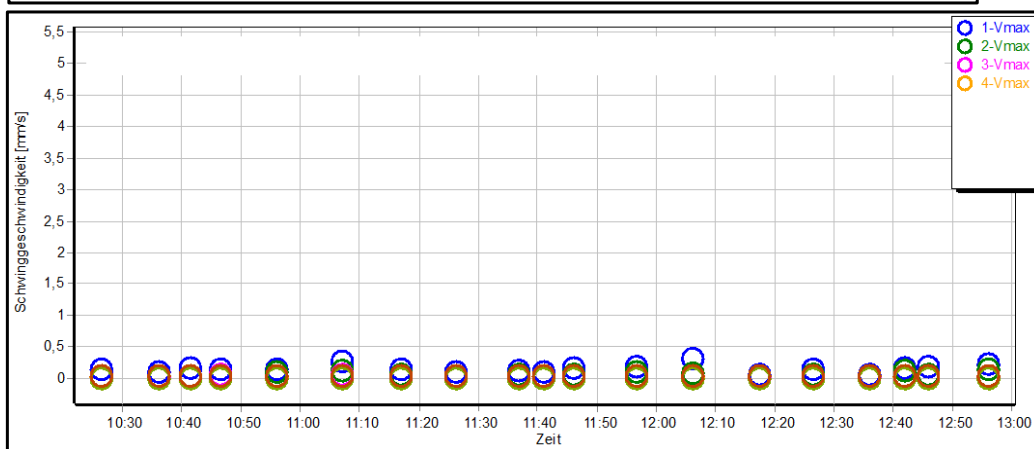
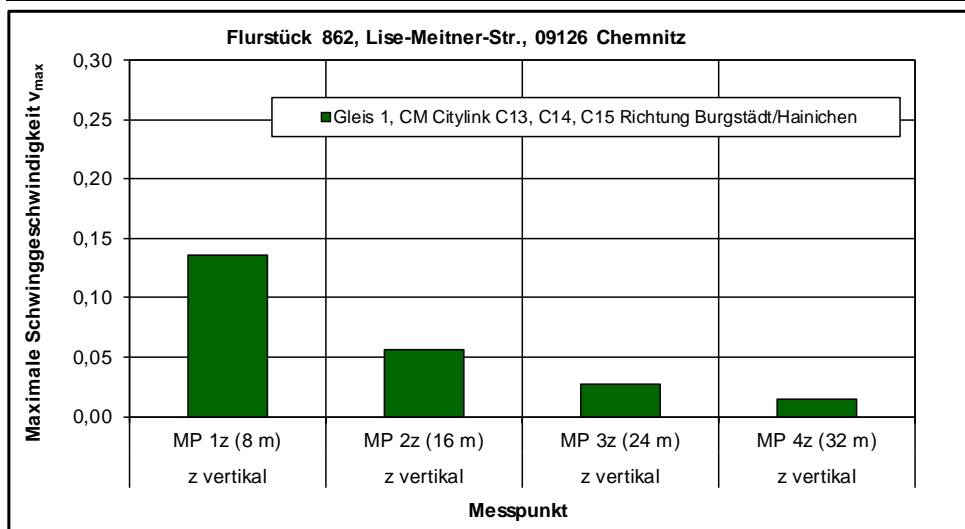
Messobjekt: Flurstück 862, Lise-Meitner-Str., 09126 Chemnitz
Datum: 15.11.2022

Erdboden

$v_m = 42 \text{ km/h}$

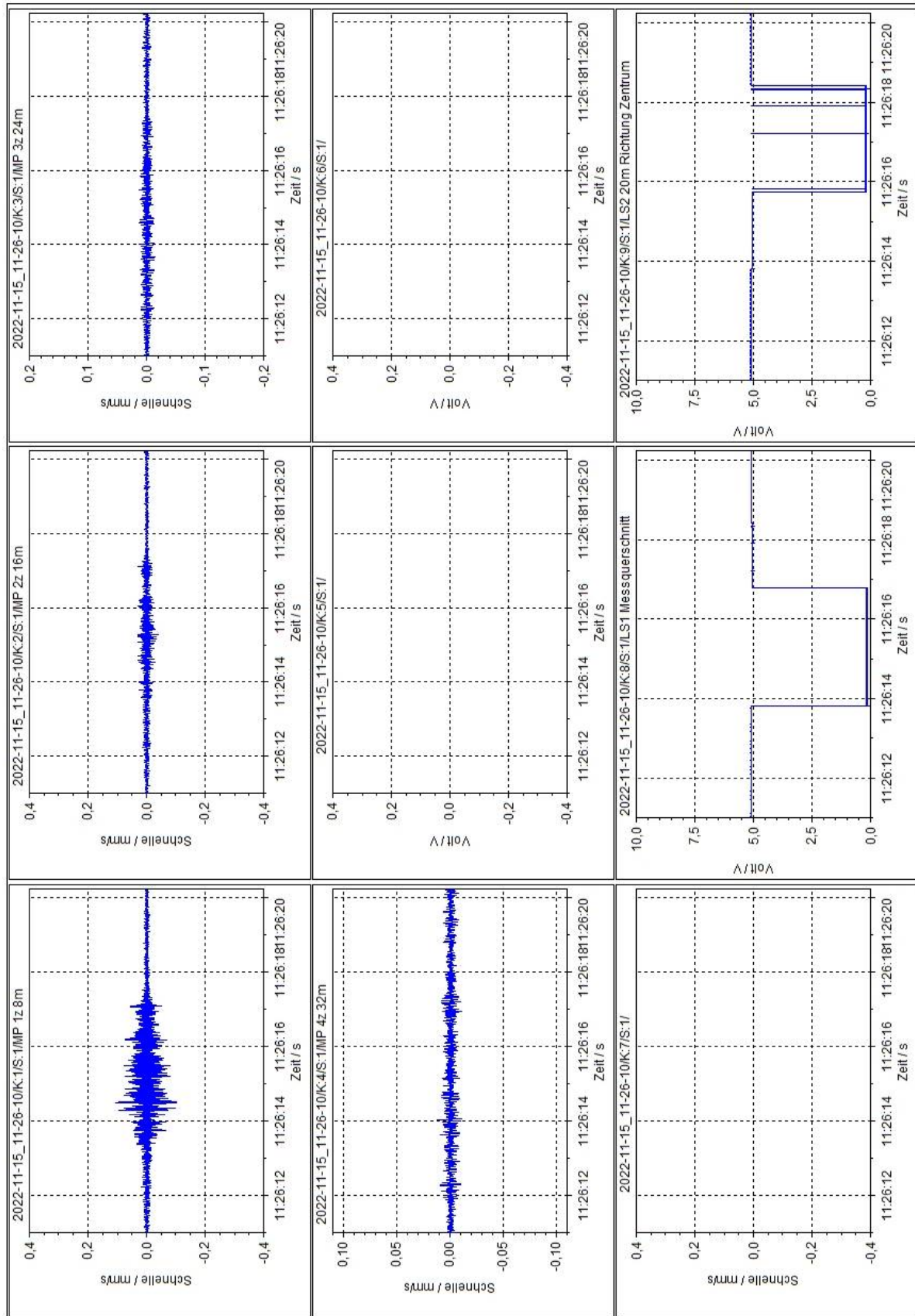
Gleis-Nr., bezogen auf Messobjekt: 1 - nächstgelegenes Gleis (Bestand) Richtung Hauptbahnhof/Zentrum ->
2 - Gleis (Bestand) Gegenrichtung <-

Datei/Uhrzeit	Zug-Nr./Fahrzeugtyp	Fahrt- richt., Linie	Fahr- geschw. km/h	Zuglänge m	Erdboden	Erdboden	Erdboden	Erdboden
					z vertikal	z vertikal	z vertikal	z vertikal
					MP 1z (8 m)	MP 2z (16 m)	MP 3z (24 m)	MP 4z (32 m)
Gleis 1, CM Citylink C13, C14, C15 Richtung Burgstädt/Hainichen								
10-36-06	C15 (442), Vossloh Citylink	->	41	37	0,103	0,039	0,019	0,014
10-46-32	C13 (438), Vossloh Citylink	->	44	37	0,151	0,051	0,057	0,016
11-16-54	C14 (431), Vossloh Citylink	->	48	38	0,152	0,068	0,024	0,017
11-36-39	C15 (441), Vossloh Citylink	->	45	36	0,129	0,062	0,022	0,014
11-45-56	C13 (440), Vossloh Citylink	->	48	37	0,169	0,073	0,024	0,017
12-17-24	C14 (435), Vossloh Citylink	->	30	37	0,074	0,043	0,016	0,014
12-35-28	C15 (442), Vossloh Citylink	->	32	38	0,076	0,044	0,015	0,014
12-45-46	C13 (434), Vossloh Citylink	->	45	37	0,184	0,063	0,021	0,014
Mittelwert v_{\max}					0,14	0,06	0,03	0,02
Maximalwert v_{\max}					0,18	0,07	0,06	0,02



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

Zeitverlauf der Messgrößen einer ausgewählten Straßenbahn-Vorbeifahrt



Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Erdboden, Lise-Meitner-Straße, Flst. 862, 09126 Chemnitz

Datum: 15.11.2022

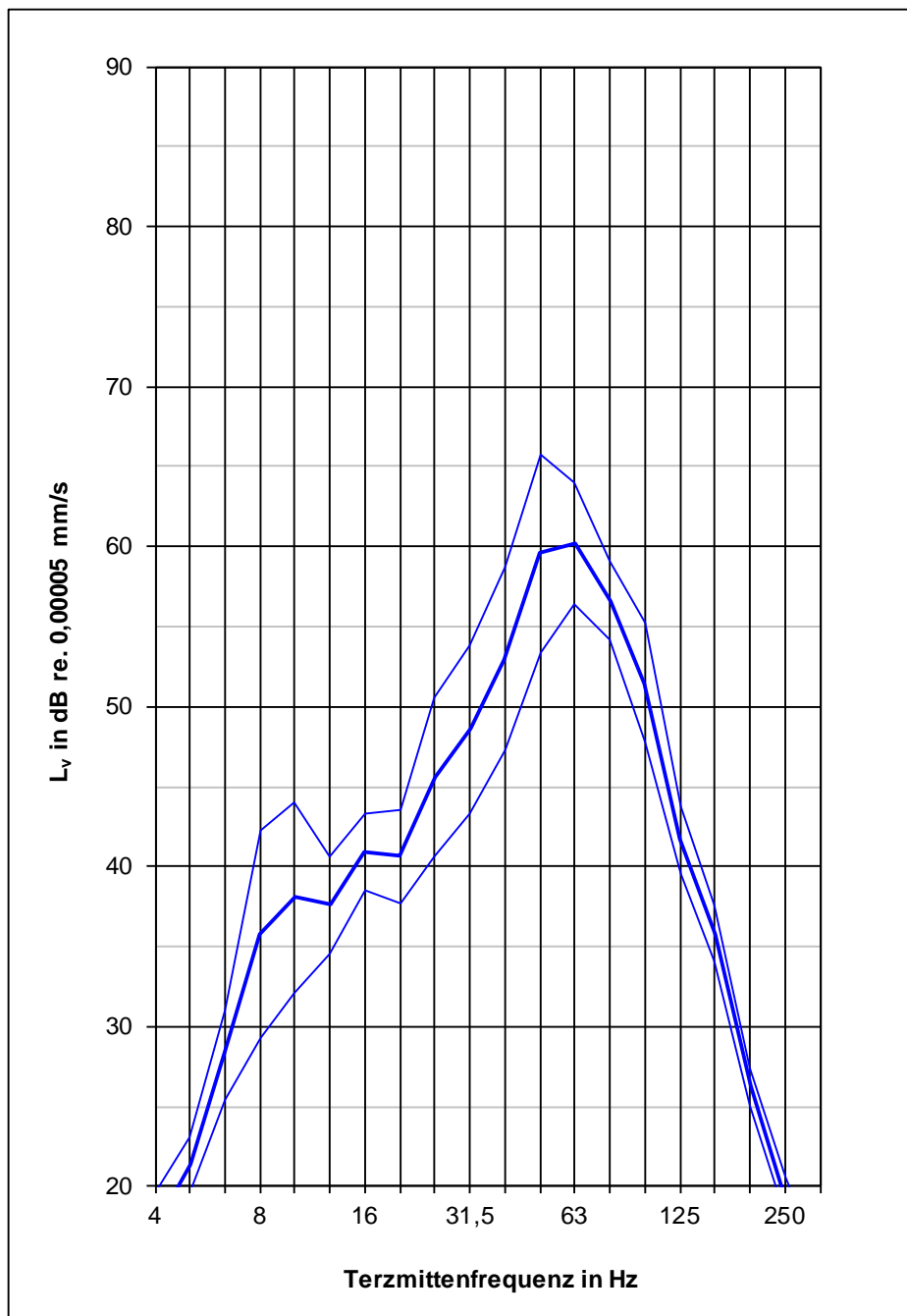
Zuggattung: **Straßenbahn**

Geschwindigkeit: 42...59 km/h

Gleis: **Richtung Hauptbahnhof/Zentrum, Li. 3**

Vorbeifahrten: 9

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



f_m in Hz	L_v MaxH in dB
4	17,5
5	21,4
6,3	28,3
8	35,8
10	38,1
12,5	37,6
16	40,9
20	40,6
25	45,6
31,5	48,6
40	53,0
50	59,6
63	60,2
80	56,6
100	51,5
125	41,7
160	35,8
200	26,2
250	19,4
315	13,9

