



Straßenbahn-Neubaustrecke Ostkreuz

**Boxhagener Straße bis zur Karlshorster Straße
in den Bezirken Friedrichshain-Kreuzberg und Lichtenberg von
Berlin**

 BVG BERLINER VERKEHRSBETRIEBE (BVG) ANSTALT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS Unternehmensbereich Straßenbahn	Unterlage: 6.1.3
Planfeststellung	Untersuchungen zu betriebsbedingten Erschütterungs- immissionen
Anschluss des Straßenbahnnetzes an das Ostkreuz In den Bezirken Friedrichshain-Kreuzberg und Lichtenberg von Berlin	
Vorhabensträger: Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)	Der Betriebsleiter Straßenbahn  Berlin, 23.11.2017

Untersuchung zu betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen

Bericht Nr. 16-3216 / 01

Straßenbahn-Neubaustrecke Ostkreuz in Berlin-Friedrichshain/Kreuzberg und Lichtenberg

Stand: 03.11.2017



Bearbeitet von Dipl.-Ing. L. Wiedemann

für

VCDB VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH
Könneritzstraße 31
01067 Dresden

1. Zusammenfassung

Die Berliner Verkehrsbetriebe planen die Straßenbahn-Neubaustrecke Ostkreuz in Berlin-Friedrichshain/Kreuzberg und Lichtenberg (Boxhagener Str - Karlshorster Str.).

Dazu wurde eine erschütterungstechnische Untersuchung zu Berechnung und Beurteilung der betriebsbedingten Erschütterungen aus dem Straßenbahnverkehr erstellt.

In der Prognose wurden für die bezüglich des Bauvorhabens immissionskritischsten Gebäude mit bestehender Wohnnutzung die Erschütterungseinwirkungen auf das Gebäude (bezüglich Bauschäden) und auf die Bewohner (bezüglich Belästigungen) prognostiziert.

Die berechnete Beurteilungs-Schwingstärke unterschreitet die Anhaltswerte A_r der Norm DIN 4150-2 für Wohn- bzw. Mischgebiete sowohl tags als auch nachts. Voraussetzung hierfür ist ein Oberbau mit erschütterungsmindernder Wirkung im Bereich der Holtei- und Sonntagstraße. Details zu dieser Maßnahme werden im Bericht beschrieben.

Die für Fundament bzw. Geschossdecke prognostizierten maximalen Schwinggeschwindigkeiten liegen deutlich unter den Anhaltswerten der Norm DIN 4150-3 für Wohngebäude. Aus den durchgeführten detaillierten Prognosen sowie den berechneten Erschütterungskorridoren folgt, dass an allen im Untersuchungsbereich liegenden Gebäuden Gebäudeschäden durch Erschütterungen aus dem Straßenbahnbetrieb sicher ausgeschlossen werden können.

Für das Gebäude Neue Bahnhofstraße 37, welches z. Z. ungenutzt und sanierungsbedürftig ist, können Gebäudeschäden ebenfalls sicher ausgeschlossen werden. Die Anhaltswerte für Gewerbegebiete werden tags und nachts eingehalten. Die DB Netz AG beabsichtigt den Verkauf des Gebäudes, alle Bewerber planen dort Gewerberäume und im EG Gastronomie. Wohnungen sind nicht vorgesehen.

Der Bericht enthält 50 Seiten inklusive 4 Anhänge.

Dresden, den 03.11.2017

cdf Schallschutz

Dipl.-Ing. Dieter Friedemann

Dipl.-Ing. Lorenz Wiedemann

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	2
2.	Aufgabenstellung und Situation	4
3.	Berechnungs- und Bewertungsverfahren	5
3.1.	Erschütterungs-Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	5
3.2.	Erschütterungs-Einwirkung auf bauliche Anlagen	9
3.3.	Sekundärer Luftschall	10
4.	Ausgangsdaten der Erschütterungsprognose	12
4.1.	Emissionsdaten des Straßenbahnverkehrs	13
4.2.	Verkehrsbelegung	13
4.3.	Prognoseverfahren	14
4.4.	Prinzipiell mögliche Maßnahmen zum Erschütterungsschutz	15
4.5.	Qualität der Prognose	15
5.	Erschütterungsprognose Schienenverkehr und Bewertung	16
5.1.	Plan-Zustand ohne Maßnahmen zur Erschütterungsminderung	16
5.2.	Plan-Zustand mit Maßnahmen zur Erschütterungsminderung	18
6.	Normen und Literatur	23
7.	Anhänge	24
Anhang 1	Übersichtslageplan	25
Anhang 2	Emissionsdaten der Straßenbahn	26
Anhang 2.1	Emissionsspektrum des Straßenbahnverkehrs	26
Anhang 2.2	Ausbreitungsdämpfung des Erdbodens	31
Anhang 2.3	Gebäudeübertragungsfunktion	32
Anhang 3	Erschütterungsprognose ohne Minderungsmaßnahmen	34
Anhang 3.1	Prognose für nächstgelegene Gebäude	34
Anhang 3.2	Einwirkungsbereich - betroffene Gebäude (Planfall)	36
Anhang 4	Erschütterungsprognose mit Minderungsmaßnahmen	37
Anhang 4.1	Prognose für nächstgelegene Gebäude	37
Anhang 4.2	Einwirkungsbereich - betroffene Gebäude (mit Maßnahme)	43

2. Aufgabenstellung und Situation

Im Rahmen des Bauvorhabens Straßenbahn-Neubaustrecke Ostkreuz in Berlin-Friedrichshain/Kreuzberg und Lichtenberg (Abschnitt Boxhagener Str - Karlshorster Str.) ist der Neubau einer Straßenbahnstrecke vorgesehen. Der Streckenabschnitt ersetzt die bisherige Trassenführung über die Boxhagener Straße und dient einer verbesserten Anbindung an den Bahnhof Berlin-Ostkreuz.

Die maximal zulässige Streckengeschwindigkeit beträgt 30 km/h (in Kurven 15 km/h).

Zur Prüfung der Auswirkungen des Bauvorhabens auf die während des Straßenbahnbetriebes in der Nachbarschaft verursachten Schwingungen/Erschütterungen ist eine erschütterungstechnische Untersuchung durchzuführen.

Dabei wird untersucht, zu welchen maximalen Schwinggeschwindigkeiten und Beurteilungsschwingstärken der Straßenbahnverkehr in der Nachbarschaft führt.

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

3. Berechnungs- und Bewertungsverfahren

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

3.1. 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.

Als Messgröße wird die bewertete Schwingstärke KB verwendet, die aus der 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, [6]) sind jedoch folgende **Anhaltswerte** zur Beurteilung angegeben:

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

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

A_u unterer Anhaltswert

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

A_r Anhaltswert zum Vergleich mit der Beurteilungsschwingstärke KB_{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	0,11	0,15	0,6	0,08
5	Sondergebiet	SK	0,15	3,0	0,08	0,15	0,6	0,08

A_u unterer Anhaltswert

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

A_r Anhaltswert zum Vergleich mit der Beurteilungsschwingstärke $KB_{FT,r}$

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

Für den Vergleich der Messergebnisse und Anhaltswerte ist die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} bzw. die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FT,r}$ zu verwenden, die aus Messwerten der Erschütterungen im schutzbedürftigen Raum ermittelt werden. Dabei ist jeweils die größte Richtungskomponente an einem Messpunkt der Beurteilung zugrunde zu legen.

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.

Für **neu geplante Strecken** ist das Verfahren des nachstehenden Flussdiagramms (Abb. 1) einzuhalten.

