

Dresdner Verkehrsbetriebe AG

Bestandsnahe Gleiserneuerung
Großenhainer Straße
zwischen Riesaer Straße und Trachenberger Platz

FESTSTELLUNGSENTWURF

– Unterlage 17.2 –
Untersuchung zu betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen

<p>aufgestellt: 25. APR. 2022</p> <p>Dresdner Verkehrsbetriebe AG Center Infrastruktur</p> <p> Hemmersbach Vorstand Finanzen und Technik</p> <p> J. V. Zimmermann Centerleiter T4</p>	

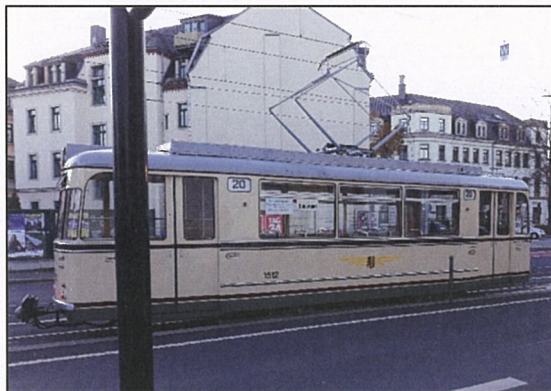
Consulting

Dipl.-Ing. D. Friedemann

Bericht Nr. 21-4512 / 01

Gleiserneuerung Großenhainer Straße (3. BA) zwischen Riesaer Straße und Trachenberger Platz Untersuchung zu betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen

Stand: 30.11.2021



Bearbeitet von Dipl.-Ing. L. Wiedemann

für

EIBS GmbH
Bernhardstraße 92
01187 Dresden

Ergebnisübersicht

Die Dresdner Verkehrsbetriebe planen im Rahmen der Verkehrsbaumaßnahme "Gleiserneuerung Großenhainer Straße (3. BA)" im Abschnitt zwischen Riesaer Straße und Trachenberger Platz den Umbau der Straßenbahn-Betriebsanlage.

Zum Planungsverfahren wurde eine erschütterungstechnische Untersuchung durchgeführt. Diese umfasst eine Emissionsmessung im Ist-Zustand im Erdboden und eine Prognose für den geplanten Zustand. Für die Prognose wurden zwei für den Untersuchungsabschnitt repräsentative Gebäude ausgewählt.

Die Erschütterungsprognose nach DIN 4150 hat für die Einwirkung auf Menschen in Gebäuden ergeben, dass lediglich in einem Erschütterungskorridor von 7 m (Mischgebiet) bzw. 9 m (Wohngebiet) zum nächstliegenden Gleis der untere Anhaltswert A_u nachts der DIN 4150-2 erreicht oder überschritten wird. Alle Gebäude mit schutzbedürftiger Nutzung innerhalb des möglichen Erschütterungs-Einwirkungsbereiches sind im Bericht aufgelistet.

Die unter Berücksichtigung der geplanten Verkehrsbelegung für das Bauvorhaben im Planzustand berechneten bewerteten Beurteilungsschwingstärken KB_{FT} halten die Anhaltswerte A_r der DIN 4150-2 entsprechend der Gebietseinstufung tags und nachts ein. Dies gilt sowohl für die Gebäude mit dem geringsten Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse als auch für diejenigen mit der größten vorhabensbedingten Abstandsverringerung zum Gleis.

Die berechneten sekundären Luftschallpegel unterschreiten für die überwiegende Mehrzahl der 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 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.

Der Bericht enthält 70 Seiten inklusive 6 Anhänge.

Dresden, den 30.11.2021

cdf Schallschutz



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



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



Inhaltsverzeichnis

1. Situation und Aufgabenstellung.....	5
2. Berechnungs- und Beurteilungsgrundlagen	6
2.1. Erschütterungs-Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	6
2.2. Erschütterungs-Einwirkung auf bauliche Anlagen	11
2.3. Sekundärer Luftschall	12
3. Verfahren der Erschütterungsprognose	14
3.1. Prognoseverfahren	15
3.2. Prinzipiell mögliche Maßnahmen zum Erschütterungsschutz	16
3.3. Qualität der Prognose	17
4. Emissionsdaten des Straßenbahnverkehrs	18
4.1. Oberbau	18
4.2. Trassierung	18
4.3. Terzspektren	19
4.4. Verkehrsbelegung, Geschwindigkeit	19
5. Messungen	20
5.1. Messverfahren und Randbedingungen	20
5.2. Messobjekte	21
5.3. Ergebnisse für den Ist-Zustand	21
6. Erschütterungsprognose Straßenbahnverkehr und Bewertung	23
6.1. Einwirkungsbereich	23
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	28
6.4. Zusammenfassende Bewertung - sekundärer Luftschall	29
6.5. Zusammenfassende Bewertung - Gebäudeschäden	29
6.6. Fazit der Bewertungen	30
6.7. Erschütterungseinwirkung des Straßenverkehrs	30
7. Normen und Literatur	31
8. Anhänge	32

Anhang 1	Lageplan, Flächennutzungsplan.....	33
Anhang 2	Oberbau	39
Anhang 3	Verkehrsmengen und Geschwindigkeiten.....	40
Anhang 4	Emissionsdaten der Straßenbahn (Messung Ist-Zustand)	41
Anhang 4.1	Messprotokoll	41
Anhang 4.2	Messwerte des Straßenbahnverkehrs, Erdboden	45
Anhang 4.3	Erschütterungs-Emissionsspektren	46
Anhang 4.4	Ausbreitungsdämpfung des Erdbodens	49
Anhang 4.5	Gebäudeübertragungsfunktionen	51
Anhang 5	Erschütterungsprognose	52
Anhang 5.1	Prognose für Gebäude Großenhainer Straße 88	53
Anhang 5.2	Prognose für Gebäude Großenhainer Straße 75	58
Anhang 5.3	Prognose für Einwirkungsbereich - Gebäude	63
Anhang 6	Lageplan des Einwirkungsbereiches ($KB_{Fmax} > A_u$)	68

1. Situation und Aufgabenstellung

Im Rahmen der Verkehrsbaumaßnahme "Bestandsnahe Gleiserneuerung Großenhainer Straße (3. BA)" der Dresdner Verkehrsbetriebe im Abschnitt zwischen Riesaer Straße und Trachenberger Platz wird der Gleiserneuerung der Straßenbahn-Betriebsanlage geplant.

Der untersuchte Bauabschnitt erstreckt sich vom Trachenberger Platz über die Heidestraße und Zeithainer Straße bis zum Pestalozziplatz einschließlich der Haltestelle Zeithainer Straße. Im Rahmen des Vorhabens werden sowohl die Schienen ausgetauscht als auch der für den Einsatz von neuen Stadtbahnwagen erforderliche Gleisachsabstand von 3,00 m auf dem gesamten Abschnitt hergestellt. Die Defizite von Haltestellen hinsichtlich Barrierefreiheit, Breiten und Radwegführung werden mit dem Vorhaben behoben [16].

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 [4], Teil 3 - Einwirkungen auf Gebäude [5]).

Die nächstgelegene schutzbedürftige Bebauung befindet sich auf beiden Seiten der in Nordwest-Südost-Richtung verlaufenden Großenhainer Straße derzeit in Abständen zwischen 8,5 m und > 28 m zur Achse des jeweils nächstgelegenen Richtungsgleises (vgl. Anhang 5.3, Angaben für den Ist-Zustand).

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 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_{FT}

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_{FTr} 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.

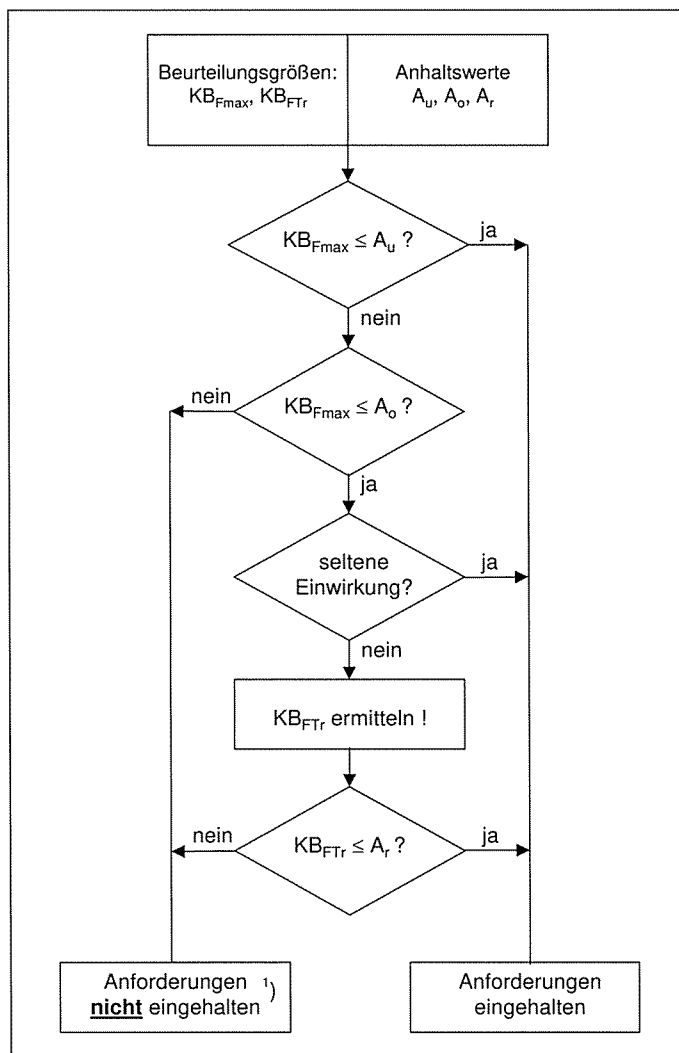


Bild 1 Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren nach DIN 4150, Teil 2 (Neubaustrecken)

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 $KB_{FT,r}$ -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 $KB_{FT,r}$ 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 $KB_{FT,r}$ 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 [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 $KB_{FT,r}$ 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.

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 Gebäudedefundament 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 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, wissenschaftliche 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

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. Für die Bebauung außerhalb des Erschütterungskorridors sind im Allgemeinen keine Belästigungen oder gar gebäudeschädigende Erschütterungen zu erwarten.

Die Untersuchung erfolgt 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 **zwei Gebäude** als repräsentativ für den Untersuchungsbereich hinsichtlich folgender Kriterien angesehen (vgl. 6.2):

- geringster Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse im Ist- und Plan-Zustand
- mehrgeschossige Bauten mit Wohnungen in allen Etagen.
- je ein Gebäude im Mischgebiet bzw. im Allgemeinen Wohngebiet.

Auf der Grundlage der Messergebnisse wird im Abschnitt 6 eine Erschütterungsprognose für ausgewählte Gebäude durchgeführt. Dabei 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.

Für **weitere Gebäude** innerhalb des Erschütterungskorridors erfolgt eine Prognose der Erschütterungen dahingehend, ob diese im Abstandsbereich liegen, in welchem der untere Anhaltswert A_u nach DIN 4105-2 überschritten wird.

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

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.

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 Straßenbahnverkehrs

Vom Auftraggeber wurden folgende Informationen als Grundlagen der Prognose übergeben:

- Vorhabensbeschreibung (Erläuterungsbericht zur Planfeststellung [16])
- Verkehrsbelegung und Fahrgeschwindigkeit ([17])
- Trassierung für den Plan-Zustand, Ist-Zustand [15]

4.1. Oberbau

Im Rahmen der Baumaßnahme wird folgender neuer Aufbau hergestellt:

Tab. 5 Oberbau-Ausführung

Zustand	Aufbau
Plan Großenhainer Str.	<ul style="list-style-type: none">- 13 cm Rillenschiene Ri53-10- 1 cm Schienenfußunterlage aus PE-Schaum- 22,5 cm Betonschicht C 30/37 mit Zweiblockschwelle TB/ZB-1450 K-W25- ≥ 35 cm Tragschicht ohne Bindemittel 0/32, zweilagig Quelle: [18]
Ist Tiergartenstr.	<ul style="list-style-type: none">- 13 cm Rillenschiene Ri53-10- 1 cm Schienenfußunterlage aus PE-Schaum- 22,5 cm Betonschicht C 30/37 mit Zweiblockschwelle TB/ZB-1450 K-W25- ≥ 30 cm Tragschicht ohne Bindemittel 0/32, zweilagig- 20 cm Hydraulische Verfestigung Quelle: [18]

Der Oberbau-Typ der im November 2021 durchgeführten Emissionsmessung an der bestehenden Strecke in Dresden, Tiergartenstraße zwischen Querallee und Oskarstraße (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 verbleibt in der Mittenlage. Es erfolgt eine Aufweitung des Gleisachsabstandes auf 3,00 m. Dieser Wert wird als Abstand der Gleisachsen hier für die Prognoserechnung verwendet.

4.3. 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 Tiergartenstraße - Nordseite gegenüber Haus-Nr. 36/38
- Oberbautyp feste Fahrbahn mit Rillenschiene gemäß Tab. 5
- Straßenbahnen der Typen NGT D8 DD und NGT 6 DD, Linien 9 und 13
- mittlere Geschwindigkeit am Messtag 16.11.2021 $v_m = 40$ km/h

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.

4.4. Verkehrsbelegung, Geschwindigkeit

Folgende Verkehrsbelegung ist für den Zustand nach Abschluss der Baumaßnahme vorgesehen (Prognosehorizont 2030, aus der schalltechnischen Untersuchung zum Vorhaben [17], siehe auch Anhang 3):

Tab. 6 Geplante Verkehrsbelegung - Straßenbahn, Prognosehorizont 2030

Fahrzeug-Typ, Linie	Fahrten tags (6 - 22 Uhr)	Fahrten nachts (22 - 6 Uhr)
Linie 3, Richtungen Coschütz + Wilder Mann	199	38
Ein- / Ausrücker Betriebshof Trachenberge	29	49
Summe Plan-Zustand, beide Richtungen:	228	87
Geschwindigkeit: 50 km/h		

Die Erschütterungsprognose für den Null- und Plan-Fall erfolgt entsprechend dieser Verkehrsmengen und Geschwindigkeitswerte.

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: 14 m, z-Richtung, vertikal
- MP 3z: 20 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. Messobjekte

Emissions-Messort Tiergartenstraße, Dresden (Erdboden)

Zur Bestimmung des Emissionsspektrums für den Oberbau der Großenhainer Straße im Plan-Zustand und der Boden-Ausbreitungsparameter wurden drei Erdspieße senkrecht zur Straßenbahntrasse im Erdboden neben dem Großen Garten, gegenüber Nr. 36 eingebracht. Deren Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse betrug 8, 14 und 20 m. Ausgewertet wurde die Fahrtrichtung Stadtzentrum der Linien 9 und 13 (nördliches Richtungsgleis).

Die Lage der Messpunkte ist im Anhang 4.1, Punkt VIII dargestellt.

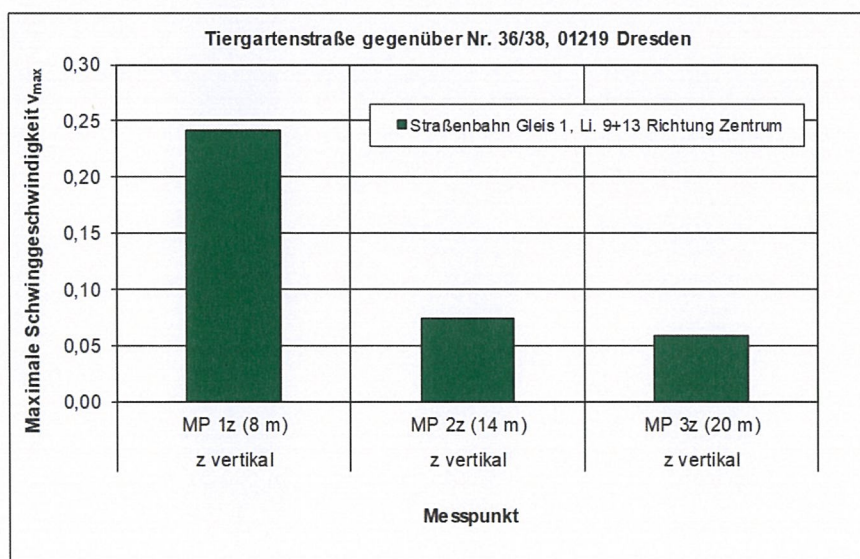
Das ermittelte Emissionsspektrum in 8 m Abstand zum Gleis enthält Anhang 4.3.

5.3. 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.

Nachfolgendes Diagramm fasst die Messwerte v_{\max} für den Ist-Zustand und den Fahrzeugtyp NGT D8DD zusammen:



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

Da die Differenzwerte in den tiefsten Terzfrequenzbändern im Messquerschnitt nahe des Carolasee-Ufers nahe 0 liegen, wird für die Prognose im innerstädtischen Bereich mit vollständig befestigtem Boden auf die Dämpfungswerte aus der DB-Richtlinie "Messung und Prognose von Erschütterungseinwirkungen" [9], Bild 1 zurückgegriffen.

6. Erschütterungsprognose Straßenbahnverkehr 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. Anhang 5.3 und nachfolgende Tabelle.

Tab. 7 Prognose-Ergebnisse für Gebäude-Deckentypen im Mindestabstand (Mischgebiet)

Großenhainer Str., Dresden - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Massivdecke				7,0 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	0,21	0,06	0,05	Prognoseergebnis	44,4	33,7	32,3
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	ja
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021			
Prognoseergebnis	0,10	0,21					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					
Großenhainer Str., Dresden - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Holzbalkendecke				6,5 m	Gebiet: M		
Bewertete Schwingstärke KB	KB_{Fmax}	$KB_{FTr, Tag}$	$KB_{FTr, Nacht}$	Sekundärer Luftschall in dB(A)	L_{sekmax}	L_{sekM}	L_{sekN}
Prognoseergebnis	0,21	0,06	0,05	Prognoseergebnis	40,9	30,4	29,1
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: NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021			
Prognoseergebnis	0,11	0,22					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

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. 8 Mindestabstände - Einwirkungsbereich von Erschütterungen oberhalb A_u

	Mischgebiet, A_u (ÖPNV) = 0,225 nachts $L_{sek,M,N} < 30$ dB(A)	Wohngebiet, A_u (ÖPNV) = 0,15 nachts $L_{sek,M,N} < 30$ dB(A)
Holzbalkendecke (Resonanzfrequenz 16 Hz)	$d_{min} = 6,5$ m	$d_{min} = 9,0$ m
Massivdecke (Resonanzfrequenz 50 Hz)	$d_{min} = 7,0$ m	$d_{min} = 9,0$ m

Das untersuchte Gebiet ist ausgehend von der vorgefundenen örtlichen Nutzung sowie übereinstimmend mit dem Flächennutzungsplan der Stadt Dresden im nördlichen Teil als Misch- bzw. Gewerbegebiet sowie im südlichen Teil als Wohngebiet einzustufen, vgl. Anhang 1.