Nr.	Uhrzeit
1	10-26-17
2	10-41-27
3	10-55-51
4	11-06-54
5	11-26-10
6	11-41-02
7	11-56-31
8	12-26-18
9	12-55-50
10	

Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Erdboden, Lise-Meitner-Straße, Flst. 862, 09126 Chemnitz

Datum: 15.11.2022

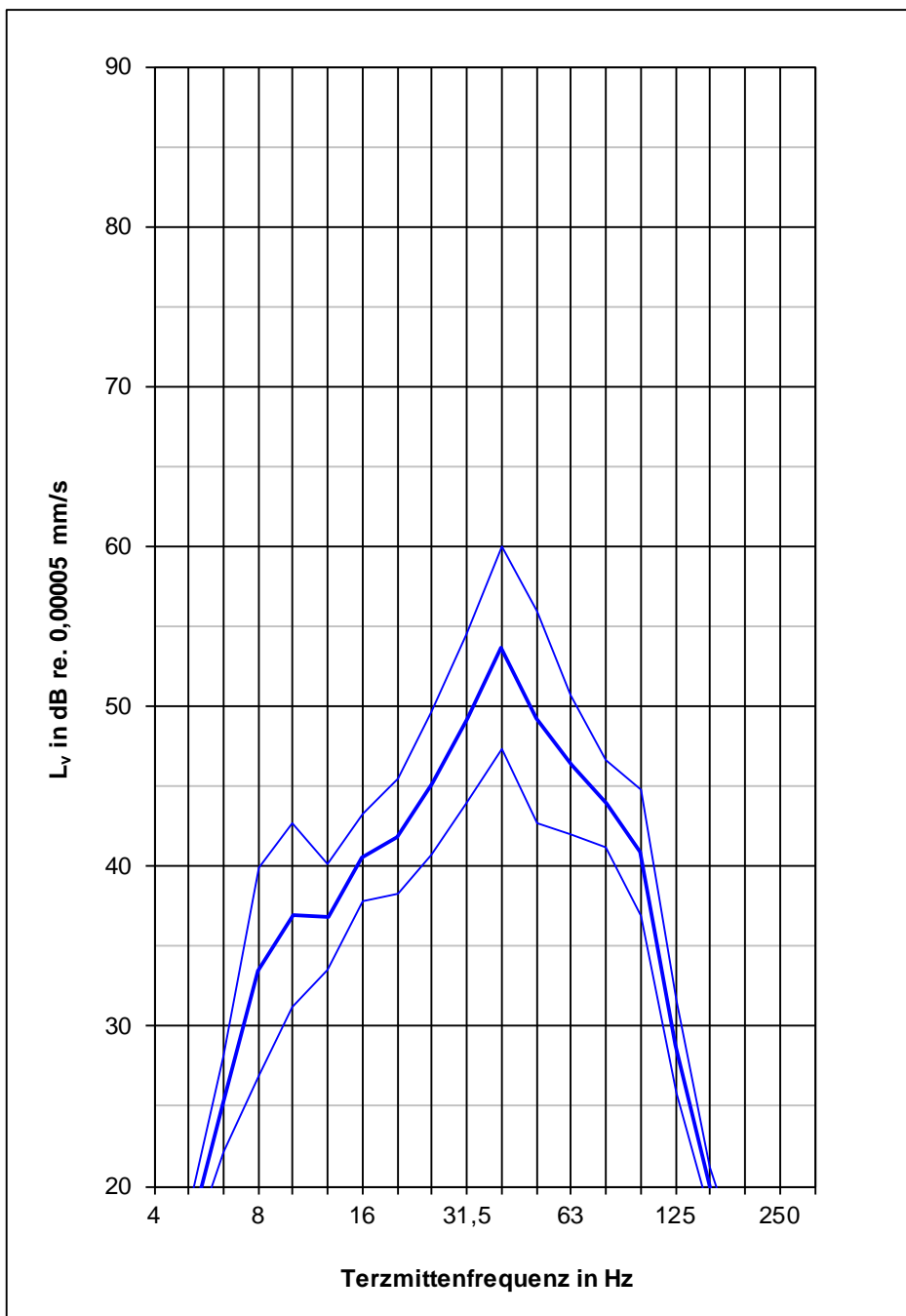
Zuggattung: **Straßenbahn**

Geschwindigkeit: 42...59 km/h

Gleis: **Richtung Hauptbahnhof/Zentrum, Li. 3**

Vorbeifahrten: 9

Messpunkt: **MP 2z - 16 m vom Gleis, Erdspieß, z (vertikal)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Erdboden, Lise-Meitner-Straße, Flst. 862, 09126 Chemnitz

Datum: 15.11.2022

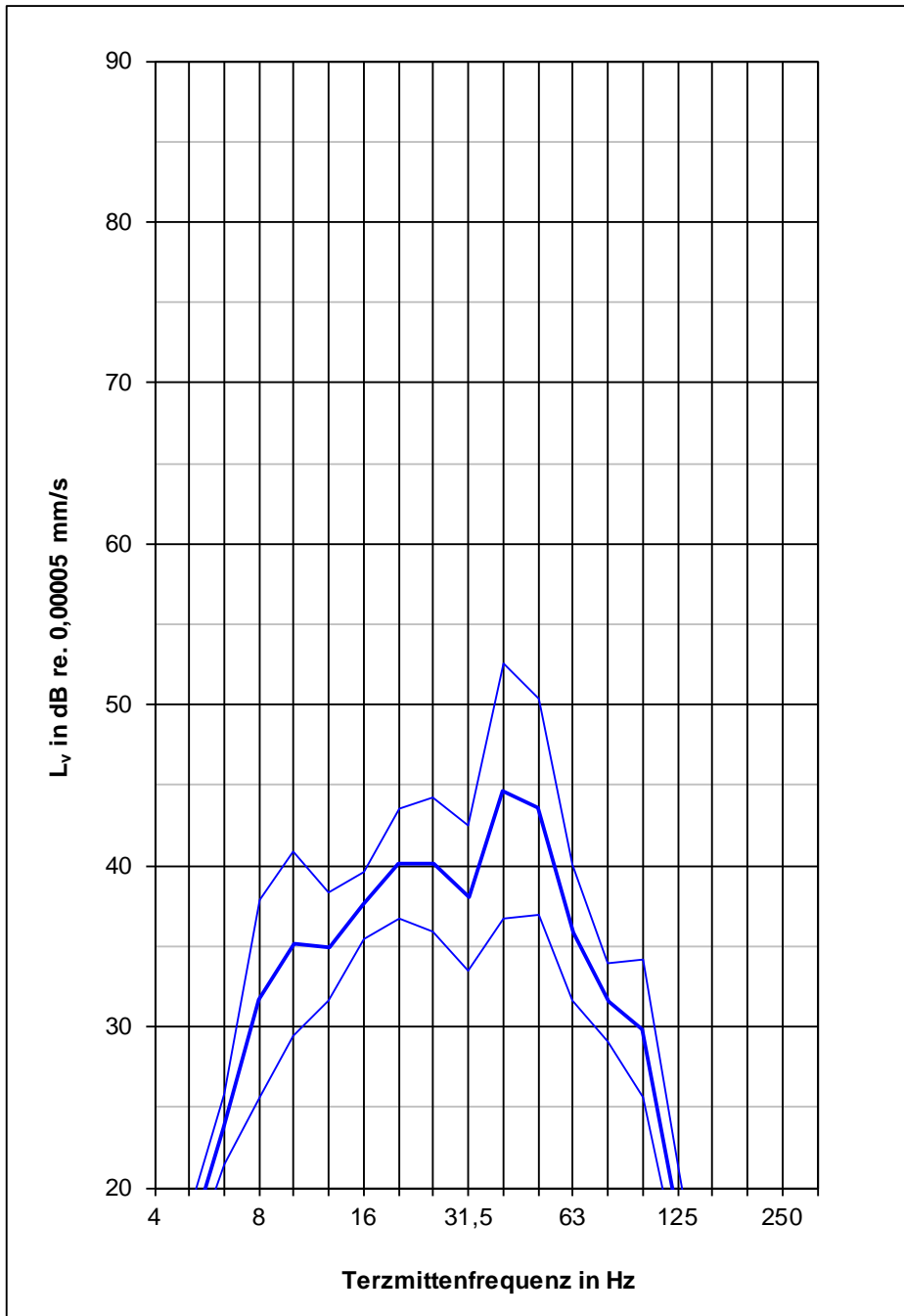
Zuggattung: **Straßenbahn**

Geschwindigkeit: 42...59 km/h

Gleis: **Richtung Hauptbahnhof/Zentrum, Li. 3**

Vorbeifahrten: 9

Messpunkt: **MP 3z - 24 m vom Gleis, Erdspieß, z (vertikal)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Erdboden, Lise-Meitner-Straße, Flst. 862, 09126 Chemnitz

Datum: 15.11.2022

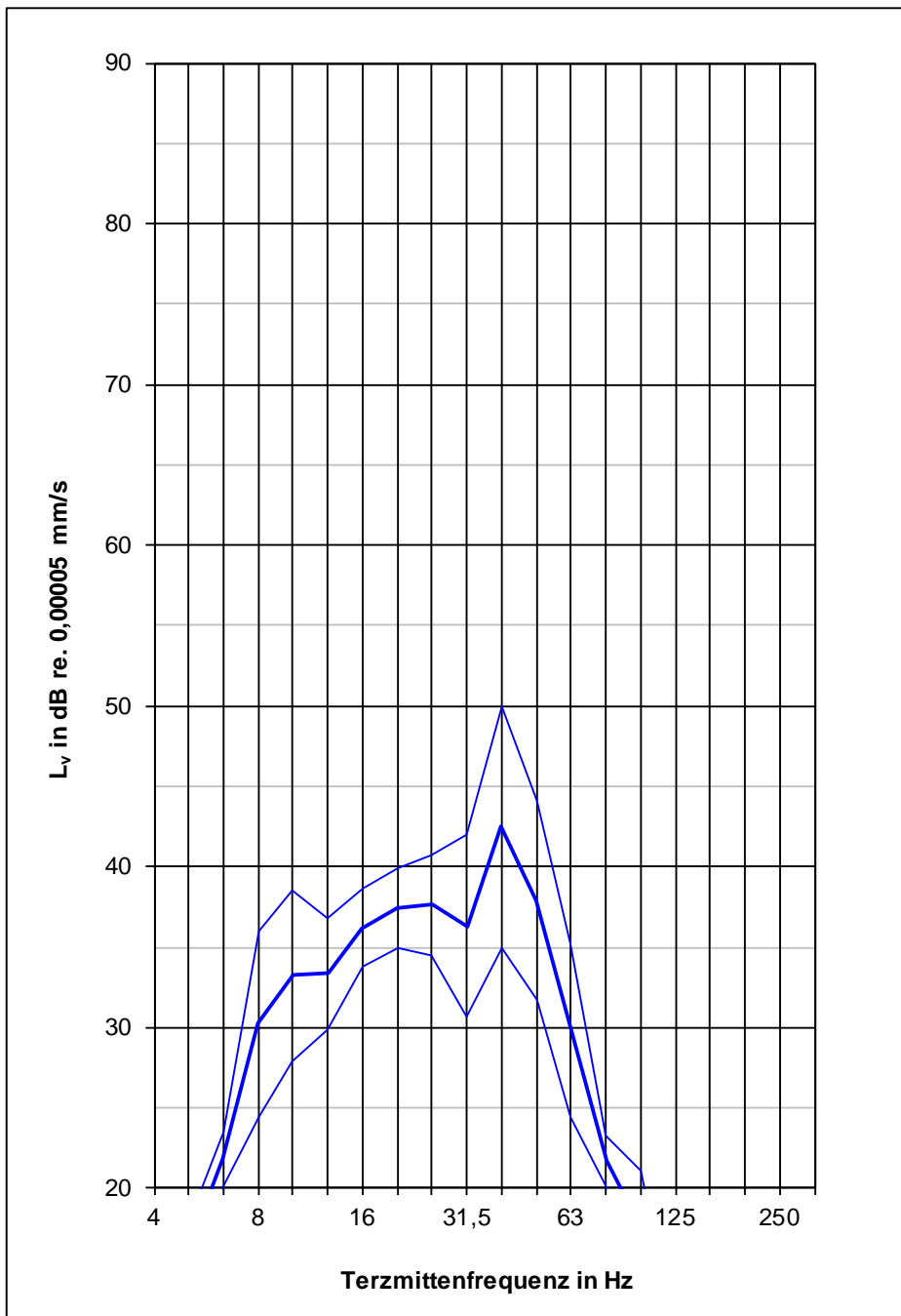
Zuggattung: **Straßenbahn**

Geschwindigkeit: 42...59 km/h

Gleis: **Richtung Hauptbahnhof/Zentrum, Li. 3**

Vorbeifahrten: 9

Messpunkt: **MP 4z - 32 m vom Gleis, Erdspieß, z (vertikal)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Erdboden, Lise-Meitner-Straße, Flst. 862, 09126 Chemnitz