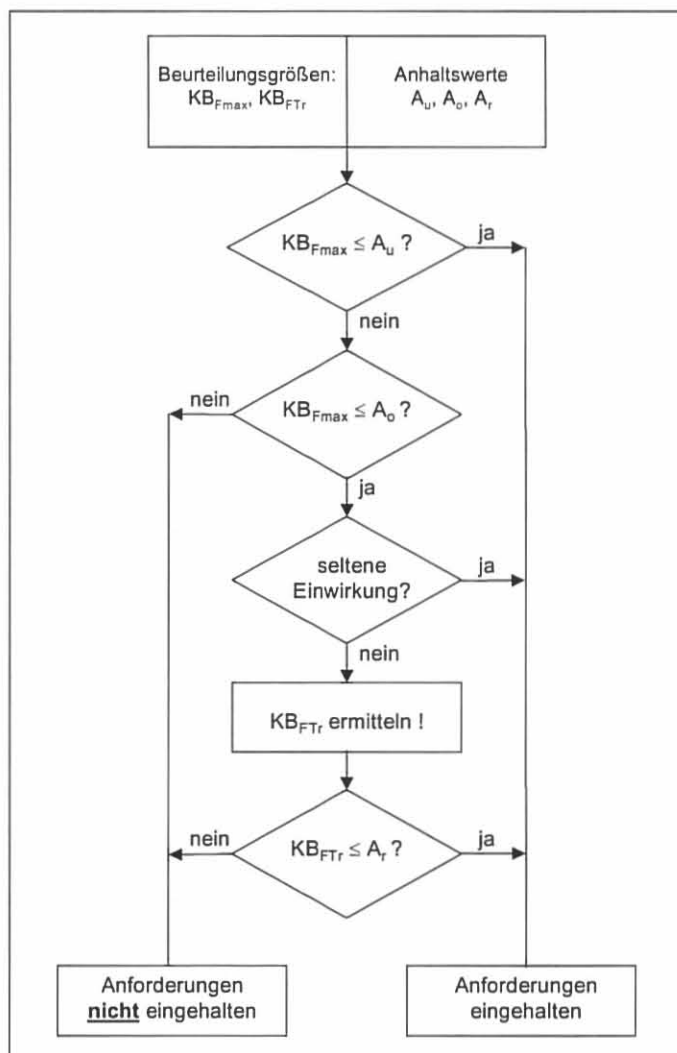


Abb. 1 Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren nach DIN 4150, Teil 2 (Neubaustrecken)

Wird der untere Anhaltswert A_u nach Tabelle 1 nicht überschritten, so werden die Anforderungen der Norm DIN 4150-2 bezüglich der Erschütterungen eingehalten. Wird der obere Anhaltswert A_o überschritten, so sind die Anforderungen bezüglich der Erschütterungen nicht eingehalten. In beiden Fällen ist die Bildung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} nicht erforderlich.

Kommt es zur Überschreitung des unteren Anhaltswertes A_u bei gleichzeitiger Einhaltung des oberen Anhaltswertes A_o , so ist die Häufigkeit der Einwirkungen zu berücksichtigen. Es erfolgt dann die Bildung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} und der Vergleich mit den in Tab. 1 aufgeführten Anhaltswerten für A_r .

3.2. Erschütterungs-Einwirkung auf bauliche Anlagen

Die Wirkung von Erschütterungen auf die Gebäudestruktur wird durch die Messung des Spitzenwertes (Maximalwert des Zeitverlaufes der Schwinggeschwindigkeit $v_i(t)$) am Gebäudefundament beurteilt. Die DIN 4150, Teil 3 [7] legt Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit zur Beurteilung der Wirkung kurzzeitiger Erschütterungen fest. Werden die Anhaltswerte nicht überschritten, treten im allgemeinen keine Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes auf, deren Ursachen auf die Erschütterungen zurückzuführen wären.

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

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

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

Zeile	Gebäudeart	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 **

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

3.3. 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 [11] der berechnete sekundäre Luftschallpegel hilfsweise mit den zulässigen Innengeräuschpegeln für Wohn- und Schlafräume verglichen, die in der 24. BImSchV [4] 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, wissensch. Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume	37	40
Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume	42	45
Großraumbüros, Schallerräume, 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 [12]) akzeptiert.

Eine Summierung und zusammenfassende Beurteilung von primärem und sekundärem Luftschall ist gemäß DB AG-Richtlinie 820.2050 [11], Festlegung des Eisenbahn-Bundesamtes und in der Rechtsprechung nicht vorgesehen.

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

- Erschütterungs-Immissionsspektrum (Mitte der Geschossdecke)
 L_v in dB re. $5 \cdot 10^{-5}$ mm/s in den Terzbändern 4 - 315 Hz
als mittlerer Maximalpegel je 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 ([11]):

	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

4. Ausgangsdaten 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.

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

Die Grundlage dafür bilden die im Rahmen von Messungen an Strecken mit vergleichbaren Zuggattungen gewonnenen Emissionsspektren des Schienenverkehrs sowie die dabei ermittelten Ausbreitungsdämpfungen.

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

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

- Vorhabensbeschreibung
- Verkehrsbelegung und Fahrgeschwindigkeiten
- Trassierungsentwurf einschließlich angrenzender Bebauung

Nachfolgend werden die Ausgangsdaten für die Erschütterungsprognose beschrieben.

4.1. Emissionsdaten des Straßenbahnverkehrs

Als Grundlage der Erschütterungsprognose stehen aus einer eigenen Messung an einem vergleichbaren Bestands-Streckenabschnitt in Berlin folgende Terzspektren zur Verfügung:

- Straßenbahnen mit 30 km/h, Baureihe GT6
- Oberbautyp NBS ("Neues Berliner Straßenbahngleis"), saniert/errichtet 2006

Straßenbahn-Baureihe und Oberbau-Typ der Emissionsmessung stimmen mit dem Neubauvorhaben überein. Die Messwerte der Bestandsstrecke beruhen auf Fahrzeugen von 30 m Länge (GT6). Die Fahrzeuglänge im künftigen Zustand (GT6 / GT8 mit 30 m / 40 m) geht in die Prognoserechnung der Schwingstärke KB nicht direkt ein. Berücksichtigt wird ein Zeittakt von 30 Sekunden je Vorbeifahrt, welcher die realen Vorbeifahrtzeiten beider Fahrzeugtypen sicher einschließt, vgl. 3.1 (Gleichung 1).

4.2. Verkehrsbelegung

Das vom Auftraggeber für die Straßenbahnstrecke angegebene Verkehrsmengengerüst (Quelle: BVG [17]) im Plan-Zustand ist in nachfolgender Tabelle zusammenfassend enthalten:

Tab. 5 Betriebsprogramm Prognose Plan-Zustand für die Erschütterungsprognose

Zug-Kategorie	Anzahl Fahrten		Geschwin- digkeit (max.)	Fahrzeug-Typ
	tags	nachts		
Westlich Ostkreuz/Sonntagstraße				GT6 / GT8 (30m / 40m)
Summe hin + rück	192	20	30 km/h	
Östlich Ostkreuz/Marktstraße				Annahme 50/50%- Aufteilung
Summe hin + rück	174	20	30 km/h	

In der Schallimmissionsprognose zum Vorhaben (siehe separater Bericht Nr. 16-3216/03) wurden die schalltechnischen Berechnungen gemäß der 16. BImSchV - Verkehrslärmschutzverordnung mit einer Geschwindigkeit von $v = 50$ km/h durchgeführt, um die erhöhte Geräuschabstrahlung von Weichenbereichen, Kreuzungen und Haltestellen zu berücksichtigen.

Im Bereich der im Rahmen des Vorhabens zu erneuernden Gleiskurven zur Wühlischstraße und Boxhagener Straße gilt eine maximal zulässige Geschwindigkeit von 15 km/h.

4.3. Prognoseverfahren

Für die Erschütterungsprognose wird der Zugverkehr entsprechend der angegebenen Verkehrsdaten auf die beiden Gleise mit dem jeweiligen Abstand zum Wohngebäude gelegt (typischer Abstand der Gleisachsen hier 3,0 m).