Nachfolgende Tabelle enthält die im Bereich der Straßenbahnstrecke befindlichen, zu betrachtenden Gebäude mit Bewertung der Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen.

An den in der Tabelle mit "nicht erfüllt" bewerteten Gebäuden wird der untere Anhaltswert A_u nachts im Plan-Zustand überschritten.

Tab. 9 Gebäude und Erschütterungsbewertung; Abstandsangaben zum jeweils nächstgelegenen Gleis; Genauigkeit der Abstandswerte 0,5 m

Gebäude	Typ, Nutzung	Gleis- Abstand Plan-Zustand	Mindestabstände zur Einhaltung des Anhaltswertes A_u (KB_{Fmax})	
			Holzbalkendecke	Massivdecke
Großenhainer Str. 123, 121, 117, 115, 111, 106, 104, 102, 100, 98b, 96, Heidestr. 15	Wohnen (alle MI)	8,0 - 10,0 m	> 6,5 m erfüllt	> 7,0 m erfüllt
Großenhainer Str. 101, 109	Gewerbe	13,0 - 18,5 m	Einhaltung bereits für Wohnen (MI) gegeben	
Großenhainer Str. 90, 92	Wohnen (MI)	7,0 m	> 6,5 m erfüllt	7,0 m gerade eingehalten
Großenhainer Str. 88	Wohnen (MI)	6,5 m	6,5 m gerade eingehalten	> 7,0 m nicht erfüllt
Großenhainer Str. 93, 95, 97, 99, 89, 83, 81	Gewerbe	10,0 m	Einhaltung bereits für Wohnen (MI) gegeben	
Großenhainer Str. 84, 86	Wohnen (MI)	6,5 m	6,5 m gerade eingehalten	> 7,0 m nicht erfüllt
Großenhainer Str. 82, 78 / 78a / 78b, 74 / 74a, 70 / 70a, 68, 66, Zeithainer Str. 18	Wohnen (MI)	7,5 - 13 m	> 6,5 m erfüllt	> 7,0 m erfüllt
Großenhainer Str. 61, 63, 65, 67, 69, 71, 73, 75	Wohnen (WA)	11,0 - 13,5 m	> 9,0 m erfüllt	> 9,0 m erfüllt

Anmerkung:

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

Obige Tabelle zeigt, dass die Mehrzahl der Gebäude der ersten Bebauungsreihe beidseitig der Strecke außerhalb des Abstandskorridors mit möglichen Überschreitungen des Anhaltswertes A_u tags oder nachts liegt. Aus den 5 Gebäuden innerhalb der Abstandslinien (d. h. Nr. 84, 86, 88, 90, 92 mit $KB_{Fmax} > A_{u,Nacht}$) wurde das im Abschnitt 6.2 untersuchte erste Prognoseobjekt ausgewählt, als zweites ein Gebäude im Bereich der empfindlicheren Gebietseinstufung WA.

Im Anhang 5.3 ist die detaillierte Auflistung der betroffenen Gebäude einschließlich der vorhabensbedingten Abstandsänderung zur nächstgelegenen Gleisachse enthalten. Die größte geplante **Abstandsverringerung** (berechnet aus der Lage der Gleisachsen im Ist- und Planzustand) beträgt **2,0 m** im Bereich der Gebäude Großenhainer Straße 84, 86, 88 und 90.

6.2. Prognose für ausgewählte repräsentative Gebäude

Für zwei 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 **Großenhainer Straße 88** wurde in der detaillierten rechnerischen Prognose untersucht, da es gleichzeitig eines derjenigen mit dem geringsten Abstand im Plan-Zustand darstellt (6,5 m).

Als Typenvertreter der Gebäude mit der empfindlichsten Gebietseinstufung (Allgemeines Wohngebiet) wurde das Wohngebäude **Großenhainer Straße 75** in 11,0 m Abstand (Plan-Zustand) gewählt.

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

6.2.1. Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Tab. 10 Prognoseergebnisse für Wohngebäude in **6,5 m Abstand zur Gleisachse, MI** (vgl. Anhang 5.1)

Großenhainer Straße 88, 01127 Dresden				OG , Deckenmitte	Holzbalkendecke	Gebiet: M		
Bewertete Schwingstärke KB	KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)		L _{sek,max}	L _{sek,m,T}	L _{sek,m,N}
Anhaltswert A _{uNacht} , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,225	0,150	0,105	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV		-	40	30
Prognoseergebnis Null-Fall	0,15	0,046	0,039	Prognoseergebnis Null-Fall		38,8	28,4	27,1
Überschreitung Null-Fall	nein	nein	nein	Überschreitung Null-Fall		-	nein	nein
Prognoseergebnis Plan-Fall	0,21	0,061	0,051	Prognoseergebnis Plan-Fall		40,9	30,4	29,1
Überschreitung Plan-Fall	nein	nein	nein	Überschreitung Plan-Fall		-	nein	nein
vorhabensbedingte Änderung Δ(KB) _{Tag/Nacht} =				+33%	+32%	ΔL _{sek,m} = +2,0 dB +2,0 dB		
Schwinggeschwindigkeit v _{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: Null-Fall mit NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021				
Prognoseergebnis Plan-Fall	0,11	0,22		Plan-Fall mit NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021				
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20		Abstand Ist: 8,5 m Abstand Plan: 6,5 m				
Überschreitung	nein	nein						

Großenhainer Straße 88, 01127 Dresden				OG , Deckenmitte	Massivdecke	Gebiet: M		
Bewertete Schwingstärke KB	KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)		L _{sek,max}	L _{sek,m,T}	L _{sek,m,N}
Anhaltswert A _{uNacht} , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,225	0,150	0,105	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV		-	40	30
Prognoseergebnis Null-Fall	0,15	0,041	0,035	Prognoseergebnis Null-Fall		42,4	31,8	30,4
Überschreitung Null-Fall	nein	nein	nein	Überschreitung Null-Fall		-	nein	ja
Prognoseergebnis Plan-Fall	0,24	0,065	0,054	Prognoseergebnis Plan-Fall		45,1	34,3	32,9
Überschreitung Plan-Fall	ja	nein	nein	Überschreitung Plan-Fall		-	nein	ja
vorhabensbedingte Änderung Δ(KB) _{Tag/Nacht} =				+58%	+57%	ΔL _{sek,m} = +2,5 dB +2,5 dB		
Schwinggeschwindigkeit v _{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: Plan-Fall mit NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021				
Prognoseergebnis Plan-Fall	0,11	0,23						
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20		Abstand Ist: 8,5 m Abstand Plan: 6,5 m				
Überschreitung	nein	nein						

Am Tage und in der Nacht wird im Plan-Zustand der Anhaltswert A_r sowie auf Holzbalkendecken der untere Anhaltswert A_u für Mischgebiete eingehalten. Damit ist die Anforderung an den Erschütterungsschutz nach DIN 4150-2 erfüllt. Das Vorhaben führt am untersuchten

Gebäude aufgrund der Abstandsverringering zu einer Erhöhung der bewerteten Schwingstärke unterhalb der Anhaltswerte.

Der Richtwert für den zulässigen sekundären Luftschallpegel L_{sek} wird für Holzbalkendecken tags und nachts eingehalten. Für Massivdecken (die ausgehend vom Gebäudetyp unter Wohnräumen ab 1.OG aufwärts sehr wahrscheinlich nicht vorliegen) wird in der Nacht eine Richtwert-Überschreitung um ca. 3 dB (bei einer vorhabensbedingten Erhöhung um weniger als 3 dB) berechnet. Die Erdgeschosse der Gebäude Nr. 84, 86, 88 und 90 weisen eine gewerbliche Nutzung auf. Dort entfällt somit die Anforderung an den sekundären Luftschallpegel in der Nacht. Der zugehörige Tag-Richtwert wird sicher eingehalten.

Tab. 11 Prognoseergebnisse für Wohngebäude in **11,0 m Abstand zur Gleisachse, WA** (vgl. Anhang 5.2)

Großenhainer Straße 75, 01127 Dresden				OG, Deckenmitte	Holzbalkendecke	Gebiet: W	
Bewertete Schwingstärke KB				KB_{Fmax}	$KB_{FTr, Tag}$	$KB_{FTr, Nacht}$	Sekundärer Luftschall in dB(A)
Anhaltswert A_{UNacht} , A_r nach DIN 4150-2, Tab.1				0,150	0,105	0,075	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV
Prognoseergebnis Null-Fall				0,13	0,040	0,034	Prognoseergebnis Null-Fall
Überschreitung Null-Fall				nein	nein	nein	Überschreitung Null-Fall
Prognoseergebnis Plan-Fall				0,11	0,034	0,030	Prognoseergebnis Plan-Fall
Überschreitung Plan-Fall				nein	nein	nein	Überschreitung Plan-Fall
vorhabensbedingte Änderung $\Delta(KB)_{Tag/Nacht} =$				-15%	-14%		$\Delta L_{\text{sek,m}} = -1,2 \text{ dB}$
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s				Fundam.	Decke		
Prognoseergebnis Plan-Fall				0,04	0,13		Grundlage: Plan-Fall mit NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021
Anhaltswert nach DIN 4150-3				5	20		Abstand Ist: 9,5 m
Überschreitung				nein	nein		Abstand Plan: 11,0 m

Großenhainer Straße 75, 01127 Dresden				OG, Deckenmitte	Massivdecke	Gebiet: W	
Bewertete Schwingstärke KB				KB_{Fmax}	$KB_{FTr, Tag}$	$KB_{FTr, Nacht}$	Sekundärer Luftschall in dB(A)
Anhaltswert A_{UNacht} , A_r nach DIN 4150-2, Tab.1				0,150	0,105	0,075	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV
Prognoseergebnis Null-Fall				0,12	0,033	0,028	Prognoseergebnis Null-Fall
Überschreitung Null-Fall				nein	nein	nein	Überschreitung Null-Fall
Prognoseergebnis Plan-Fall				0,09	0,025	0,022	Prognoseergebnis Plan-Fall
Überschreitung Plan-Fall				nein	nein	nein	Überschreitung Plan-Fall
vorhabensbedingte Änderung $\Delta(KB)_{Tag/Nacht} =$				-24%	-24%		$\Delta L_{\text{sek,m}} = -1,6 \text{ dB}$
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s				Fundam.	Decke		
Prognoseergebnis Plan-Fall				0,04	0,09		Grundlage: Plan-Fall mit NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021
Anhaltswert nach DIN 4150-3				5	20		Abstand Ist: 9,5 m
Überschreitung				nein	nein		Abstand Plan: 11,0 m

Am Tage und in der Nacht werden im Plan-Zustand der untere Anhaltswert A_u und der jeweilige Anhaltswert A_r eingehalten. Damit ist die Anforderung an den Erschütterungsschutz nach DIN 4150-2 erfüllt. Der Richtwert für den zulässigen sekundären Luftschallpegel L_{sek} wird tags und nachts eingehalten. Das Vorhaben führt hier aufgrund der vorhabensbedingten Abstandserhöhung zu einer Reduzierung der bewerteten Schwingstärke und des sekundären Luftschallpegels.

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 Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} 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 geringen Teil der nächstgelegenen Gebäude überschritten werden, dies entspricht der zu erwartenden Situation an bestehenden Verkehrswegen.
- Die Anhaltswerte A_r und A_o werden im Planzustand in den Gebäuden mit dem **geringsten Abstand** zur nächstgelegenen Gleisachse (6,5 m Plan-Zustand) am Tage und in der Nacht eingehalten. Die Anforderungen nach DIN 4150-2 sind damit eingehalten.
- In Gebäuden mit der **maximalen vorhabensbedingten Abstandsverringering um 2,0 m** zum Gleis im Plan-Zustand (z. B. Großenhainer Str. 88) werden die Anhaltswerte A_r tags und nachts trotz einer vorhabensbedingten Erhöhung der bewerteten Schwingstärke eingehalten, d. h. die Anforderung nach DIN 4150-2 wird erfüllt.
- Für alle **übrigen Gebäude** mit schutzbedürftiger Nutzung außerhalb der Abstände, in denen die Überschreitung des unteren Anhaltswertes A_u nachts zu erwarten ist (9 m bzw. 7 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 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 eingehalten.

In Gebäuden mit der erheblichen vorhabensbedingten Abstandsverringering zum Gleis um 2,0 m (z. B. Großenhainer Str. 88) hält der sekundäre Luftschallpegel L_{sek} unter Berücksichtigung der Bau- und Nutzungsart ebenfalls die aus der 24. BImSchV abgeleiteten zulässigen Innenpegel ein.

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 wurden im Ist-Zustand bei keinem der erfassten Erschütterungsereignisse 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.

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.

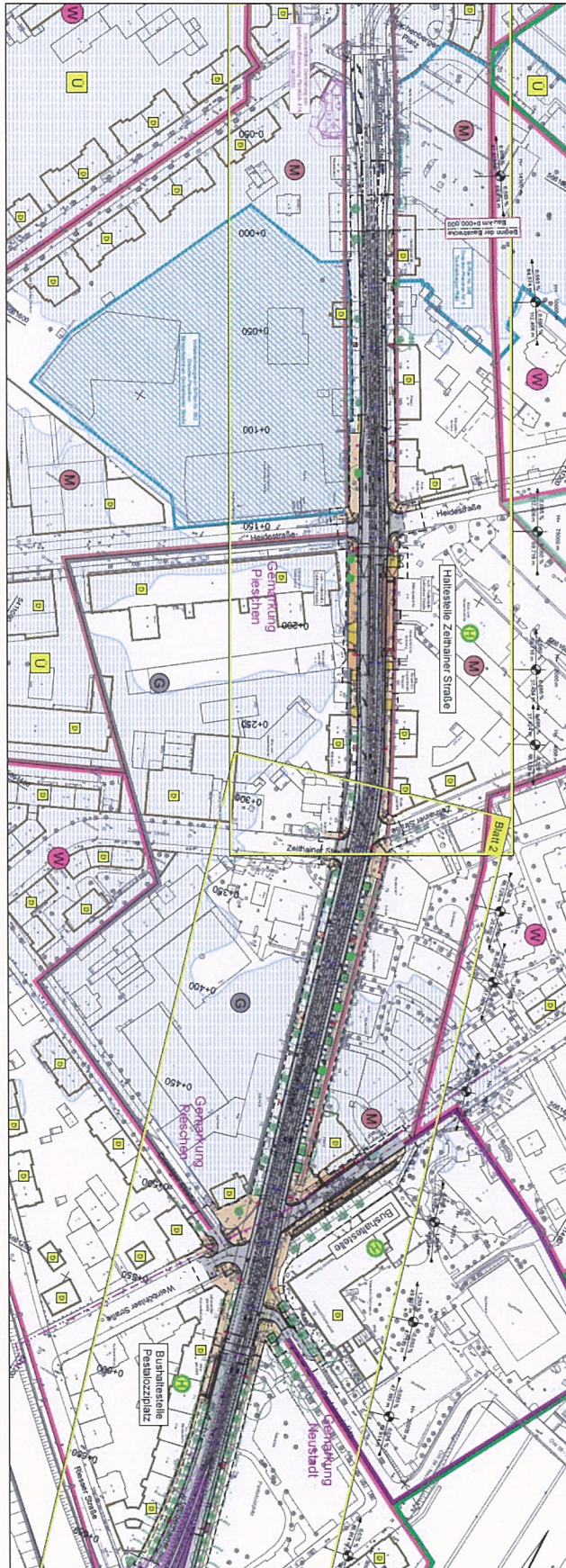
7. Normen und Literatur

- [1] Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert durch Art. 1 d. Ges. vom 24.09.2021 (BGBl. I S. 4458)
- [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] 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 Bestand/Planung aus SoundPLAN-Modell, EIBS GmbH, Dresden, 03.11.2021
- [16] Bestandsnahe Gleiserneuerung Großenhainer Straße zwischen Riesaer Straße und Trachenberger Platz - Unterlage 1, Feststellungsentwurf - Erläuterungsbericht, Stand 09.12.2020
- [17] Unterlage 17.1 - Schalltechnische Untersuchung; EIBS Entwurfs- und Ingenieurbüro Straßenwesen GmbH, Dresden, 30.11.2020
- [18] E-Mail Dresdner Verkehrsbetriebe AG, Center Infrastruktur, 11.11.2021