Datum: 15.11.2022

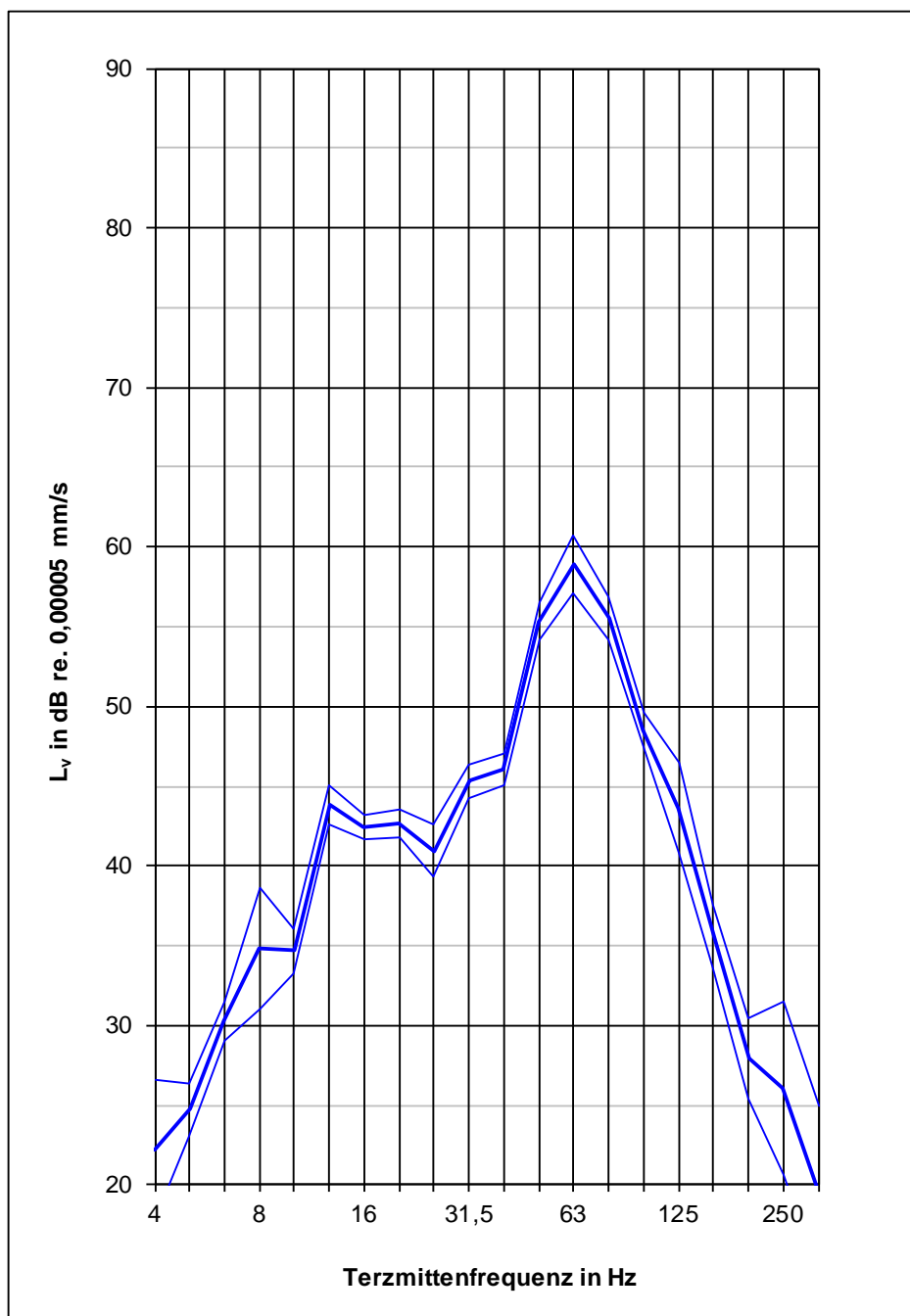
Zuggattung: Citylink

Geschwindigkeit: 41...48 km/h

Gleis: Richtung Burgstädt/Hainichen, C13/C14/C15

Vorbeifahrten: 6

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



f_m in Hz	L_v MaxH in dB
4	22,2
5	24,8
6,3	30,3
8	34,8
10	34,7
12,5	43,8
16	42,4
20	42,6
25	40,9
31,5	45,3
40	46,1
50	55,3
63	58,9
80	55,5
100	48,5
125	43,6
160	35,6
200	28,0
250	26,0
315	19,6

Nr.	Uhrzeit
1	10-36-06
2	10-46-32
3	11-16-54
4	11-36-39
5	11-45-56
6	12-45-46
7	
8	
9	
10	

Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Erdboden, Lise-Meitner-Straße, Flst. 862, 09126 Chemnitz

Datum: 15.11.2022

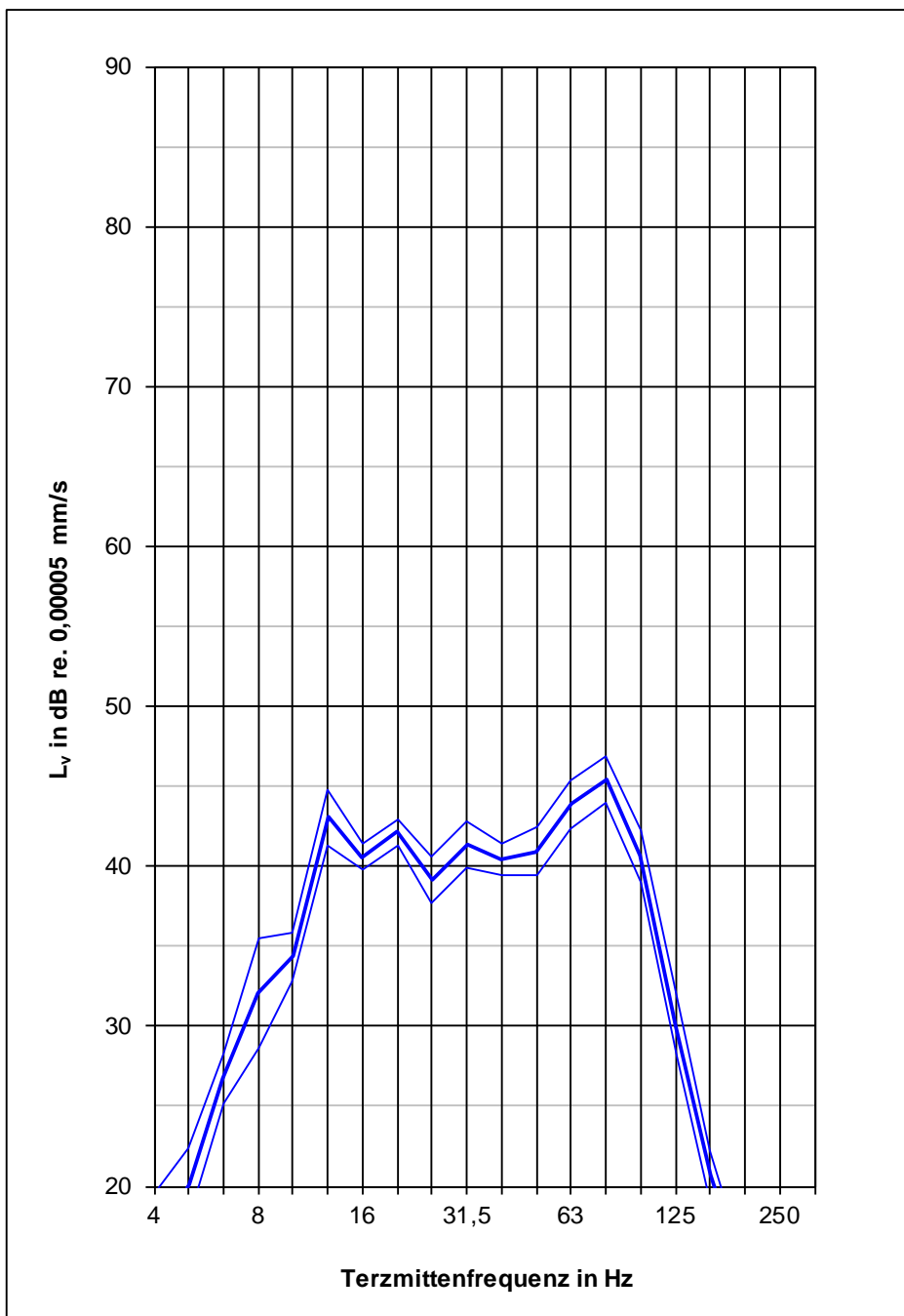
Zuggattung: Citylink

Geschwindigkeit: 41...48 km/h

Gleis: Richtung Burgstädt/Hainichen, C13/C14/C15

Vorbeifahrten: 6

Messpunkt: MP 2z - 16 m vom Gleis, Erdspieß, z (vertikal)



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Erdboden, Lise-Meitner-Straße, Flst. 862, 09126 Chemnitz

Datum: 15.11.2022

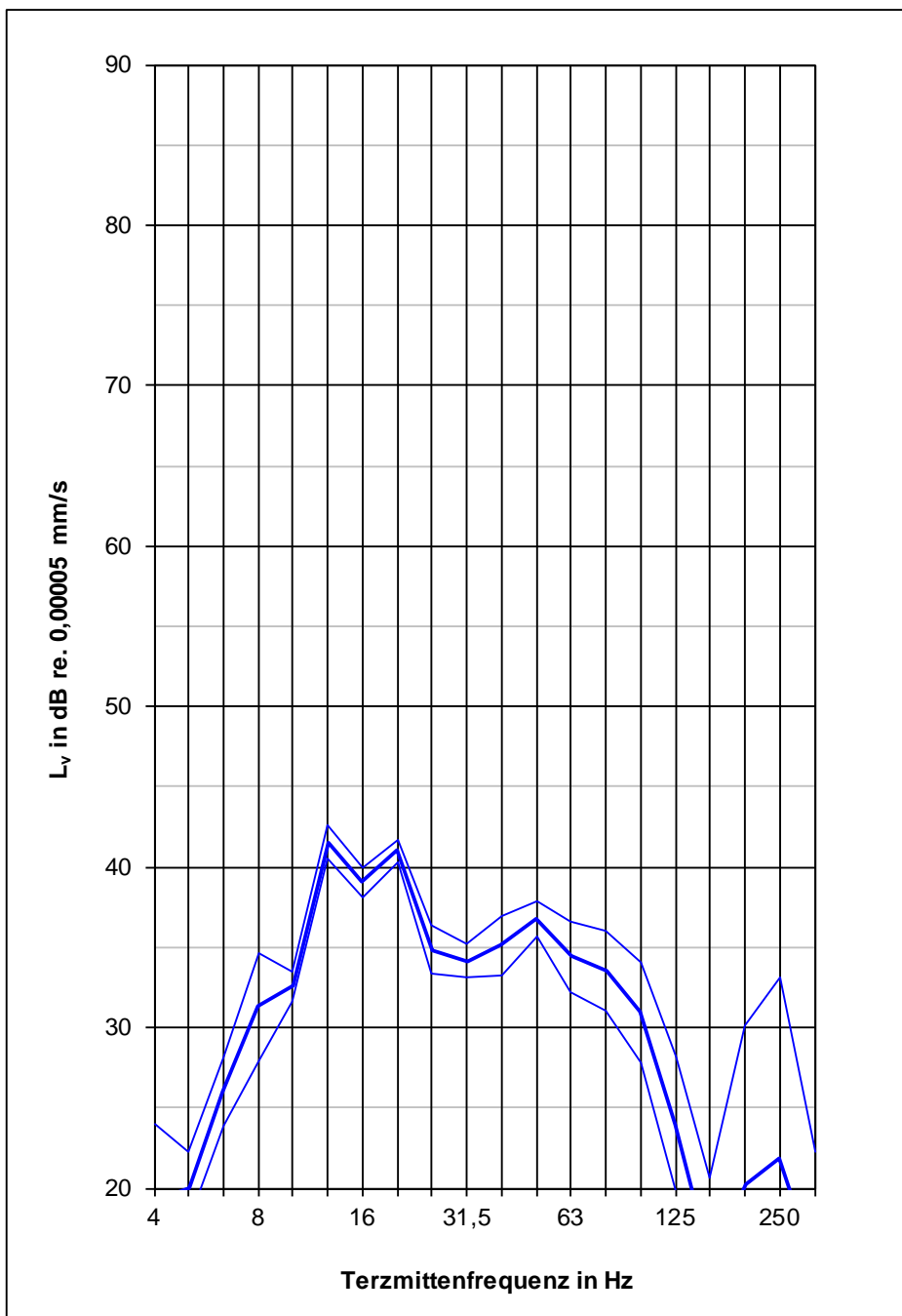
Zuggattung: **Citylink**

Geschwindigkeit: 41...48 km/h

Gleis: **Richtung Burgstädt/Hainichen, C13/C14/C15**

Vorbeifahrten: 6

Messpunkt: **MP 3z - 24 m vom Gleis, Erdspieß, z (vertikal)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Erdboden, Lise-Meitner-Straße, Flst. 862, 09126 Chemnitz