Es erfolgen dann die Berechnungen für den Prognose-Planfall:

- Terzspektren des mittleren Maximalpegels der Schwinggeschwindigkeit $L_{v,8m}$ am Emissionsmesspunkt (8m-Punkt)
- Terzpegel-Differenzen des Ausbreitungsweges zu Fundament und Geschossdecken des untersuchten Gebäudes ($\Delta L_{vB,G}$ aus Bodendämpfung)
- Terzband-Korrekturwerte $\Delta L_{v,d}$ für vorhabensbedingte Abstandsänderung (aus den Messungen der Boden-Ausbreitungseigenschaften)
- Terzband-Korrekturwerte $\Delta L_{v,v}$ für geplante Geschwindigkeitsänderung (rechnerisch nach [15])
- 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

Für die Erschütterungsprognose erfolgt im Bedarfsfall eine Umrechnung gemäß [15] von der bei den jeweiligen Emissionsmessungen gefahrenen Geschwindigkeit auf die Plan-Geschwindigkeit und eine Umrechnung des Abstandes zum Gebäude vom Emissions-Messpunkt auf den Plan-Zustand (vor dem untersuchten Gebäude).

4.4. Prinzipiell mögliche Maßnahmen zum Erschütterungsschutz

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

Dazu gehören:

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

4.5. Qualität der Prognose

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

Die messtechnisch bedingte Unsicherheit bei der Ermittlung von KB-Schwingungswerten kann gemäß DIN 4150-2, 5.4 bis zu 15% betragen.

Nicht berücksichtigt wird die tendenziell erschütterungsmindernde Wirkung eines neu errichteten Oberbaus im Vergleich zum Bestand bei gleichem Bautyp.

5. Erschütterungsprognose Schienenverkehr und Bewertung

5.1. Plan-Zustand ohne Maßnahmen zur Erschütterungsminderung

Die erschütterungstechnischen Berechnungen wurden für alle Gebäude für Holz- und Massivdecken durchgeführt, da die Deckentypen nicht bekannt sind. Diese ergeben, dass in Wohngebäuden der Anhaltswert A_r nach DIN 4150-2 für Allgemeine Wohngebiete am Tage überschritten wird, wenn diese näher an der Gleisachse liegen als

8,0 m (Holzbalkendecken) bzw. **11,5 m** (Massivdecken)

Dies betrifft nahezu alle mehrgeschossigen Gebäude in der Holtei- und Sonntagstraße einschließlich der Eckgebäude zur Lenbach- und Böcklinstraße mit einem Abstand von 8,5 m.

In der Nacht wird der Anhaltswert A_r aufgrund der geringen Fahrzeugzahl eingehalten. Der Richtwert für den zulässigen sekundären Luftschallpegel L_{sek} wird nachts in Gebäudeetagen mit Massivdecken um 2 dB überschritten.

Tab. 6 Prognoseergebnis für Gebäude in 8,5 m Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse, ohne Minderung

Sonntagstr. 24-31, 10245 Berlin - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Holzbalkendecke				8,5 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB_{Fmax}	$KB_{FTr, Tag}$	$KB_{FTr, Nacht}$	Sekundärer Luftschall in dB(A)	$L_{\text{sek,max}}$	$L_{\text{sek,m}}$	$L_{\text{sek,n}}$
Prognoseergebnis	0,38	0,10	0,05	Prognoseergebnis	45,1	34,1	27,3
Anhaltswert A_u , A_r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,15	0,11	0,08	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	ja	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage:			
Prognoseergebnis	0,30	0,45		Straßenbahn 30 km/h B NBS ohne elast. Lagerung			
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

Sonntagstr. 24-31, 10245 Berlin - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Massivdecke				8,5 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB_{Fmax}	$KB_{FTr, Tag}$	$KB_{FTr, Nacht}$	Sekundärer Luftschall in dB(A)	$L_{\text{sek,max}}$	$L_{\text{sek,m}}$	$L_{\text{sek,n}}$
Prognoseergebnis	0,72	0,19	0,08	Prognoseergebnis	50,1	38,9	32,1
Anhaltswert A_u , A_r nach DIN 4150-2, Tab.1	0,15	0,11	0,08	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	ja	ja	nein	Überschreitung	-	nein	ja
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage:			
Prognoseergebnis	0,30	0,84		Straßenbahn 30 km/h B NBS ohne elast. Lagerung			
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

Trotz der geringen Abstände zwischen Gleis und Gebäuden liegen die für Fundament bzw. Geschossdecke prognostizierten maximalen Schwinggeschwindigkeiten von $v_{\text{max}} < 1,0$ mm/s deutlich unter den zulässigen Anhaltswerten der Norm DIN 4150-3 für Wohngebäude von $v_{\text{max}} = 5$ mm/s bzw. $v_{\text{max}} = 20$ mm/s. Gebäudeschäden sind durch den Bahnverkehr daher mit hoher Sicherheit nicht zu erwarten.

Für die nächstgelegenen Gebäude mit bestehender Wohnnutzung (Sonntagstraße) ist eine detaillierte Prognoseberechnung in Anhang 3 dargestellt.

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

Tab. 7 Gebäude und Erschütterungsbewertung - ohne bauliche Minderungsmaßnahmen; H = Holzbalkendecke, M = Massivdecke; Abstandsangaben zum jeweils nächstgelegenen Gleis

Gebäude	Charakteristik	Mindestabstände zur Einhaltung der Anhaltswerte KB_{FT}			Bewertung Mindestabstand
		Soll Holzbalkendecke	Soll Massivdecke	Ist	
Holteistraße 10, 11, 12, 13 Sonntagstraße 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31	Wohngebiet Tag + Nacht	$\geq 8,0$ m	$\geq 11,5$ m	8,5 m	H erfüllt M nicht erf.
Lenbachstraße 8, Holteistraße 24, 24a, 25, Sonntagstr. 10, 11, 12, Wühlischstr. 9, Boxhagener Str. 47	Wohngebiet Tag + Nacht	$\geq 8,0$ m	$\geq 11,5$ m	9 - 9,5 m	H erfüllt M nicht erf.
Wühlischstr. 8, Holteistraße 26	Wohngebiet Tag + Nacht	$\geq 8,0$ m	$\geq 11,5$ m	4,5 m	H und M nicht erf.
Boxhagener Str. 48, Holteistr. 23	Wohngebiet Tag + Nacht	$\geq 8,0$ m	$\geq 11,5$ m	5,5 m	H und M nicht erf.
Holteistraße 6 (Gaststätte)	Gewerbe Tag	$\geq 5,5$ m	$\geq 7,5$ m	9,5 m	für Gewerbe erfüllt
Sonntagstraße 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, Lenbachstraße 7a, 13b, Böcklinstraße 6, Türschmidtstraße 1	Wohngebiet Tag + Nacht	$\geq 8,0$ m	$\geq 11,5$ m	10 - 13 m	H erfüllt M nicht erf.
Sonntagstraße 15, 22, Holteistraße 30	Wohngebiet Tag + Nacht	$\geq 8,0$ m	$\geq 11,5$ m	16 - 17 m	erfüllt
Marktstraße 13, Schreiberhauer Straße 48	Mischgebiet Tag + Nacht	$\geq 6,5$ m	$\geq 9,5$ m	15,5 m	erfüllt
Marktstraße 10	Jugendherberge Mischgebiet Tag + Nacht	$\geq 6,5$ m	$\geq 9,5$ m	17 m	erfüllt
Marktstraße 1, 2, Pfarrstraße 146, Neue Bahnhofstraße 36	Wohngebiet Tag + Nacht	$\geq 8,0$ m	$\geq 11,5$ m	23 - 34 m	erfüllt
Marktstraße 3	Schule Tag	$\geq 8,0$ m	$\geq 11,5$ m	23 m	erfüllt
Neue Bahnhofstraße 37 (ehem. Beamtenwohnhaus)	Bahngelände Tag	$\geq 6,5$ m	$\geq 9,5$ m	7,5 m	WA: H erfüllt M nicht erf., MI: H und M erfüllt

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Prognoseergebnisse unter Einbeziehung einer baulichen Maßnahme zur Erschütterungsminderung dargestellt.

5.2. Plan-Zustand mit Maßnahmen zur Erschütterungsminderung

Als erforderliche Minderung der Erschütterungs-Emission wurde im Rahmen der Prognose ermittelt:

- **6 dB im Frequenzbereich 40 - 100 Hz** in der Holtei- und Sonntagstraße, einschließlich der Gleiskurven zur Wühlischstraße und Boxhagener Straße, vgl. S. 41 + Anh. 4.2

Im Bereich Marktstraße einschließlich der Einmündung Pfarr- und Türirschmidtstraße ist wegen der größeren Abstände zur Bebauung und in Teilen wegen der Einstufung als Mischgebiet keine Minderungsmaßnahme erforderlich.