8. Anhänge

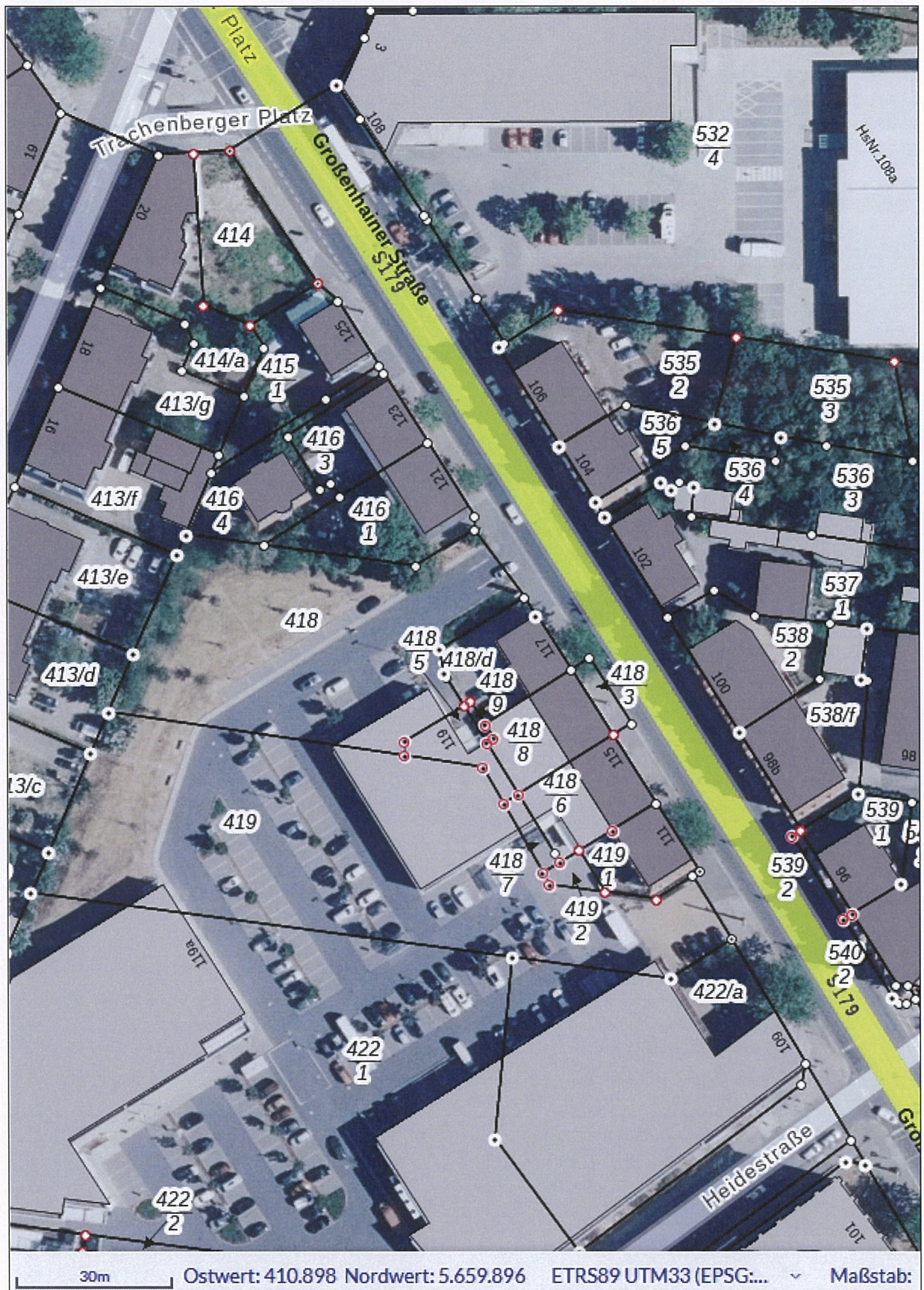
Anhang 1 Lageplan, Flächennutzungsplan

Übersichts-Lageplan der Gesamt-Baumaßnahme

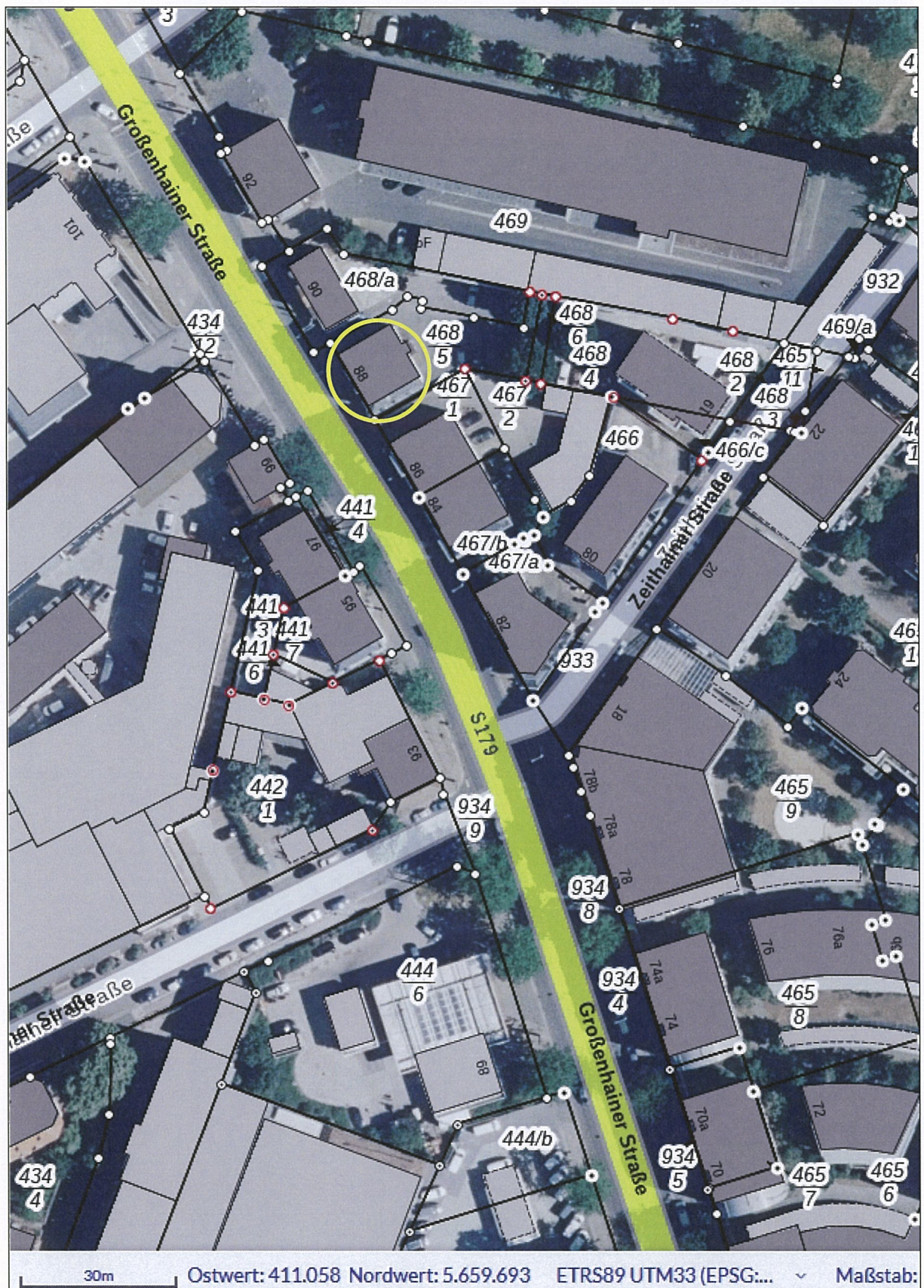


Quelle: Übersichtslageplan M 1:1000, 01.12.2020

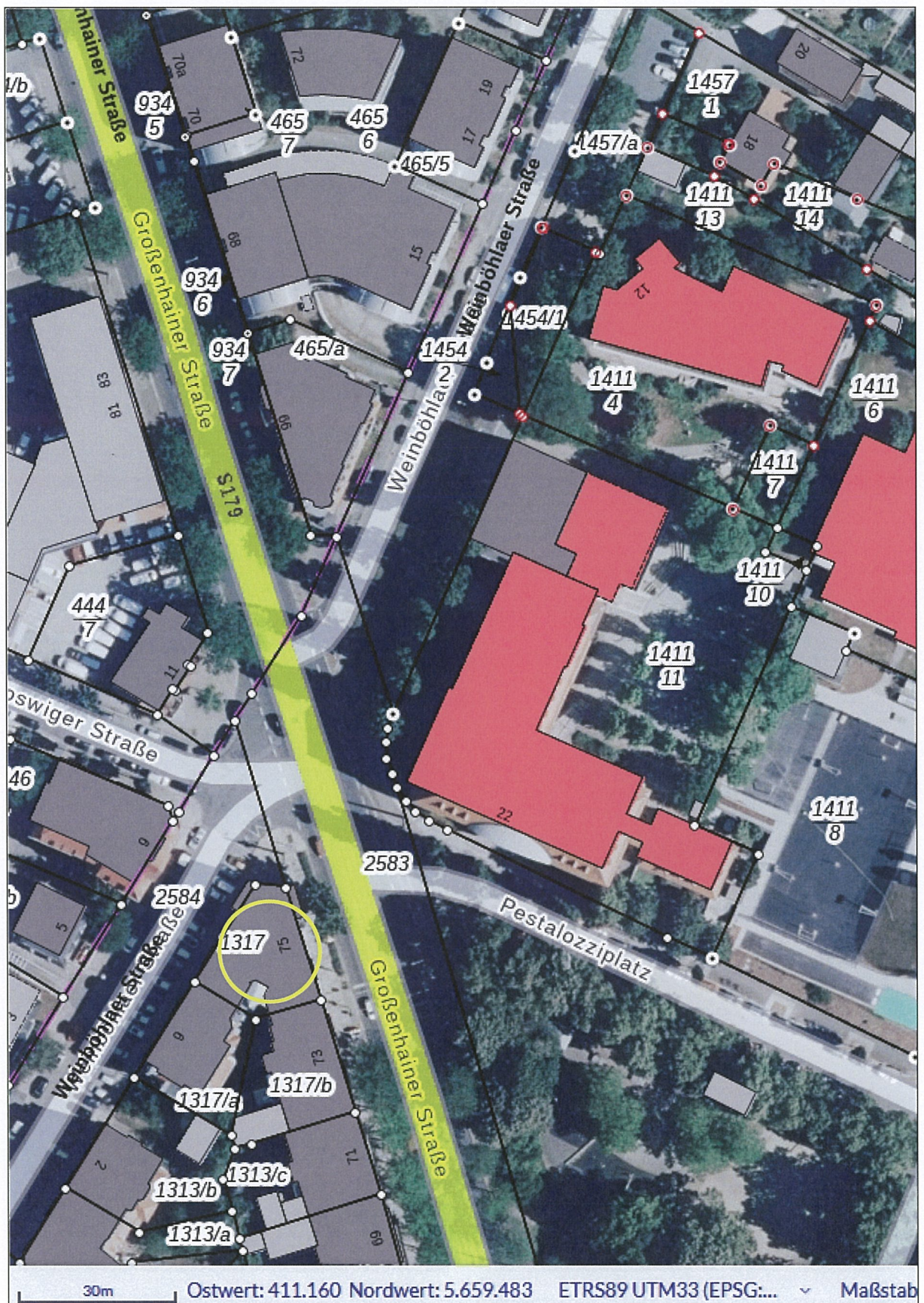
Lageplan- und Luftbild-Ausschnitte des Ist-Zustandes



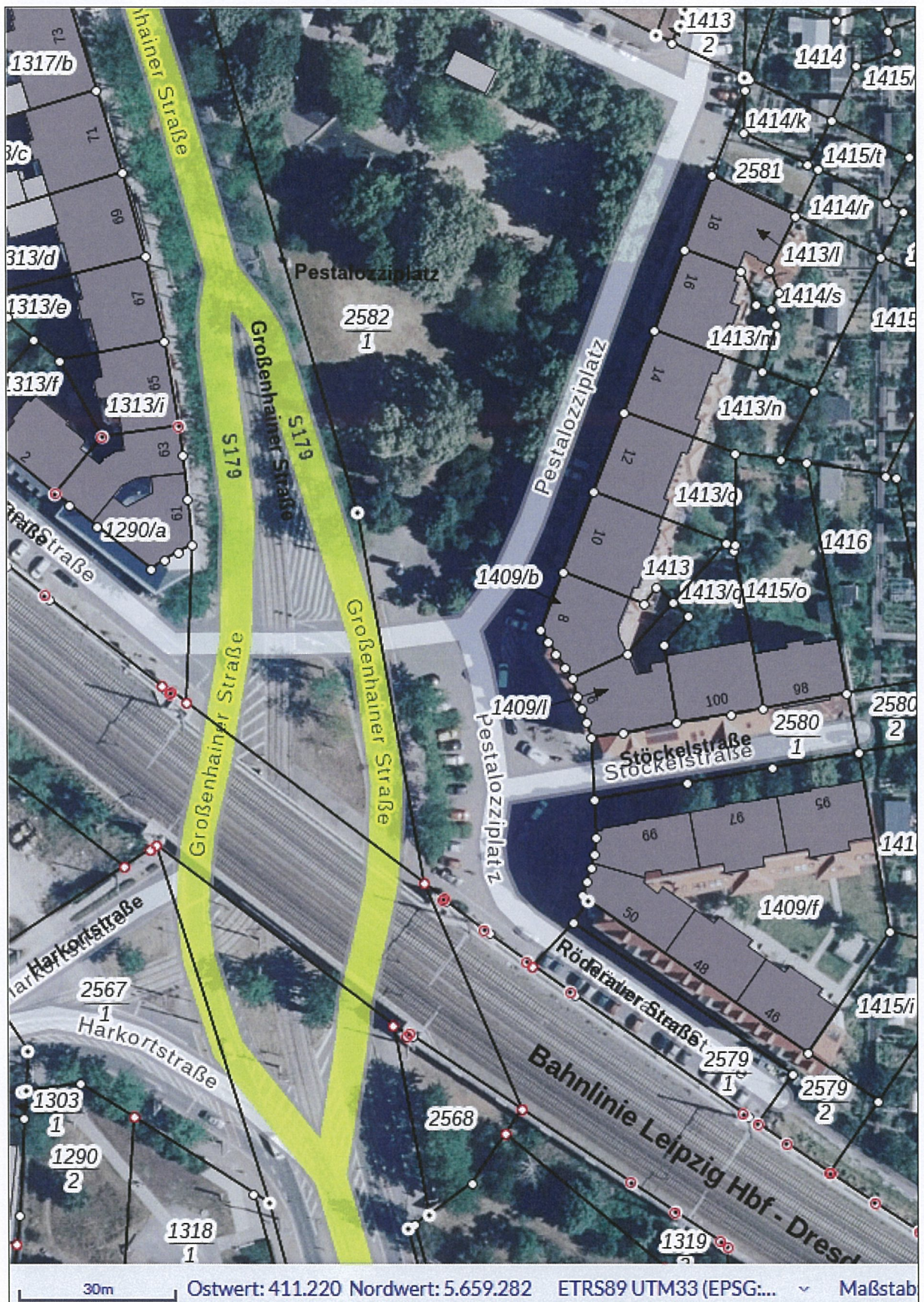
Bildquelle: Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen, Geoportal



markiert: Gebäude 1 mit detaillierter Prognose-Untersuchung

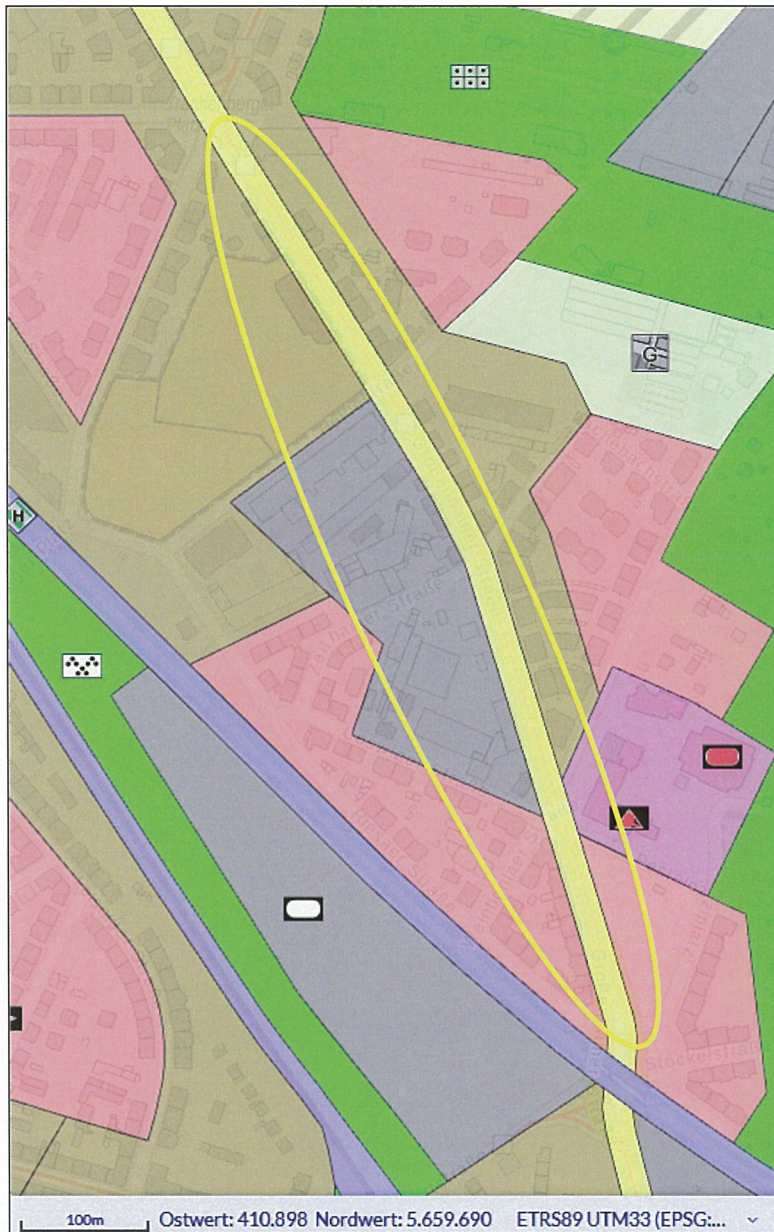


markiert: Gebäude 2 mit detaillierter Prognose-Untersuchung



Auszug aus dem Flächennutzungsplan, Stand 2019

(Quelle: Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen, Geoportal)



	Wohnbaufläche
	Wohnbaufläche, geplant
	Gemischte Baufläche
	Gemischte Baufläche, geplant
	Gewerbliche Baufläche
	Gewerbliche Baufläche, geplant
	Sonderbaufläche
	Sonderbaufläche, geplant
	F1 f Gemeinbedarf
	F1 f Gemeinbedarf, geplant

gelb: Vorhabensbereich

Anhang 2 Oberbau

Geplanter Oberbau Großenhainer Straße und Oberbau am Emissions-Messort [18]

	Großenhainer Straße geplant	Messstrecke Tiergartenstraße vorhanden
Oberbau	13 cm Rillenschiene Ri53-10 1 cm Schienenfußunterlage aus PE-Schaum 148x635 bzw. 885x8 (außerhalb Stützpunkt) 22,5 cm Betonschicht C 30/37 mit Zweiblockschwelle TB/ZB-1450 K-W25 bzw. K-W25 Sp ≥ 35 cm Tragschicht ohne Bindemittel 0/32, Ev2≥150 MPa zweilagig (gemäß Sieblinie DVB AG) ≥ 71,7 cm Gesamtdicke auf Planum Ev2≥45 Mpa	13 cm Rillenschiene Ri53-10 1 cm Schienenfußunterlage aus PE-Schaum 148x635 bzw. 885x8 (außerhalb Stützpunkt) 22,5 cm Betonschicht C 30/37 mit Zweiblockschwelle TB/ZB-1450 K-W25 bzw. K-W25 Sp ≥ 30 cm Tragschicht ohne Bindemittel 0/32, Ev2≥150 MN/m² zweilagig (gemäß Sieblinie DVB AG) 20 cm Hydraulische Verfestigung im Zentralmischverfahren in Anlehnung an die ZTV E-StB 09, davon abweichend mit hydraulischen Bindemittel in Anlehnung an die TL Beton 07, mittlere Druckfestigkeit nach 28 Tagen 9-11 N/mm² ≥ 86,5 cm Gesamtdicke
Gleiseindeckung	≥ 4 cm Gussasphalt MA 11 S, 10/40-65 A 10 cm Asphaltbinder AC 16 BS, 10/40-65 A (zuzüglich Mehrdicke für Dachprofil)	4 cm Gussasphalt MA 11 S, 10/40-65 A ≥ 10 cm Asphaltbinder AC 16 BS, 10/40-65 A (zuzüglich Mehrdicke für Dachprofil)

Anhang 3 Verkehrsmengen und Geschwindigkeiten

aus [17], Seite 18 und Unterlage 17.1.2.1:

4.3 Verkehrsbelastung und Emissionspegel

Straßenbahn (Schiene)

Die Zugbelegungszahlen wurden von der Dresdner Verkehrsbetriebe AG (DVB AG) mit E-Mail vom 20.03.2019 [5] für den Ist-Zustand und den Prognoseplanfall 2030 zur Verfügung gestellt. Zwischen beiden Zuständen besteht kein Unterschied bei den Belegungszahlen. 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 Straßenbahn – Prognose 2030

Linie	Richtung	Fahrten pro Richtung	
		Tag (6:00-22:00 Uhr)	Nacht (22:00-6:00 Uhr)
3	Coschütz	99	20
	Wilder Mann	100	18
Straßenbahn Ein- / Ausrücker Betriebshof Trachenberge	stadteinwärts	12	28
	stadtauswärts	17	21

Folgende Parameter wurden den Berechnungen zu Grunde gelegt:

Zuglänge: 45m-Stadtbahn

Geschwindigkeit: 50 km/h

9993 Ver: 1

Straba LI 3		Gleis: 2		Richtung: Stadteinwärts	
	Zugart Name	Anzahl Züge		Geschwin- digkeit km/h	Länge je Zug m
		Tag	Nacht		
3	Linie 3 - 45m	99,0	20,0	50	45
2	sonstige - 45m	12,0	28,0	50	45
-	Gesamt	111,0	48,0	-	-

9993 Ver.: 1

Anhang 4 Emissionsdaten der Straßenbahn (Messung Ist-Zustand)

Anhang 4.1 Messprotokoll

I. Allgemeine Angaben

Messpersonal: Dipl.-Ing. (FH) Bianca Schumacher, Dipl.-Ing. Rajko Berger

Ort: 01219 Dresden
Tiergartenstraße - Nordseite
gegenüber Nr. 36/38

Datum, Zeit: 16.11.2021, 10:45 - 12:10 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 Straßenbahn-Vorbeifahrten (Regelbetrieb), Linien 9 und 13
(NGT 6 DD, NGT D8 DD)
- Oberbau-Typ: Rillenschiene, Zweiblockschwelle (siehe Anhang 2)

IV. Messgeräte

Funktion	Typ	Serien-Nr.	Fabrikat
Schwingungsmessgerät 3 mit 3x 1D-Geophon PE-3	SMK-401	02540392	Dr. Kebe
A/D-Datenerfassungskarte	KPCMCIA-12AI-C	19391	Keithley
Elektrodynamischer Eich Tisch	11031	1024	Robotron
Infrarot-Lichtschranke mit Spiegel	HL2-31	Tag Heuer	8576, 8577
PC-Messsystem	MEDA	MEDA 2020-1	WÖLFEL Monitoring Systems
Meteo-Station	GFTB 100	-	GSG

Die verwendeten Messaufnehmer erhielten die letzte Kalibrierung mithilfe eines akkreditierten Kalibrierlaboratoriums im März 2020. Die Funktionsfähigkeit der Messkette wurde am Messort mittels Probeanregung (Klopftest) überprüft.

V. Durchführung der Messungen

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

VI. Witterungsbedingungen

Temperatur: +9 °C

Wind: ≤ 2 m/s SO

Niederschlag: --

Luftdruck: 1008 hPa (Messort)

Wolken: 2/8

rel. Luftfeuchte: 66 %

VII. Fahrzeugtypen



NGT 6 DD



NGT D8 DD

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

- Erdspeiße im Boden
8 m, 14 m, 20 m zur nächstgelegenen Gleisachse; Messung in z-Richtung (vertikal)



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

Lage des Objektes:	Tiergartenstraße, 01229 Dresden
Beschreibung:	Erdboden neben Straßenbahnstrecke mit dem für die Großenhainer Straße 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 14 m** Erdboden, Rasen neben dem Fußweg, z-Richtung (vertikal)
- **MP 3z 20 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 14 m Abstand zum nächstgelegenen Gleis (MP 2z Boden)



Abb. 4 Messaufnehmer in 20 m Abstand zum nächstgelegenen Gleis (MP 3z Boden)

Anhang 4.2 Messwerte des Straßenbahnverkehrs, Erdboden

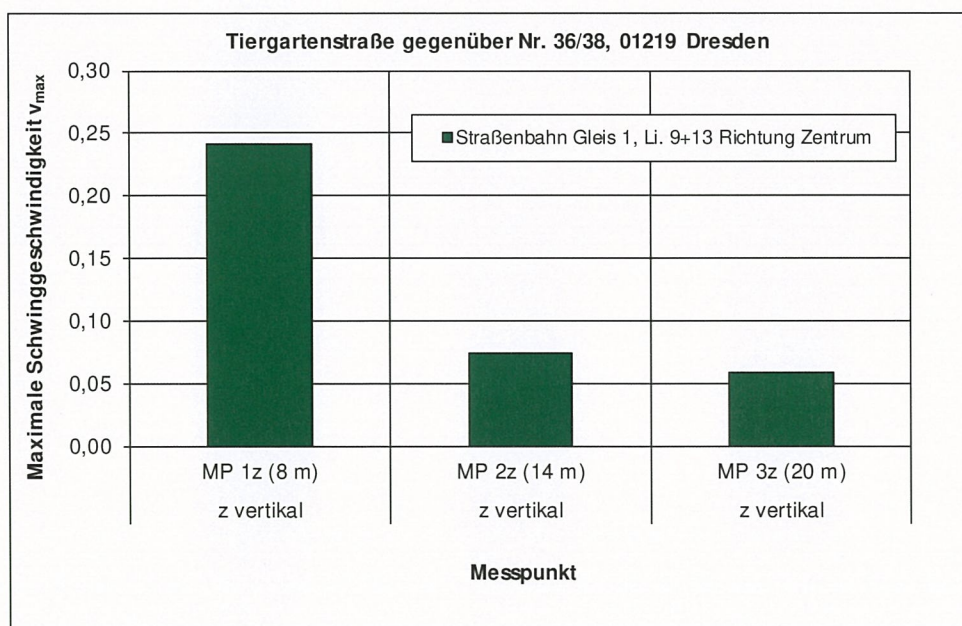
Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit v_{\max} , Messwerte Ist-Zustand

Messobjekt: Tiergartenstraße gegenüber Nr. 36/38, 01219 Dresden
Datum: 16.11.2021

Erdboden

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

Datei/Uhrzeit	Zug-Nr./Fahrzeugtyp	Fahrt- richt., Linie	Fahr- geschw. km/h	Zuglänge m	Erdboden z vertikal MP 1z (8 m)	Erdboden z vertikal MP 2z (14 m)	Erdboden z vertikal MP 3z (20 m)
<i>Straßenbahn Gleis 1, Li. 9+13 Richtung Zentrum</i>							
10-45-23	26... / NGT D8 DD	->	43	30	0,234	0,065	0,051
10-51-19	2528 / NGT 6 DD	->	36	30	0,136	0,060	0,053
10-53-32	2618 / NGT D8 DD	->	41	30	0,291	0,100	0,051
11-00-46	2507 / NGT 6 DD	-> 13	38	44	0,215	0,069	0,049
11-06-14	2604 / NGT D8 DD	-> 9	34	30	0,244	0,081	0,082
11-09-47	2633 / NGT D8 DD	-> 13	33	30	0,222	0,078	0,050
11-13-53	2624 / NGT D8 DD	->	37	30	0,209	0,092	0,081
11-20-03	2638 / NGT D8 DD	-> 13	37	30	0,236	0,071	0,078
11-24-48	2616 / NGT D8 DD	-> 9	37	30	0,282	0,082	0,058
11-33-43	2542 / NGT 6 DD	-> 13	30	30	0,303	0,067	0,055
11-40-10	2722 / NGT 8 DD	-> 13	40	44	0,314	0,101	0,061
11-43-05	2613 / NGT D8 DD	->	41	30	0,151	0,048	0,046
11-50-53	2628 / NGT D8 DD	->	43	30	0,257	0,074	0,056
11-55-26	2608 / NGT D8 DD	->	44	30	0,208	0,059	0,048
12-02-23	xxxx (Begegnung)	->					
12-04-14	2605 / NGT D8 DD	->	44	30	0,246	0,050	0,037
Mittelwert v_{\max}					0,24	0,07	0,06
Maximalwert v_{\max}					0,31	0,10	0,08



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

Anhang 4.3 Erschütterungs-Emissionsspektren

Terzspektrum am Emissionsmesspunkt im Abstand 8 m für die Prognose "Plan-Fall"

Oberbau entsprechend des Bauvorhabens "Großenhainer Straße"

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Erdboden, Tiergartenstr. gegenüber Nr. 36/38, 01219 Dresden

Datum: 16.11.2021

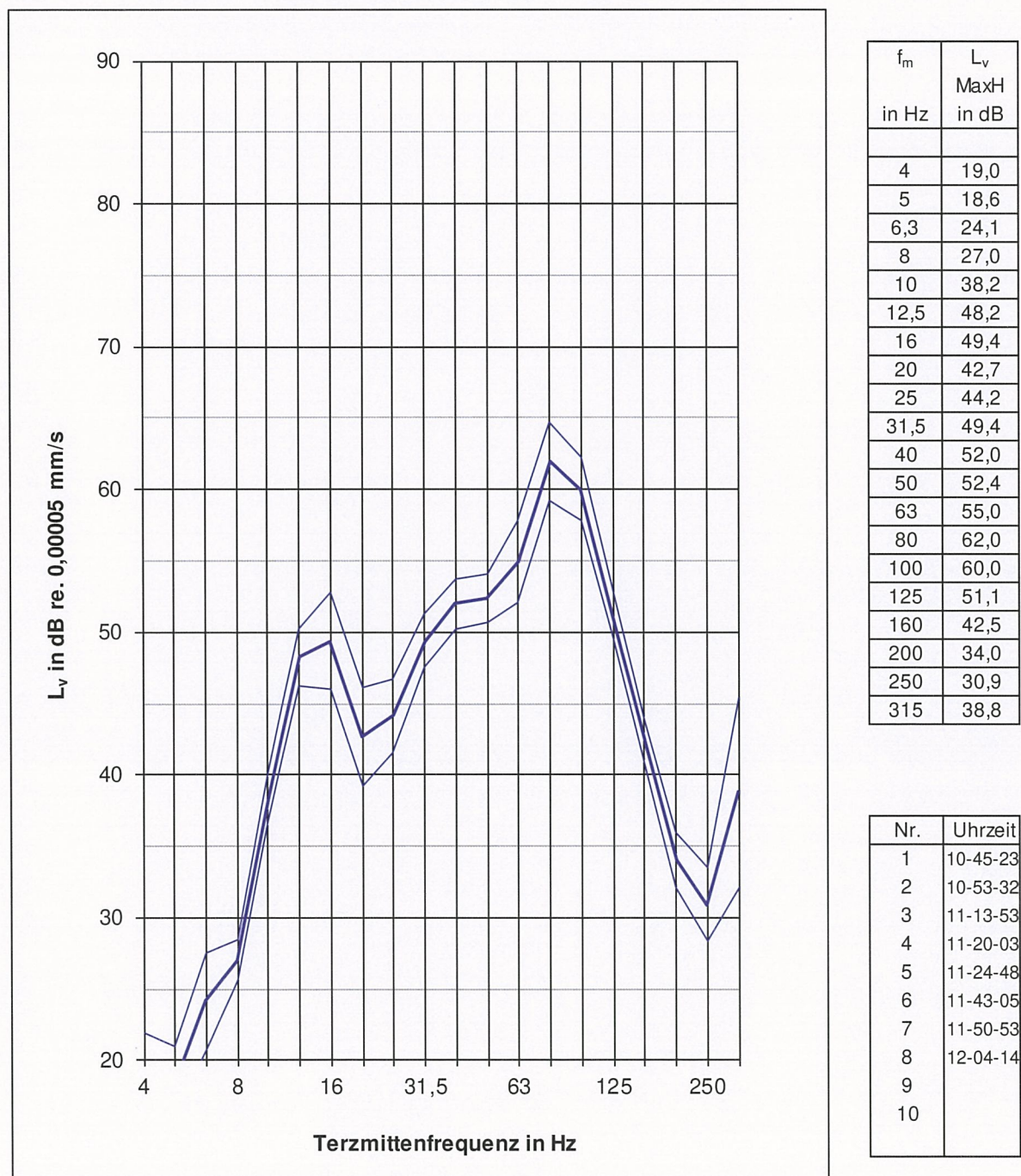
Zuggattung: NGT D8 DD (30 m)

Geschwindigkeit: 37...44 km/h

Gleis: Richtung Zentrum, Li. 9 + 13

Vorbeifahrten: 8

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



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Erdboden, Tiergartenstr. gegenüber Nr. 36/38, 01219 Dresden