Datum: 15.11.2022

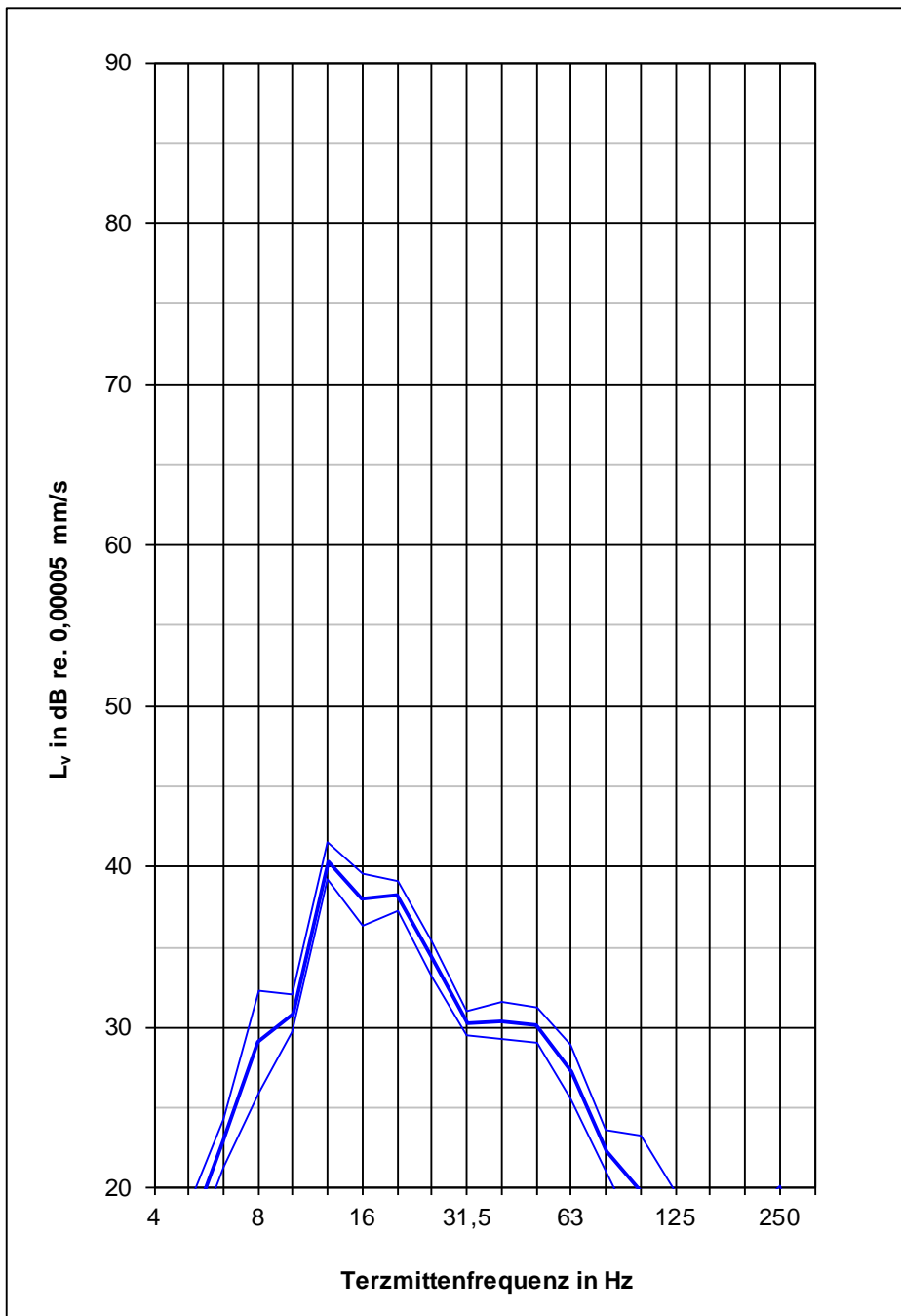
Zuggattung: **Citylink**

Geschwindigkeit: 41...48 km/h

Gleis: **Richtung Burgstädt/Hainichen, C13/C14/C15**

Vorbeifahrten: 6

Messpunkt: **MP 4z - 32 m vom Gleis, Erdspieß, z (vertikal)**



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

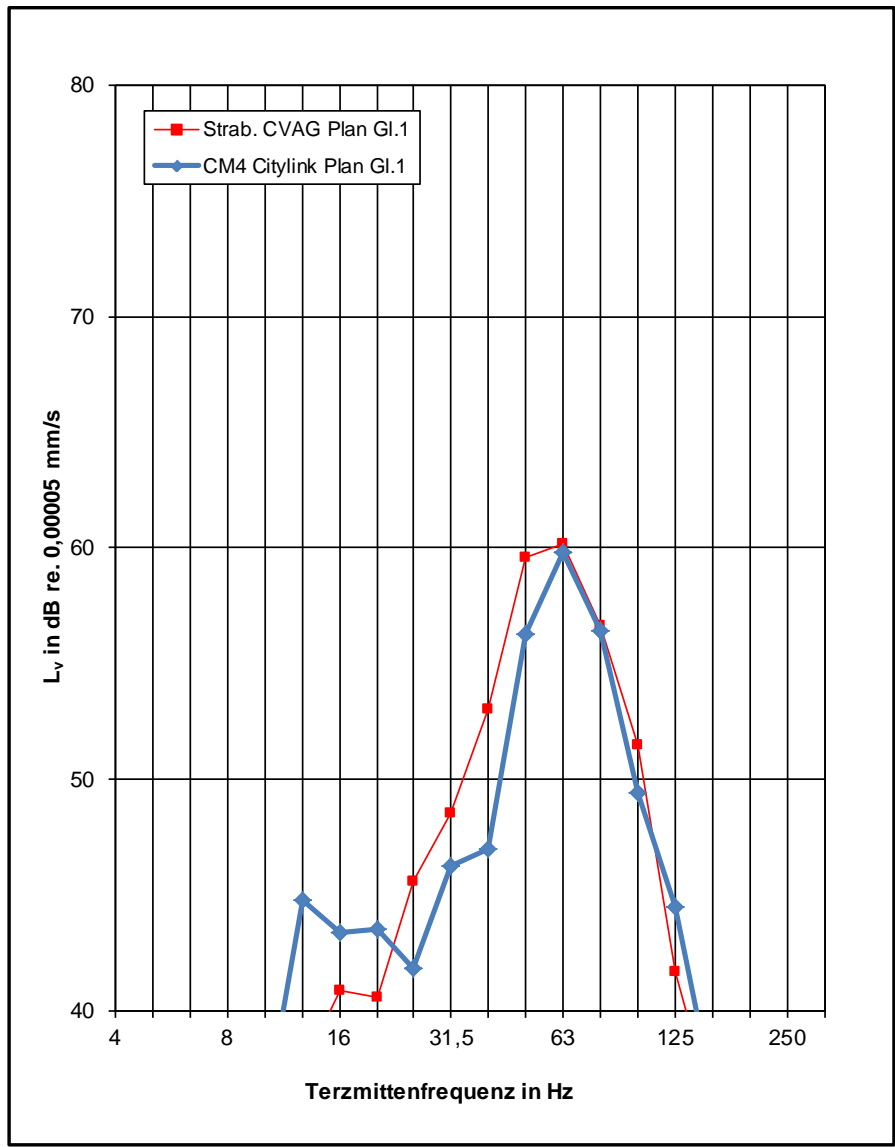
Anhang 4.3 Erschütterungs-Emissionsspektren

Terzspektren aus Messung am Emissionsmesspunkt im Abstand 8 m

Oberbau entsprechend Bauvorhaben

für die Prognose "Plan-Fall"

Zuggattung	v in km/h	s in m	Messung/Quelle
Strab. CVAG Plan	50	8	Messung cdf L.-Meitner-Str., 15.11.22
CM4 Citylink Plan	50	8	Messung cdf L.-Meitner-Str., 15.11.22



Nr.	Zuggattung für die Prognose	v in km/h	s in m	Rich- tung	Quelle	Terzmittenfreq. in Hz																			
						4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
1	Strab. CVAG Plan Gl.1	50	8	z	Straßenbahn CVAG Li. 3	17,5	21,4	28,3	35,8	38,1	37,6	40,9	40,6	45,6	48,6	53,0	59,6	60,2	56,6	51,5	41,7	35,8	26,2	19,4	13,9
1	Strab. CVAG Plan Gl.2	50	8	z	Straßenbahn CVAG Li. 3	17,5	21,4	28,3	35,8	38,1	37,6	40,9	40,6	45,6	48,6	53,0	59,6	60,2	56,6	51,5	41,7	35,8	26,2	19,4	13,9
2	CM4 Citylink Plan Gl.1	50	8	z	Citylink CM C13/C14/C15	23,1	25,7	31,2	35,7	35,6	44,8	43,4	43,5	41,9	46,2	47,0	56,2	59,8	56,4	49,4	44,5	36,5	28,9	27,0	20,5
2	CM4 Citylink Plan Gl.2	50	8	z	Citylink CM C13/C14/C15	23,1	25,7	31,2	35,7	35,6	44,8	43,4	43,5	41,9	46,2	47,0	56,2	59,8	56,4	49,4	44,5	36,5	28,9	27,0	20,5

Anhang 4.4 Ausbreitungsdämpfung des Erdbodens

Ausbreitungsdämpfung, ermittelt aus Messung

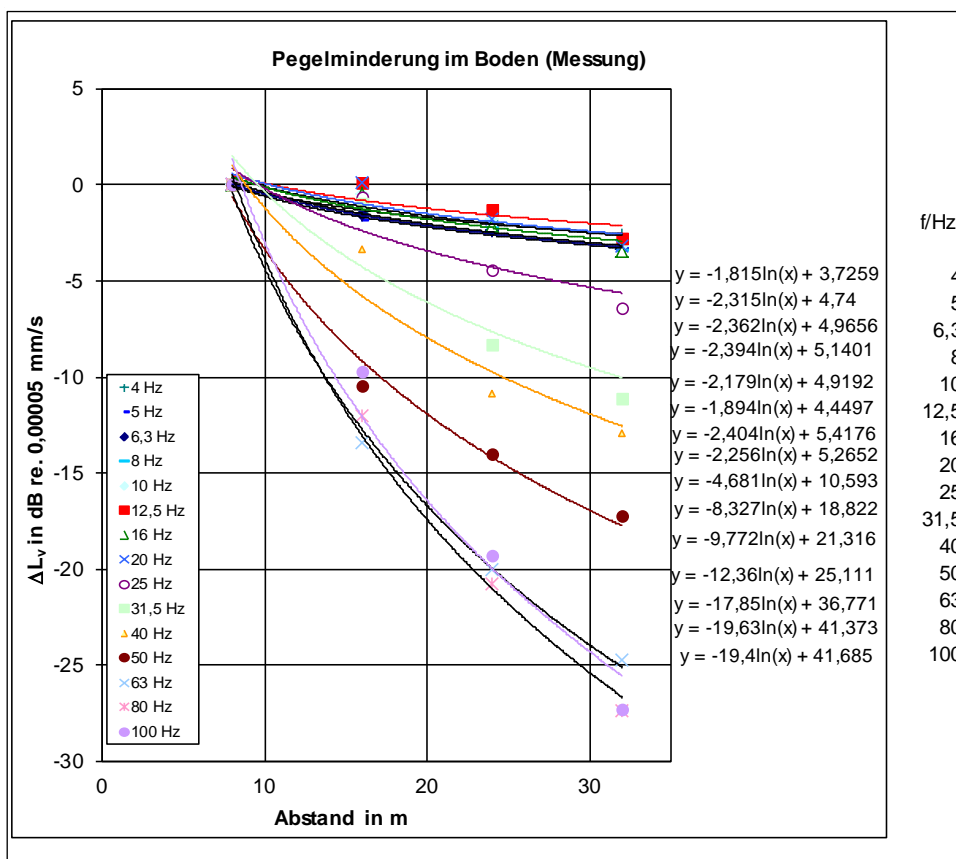
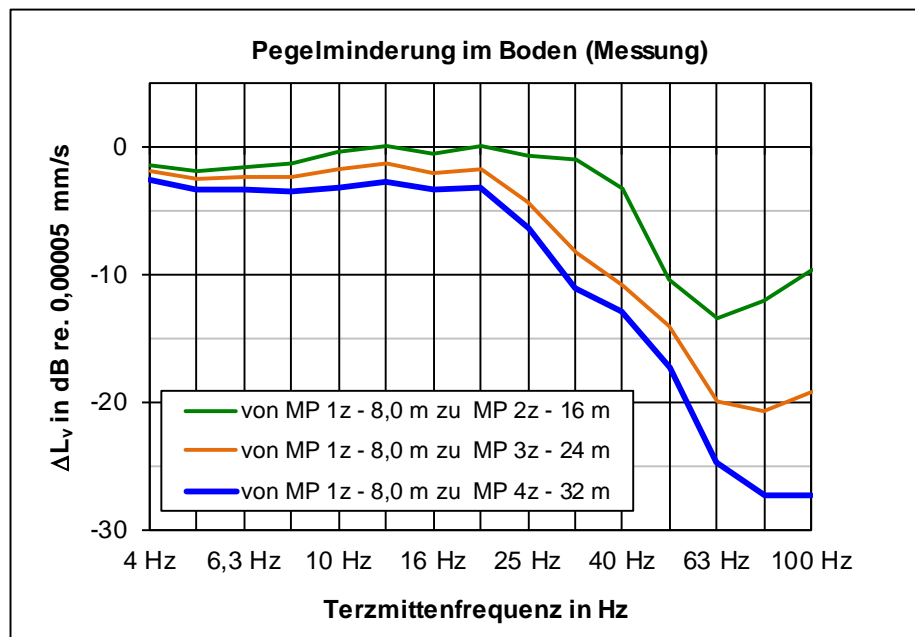
Übertragungsfaktor (Pegeldifferenz) vom Messpunkt 8,0 m aus