Tab. 8 Gebäude und Erschütterungsbewertung - mit baulichen Minderungsmaßnahmen (farblich hinterlegter Bereich der Strecke); H = Holzbalkendecke, M = Massivdecke; ¹⁾ für v = 15 km/h in der Kurve

Gebäude	Charakteristik	Mindestabstände zur Einhaltung der Anhaltswerte KB _{FT}			Bewertung Mindestabstand
		Soll Holzbalkendecke	Soll Massivdecke	Ist	
Holteistraße 10, 11, 12, 13 Sonntagstraße 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31	Wohngebiet Tag + Nacht	≥ 5,5 m	≥ 8,0 m	8,5 m	erfüllt
Lenbachstraße 8, Holteistraße 23, 24, 24a, 25, 26, Sonntagstraße 10, 11, 12, Wühlischstr. 9, Boxhagener Str. 47	Wohngebiet Tag + Nacht	≥ 5,5 m	≥ 8,0 m	9 - 9,5 m	erfüllt
Wühlischstr. 8, Holteistraße 26	Wohngebiet Tag + Nacht	≥ 3,5 m ¹⁾	≥ 4,5 m ¹⁾	4,5 m	erfüllt
Boxhagener Str. 48, Holteistr. 23	Wohngebiet Tag + Nacht	≥ 3,5 m ¹⁾	≥ 4,5 m ¹⁾	5,5 m	erfüllt
Holteistraße 6 (Gaststätte)	Gewerbe Tag	≥ 3,5 m	≥ 5,0 m	9,5 m	für Gewerbe erfüllt
Sonntagstraße 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, Lenbachstraße 7a, 13b, Böcklinstraße 6	Wohngebiet Tag + Nacht	≥ 5,5 m	≥ 8,0 m	10 - 13 m	erfüllt
Sonntagstraße 15, 22, Holteistraße 30	Wohngebiet Tag + Nacht	≥ 5,5 m	≥ 8,0 m	16 - 17 m	erfüllt
Türirschmidtstraße 1	Wohngebiet Tag + Nacht	≥ 8,0 m	≥ 11,5 m	13 m	erfüllt
Marktstraße 13, Schreiberhauer Straße 48	Mischgebiet Tag + Nacht	≥ 6,5 m	≥ 9,5 m	15,5 m	erfüllt
Marktstraße 10	Jugendherberge Mischgebiet Tag + Nacht	≥ 6,5 m	≥ 9,5 m	17 m	erfüllt

Tab. 8 (Fortsetzung)

Gebäude	Charakteristik	Mindestabstände zur Einhaltung der Anhaltswerte KB_{FTr}			Bewertung Mindestabstand
		Soll Holzbalkendecke	Soll Massivdecke	Ist	
Marktstraße 1, 2, Pfarrstraße 146, Neue Bahnhofstraße 36	Wohngebiet Tag + Nacht	> 8,0 m	> 11,5 m	23 - 34 m	erfüllt
Marktstraße 3	Schule Tag	> 8,0 m	> 11,5 m	23 m	erfüllt
Neue Bahnhofstraße 37 (ehem. Beamtenwohnhaus)	Mischgebiet Tag	> 6,5 m	> 9,5 m	7,5 m	H erfüllt M nicht erf.

Für die nächstgelegenen Gebäude mit bestehender Wohnnutzung sind detaillierte Prognoseberechnungen in Anhang 4 enthalten, sowie Lagepläne mit Abstandslinien für Holzbalken- und Massivdecken, bei denen der Anhaltswert A_r für Wohngebiete eingehalten wird (Anhang 4.2).

Die Minderungswirkung versteht sich als im Vergleich zu einem gleichartigen Oberbau ohne Einbau elastischer Schichten.

Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengefasst:

Tab. 9 Prognoseergebnis für Gebäude in $\geq 8,0$ m Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse, Baubereich mit Minderungsmaßnahme, 30 km/h

Sonntagstr. 24-31, 10245 Berlin - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Holzbalkendecke				8,0 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB_{Fmax}	$KB_{FTr, Tag}$	$KB_{FTr, Nacht}$	Sekundärer Luftschall in dB(A)	$L_{sek, max}$	$L_{sek, m}$	$L_{sek, n}$
Prognoseergebnis	0,24	0,06	0,03	Prognoseergebnis	42,7	31,7	24,9
Anhaltswert $A_{u, r}$ nach DIN 4150-2, Tab.1	0,23	0,15	0,11	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	ja	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz (6 dB)			
Prognoseergebnis	0,17	0,28					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					
Sonntagstr. 24-31, 10245 Berlin - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Massivdecke				8,0 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB_{Fmax}	$KB_{FTr, Tag}$	$KB_{FTr, Nacht}$	Sekundärer Luftschall in dB(A)	$L_{sek, max}$	$L_{sek, m}$	$L_{sek, n}$
Prognoseergebnis	0,40	0,10	0,05	Prognoseergebnis	47,1	35,8	29,0
Anhaltswert $A_{u, r}$ nach DIN 4150-2, Tab.1	0,23	0,15	0,11	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	ja	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz (6 dB)			
Prognoseergebnis	0,17	0,47					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

Tab. 10 Prognoseergebnis für Gebäude in $\geq 4,5$ m Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse, Baubereich mit Minderungsmaßnahme, 15 km/h im Kurvenbereich

Wühlichstr. 8 / Holteistr. 26, 10245 Berlin - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Holzbalkendecke				4,5 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)	L _{90k, max}	L _{90k, m}	L _{90k, n}
Prognoseergebnis	0,30	0,07	0,03	Prognoseergebnis	44,0	32,4	25,6
Anhaltswert A _u , A, nach DIN 4150-2, Tab.1	0,23	0,15	0,11	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	ja	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz (6 dB) -> 15 km/h			
Prognoseergebnis	0,21	0,32					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					
Wühlichstr. 8 / Holteistr. 26, 10245 Berlin - Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte), Massivdecke				4,5 m	Gebiet: W		
Bewertete Schwingstärke KB	KB _{Fmax}	KB _{FTr, Tag}	KB _{FTr, Nacht}	Sekundärer Luftschall in dB(A)	L _{90k, max}	L _{90k, m}	L _{90k, n}
Prognoseergebnis	0,55	0,13	0,06	Prognoseergebnis	48,8	36,9	30,0
Anhaltswert A _u , A, nach DIN 4150-2, Tab.1	0,23	0,15	0,11	Richtwert i. Anl. an 24. BImSchV	-	40	30
Überschreitung	ja	nein	nein	Überschreitung	-	nein	nein
Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	Fundam.	Decke		Grundlage: Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz (6 dB) -> 15 km/h			
Prognoseergebnis	0,21	0,59					
Anhaltswert nach DIN 4150-3	5	20					
Überschreitung	nein	nein					

Zusammenfassende Bewertung - Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

In Wohngebäuden im Bereich mit der o. g. Erschütterungsschutz-Maßnahme wird der Anhaltswert A_r nach DIN 4150-2 am Tage überschritten, wenn diese näher an der Gleisachse liegen als

5,5 m (Holzbalkendecken) bzw. **8,0 m** (Massivdecken) für Allgemeine Wohngebiete
4,5 m (Holzbalkendecken) bzw. **6,5 m** (Massivdecken) für Mischgebiete.

Im Bereich der Gleiskurven zur Wühlischstraße und Boxhagener Straße gilt dies für:

3,5 m (Holzbalkendecken) bzw. **4,5 m** (Massivdecken) für Allgemeine Wohngebiete

Alle mehrgeschossigen Gebäude mit Wohnungen oder vergleichbarer Nutzung in der Nachbarschaft des Bauvorhabens liegen in größerem Abstand. Daher wird mit einer Oberbau-Ausführung, welche die beschriebene Minderungswirkung aufweist, der Anhaltswert A_r (Tag) vollständig eingehalten.