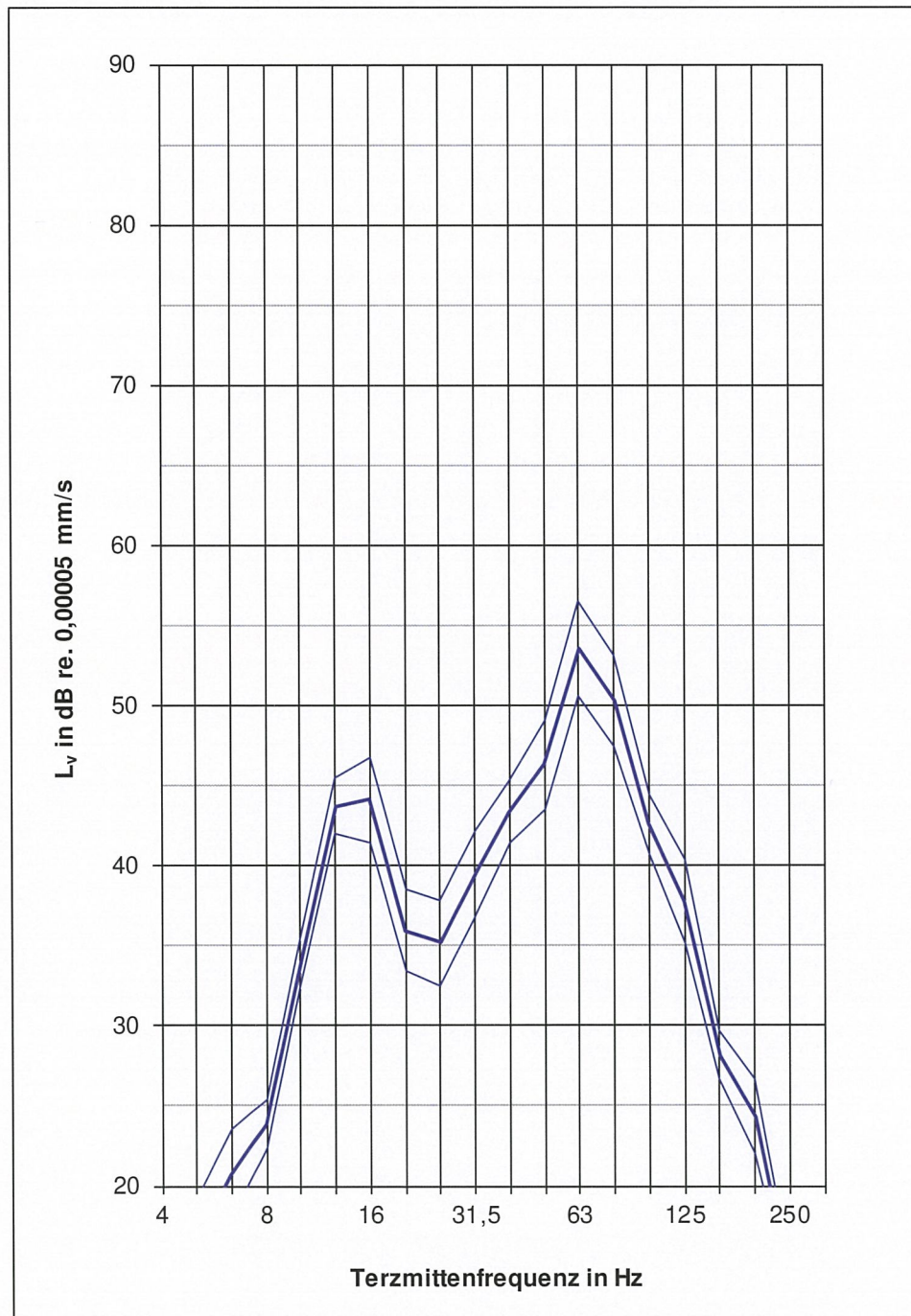
Datum: 16.11.2021

Zuggattung: **NGT D8 DD (30 m)**

Geschwindigkeit: 37...44 km/h

Gleis: **Richtung Zentrum, Li. 9 + 13**

Vorbeifahrten: 8

Messpunkt: **MP 2z - 14 m vom Gleis, Erdspieß, z (vertikal)**

Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

Messobjekt: Erdboden, Tiergartenstr. gegenüber Nr. 36/38, 01219 Dresden

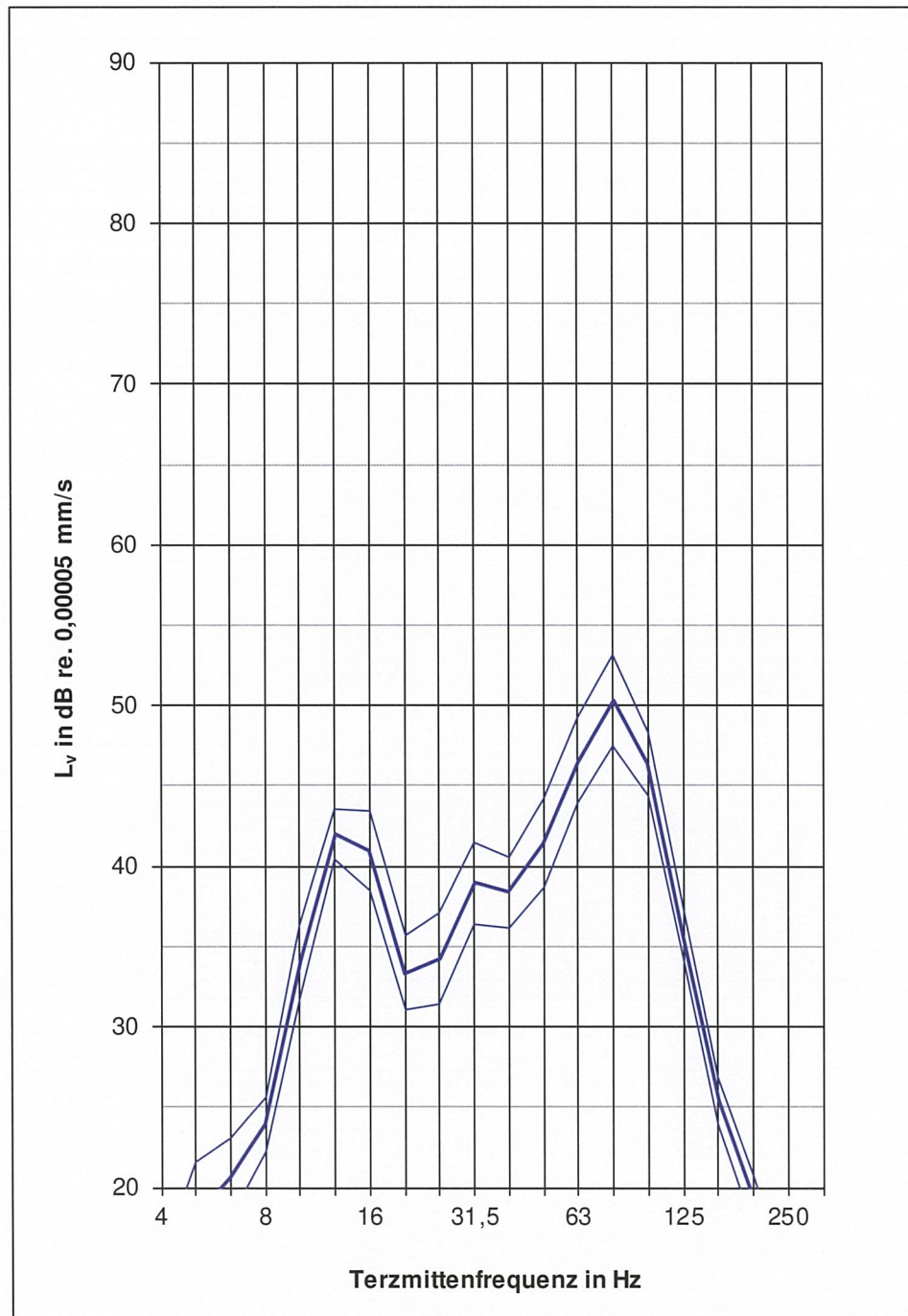
Datum: 16.11.2021

Zuggattung: **NGT D8 DD (30 m)**

Geschwindigkeit: 37...44 km/h

Gleis: **Richtung Zentrum, Li. 9 + 13**

Vorbeifahrten: 8

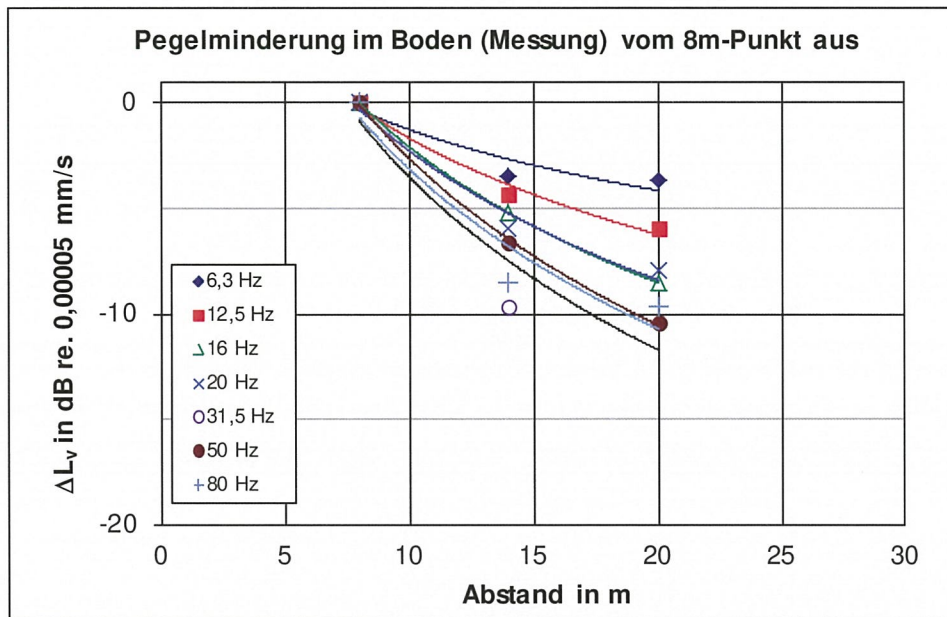
Messpunkt: **MP 3z - 20 m vom Gleis, Erdspieß, z (vertikal)**

Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Anhang 4.4 Ausbreitungsdämpfung des Erdbodens

Ausbreitungsdämpfung, ermittelt aus Messung Tiergartenstr.

logarithmische Trendlinien der Ausbreitungsdämpfung, ausgewählte Terzbänder



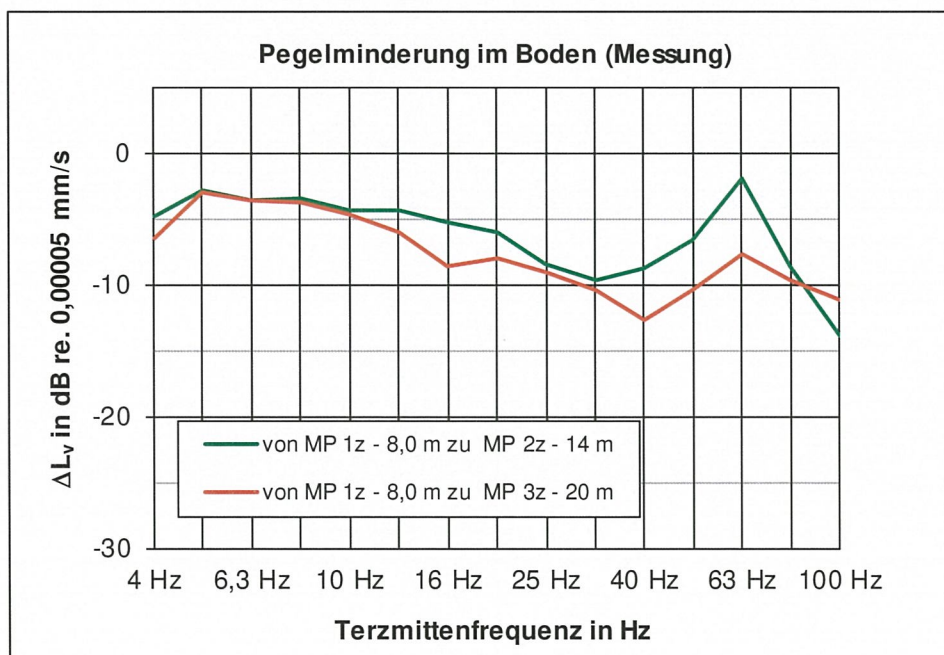
Darstellung: Pegel-Differenz der Mittelungsspektren ($L_{v,eq}$); >0 dB = Verstärkung im Ausbreitungsweg

Übertragungsfaktor (Pegeldifferenz) vom Messpunkt 8,0 m aus

Messobjekt: Erdboden, Tiergartenstr. gegenüber Nr. 36/38, 01219 Dresden

Datum: 16.11.2021

Gleis: Richtung Zentrum, Li. 9 + 13



Ausbreitungsdämpfung, verwendet für die Prognose (Gleislageänderung):

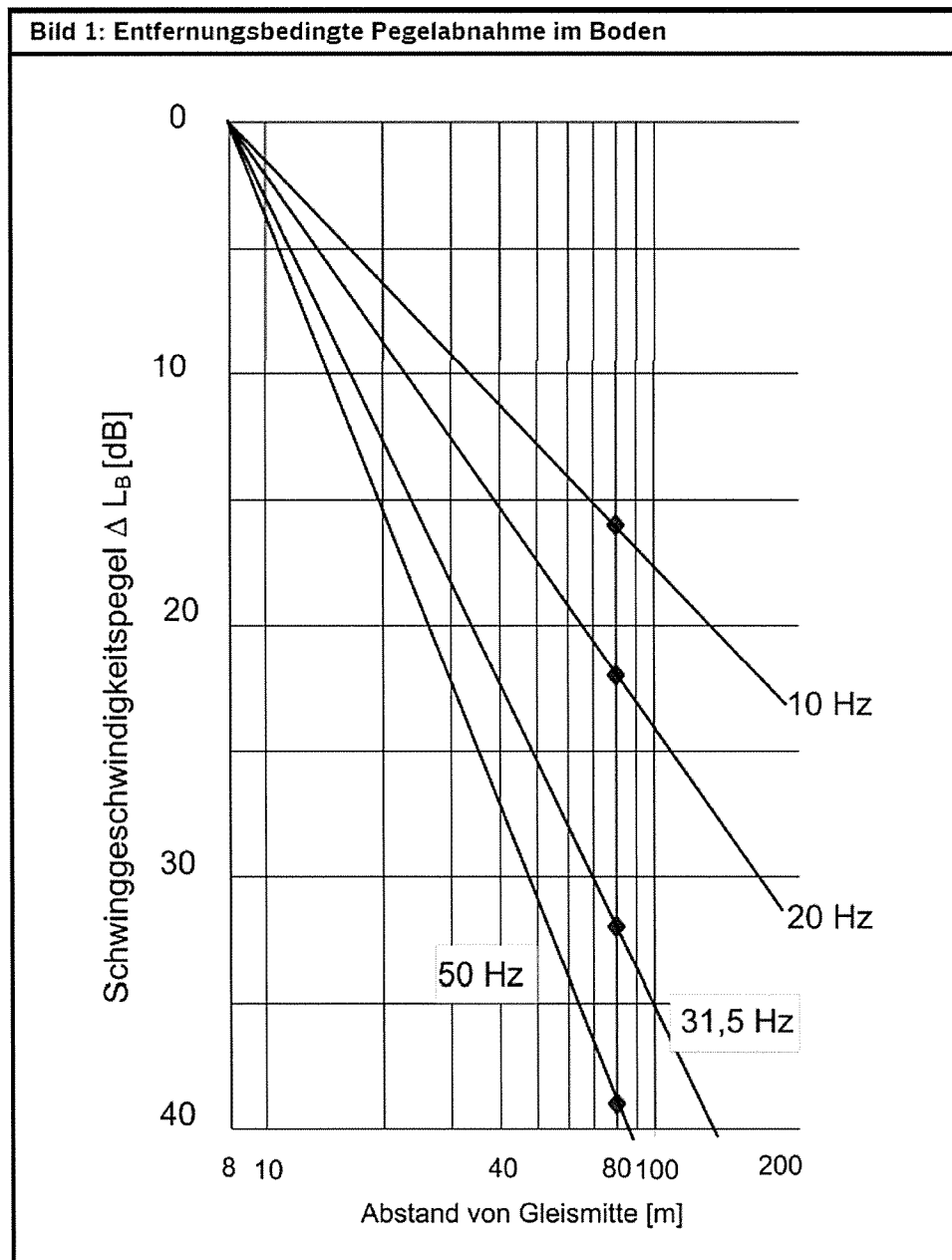


Abb. 5 Boden-Ausbreitungsdämpfung nach [9], Seite 19 - bezogen auf den **8m**-Emissionsmesspunkt

Anhang 4.5 Gebäudeübertragungsfunktionen

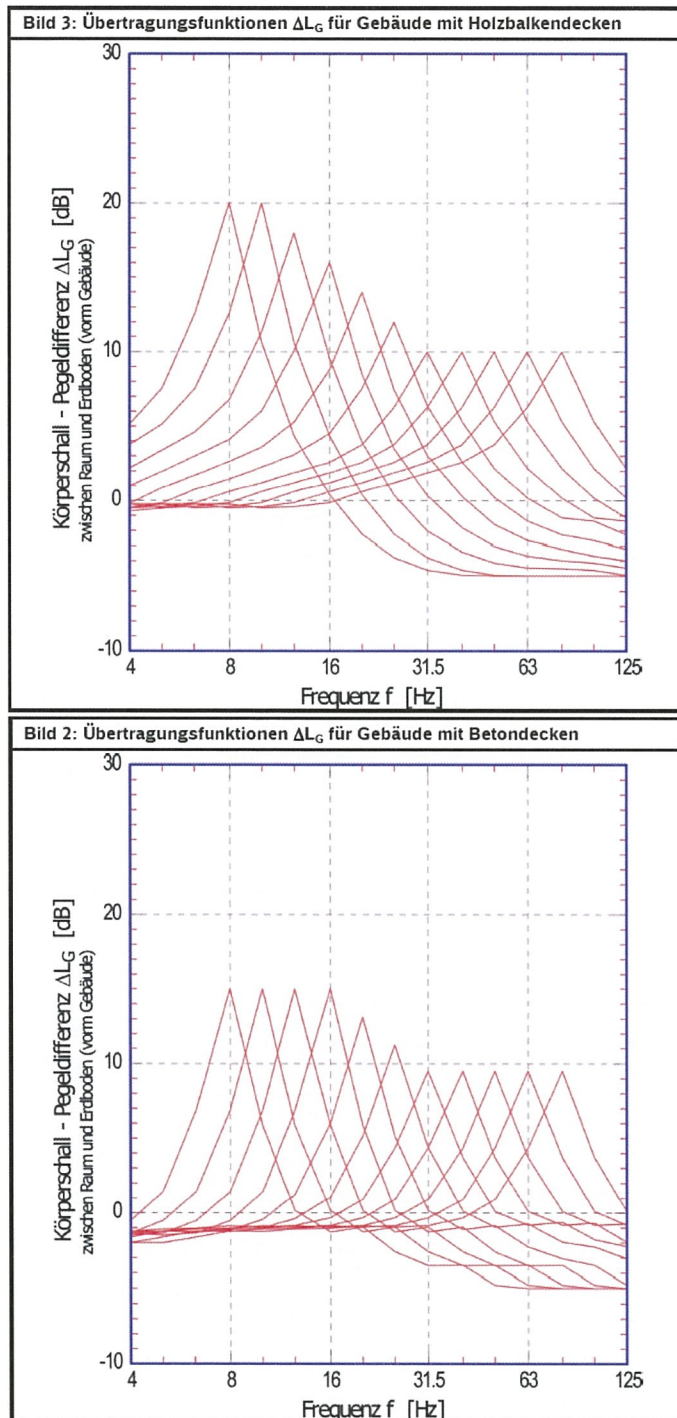


Abb. 6 Gebäude-Übertragungsfunktionen für Bereiche ohne Messung nach [9]

Angewendete Übertragungsfunktionen für die Prognose:

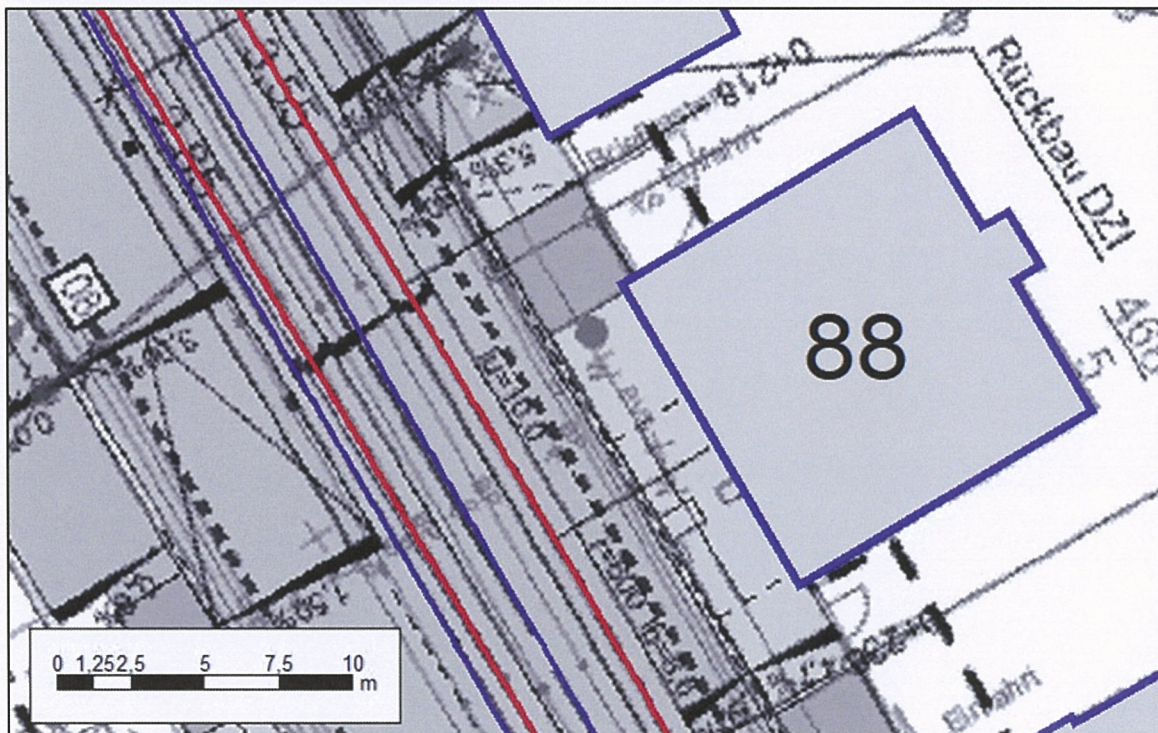
- vom Erdboden in Gebäude mit Holzbalkendecken, ungünstigste Eigenfrequenz 16 Hz
- vom Erdboden in Gebäude mit Massivdecken, ungünstigste Eigenfrequenz 50 Hz
- vom Erdboden zum Fundament/Erdbeschoss (nach: LIS-Berichte; Nr. 107 - Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen,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

Anhang 5 Erschütterungsprognose

Anhang 5.1 Prognose für Gebäude Großenhainer Straße 88

Großenhainer Straße 88, 01127 Dresden				OG , Deckenmitte			Holzbalkendecke			Gebiet: M		
Bewertete Schwingstärke KB				KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)			L _{sek,max}	L _{sek,m,T}	L _{sek,m,N}
Anhaltswert A _{UNacht} , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1				0,225	0,150	0,105	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV			-	40	30
Prognoseergebnis Null-Fall				0,15	0,046	0,039	Prognoseergebnis Null-Fall			38,8	28,4	27,1
Überschreitung Null-Fall				nein	nein	nein	Überschreitung Null-Fall			-	nein	nein
Prognoseergebnis Plan-Fall				0,21	0,061	0,051	Prognoseergebnis Plan-Fall			40,9	30,4	29,1
Überschreitung Plan-Fall				nein	nein	nein	Überschreitung Plan-Fall			-	nein	nein
vorhabensbedingte Änderung Δ(KB) _{Tag/Nacht} =				+33%		+32%	ΔL _{sek,m} = +2,0 dB +2,0 dB					
Schwinggeschwindigkeit v _{max} in mm/s				Fundam.	Decke							
Prognoseergebnis Plan-Fall				0,11	0,22		Grundlage: Null-Fall mit NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021					
Anhaltswert nach DIN 4150-3				5	20		Plan-Fall mit NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021					
Überschreitung				nein	nein		Abstand Ist: 8,5 m		Abstand Plan: 6,5 m			