Messobjekt: Erdboden, Lise-Meitner-Straße, Flst. 862, 09126 Chemnitz

Datum: 15.11.2022

Gleis: Richtung Hauptbahnhof/Zentrum, Li. 3

Straßenbahn



Ausbreitungsdämpfung nach DB-Richtlinie

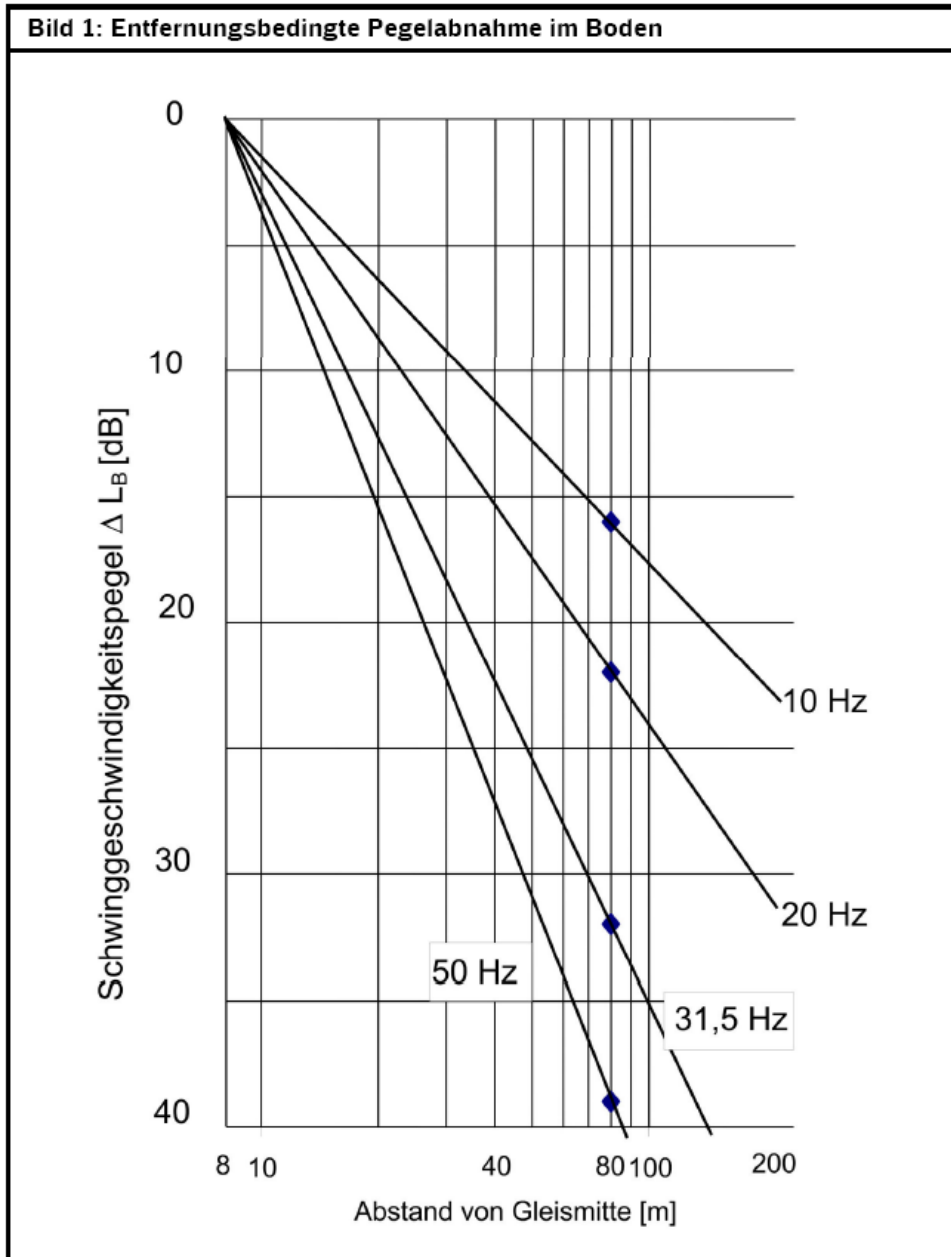


Abb. 6 Boden-Ausbreitungsdämpfung nach [9], Seite 19 - bezogen auf den 8m-Emissionsmesspunkt

Anhang 4.5 Gebäudeübertragungsfunktionen

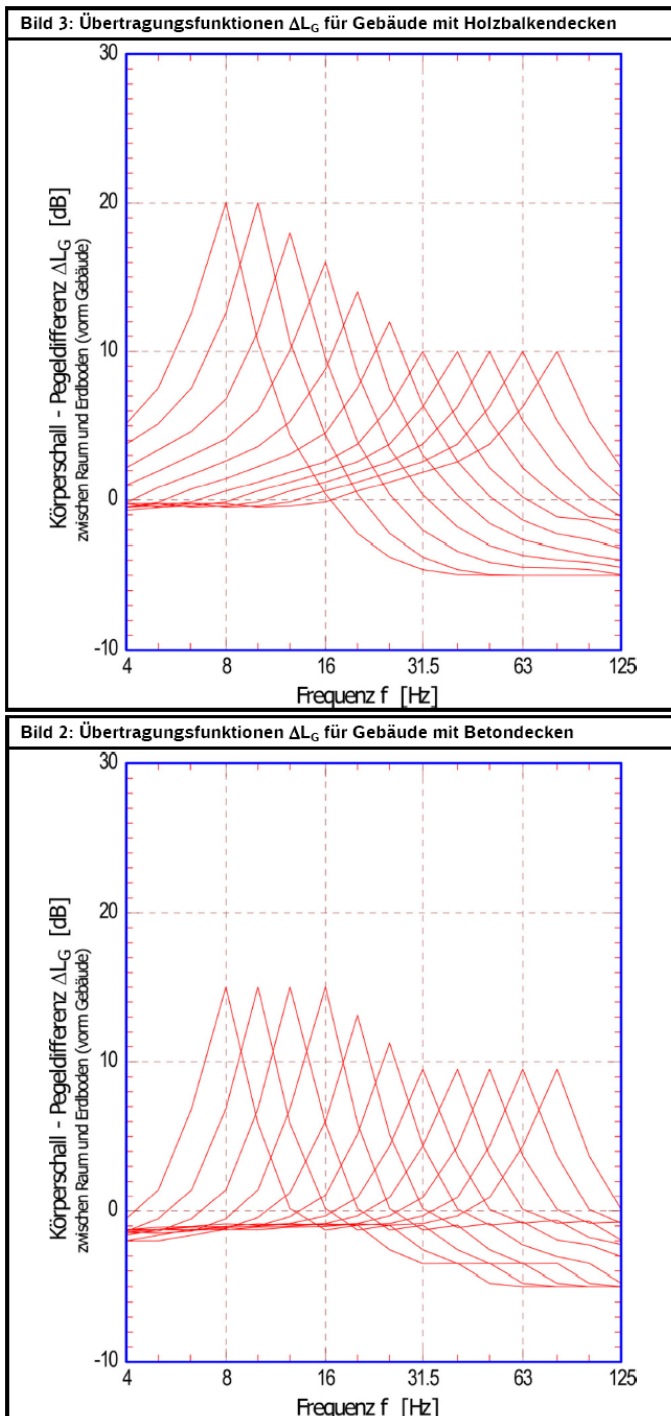


Abb. 7 Gebäude-Übertragungsfunktionen für Bereiche ohne Messung nach [9]

Angewendete Übertragungsfunktionen für die Prognose:

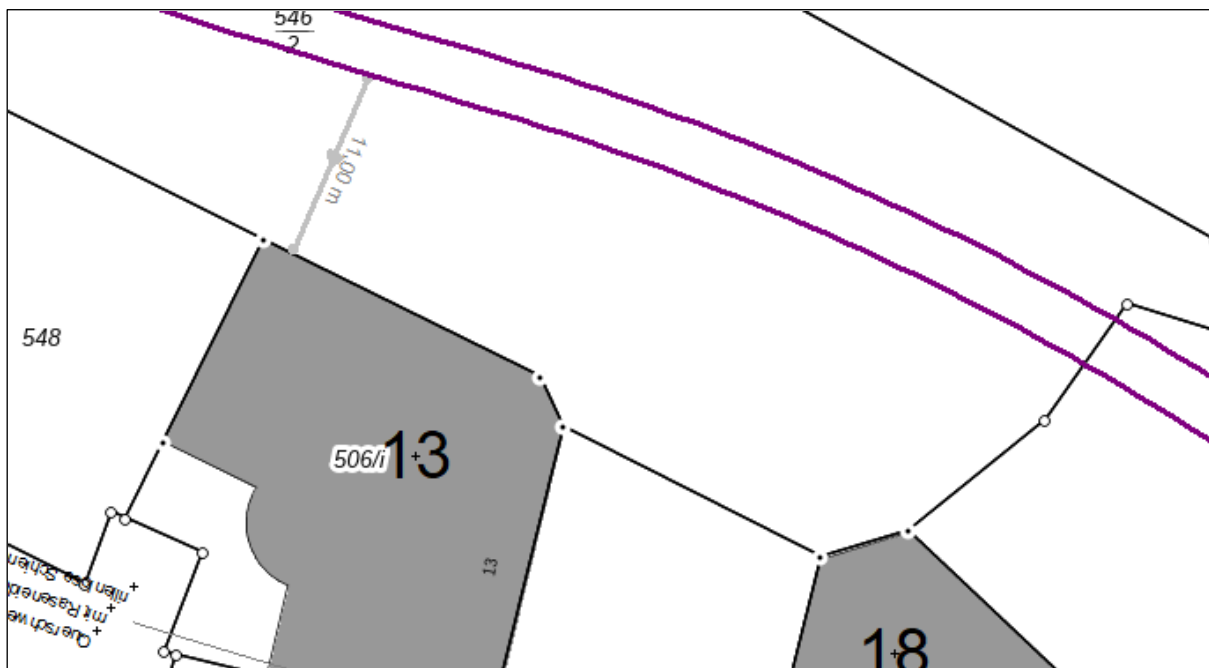
- vom Erdboden in Gebäude mit Holzbalkendecken, ungünstigste Eigenfrequenz 16 Hz
- vom Erdboden in Gebäude mit Massivdecken, ungünstigste Eigenfrequenz 50 Hz
- vom Erdboden zum Fundament/Erdbereich (nach: LIS-Berichte; Nr. 107 - Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen, NRW 1992, Bild 7.8a)

Anhang 5 Erschütterungsprognose

Anhang 5.1 Prognose für Gebäude An der Markthalle 13



augenscheinlicher Bautyp: Holzbalkendecken; Mischgebiet



An der Markthalle 13, Chemnitz - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Holzbalkendecke				11,0 m	Gebiet: M		
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	0,07	0,02	0,01	Prognoseergebnis	33,8	23,8	16,2
Anhaltswert A _w , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,225	0,150	0,105	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	nein	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v _{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage:			
Prognoseergebnis	0,05	0,11		Citylink CM C13/C14/C15			
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20		Straßenbahn CVAG Li. 3			
Überschreitung	nein	nein					

Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

An der Markthalle 13, Chemnitz

Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)

Planfall

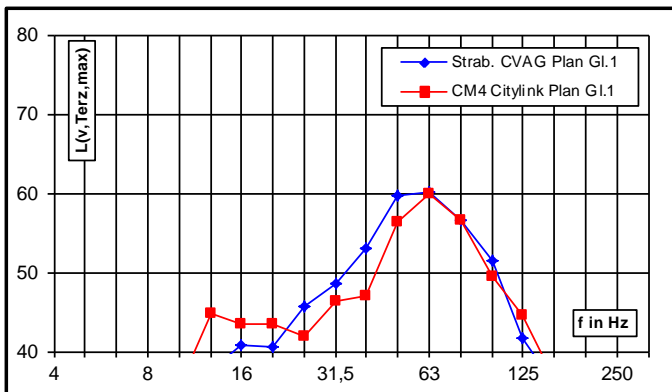
Gebietstyp	M	W = Wohngebiet
		M = Mischgebiet / Außenb.
		G = Gewerbegebiet
		I = Industriegebiet
		K = besondere Gebiete

Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts
unterer Anhaltswert A_u	0,300	0,225
oberer Anhaltswert A_o	5,00	0,60
Anhaltswert A_r	0,150	0,105

Anregung/Quelle

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

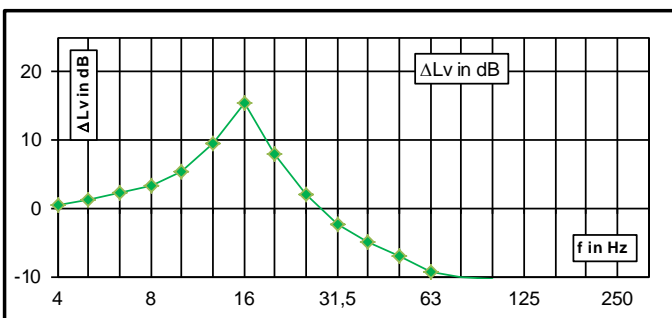
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Strab. CVAG Plan Gl.1	50	87	8
Strab. CVAG Plan Gl.2	50	87	8
CM4 Citylink Plan Gl.1	50	29	2
CM4 Citylink Plan Gl.2	50	29	2



Übertragungsweg

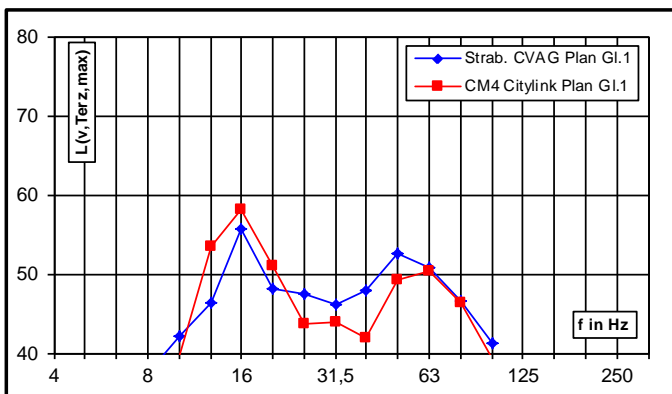
$\Delta L_v = L_v(\text{IO}) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	11,0 m
Deckentyp	Holzbalkendecke 16 Hz