In der Nacht wird der Anhaltswert A_r aufgrund der geringen Fahrzeugzahl sicher eingehalten. Der Richtwert für den zulässigen sekundären Luftschallpegel L_{sek} wird ebenfalls eingehalten.

Die für die nächstgelegenen Wohngebäude berechneten maximalen bewerteten Schwingstärken von $KB_{\text{Fmax}} = 0,21$ (Holzbalkendecke) bzw. $KB_{\text{Fmax}} = 0,36$ (Massivdecke) überschreiten die unteren Anhaltswerte der Norm DIN 4150-2 für Wohngebiete von $A_u = 0,23$ tags und $A_u = 0,15$ nachts. Dies ist zulässig, da nachgewiesen wird, dass die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} die zugehörigen Anhaltswerte A_r nicht überschreitet (vgl. Schema Abb. 1 auf Seite 7). Erhebliche Belästigungen durch Erschütterungen aus dem Straßenbahnbetrieb sind somit nicht zu erwarten.

Das Gebäude Neue Bahnhofstraße 37 (derzeit leerstehend) ist nach derzeitigem Kenntnisstand nicht für eine schutzbedürftige Nutzung vorgesehen. Die DB Netz AG beabsichtigt den Verkauf des Gebäudes, alle Bewerber planen dort Gewerberäume und im EG Gastronomie. Wohnungen sind nicht vorgesehen. Die Anhaltswerte für Gewerbegebiete werden tags und nachts ohne Erschütterungs-Minderungsmaßnahme eingehalten. Gebäudeschäden können auch hier sicher ausgeschlossen werden.

Zusammenfassende Bewertung - Gebäudeschäden

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

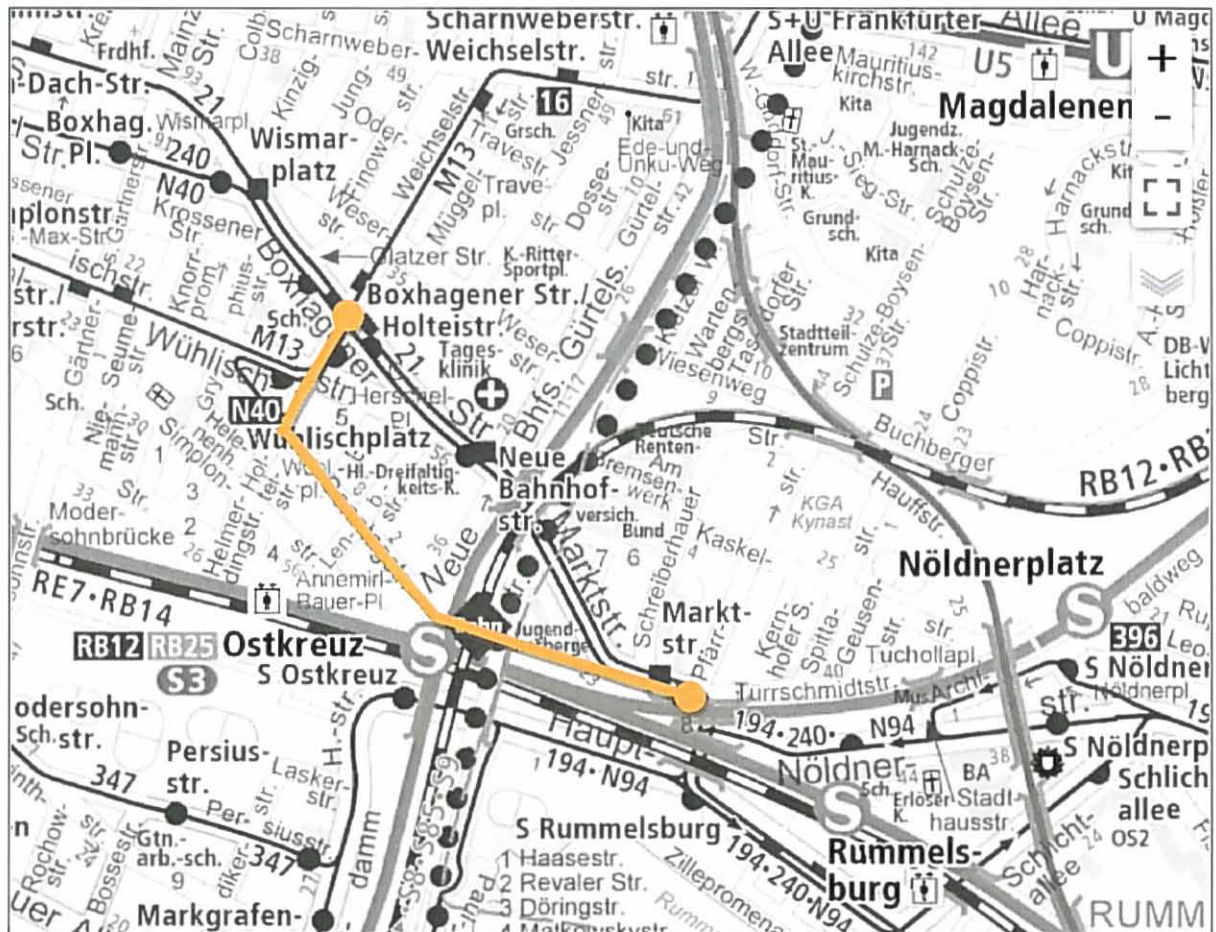
Gebäudeschäden sind durch den Straßenbahnverkehr daher mit hoher Sicherheit nicht zu erwarten.

6. Normen und Literatur

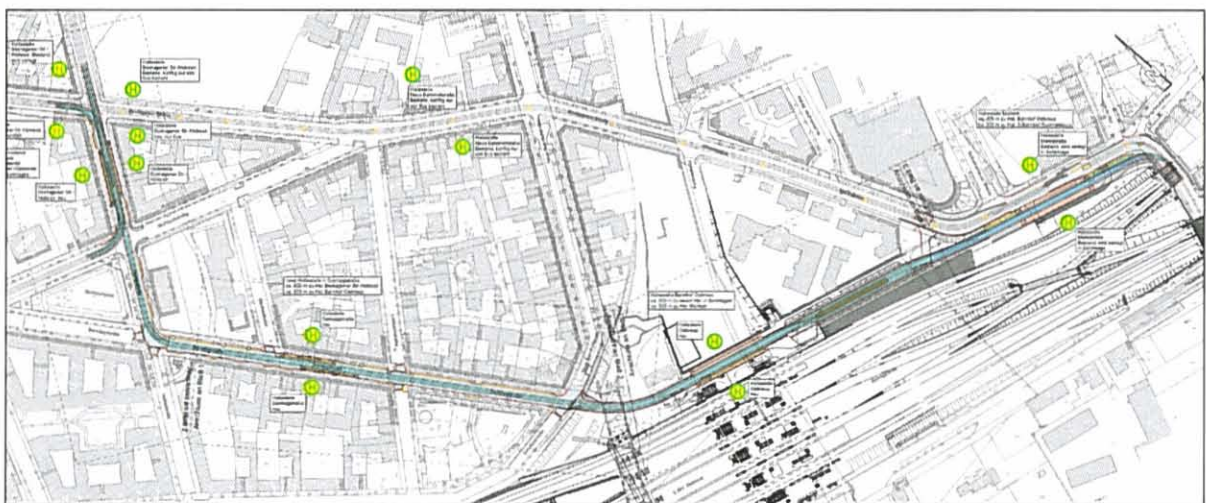
- [1] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990; BGBl Teil I, Jg. 1990, zuletzt geändert am 18.12.2014 BGBl Jg. 2014 Teil I Nr. 61
- [2] Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert 2. Juli 2013 (BGBl.-I S. 1943)
- [3] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung - BauNVO); BGBl. I, S. 133 vom 26.01.1990, zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Mai 2017 (BGBl. I S. 1057)
- [4] 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
- [5] Umwelt-Leitfaden zur eisenbahnrechtlichen Planfeststellung und Plangenehmigung sowie für Magnetschwebebahnen, Teil VI Schutz vor Schallimmissionen aus Schienenverkehr; Eisenbahn-Bundesamt Berlin; Dezember 2012
- [6] DIN 4150; Teil 2; Juni 1999: Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
- [7] DIN 4150; Teil 3; Dezember 2016: Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf bauliche Anlagen
- [8] DIN 45672-1; Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenwegen; Teil 1: Messverfahren; Dezember 2009
- [9] DIN 45669-2; Messung von Schwingungsimmissionen, T. 2: Messverfahren, Juni 2005
- [10] VDI 3837; Erschütterung in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen, Januar 2013
- [11] Erschütterungen und sekundärer Luftschall; Richtlinie 820.2050, Deutsche Bahn AG, Bautechnik, Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik, 01.01.2017
- [12] Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes Az. BVerwG 7A14.09 vom 21.12.2010
- [13] VDI 2057 Blatt 3; Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Beurteilung; Ausgabe Mai 1987
- [14] Keil, Koch, Garburg: Schutz vor Lärm und Erschütterungen, in: Handbuch Eisenbahninfrastruktur, S. 785ff., Springer-Verlag Berlin/Heidelberg, 2007
- [15] Krüger, F. u.a.: Schall- u. Erschütterungsschutz im Schienenverkehr, expert-Verlag, Renningen, 2001; S. 451
- [16] Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg, Schlussbericht, DB Netz AG, Frankfurt/M., 15.06.2012
- [17] Betriebsprogramm: Westlich Ostkreuz/Sonntagstraße und östlich Ostkreuz / Marktstraße, Stand 29.02.2016, Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) + E-Mail SenUVK, Abt. IV Ref. A, Frau Fronzke, vom 06.07.2017