Großenhainer Straße 88, 01127 Dresden				OG , Deckenmitte			Massivdecke			Gebiet: M			
Bewertete Schwingstärke KB				KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)			L _{sek,max}	L _{sek,m,T}	L _{sek,m,N}	
Anhaltswert A _{UNacht} , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1				0,225	0,150	0,105	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV			-	40	30	
Prognoseergebnis Null-Fall				0,15	0,041	0,035	Prognoseergebnis Null-Fall			42,4	31,8	30,4	
Überschreitung Null-Fall				nein	nein	nein	Überschreitung Null-Fall			-	nein	ja	
Prognoseergebnis Plan-Fall				0,24	0,065	0,054	Prognoseergebnis Plan-Fall			45,1	34,3	32,9	
Überschreitung Plan-Fall				ja	nein	nein	Überschreitung Plan-Fall			-	nein	ja	
vorhabensbedingte Änderung Δ(KB) _{Tag/Nacht} =				+58%		+57%	ΔL _{sek,m} = +2,5 dB						+2,5 dB
Schwinggeschwindigkeit v _{max} in mm/s				Fundam.	Decke								
Prognoseergebnis Plan-Fall				0,11	0,23		Grundlage: Plan-Fall mit NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021						
Anhaltswert nach DIN 4150-3				5	20								
Überschreitung				nein	nein		Abstand Ist: 8,5 m		Abstand Plan: 6,5 m				



Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

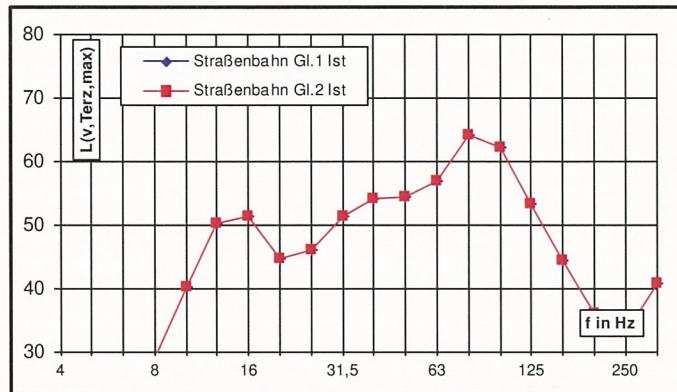
Großenhainer Straße 88, 01127 Dresden			OG	Nullfall		
Gebietstyp	M	W = Wohngebiet	Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2		tags	nachts
		M = Mischgebiet / Außenb.	unterer Anhaltswert A_u		0,300	0,225
		G = Gewerbegebiet	oberer Anhaltswert A_o		5,00	0,60
		I = Industriegebiet	Anhaltswert A_r		0,150	0,105
		K = 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
Straßenbahn Gl.1 1st	50	117	39
Straßenbahn Gl.2 1st	50	111	48

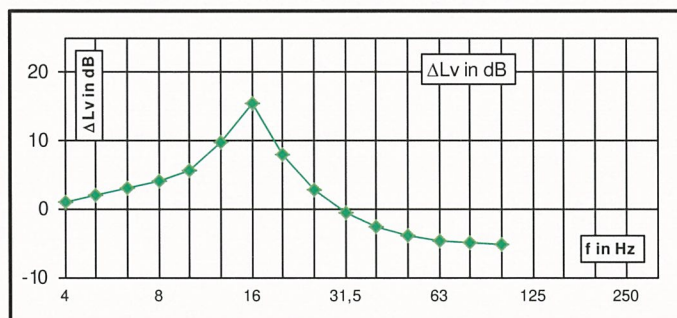
NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021



Übertragungsweg

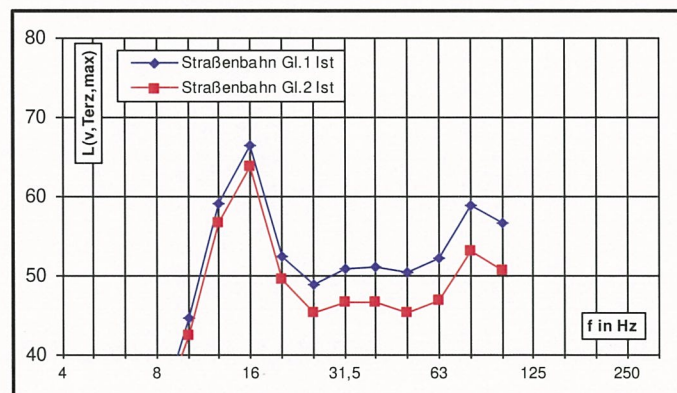
$\Delta L_v = L_v(\text{IO}) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt Gl.1 zum Gebäude (Geschossdecke)

Gebäudeabstand		
8,5 m zu	zu Gleis 1	
11,5 m zu	zu Gleis 2	
Deckentyp	Holzbalkendecke	16 Hz



Erschütterungs-Immission

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



Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag				
	$KB_{F_{max}}$	$KB_{F_{Tr}}$ Tag	$KB_{F_{Tr}}$ Nacht	
Straßenbahn Gl.1 1st	0,15	0,04	0,03	
Straßenbahn Gl.2 1st	0,11	0,03	0,02	
gesamt	0,15	0,05	0,04	

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
L _{sek,max}	L _{sek,m} Tag	L _{sek,m} Nacht
38,8	28,4	27,1

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
$KB_{F_{max}} > A_u$	$KB_{F_{max}} > A_u$	$KB_{F_{max}} > A_o$	$KB_{F_{max}} > A_o$	$KB_{F_{Tr}} > A_r$	$KB_{F_{Tr}} > A_r$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	nein	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v			
am Fundament	$v_{\max} =$	0,07	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
Deckenschw. in gungen, vertikal	20 mm/s	nein

Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

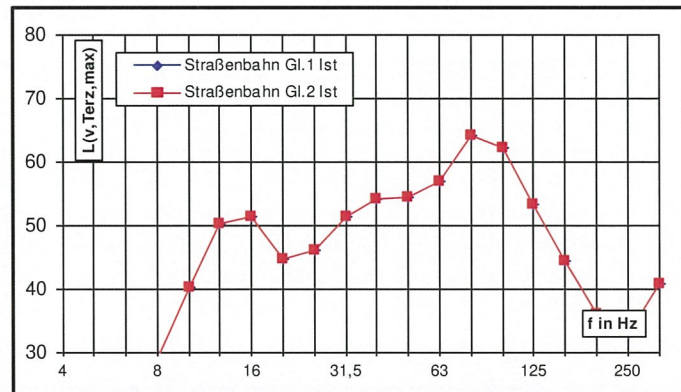
Großenhainer Straße 88, 01127 Dresden				OG			Nullfall	
Gebietstyp	M	W = Wohngebiet			Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2		tags	nachts
		M = Mischgebiet / Außenb.			unterer Anhaltswert A _u		0,300	0,225
		G = Gewerbegebiet			oberer Anhaltswert A _o		5,00	0,60
		I = Industriegebiet			Anhaltswert A _r		0,150	0,105
		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
Straßenbahn Gl.1 1st	50	117	39
Straßenbahn Gl.2 1st	50	111	48

NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021

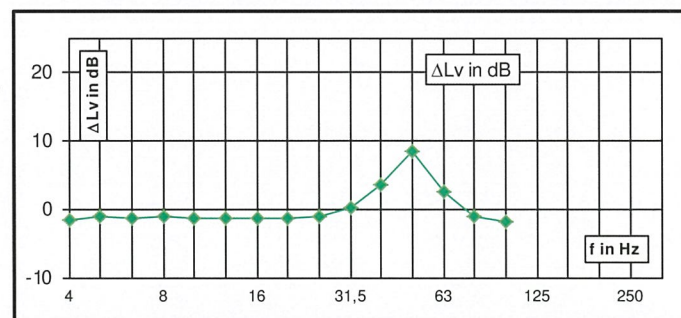


Übertragungsweg

$$\Delta L_v = L_v(\text{IO}) - L_v(8\text{m-MP}) \text{ in dB}$$

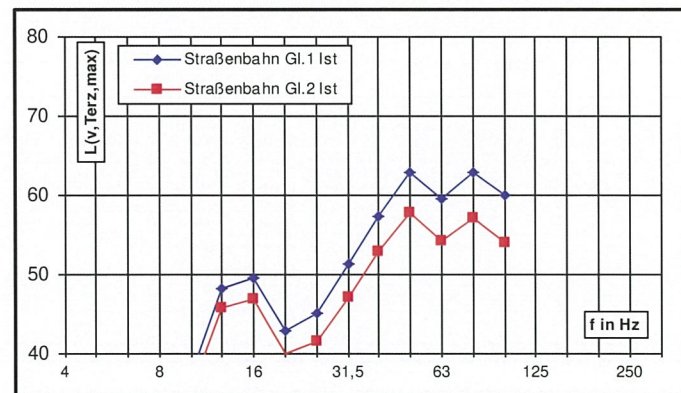
vom 8 m-Punkt Gl.1 zum Gebäude (Geschossdecke)

Gebäudeabstand	8,5 m zu	zu Gleis 1
	11,5 m zu	zu Gleis 2
Deckentyp	Massivdecke	50 Hz



Erschütterungs-Immission

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



Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag				
	KB_{Fmax}	KB_{FTr} Tag	KB_{FTr} Nacht	
Straßenbahn Gl.1 Ist	0,15	0,04	0,03	
Straßenbahn Gl.2 Ist	0,08	0,02	0,02	
gesamt	0,15	0,04	0,03	

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
L _{sek,max}	L _{sek,m} Tag	L _{sek,m} Nacht
42,4	31,8	30,4

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
$KB_{F_{max}} > A_u$	$KB_{F_{max}} > A_u$	$KB_{F_{max}} > A_o$	$KB_{F_{max}} > A_o$	$KB_{F_{Tr}} > A_r$	$KB_{F_{Tr}} > A_r$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	nein	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v			
am Fundament	$v_{\max} =$	0,07	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{\max} =$	0,15	mm/s

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

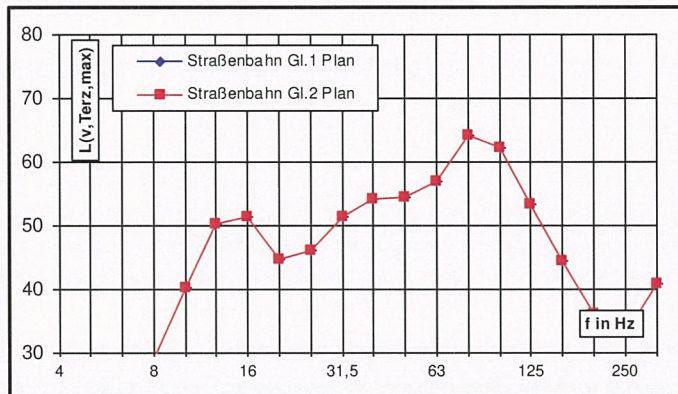
Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Großenhainer Straße 88, 01127 Dresden		OG	Planfall	
Gebietstyp	M	W = Wohngebiet	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	
		M = Mischgebiet / Außenb.		
		G = Gewerbegebiet		
		I = Industriegebiet		
		K = besondere Gebiete		

Anregung/Quelle

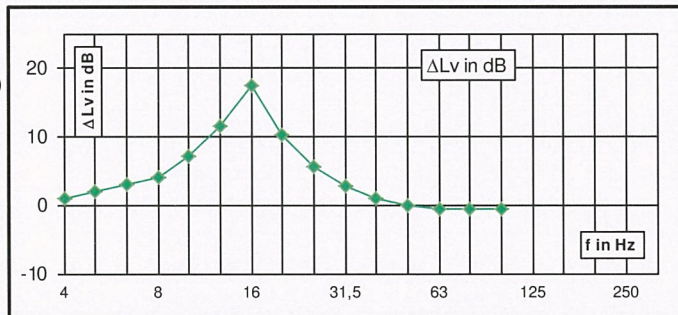
Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenbahn Gl.1 Plan	50	117	39
Straßenbahn Gl.2 Plan	50	111	48
NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021			

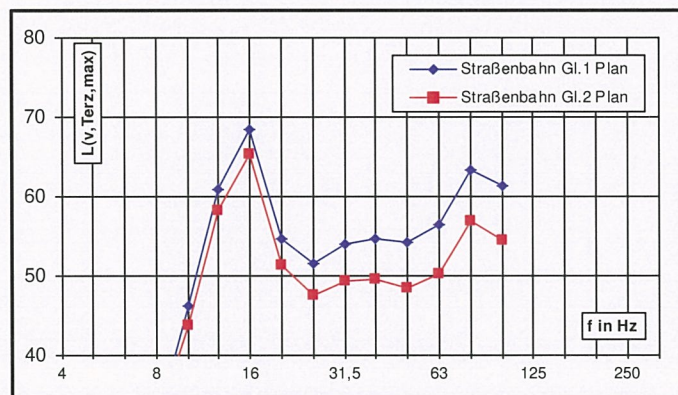
**Übertragungsweg**

$\Delta L_v = L_v(10) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt Gl.1 zum Gebäude (Geschossdecke)

Gebäudeabstand	
6,5 m zu	zu Plan Gleis 1
9,5 m zu	zu Plan Gleis 2
Deckentyp	Holzbalkendecke 16 Hz

**Erschütterungs-Immission**

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



Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag				
	KB_{Fmax}	KB_{FTr} Tag	KB_{FTr} Nacht	
Straßenbahn Gl.1 Plan	0,21	0,05	0,04	
Straßenbahn Gl.2 Plan	0,13	0,03	0,03	
gesamt	0,21	0,06	0,05	

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
40,9	30,4	29,1

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

Maximale Schwinggeschwindigkeit v			
am Fundament	$v_{max} =$	0,11	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$	0,22	mm/s

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

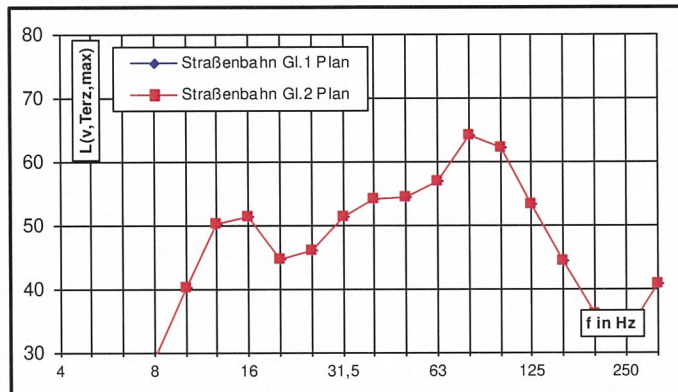
Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Großenhainer Straße 88, 01127 Dresden		OG	Planfall	
Gebietstyp	M	W = Wohngebiet	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	
		M = Mischgebiet / Außenb.		
		G = Gewerbegebiet		
		I = Industriegebiet		
		K = besondere Gebiete		

Anregung/Quelle

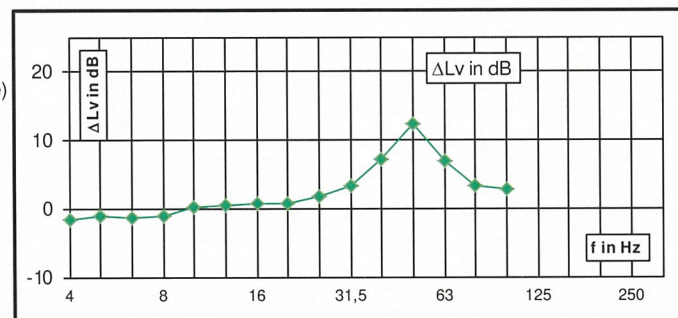
Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenbahn Gl.1 Pla	50	117	39
Straßenbahn Gl.2 Pla	50	111	48
NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021			

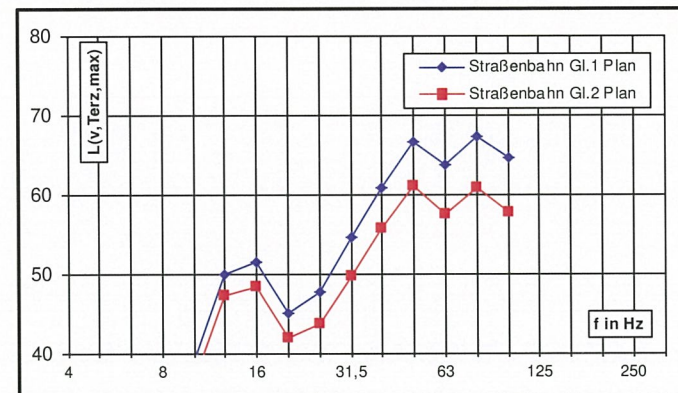
**Übertragungsweg**

$\Delta L_v = L_v(10) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt Gl.1 zum Gebäude (Geschossdecke)

Gebäudeabstand		
6,5 m zu	zu Plan Gleis 1	
9,5 m zu	zu Plan Gleis 2	
Deckentyp	Massivdecke	50 Hz

**Erschütterungs-Immission**

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



Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag	KB_{Fmax}	KB_{FTr} Tag	KB_{FTr} Nacht
Straßenbahn Gl.1 Plan	0,24	0,06	0,05
Straßenbahn Gl.2 Plan	0,12	0,03	0,03
gesamt	0,24	0,06	0,05