Erschütterungs-Immission

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



Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag

	KB_{FTm}	KB_{FTT} Tag	KB_{FTT} Nacht
Strab. CVAG Plan Gl.1	0,06	0,01	0,01
Strab. CVAG Plan Gl.2	0,05	0,01	0,00
CM4 Citylink Plan Gl.1	0,07	0,01	0,00
CM4 Citylink Plan Gl.2	0,07	0,01	0,00
gesamt	0,07	0,02	0,01

Sekundärer Luftschall in dB(A)

$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
33,8	23,8	16,2

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2

KB_{Fmax} $> A_u$	KB_{Fmax} $> A_u$	KB_{Fmax} $> A_o$	KB_{Fmax} $> A_o$	KB_{FTT} $> A_r$	KB_{FTT} $> A_r$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	nein	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v

am Fundament	$v_{max} =$	0,05	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

Anhang 5.2 Prognose für Gebäude Hartmannstraße 28a



Hartmannstr. 28a, Chemnitz - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Massivdecke				16,5 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	0,07	0,02	0,01	Prognoseergebnis	34,8	24,8	17,2
Anhaltswert A _u , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,150	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					
Prognoseergebnis	0,03	0,09					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					
				Grundlage: Straßenbahn CVAG Li. 3	Citylink CM C13/C14/C15		

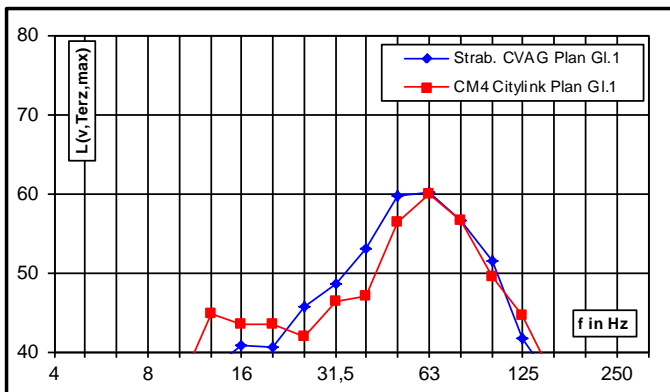
Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Hartmannstr. 28a, Chemnitz			Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)		Planfall		
Gebietstyp	W	W = Wohngebiet	Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2		tags	nachts	
		M = Mischgebiet / Außenb.			unterer Anhaltsw ert A _u	0,225	0,150
		G = Gew erbegebiet			oberer Anhaltsw ert A _o	3,00	0,60
		I = Industriegebiet			Anhaltsw ert 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

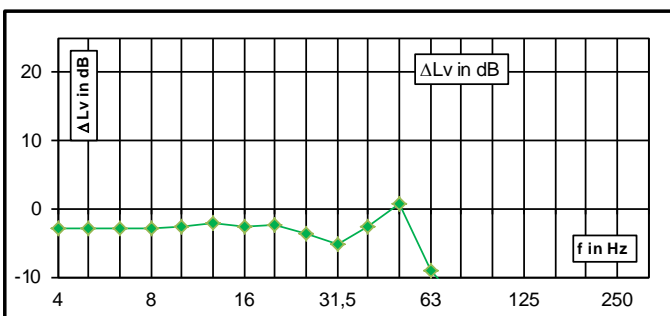
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Strab. CVAG Plan Gl.	50	87	8
Strab. CVAG Plan Gl.	50	87	8
CM4 Citylink Plan Gl.1	50	29	2
CM4 Citylink Plan Gl.2	50	29	2



Übertragungsweg

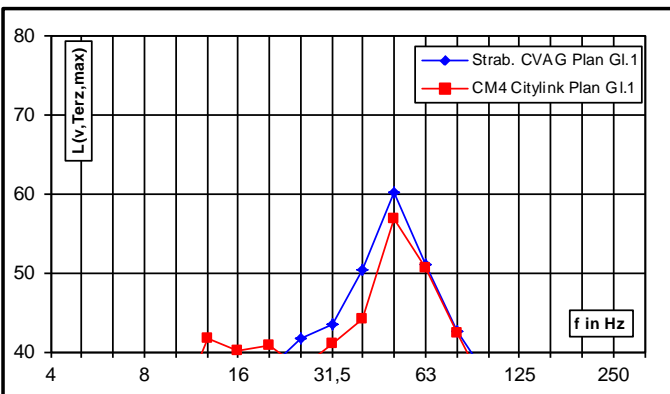
$\Delta L_v = L_v(\text{IO}) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	16,5 m
Deckentyp	Massivdecke 50 Hz



Erschütterungs-Immission

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



Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag

	KB_{FTm}	KB_{FTTr} Tag	KB_{FTTr} Nacht
Strab. CVAG Plan Gl.1	0,066	0,014	0,006
Strab. CVAG Plan Gl.2	0,052	0,011	0,005
CM4 Citylink Plan Gl.1	0,048	0,006	0,002
CM4 Citylink Plan Gl.2	0,048	0,006	0,002
gesamt	0,07	0,02	0,01

Sekundärer Luftschall in dB(A)

$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
34,8	24,8	17,2

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2

KB_{Fmax} $> A_u$	KB_{Fmax} $> A_u$	KB_{Fmax} $> A_o$	KB_{Fmax} $> A_o$	KB_{FTTr} $> A_r$	KB_{FTTr} $> A_r$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	nein	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v

am Fundament	$v_{max} =$	0,03	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$	0,09	mm/s

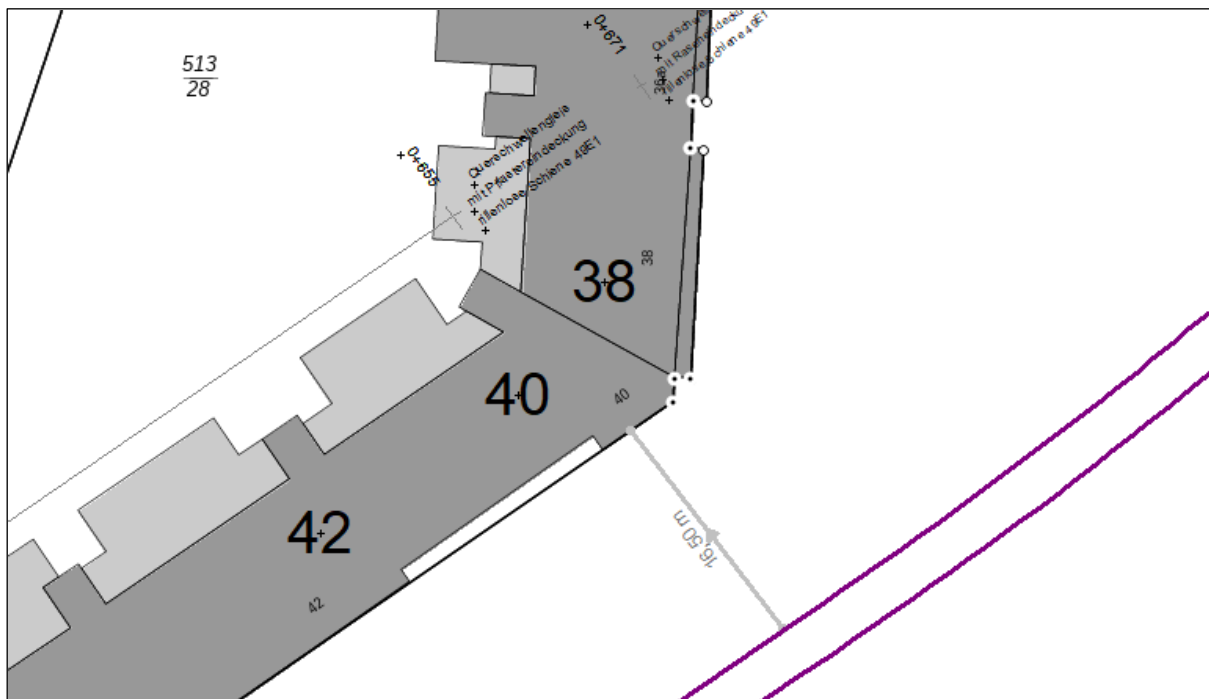
Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3

Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s	nein

Anhang 5.3 Prognose für Gebäude Theaterstraße 40/42



augenscheinlicher Bautyp: Massivdecken; Mischgebiet



Theaterstr. 40/42, Chemnitz - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Massivdecke				16,5 m	Gebiet: M		
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	0,07	0,02	0,01	Prognoseergebnis	34,8	24,8	17,2
Anhaltswert A _u , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,225	0,150	0,105	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 CVAG Li. 3 Citylink CM C13/C14/C15			
Prognoseergebnis	0,03	0,09					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

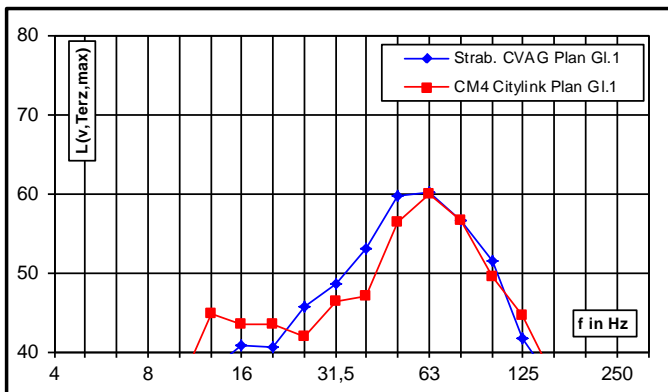
Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Theaterstr. 40/42, Chemnitz			Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)		Planfall	
Gebietstyp	M	W = Wohngebiet	Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts	
		M = Mischgebiet / Außenb.		unterer Anhaltswert A_u	0,300	0,225
		G = Gewerbegebiet		oberer Anhaltswert A_o	5,00	0,60
		I = Industriegebiet		Anhaltswert A_r		
		K = besondere Gebiete			0,150	0,105

Anregung/Quelle

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

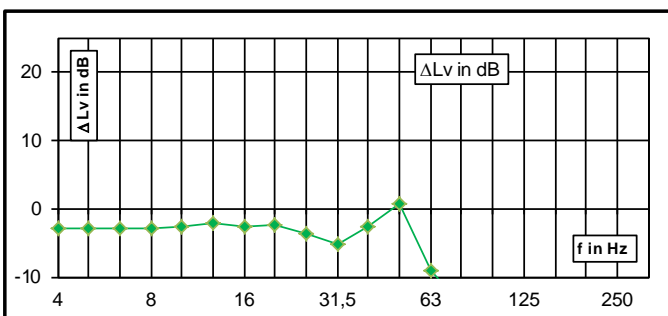
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Strab. CVAG Plan Gl.	50	87	8
Strab. CVAG Plan Gl.	50	87	8
CM4 Citylink Plan Gl.1	50	29	2
CM4 Citylink Plan Gl.2	50	29	2



Übertragungsweg

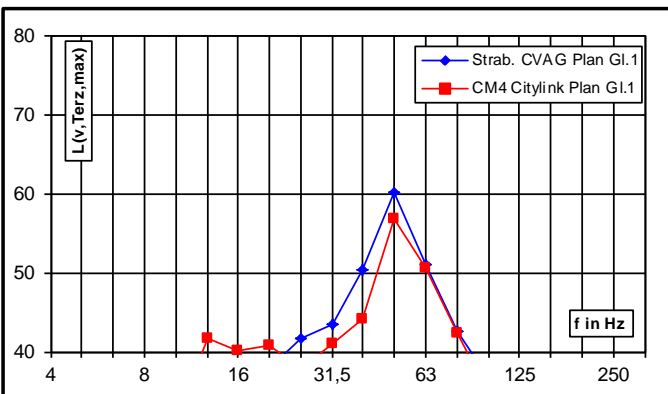
$\Delta L_v = L_v(10) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	16,5 m
Deckentyp	Massivdecke 50 Hz



Erschütterungs-Immission

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



Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag			
	KB_{FTm}	KB_{FTTr} Tag	KB_{FTTr} Nacht
Strab. CVAG Plan Gl.1	0,066	0,014	0,006
Strab. CVAG Plan Gl.2	0,052	0,011	0,005
CM4 Citylink Plan Gl.1	0,048	0,006	0,002
CM4 Citylink Plan Gl.2	0,048	0,006	0,002
gesamt	0,07	0,02	0,01

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
34,8	24,8	17,2

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

Maximale Schwinggeschwindigkeit v		
am Fundament	$v_{max} =$	0,03 mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$	0,09 mm/s