7. Anhänge

Anhang 1 Übersichtslageplan



Bildquelle: Berliner Verkehrsbetriebe



VCDB, Übersichts-Lageplan 1:500 (verkleinerte Darstellung)

Anhang 2 Emissionsdaten der Straßenbahn

Anhang 2.1 Emissionsspektrum des Straßenbahnverkehrs

Mittleres Terz-Maximalspektrum der Schwinggeschwindigkeit

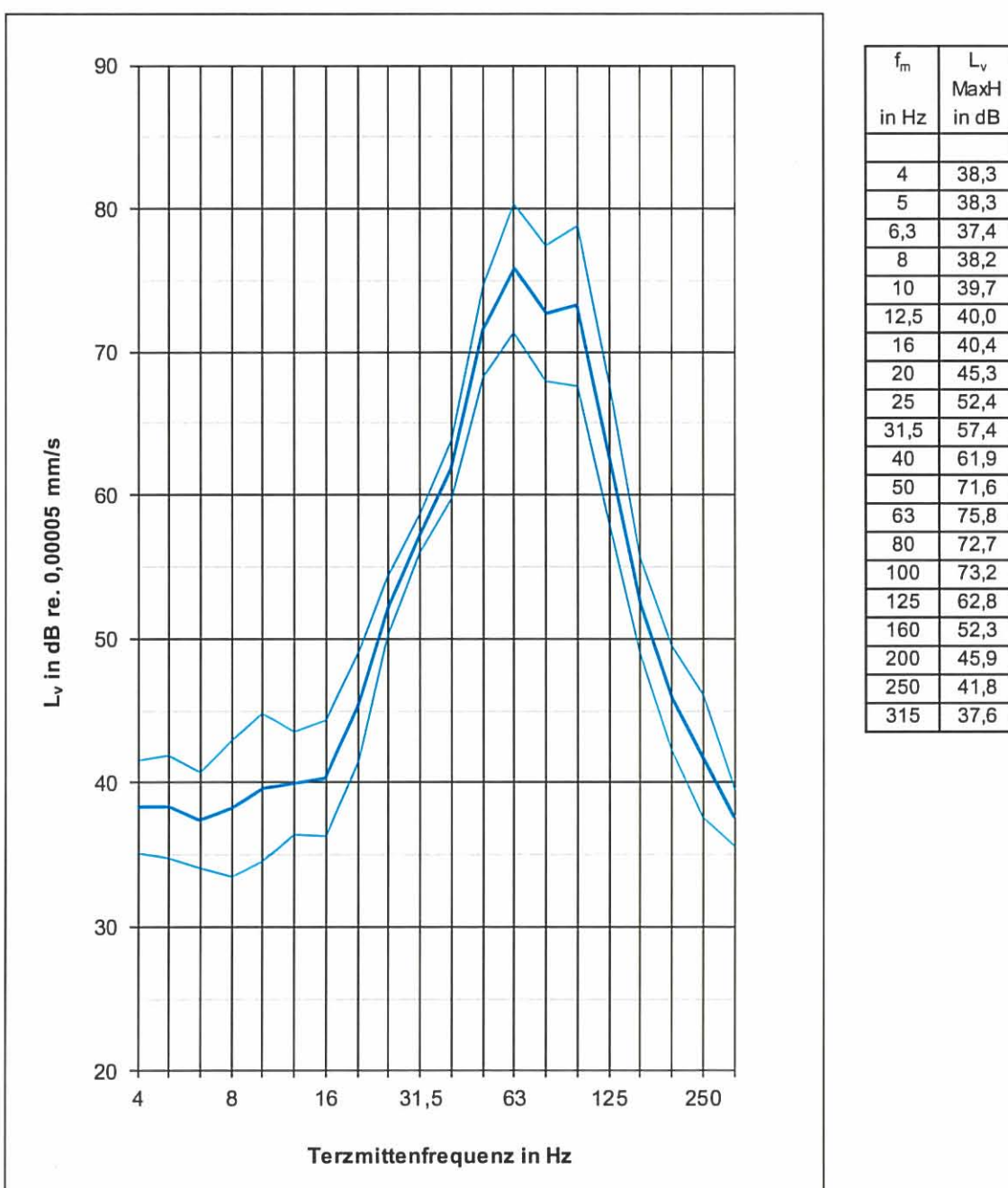
Messobjekt: Erdboden, Kastanienallee 7/9, 10435 Berlin

Datum: 13.10.2016

Zuggattung: 15xx / 10xx, Linien M1 und 12 Geschwindigkeit: 27 - 34 km/h

Gleis: Richtung Mitte / Am Kupfergraben Vorbeifahrten: 7

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



Darstellung: energetischer Mittelwert der Maximalspektren mit Streubereich (Standardabweichung)

Messprotokoll der Erschütterungs-Emissionsmessung

I. Allgemeine Angaben

Messpersonal: Dipl.-Ing. (FH) Bianca Ulfik
Dipl.-Ing. Lorenz Wiedemann
Tim Scheurer (Messgehilfe cdf)

Ort: 10435 Berlin, Kastanienallee 7/9

Datum, Zeit: 13.10.2016, 11:30 - 13:30 Uhr

II. Gegenstand der Messungen

- DIN 45672 Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen
Teil 1 - Messverfahren, Ausgabe 09/91 [8]
Teil 2 - Auswerteverfahren, Ausgabe 07/95

III. Betriebsbedingungen, Oberbau

- Messung während Straßenbahn-Vorbeifahrten (Regelbetrieb) in der Richtung Mitte / Am Kupfergraben (nächstgelegenes Gleis)
Linien M1, M12 mit der Fahrzeugreihe GT6
- Oberbau-Typ "NBS" (Neues Berliner Straßenbahngleis), saniert/errichtet 2006

IV. Messgeräte

Funktion	Typ	Serien-Nr.	Fabrikat
Schwingungsmessgerät 2 mit 4 x 1D-Geophon	SMK-1	00620290	Dr. Kebe
Radar-Geschwindigkeitsmesser	Speedster III	Bushnell	5830A-1019210
PC-Messsystem	MEDA	MEDA 2016-1	WÖLFEL Monitoring Systems

Die verwendeten Messaufnehmer entsprechen der Klasse 2 nach DIN 45669-1. Die letzte Kalibrierung mithilfe eines akkreditierten Kalibrierlaboratoriums erfolgte am 05.06.2014. Die Funktionsfähigkeit der Messkette wurde am Messort mittels Probeanregung (Klopfest) überprüft.