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
45,1	34,3	32,9

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

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

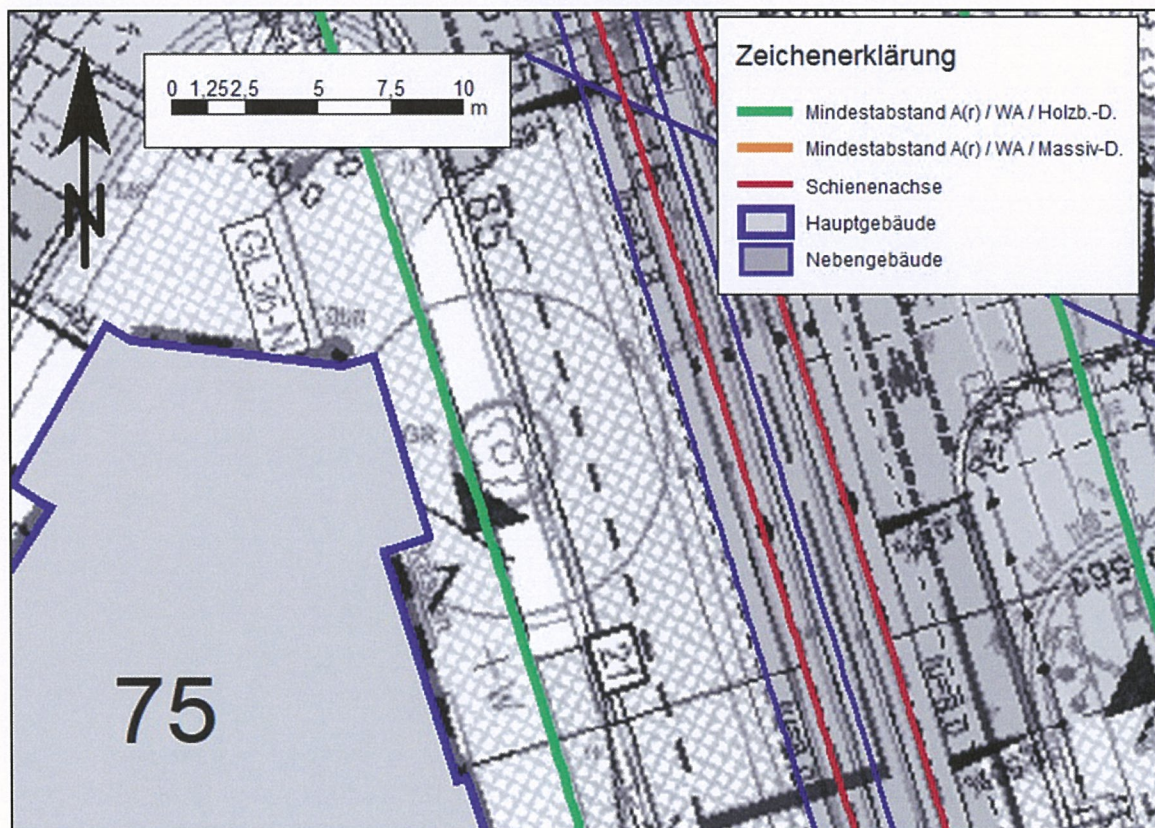
Anhang 5.2 Prognose für Gebäude Großenhainer Straße 75

Prognoseergebnisse

Zusammenfassung

Großenhainer Straße 75, 01127 Dresden				OG, Deckenmitte	Holzbalkendecke	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB				KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)	
Anhaltswert A _{UNacht} , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,150	0,105	0,075				L _{sek,max}	L _{sek,m,T}
Prognoseergebnis Null-Fall	0,13	0,040	0,034				-	40
Überschreitung Null-Fall	nein	nein	nein				37,8	27,5
Prognoseergebnis Plan-Fall	0,11	0,034	0,030				-	nein
Überschreitung Plan-Fall	nein	nein	nein				36,5	26,3
							-	nein
vorhabensbedingte Änderung $\Delta(KB)_{\text{Tag/Nacht}} =$				-15%	-14%		$\Delta L_{\text{sek,m}} = -1,2 \text{ dB}$	
Schwinggeschwindigkeit v _{max} in mm/s				Fundam.	Decke		Grundlage: Plan-Fall mit NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021	
Prognoseergebnis Plan-Fall	0,04	0,13					Abstand Ist: 9,5 m	
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					Abstand Plan: 11,0 m	
Überschreitung	nein	nein						

Großenhainer Straße 75, 01127 Dresden				OG, Deckenmitte	Massivdecke	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB				KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)	
Anhaltswert A _{UNacht} , A _r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,150	0,105	0,075				L _{sek,max}	L _{sek,m,T}
Prognoseergebnis Null-Fall	0,12	0,033	0,028				-	40
Überschreitung Null-Fall	nein	nein	nein				41,1	30,6
Prognoseergebnis Plan-Fall	0,09	0,025	0,022				-	nein
Überschreitung Plan-Fall	nein	nein	nein				39,4	29,0
							-	nein
vorhabensbedingte Änderung $\Delta(KB)_{\text{Tag/Nacht}} =$				-24%	-24%		$\Delta L_{\text{sek,m}} = -1,6 \text{ dB}$	
Schwinggeschwindigkeit v _{max} in mm/s				Fundam.	Decke		Grundlage: Plan-Fall mit NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021	
Prognoseergebnis Plan-Fall	0,04	0,09					Abstand Ist: 9,5 m	
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					Abstand Plan: 11,0 m	
Überschreitung	nein	nein						



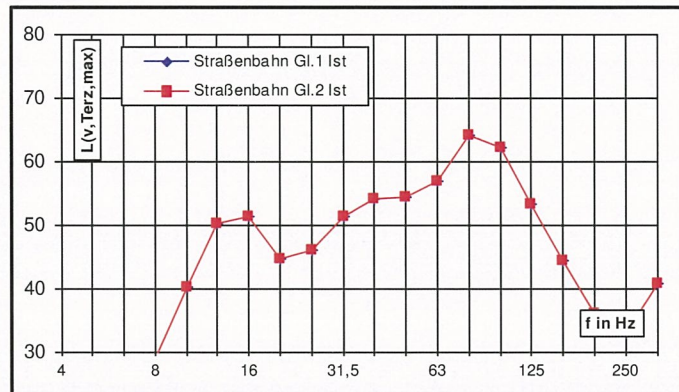
Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Großenhainer Straße 75, 01127 Dresden				OG				Nullfall	
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

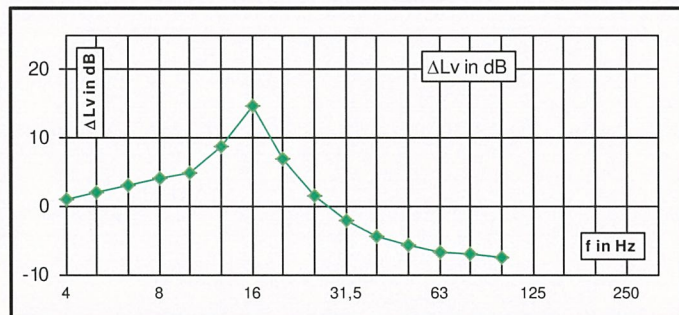
Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenbahn Gl.1 Ist	50	117	39
Straßenbahn Gl.2 Ist	50	111	48
NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021			

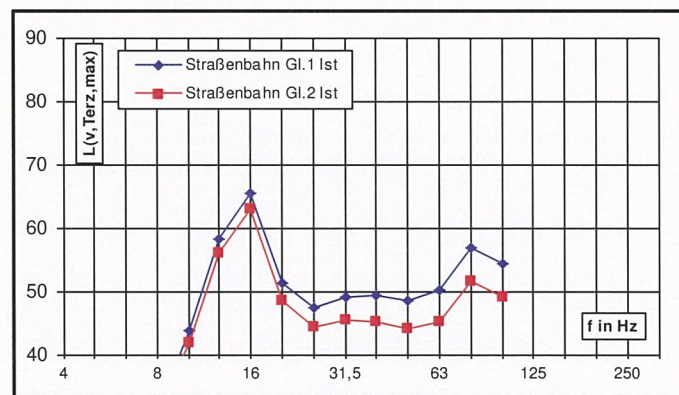
**Übertragungsweg**

$\Delta L_v = L_v(\text{IO}) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt Gl.1 zum Gebäude (Geschossdecke)

Gebäudeabstand		
9,5 m zu	zu Gleis 1	
12,5 m zu	zu Gleis 2	
Deckentyp	Holzbalkendecke	16 Hz

**Erschütterungs-Immission**

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



Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag			
	KB_{Fmax}	KB_{FTr} Tag	KB_{FTr} Nacht
Straßenbahn Gl.1 Ist	0,13	0,03	0,03
Straßenbahn Gl.2 Ist	0,10	0,02	0,02
gesamt	0,13	0,04	0,03

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
37,8	27,5	26,2

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} > A_o$	$KB_{Fmax} > A_r$	$KB_{FTr} > A_u$	$KB_{FTr} > A_o$	$KB_{FTr} > A_r$
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	$v_{max} =$	0,15	mm/s

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

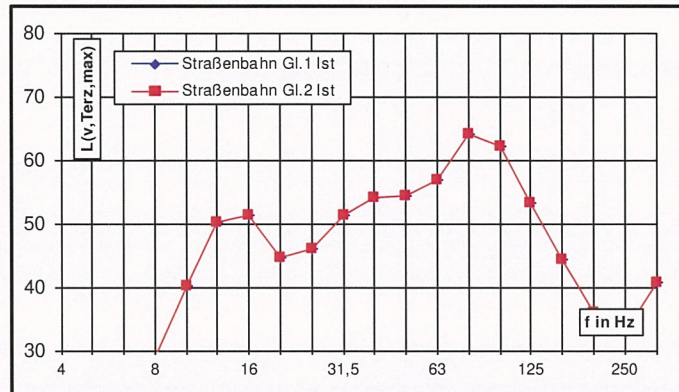
Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Großenhainer Straße 75, 01127 Dresden				OG	Nullfall		
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

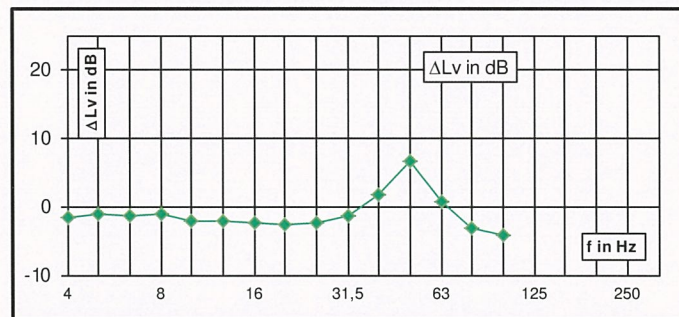
Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenbahn Gl.1 Ist	50	117	39
Straßenbahn Gl.2 Ist	50	111	48
NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021			

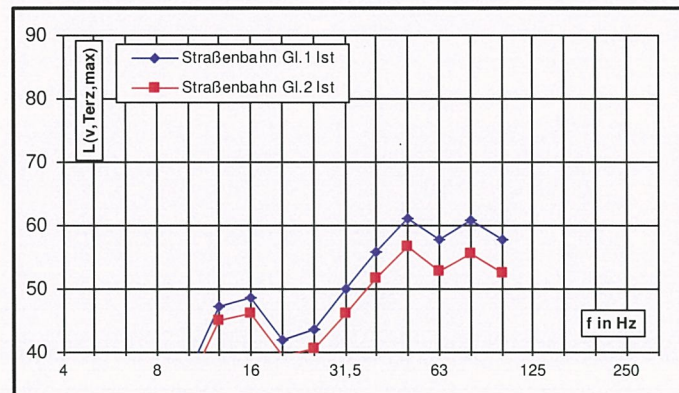
**Übertragungsweg**

$\Delta L_v = L_v(\text{IO}) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt Gl.1 zum Gebäude (Geschossdecke)

Gebäudeabstand		Deckentyp	Massivdecke	50 Hz
9,5 m zu	zu Gleis 1			
12,5 m zu	zu Gleis 2			

**Erschütterungs-Immission**

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



Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag				
	KB_{Fmax}	KB_{FTr} Tag	KB_{FTr} Nacht	
Straßenbahn Gl.1 Ist	0,12	0,03	0,02	
Straßenbahn Gl.2 Ist	0,07	0,02	0,02	
gesamt	0,12	0,03	0,03	

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
41,1	30,6	29,2

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2					
KB_{Fmax} > A_u	KB_{Fmax} > A_u	KB_{Fmax} > A_o	KB_{Fmax} > A_o	KB_{FTr} > A_r	KB_{FTr} > 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	$v_{max} =$	0,12	mm/s

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

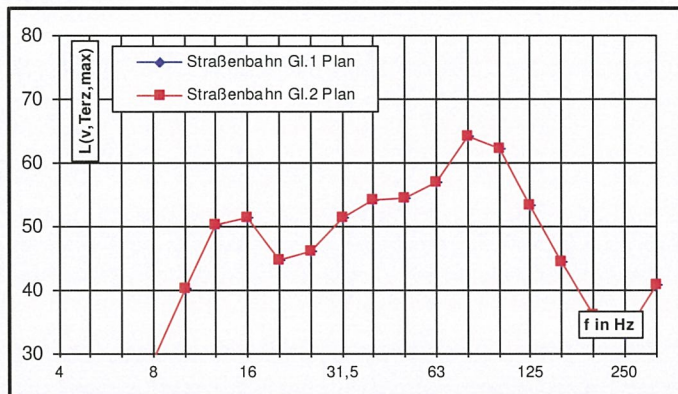
Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Großenhainer Straße 75, 01127 Dresden		OG	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	M = Mischgebiet / Außenb.		
	G	G = Gewerbegebiet		
	I	I = Industriegebiet		
	K	K = besondere Gebiete		

Anregung/Quelle

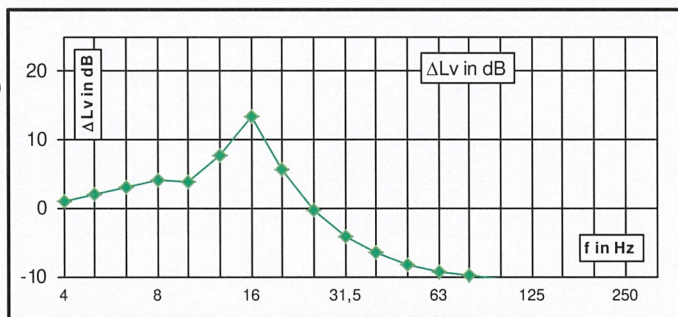
Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenbahn Gl.1 Pla	50	117	39
Straßenbahn Gl.2 Pla	50	111	48
NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021			

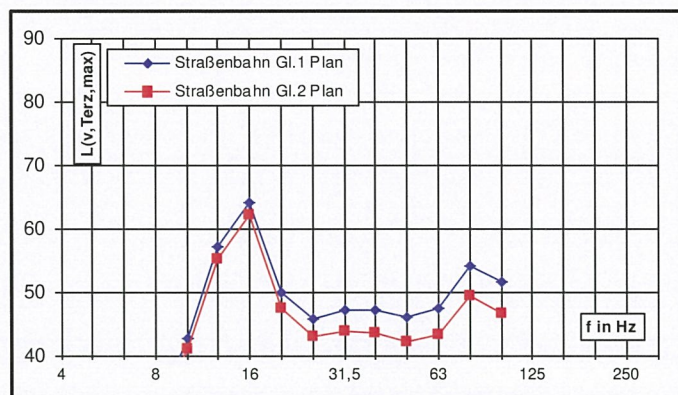
**Übertragungsweg**

$\Delta L_v = L_v(\text{IO}) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt Gl.1 zum Gebäude (Geschossdecke)

Gebäudeabstand	
11,0 m zu	zu Plan Gleis 1
14,0 m zu	zu Plan Gleis 2
Deckentyp	Holzbalkendecke 16 Hz

**Erschütterungs-Immission**

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



Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag				
	KB_{Fmax}	KB_{FTr} Tag	KB_{FTr} Nacht	
Straßenbahn Gl.1 Plan	0,11	0,03	0,02	
Straßenbahn Gl.2 Plan	0,09	0,02	0,02	
gesamt	0,11	0,03	0,03	

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
36,5	26,3	25,0

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

Maximale Schwinggeschwindigkeit v			
am Fundament	$v_{max} =$	0,04	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

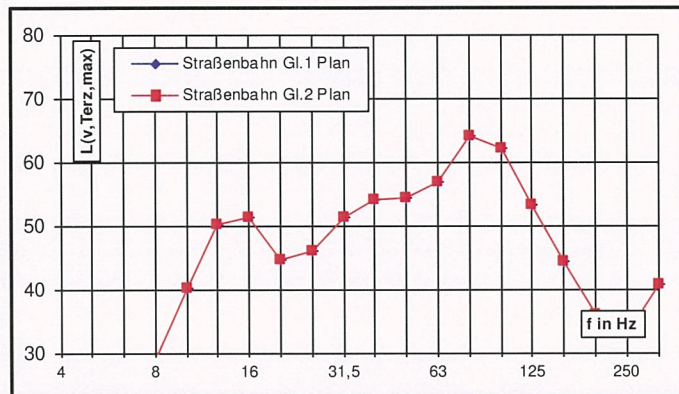
Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Großenhainer Straße 75, 01127 Dresden		OG	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

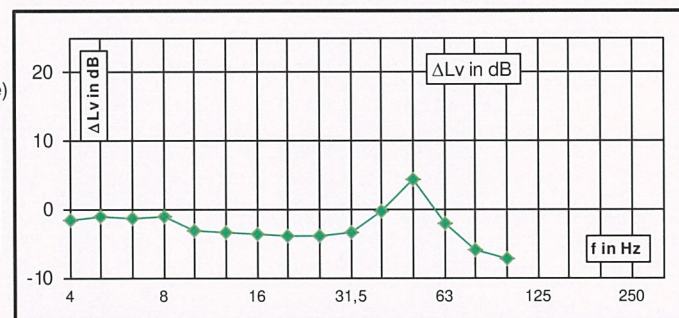
Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenbahn Gl.1 Pla	50	117	39
Straßenbahn Gl.2 Pla	50	111	48
NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021			

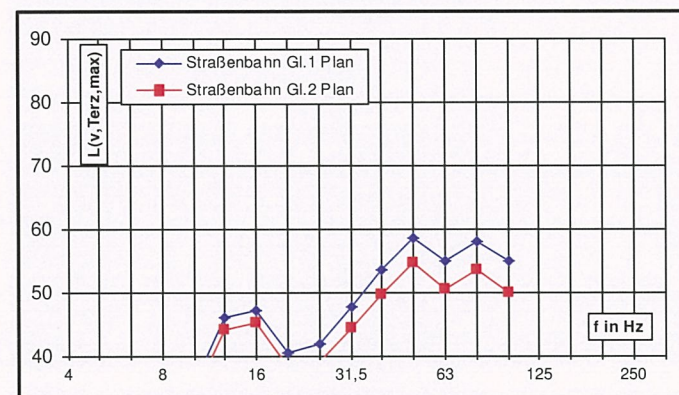
**Übertragungsweg**

$\Delta L_v = L_v(10) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt Gl.1 zum Gebäude (Geschossdecke)

Gebäudeabstand		
11,0 m zu	zu Plan Gleis 1	
14,0 m zu	zu Plan Gleis 2	
Deckentyp	Massivdecke	50 Hz

**Erschütterungs-Immission**

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



Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag				
	KB_{Fmax}	KB_{FTr}	KB_{FTr}	
		Tag	Nacht	
Straßenbahn Gl.1 Plan	0,09	0,02	0,02	
Straßenbahn Gl.2 Plan	0,05	0,01	0,01	
gesamt	0,09	0,03	0,02	

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$	$L_{sek,m}$
	Tag	Nacht
39,4	29,0	27,7