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

Anhang 5.4 Prognose für Einwirkungsbereich - Gebäude

Schutzbedürftige Gebäude im Einwirkungsbereich von Straßenbahn-Erschütterungen

"x": Anhaltswert A_u (Nacht) nach DIN 4150-3 im Plan-Zustand durch KB_{Fmax} überschritten, KB_{FTr} ist zu berechnen und zu beurteilen
 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
			Holzbalken	massiv		
in m	in m	in m				
28,0	-	Neubau	-	-	Reichsstr. 58	MI-T
16,0	-	Neubau	-	-	Hartmannstraße 45	MI
16,5	-	Neubau	-	-	Hartmannstraße 28a	WA
26,0	-	Neubau	-	-	R.-Hartmann-Platz, Oberschule	MI-T
18,0	-	Neubau	-	-	Promenadenstraße 2, Schule	WA-T
32,5	-	Neubau	-	-	Fabrikstraße 11	MI
31,0	-	Neubau	-	-	Hartmannstraße 11 Luxor	MI-T
11,0	-	Neubau	-	-	An der Markthalle 13	MI
14,0	-	Neubau	-	-	An der Markthalle 18	MI
18,0	-	Neubau	-	-	Hartmannstraße 7d	MI
20,0	-	Neubau	-	-	Hartmannstraße 7c	MI
21,5	-	Neubau	-	-	Brückenstraße 41 + 33	MI
23,5	-	Neubau	-	-	Hartmannstraße 2	MI-T
19,0	-	Neubau	-	-	Hartmannstraße 5a	MI
23,5	-	Neubau	-	-	Hartmannstraße 1/3	MI-T
25,0	-	Neubau	-	-	Brückenstraße 25	MI
23,0	-	Neubau	-	-	Brückenstraße 19	MI
35,0	-	Neubau	-	-	Brückenstraße 12/14	MI
16,0	-	Neubau	-	-	Straße der Nationen 12	MI
32,0	-	Neubau	-	-	Brückenstraße 8	MI
20,0	-	Neubau	-	-	Theaterstraße 11 + 13	MI
18,5	-	Neubau	-	-	Theaterstraße 15 + 17 + 19	MI
16,5	-	Neubau	-	-	Theaterstraße 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 56, 58	MI
11,5	-	Neubau	-	-	Theaterstraße 21	MI
17,0	-	Neubau	-	-	Theaterstraße 23	MI
17,5	-	Neubau	-	-	Theaterstraße 27, 29, 31, 33	MI
13,5	-	Neubau	-	-	Theaterstraße 62 + 64	MI
17,0	-	Neubau	-	-	Theaterstraße 35	MI
16,0	-	Neubau	-	-	Theaterstraße 39	MI
16,5	-	Neubau	-	-	Theaterstraße 41	MI
17,5	-	Neubau	-	-	Theaterstraße 43	MI
19,0	-	Neubau	-	-	Theaterstraße 45	MI
14,0	-	Neubau	-	-	Theaterstraße 76	MI
18,5	-	Neubau	-	-	Rosenhof 16	MI
15,0	-	Neubau	-	-	Rosenhof 18	MI
27,0	-	Neubau	-	-	Rosenhof 23	MI
16,0	-	Neubau	-	-	Bahnhofstraße 74	MI
21,0	-	Neubau	-	-	Bahnhofstraße 72, 70, 68, 66	MI
22,5	-	Neubau	-	-	Falkeplatz 2	MI
17,0	-	Neubau	-	-	Falkeplatz 10	MI

"WA-T", "MI-T" Schutzanspruch entsprechend Nutzung nur am Tage
 Grundlage: FP_Gleisvariante_oA Aenderung Bypassgleis 2023-11-16

Abstandslinien für die Einhaltung von A_u (WA) durch KB_{Fmax}

Nacht

	Wohngebiet, $A_u = 0,15$
Holzbalkendecke (Resonanzfrequenz 16 Hz)	$d_{min} = 5,5 \text{ m}$
Massivdecke (Resonanzfrequenz 50 Hz)	$d_{min} = 9,5 \text{ m}$

Zusammenfassung der Prognose-Ergebnisse für den Mindestabstand

$(KB_{Fmax} < A_{u,Nacht})$

Mindestabstand für Holzbalkendecken und $KB_{Fmax} \leq A_{u,Nacht}$

TA Hartmannstr.+Theaterstr., Chemnitz - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Holzbalkendecke				5,5 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	0,14	0,04	0,02	Prognoseergebnis	39,6	29,3	21,2
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 CVAG Li. 3			
Prognoseergebnis	0,16	0,22					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

Mindestabstand für Massivdecken und $KB_{Fmax} \leq A_{u,Nacht}$

TA Hartmannstr.+Theaterstr., Chemnitz - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Massivdecke				9,5 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	0,15	0,04	0,02	Prognoseergebnis	39,7	29,4	21,3
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 CVAG Li. 3			
Prognoseergebnis	0,06	0,21					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

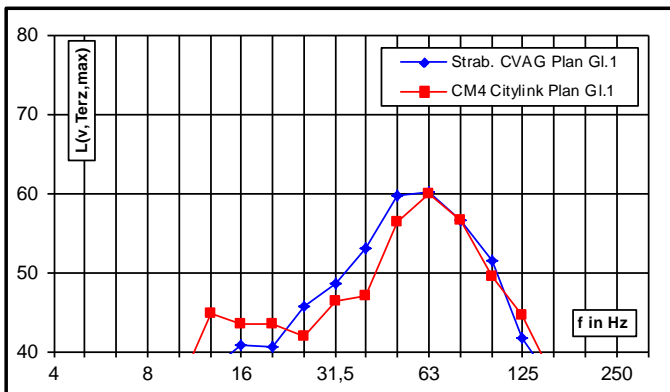
Mindestabstand zur Einhaltung von A_u

TA Hartmannstr.+Theaterstr., Chemnitz			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_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

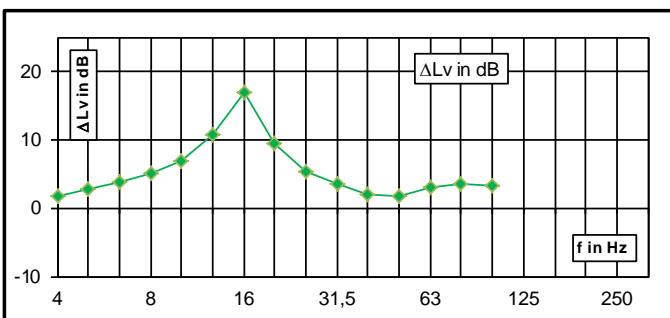
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Strab. CVAG Plan Gl.1	50	87	8
Strab. CVAG Plan Gl.2	50	87	8
CM4 Citylink Plan Gl.1	50	29	2
CM4 Citylink Plan Gl.2	50	29	2



Übertragungsweg

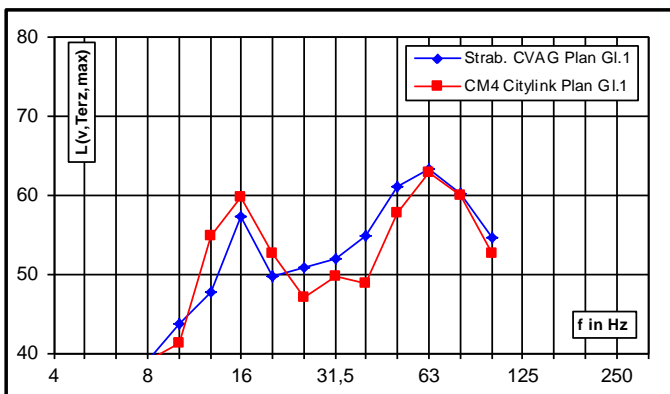
$\Delta L_v = L_v(\text{IO}) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	5,5 m
Deckentyp	Holzbalkendecke 16 Hz



Erschütterungs-Immission

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



Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag			
	KB_{FTm}	KB_{FTT}	KB_{FTT}
		Tag	Nacht
Strab. CVAG Plan Gl.1	0,14	0,03	0,01
Strab. CVAG Plan Gl.2	0,08	0,02	0,01
CM4 Citylink Plan Gl.1	0,13	0,02	0,01
CM4 Citylink Plan Gl.2	0,13	0,02	0,01
gesamt	0,14	0,04	0,02

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$	$L_{sek,m}$
	Tag	Nacht
39,6	29,3	21,6

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	nein	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v		
	v_{max}	
am Fundament	0,16	mm/s
auf der Geschossdecke	0,22	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

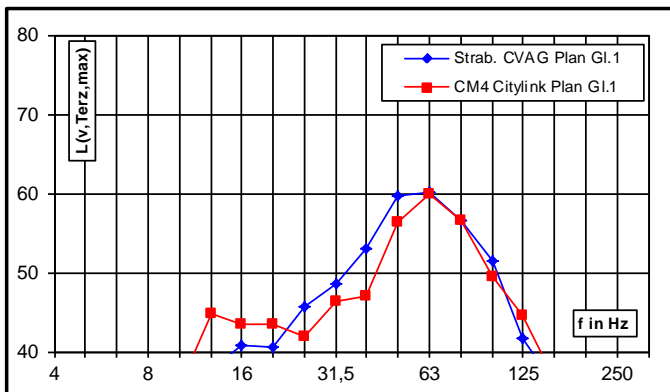
Mindestabstand zur Einhaltung von A_u

TA Hartmannstr.+Theaterstr., Chemnitz			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_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

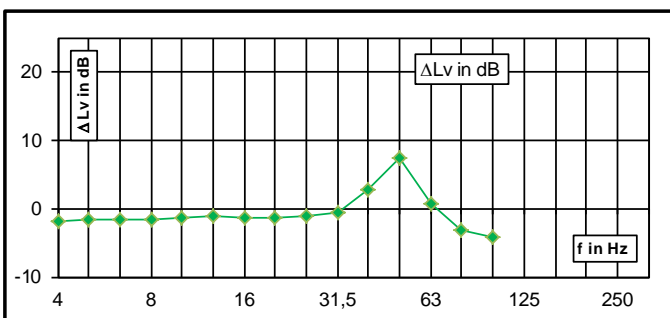
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Strab. CVAG Plan Gl.	50	87	8
Strab. CVAG Plan Gl.	50	87	8
CM4 Citylink Plan Gl.1	50	29	2
CM4 Citylink Plan Gl.2	50	29	2



Übertragungsweg

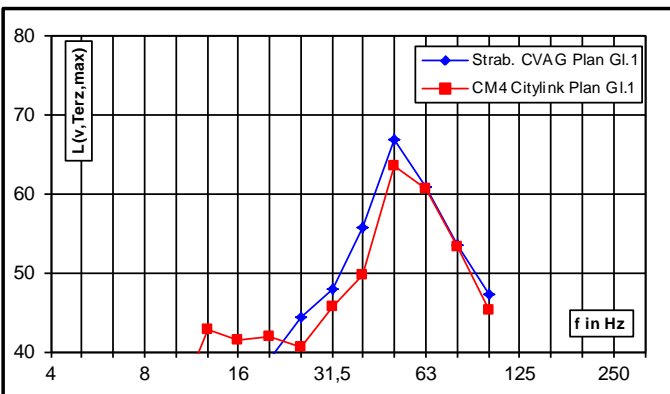
$\Delta L_v = L_v(\text{IO}) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude (Decke)

Gebäudeabstand	9,5 m
Deckentyp	Massivdecke 50 Hz



Erschütterungs-Immission

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



Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag

	KB_{FTm}	KB_{FTTr} Tag	KB_{FTTr} Nacht
Strab. CVAG Plan Gl.1	0,15	0,03	0,01
Strab. CVAG Plan Gl.2	0,10	0,02	0,01
CM4 Citylink Plan Gl.1	0,11	0,01	0,01
CM4 Citylink Plan Gl.2	0,11	0,01	0,01
gesamt	0,15	0,04	0,02

Sekundärer Luftschall in dB(A)

$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
39,7	29,4	21,8

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2

KB_{Fmax} $> A_u$	KB_{Fmax} $> A_u$	KB_{Fmax} $> A_o$	KB_{Fmax} $> A_o$	KB_{FTTr} $> A_r$	KB_{FTTr} $> A_r$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	nein	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v

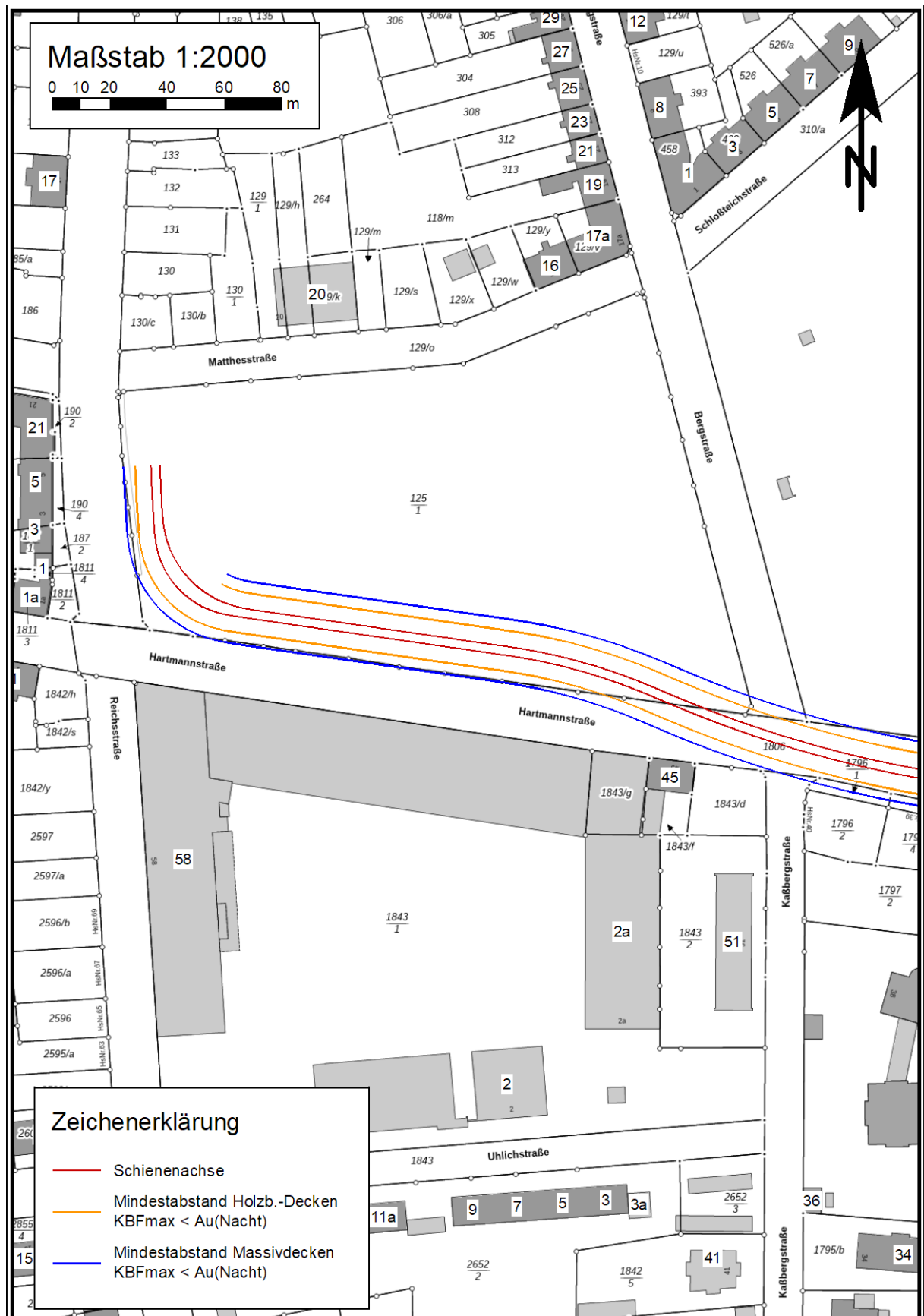
am Fundament	$v_{max} =$	0,06	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$	0,21	mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3