V. Durchführung der Messungen

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

VI. Messpunkte

- Erdspeiß im Boden, 8 m, 16 m, 32 m und 62 m zur nächstgelegenen Gleisachse; Messung in z-Richtung (vertikal)

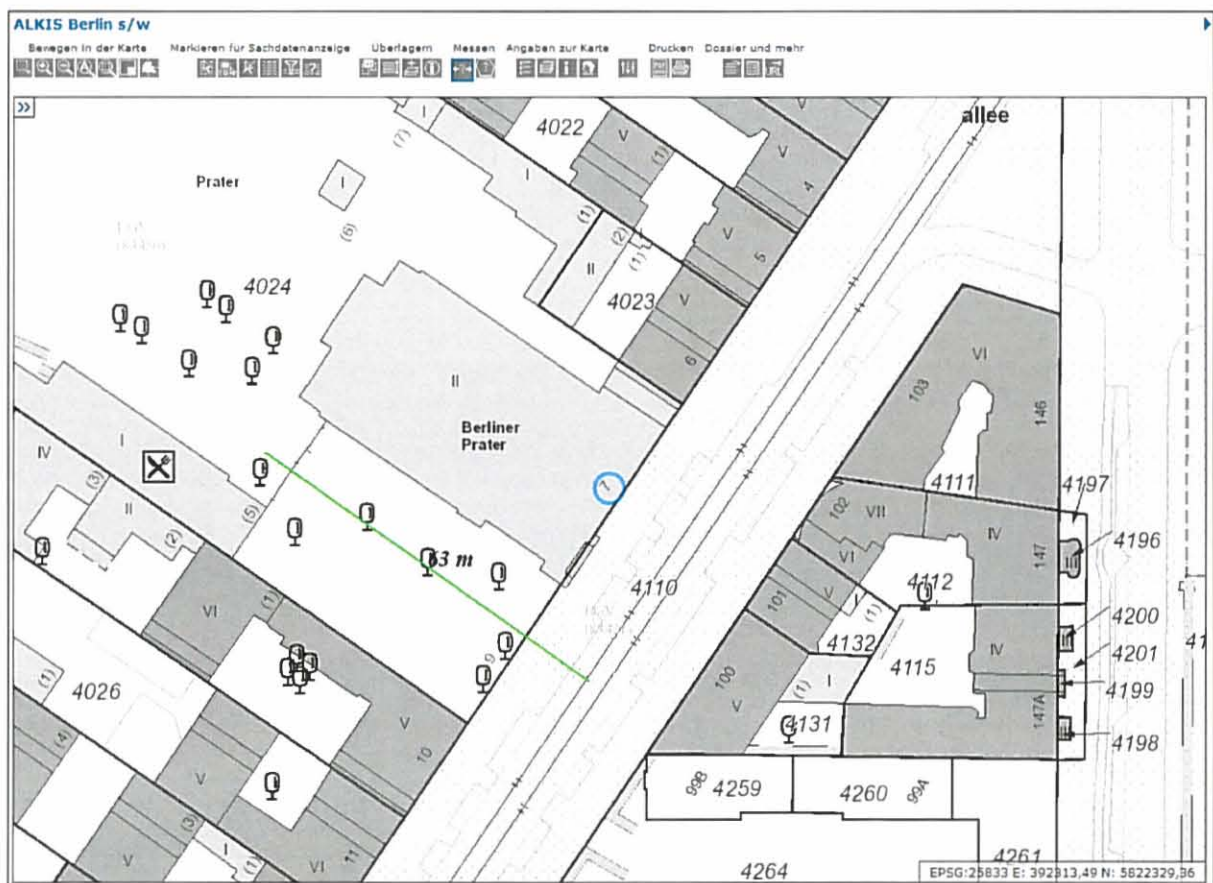


Abb. 2 Lageplan des Messortes (Messpunkte entlang der grün dargestellten Linie)