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

Maximale Schwinggeschwindigkeit v			
am Fundament	$v_{max} =$	0,04	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 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	Abstands- änderung	Gebäude liegt im Einwirkungsbereich für Deckentyp:		Straße, Haus-Nr.	Gebiets- einstufung / Nutzung
			Holzbalken	massiv		
9,5	9,5	+0,0	-	-	Großenhainer Str. 121 + 123	MI
8,5	8,5	+0,0	-	-	Großenhainer Str. 104 + 106	MI
8,5	9,0	-0,5	-	-	Großenhainer Str. 102	MI
9,5	9,5	+0,0	-	-	Großenhainer Str. 115 + 117	MI
10,0	10,0	+0,0	-	-	Großenhainer Str. 111	MI
8,5	9,0	-0,5	-	-	Großenhainer Str. 100 + 98b	MI
8,0	8,5	-0,5	-	-	Großenhainer Str. 96	MI
8,0	9,0	-1,0	-	-	Heidestraße 15	MI
13,0	13,0	+0,0	-	-	Großenhainer Str. 109 (Gewerbe)	Gewerbe tags ¹
18,5	18,5	+0,0	-	-	Großenhainer Str. 101 (Gewerbe/Büro)	Gewerbe tags ¹
7,0	8,5	-1,5	-	x	Großenhainer Str. 92	MI
7,0	9,0	-2,0	-	x	Großenhainer Str. 90	MI
6,5	8,5	-2,0	x	x	Großenhainer Str. 88	MI
10,0	9,0	+1,0	-	-	Großenhainer Str. 99 (2 Gebäude)	GE
10,0	9,0	+1,0	-	-	Großenhainer Str. 95 + 97	GE
6,5	8,5	-2,0	x	x	Großenhainer Str. 84 + 86	MI
7,5	8,5	-1,0	-	-	Großenhainer Str. 82	MI
10,0	10,0	+0,0	-	-	Großenhainer Str. 93 (HdB / Büro)	GE
13,0	13,5	-0,5	-	-	Großenhainer Str. 78 / 78a / 78b	MI
14,5	15,0	-0,5	-	-	Zeithainer Str. 18	MI
13,0	13,5	-0,5	-	-	Großenhainer Str. 74 / 74a	MI
18,0	18,0	+0,0	-	-	Großenhainer Str. 89 (Tankstelle/DHL)	(GE)
12,5	13,0	-0,5	-	-	Großenhainer Str. 70 / 70a	MI
12,5	13,0	-0,5	-	-	Großenhainer Str. 68	MI
11,0	11,5	-0,5	-	-	Großenhainer Str. 66	MI
10,0	10,0	+0,0	-	-	Großenhainer Str. 81 + 83 (Autohaus/Büro)	GE
12,5	12,0	+0,5	-	-	Weinböhlaer Str. 11	GE
13,0	15,0	-2,0	-	-	Pestalozziplatz 22 (Schule)	WA tags ¹
29,5	28,5	+1,0	-	-	Weinböhlaer Str. 9	WA
11,0	9,5	+1,5	-	-	Großenhainer Str. 75	WA
12,0	11,0	+1,0	-	-	Großenhainer Str. 71 + 73	WA
11,5	10,5	+1,0	-	-	Großenhainer Str. 67 + 69	WA
12,5	11,5	+1,0	-	-	Großenhainer Str. 63 + 65	WA
13,5	12,5	+1,0	-	-	Großenhainer Str. 61	WA

¹⁾ Schutzanspruch entsprechend Nutzung nur am Tage

Gebietseinstufung laut Flächennutzungsplan und ggf. Bebauungsplan (Geoportal GeoSN)

Abstandslinien für die Einhaltung von A_u durch KB_{Fmax}

Minimal-/Maximalwerte:

	Nacht		kleinster Abstand (Plan)	größte Annäherung
	Wohngebiet, $A_u = 0,15$	Mischgebiet, $A_u = 0,225$		
Holzbalkendecke (Resonanzfrequenz 16 Hz)	$d_{min} = 9,0 \text{ m}$	$d_{min} = 6,5 \text{ m}$	6,5 m	-2,0 m
Massivdecke (Resonanzfrequenz 50 Hz)	$d_{min} = 9,0 \text{ m}$	$d_{min} = 7,0 \text{ m}$	min.	delta max.

Erschütterungsprognose - StraßenbahnverkehrMindestabstand zur Einhaltung von A_u **Großenhainer Str., Dresden**

Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)

Planfall

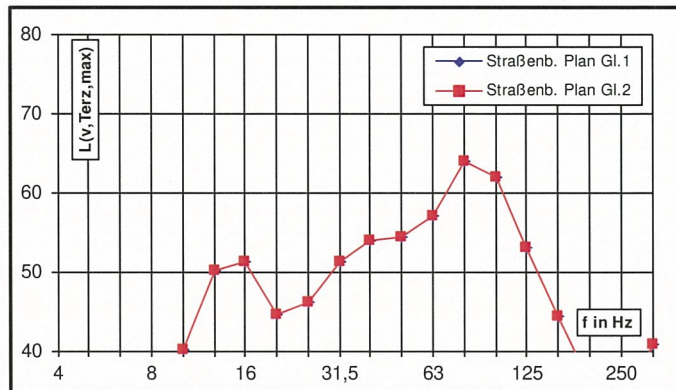
Gebietstyp	M	W = Wohngebiet
		M = Mischgebiet / Außenb.
		G = Gewerbegebiet
		I = Industriegebiet
		K = besondere Gebiete

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

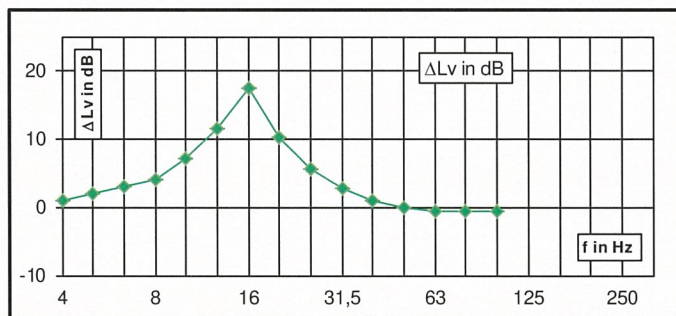
Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum	Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag
Straßenb. Plan Gl.1	50	117
Straßenb. Plan Gl.2	50	111
NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021		

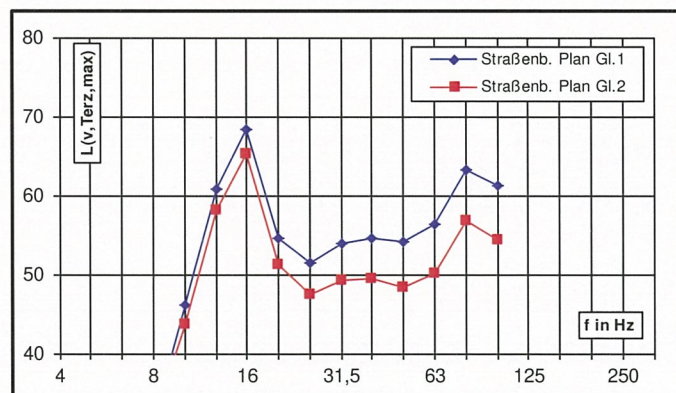
**Übertragungsweg**

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

Gebäudeabstand	6,5 m
Deckentyp	Holzbalkendecke 16 Hz

**Erschütterungs-Immission**

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

**Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag**

	KB_{FTm}	KB_{FTT}	KB_{FTT}
	Tag	Nacht	Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	0,21	0,05	0,04
Straßenb. Plan Gl.2	0,13	0,03	0,03
gesamt	0,21	0,06	0,05

Sekundärer Luftschall in dB(A)

$L_{\text{sek,max}}$	$L_{\text{sek,m}}$	$L_{\text{sek,m}}$
	Tag	Nacht
40,9	30,4	29,1

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	0,11	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

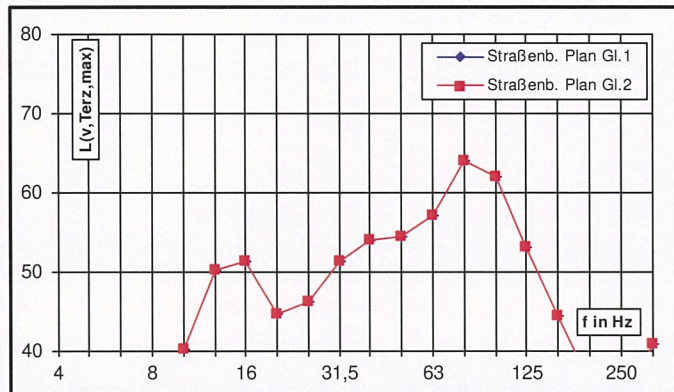
Erschütterungsprognose - StraßenbahnverkehrMindestabstand zur Einhaltung von A_u

Großenhainer Str., Dresden		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

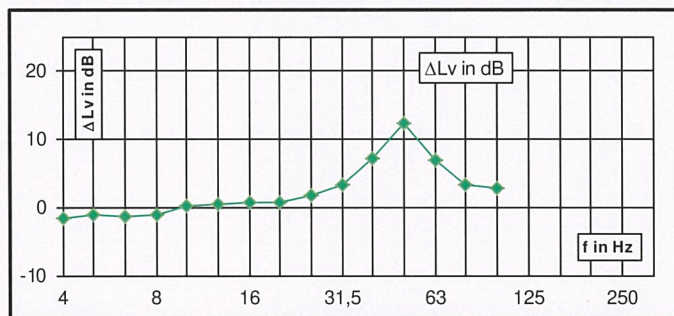
Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	50	117	39
Straßenb. Plan Gl.2	50	111	48
NGT D8 DD, OB Plan, Nov. 2021			

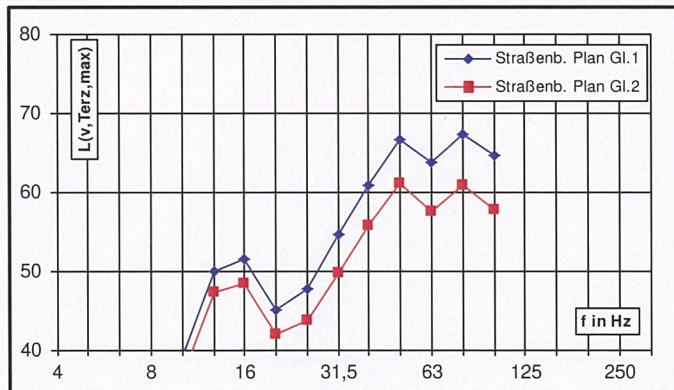
**Übertragungsweg**

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

Gebäudeabstand	6,5 m
Deckentyp	Massivdecke 50 Hz

**Erschütterungs-Immission**

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

**Bewertete Schwingstärke KB inkl. +15% Unsicherheitszuschlag**

	KB_{FTm}	KB_{FTT}	KB_{FTT}
	Tag	Nacht	Nacht
Straßenb. Plan Gl.1	0,24	0,06	0,05
Straßenb. Plan Gl.2	0,12	0,03	0,03
gesamt	0,24	0,06	0,05

Sekundärer Luftschall in dB(A)

$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$	$L_{sek,m}$
	Tag	Nacht
45,1	34,3	32,9

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	0,11	mm/s
auf der Geschossdecke	0,23	mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3

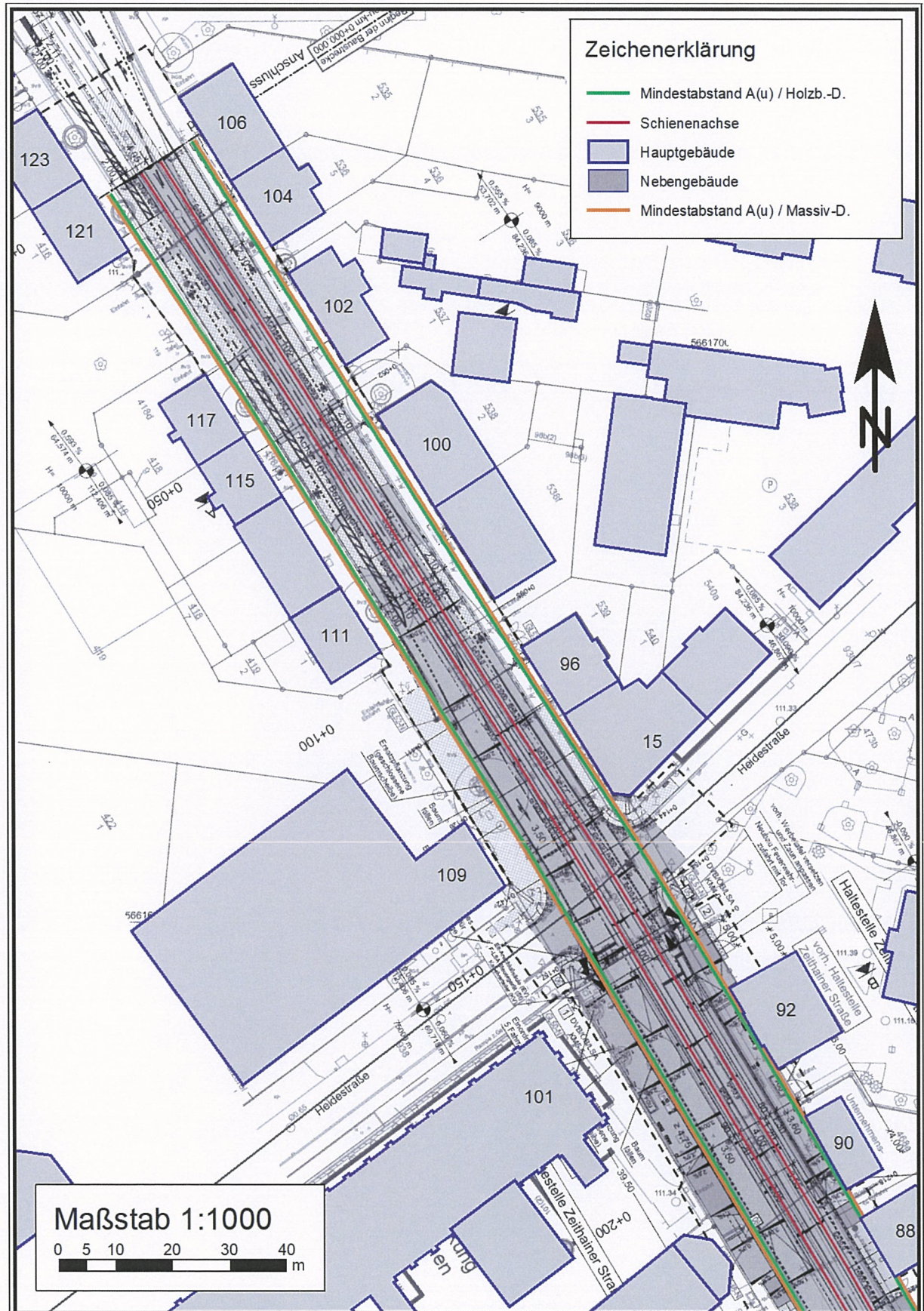
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschwingungen, vertikal	20 mm/s	nein

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

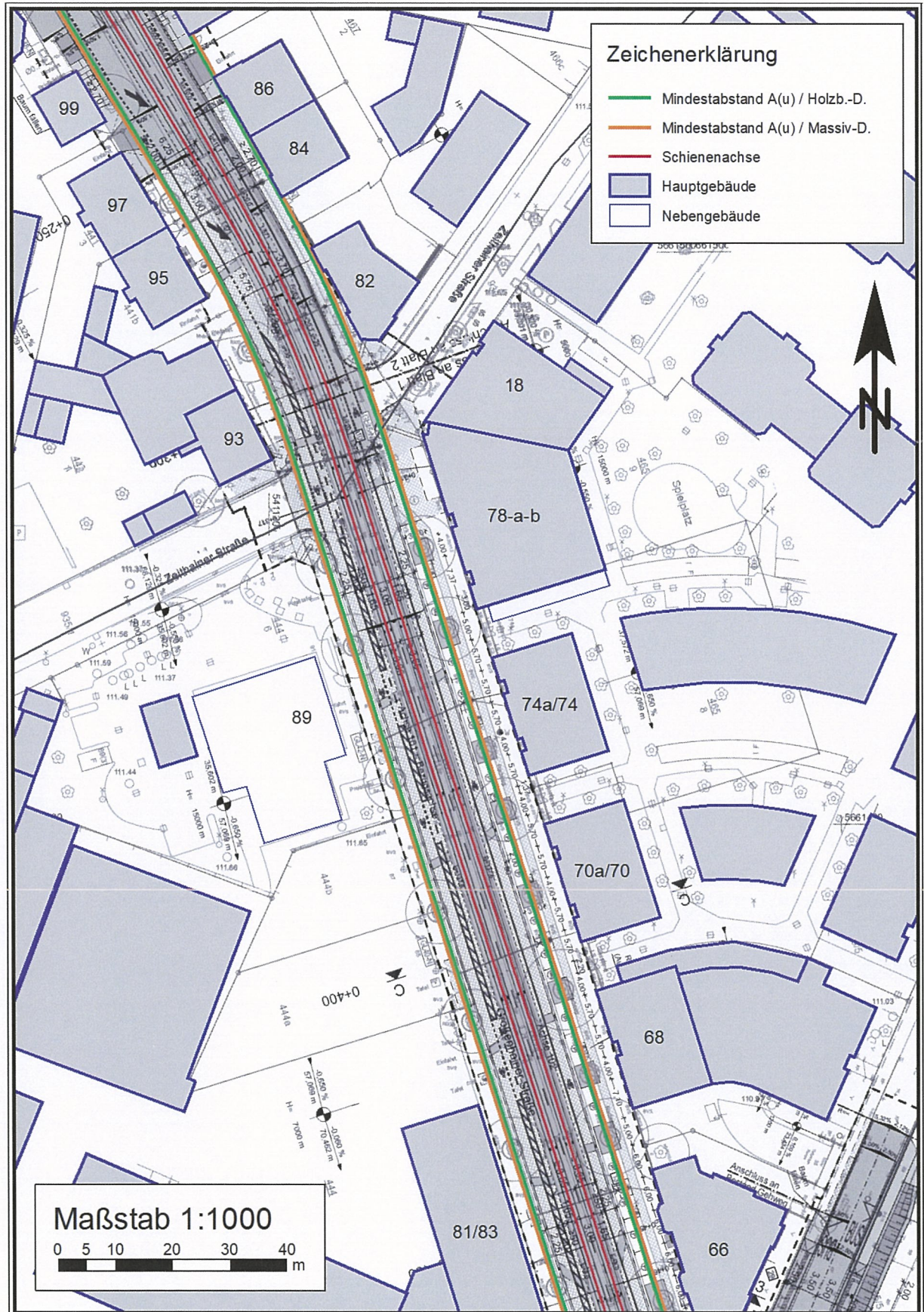
Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3		
Wohngebäude und ähnliche, Fund.	5 mm/s	nein
Deckenschw. in gungen, vertikal	20 mm/s	nein

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

Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 1



Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 2



Erschütterungs-Einwirkungsbereich, Blatt 3