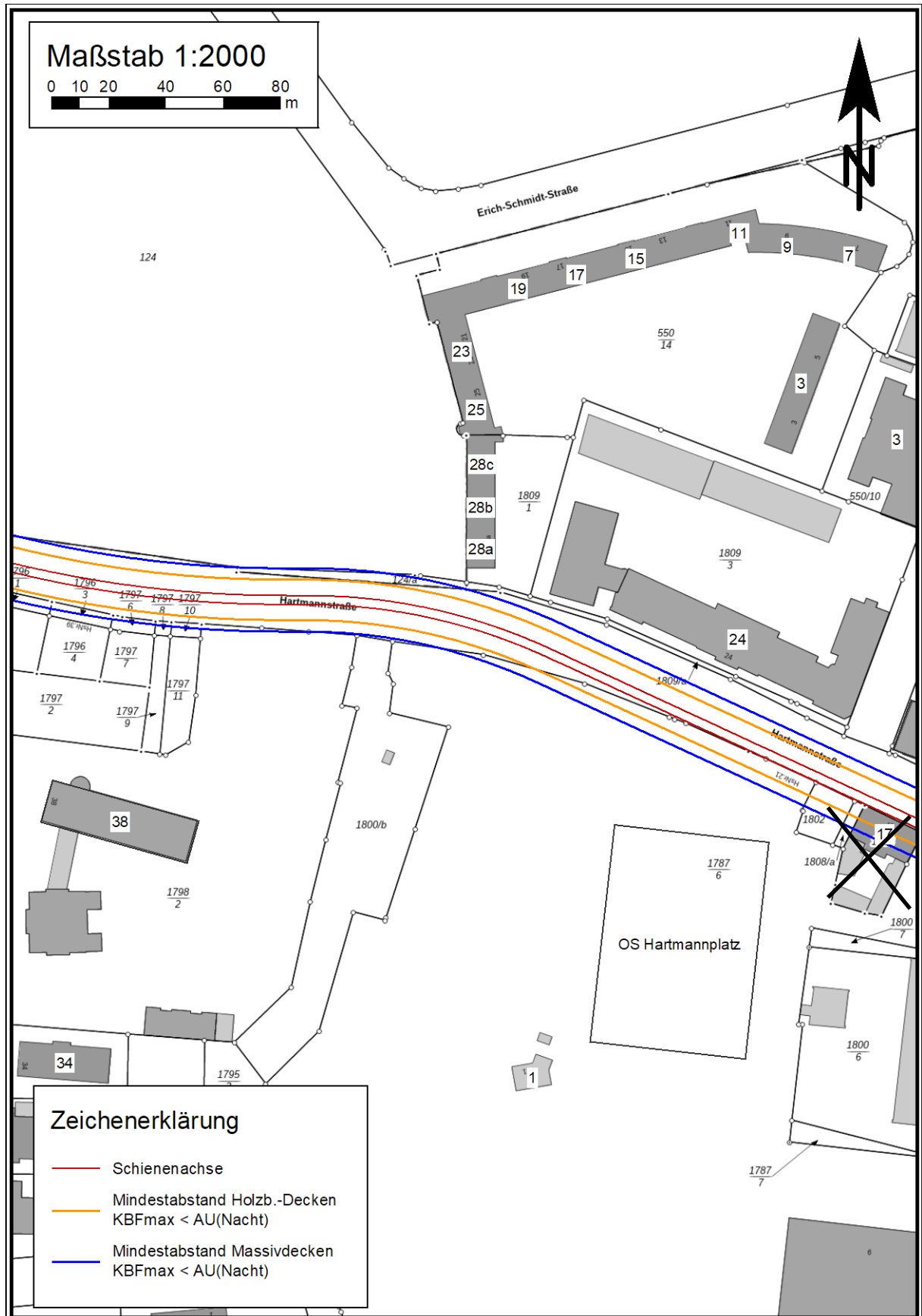
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s	nein

Anhang 6 Lageplan des Einwirkungsbereiches ($KB_{Fmax} > A_u$)

Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 1



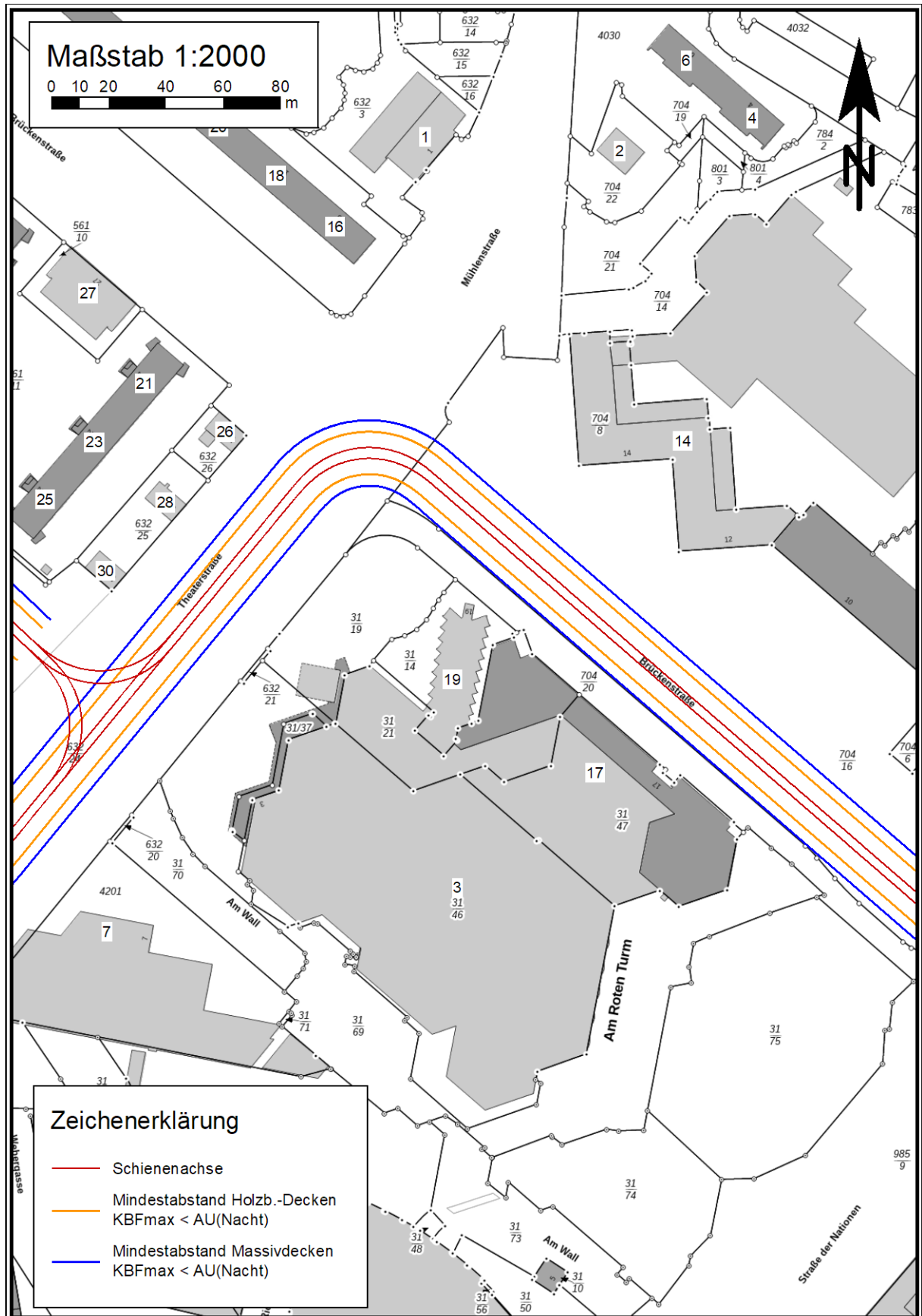
Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 2



Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 3



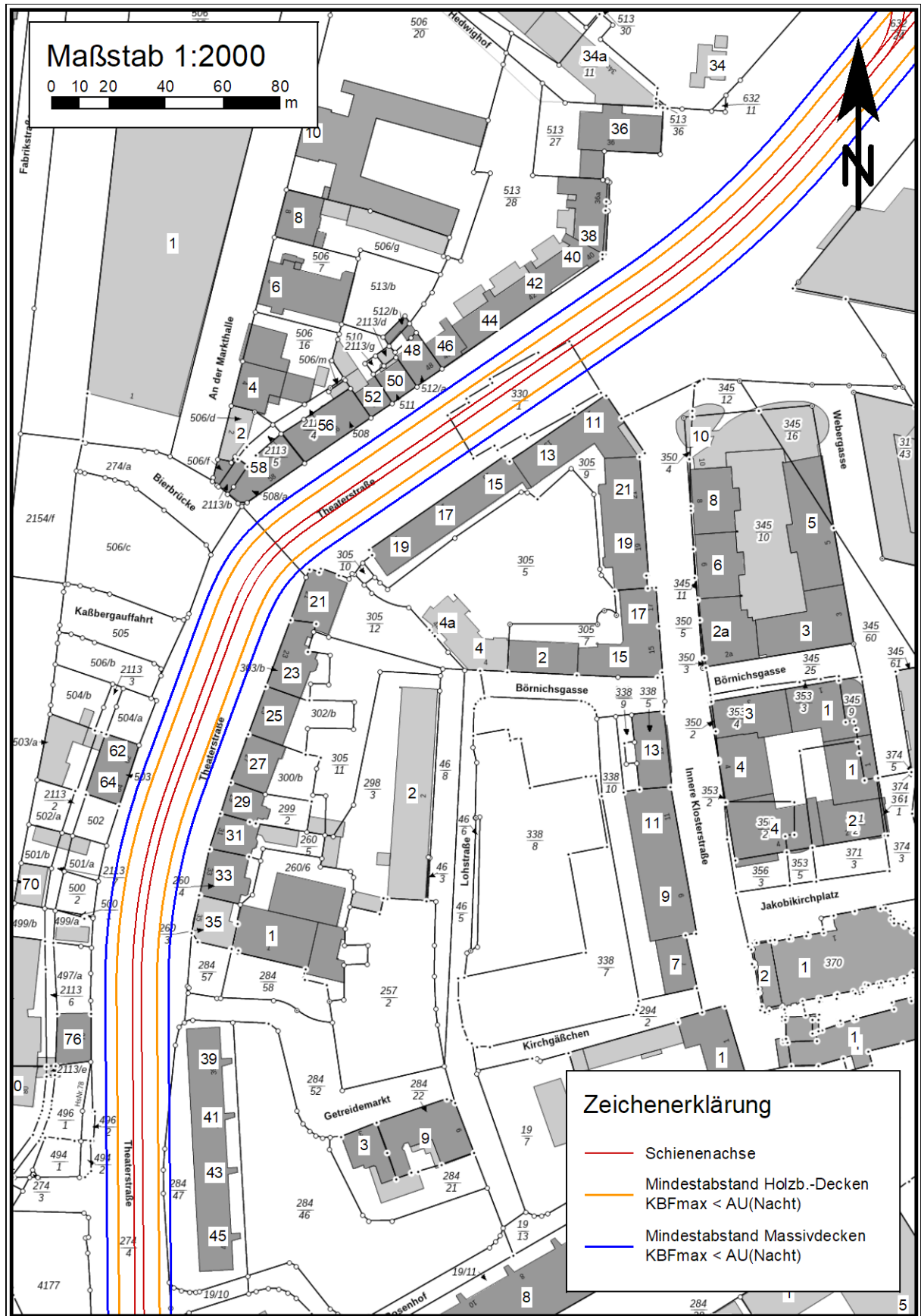
Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 4



Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 5



Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 6



Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 7