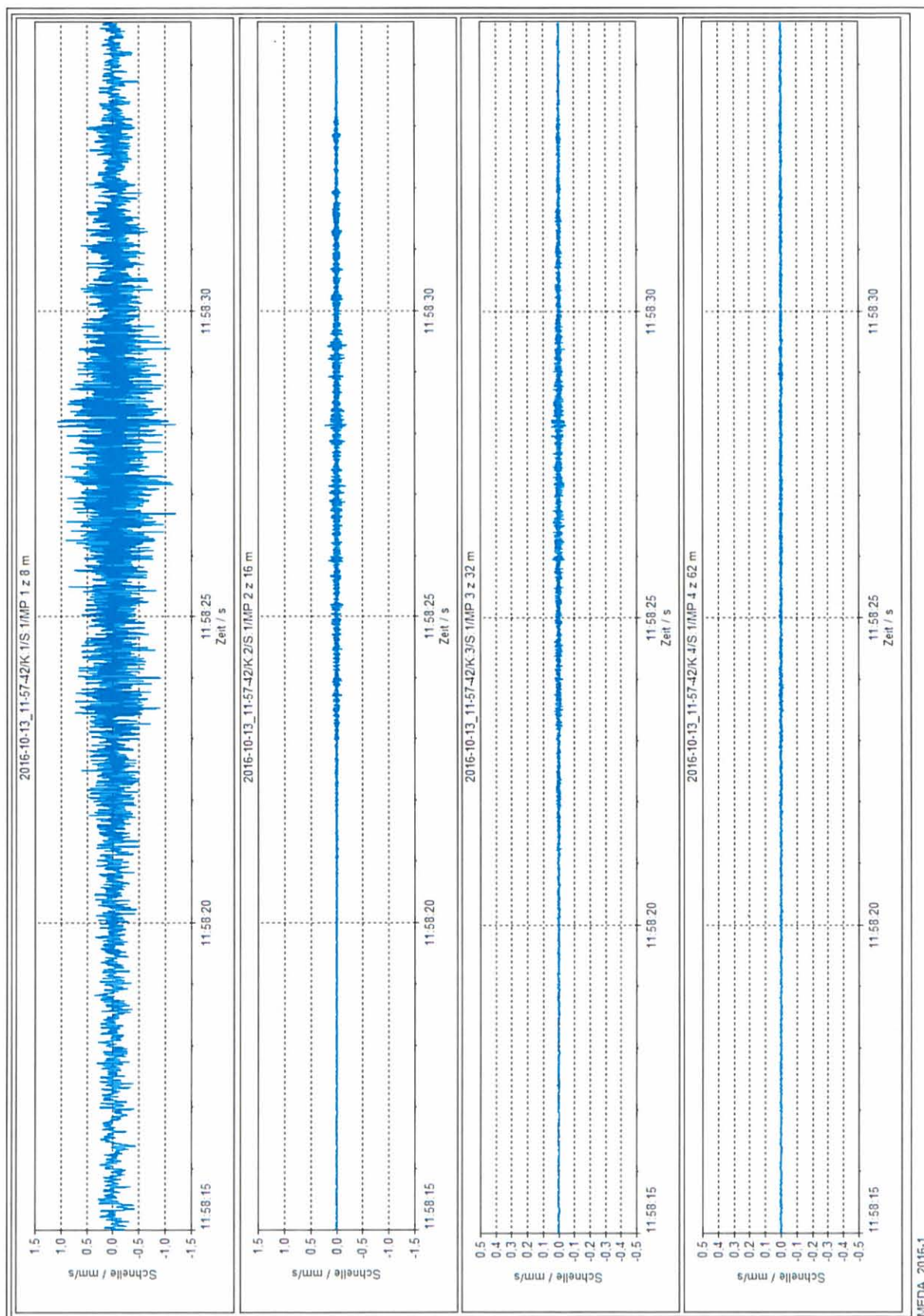


Abb. 3 Messaufnehmer in 8 m Abstand



Abb. 4 Gleiszustand zum Zeitpunkt der Messung

Schwinggeschwindigkeits-Zeitverlauf einer ausgewählten Vorbeifahrt



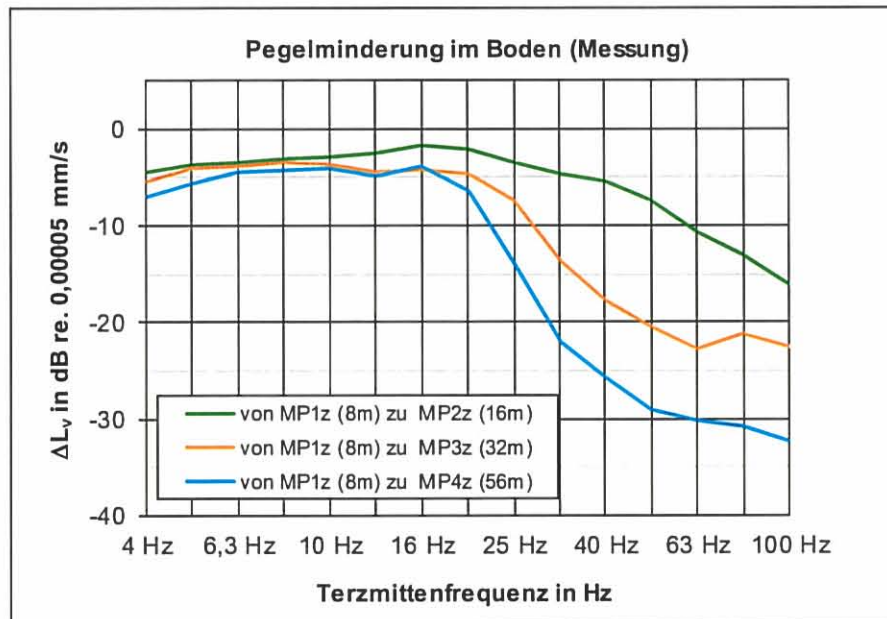
Anhang 2.2 Ausbreitungsdämpfung des Erdbodens

Übertragungsfaktor (Pegeldifferenz) vom 8 m-Messpunkt aus

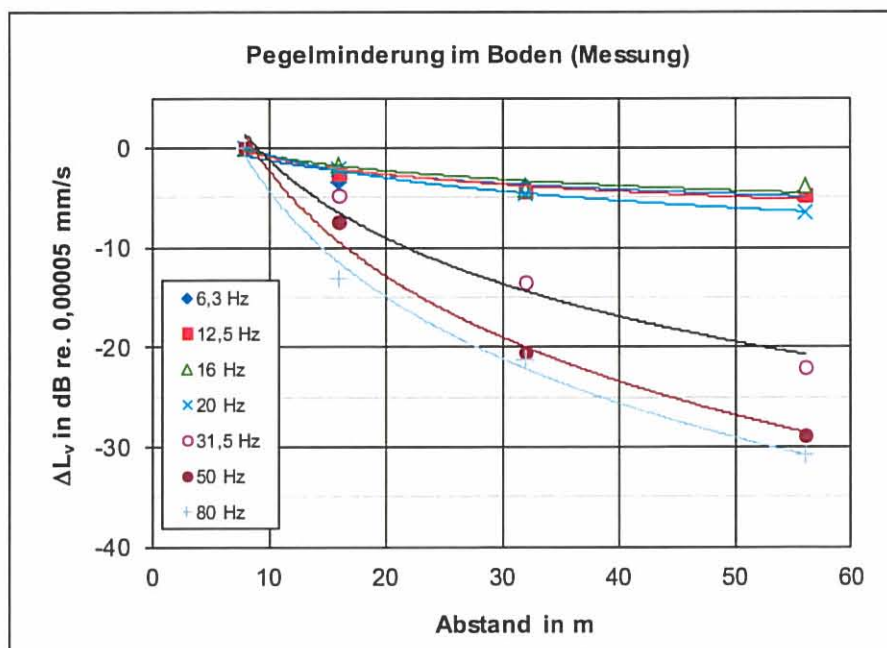
Messobjekt: Erdboden, Kastanienallee 7/9, 10435 Berlin

Datum: 13.10.2016

Gleis: Richtung Mitte / Am Kupfergraben

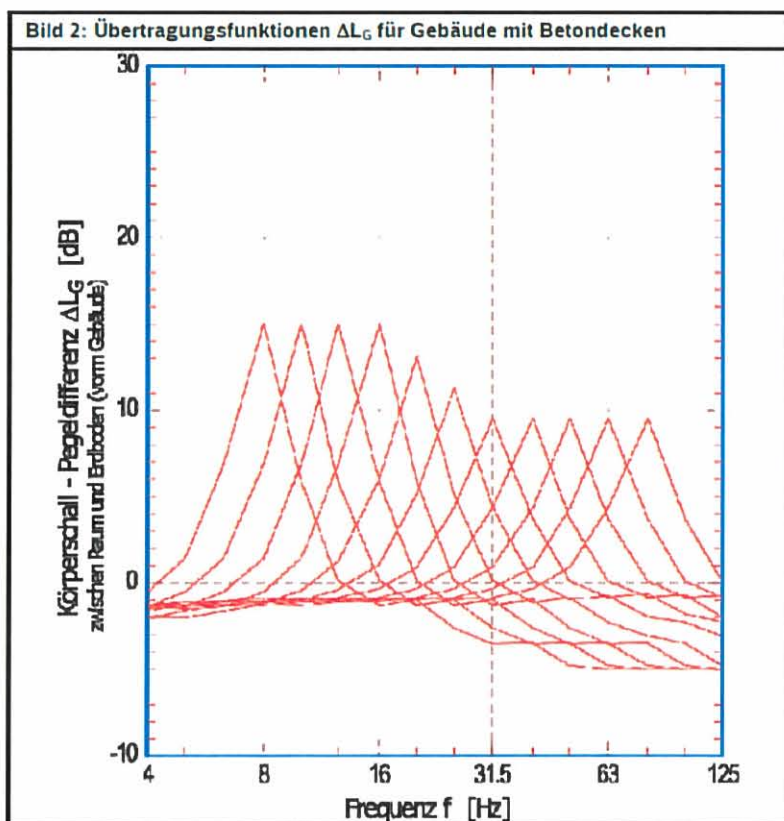
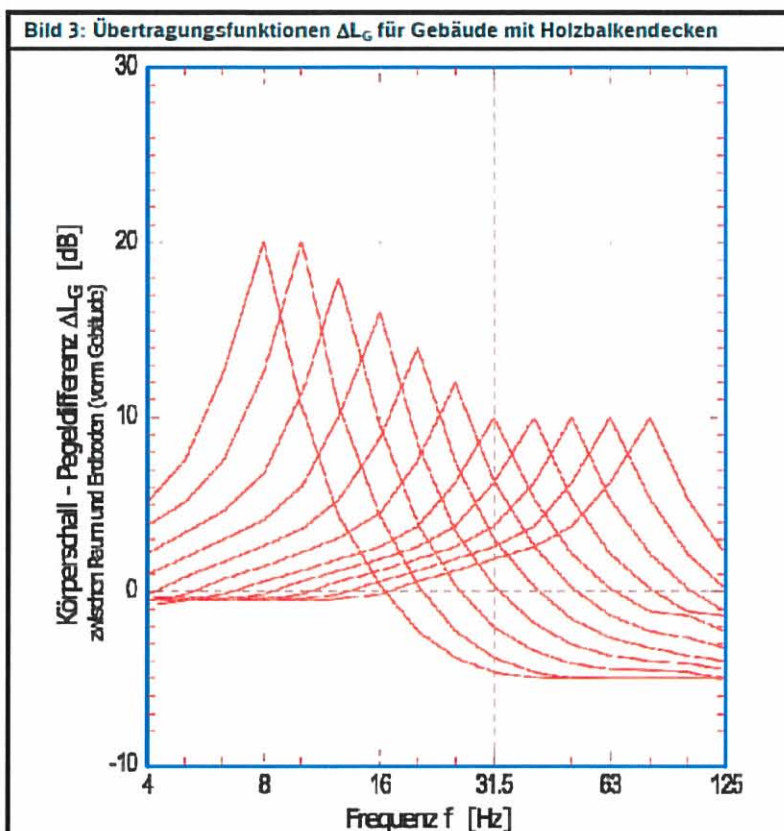


logarithmische Trendlinien der Ausbreitungsdämpfung, ausgewählte Terzbänder



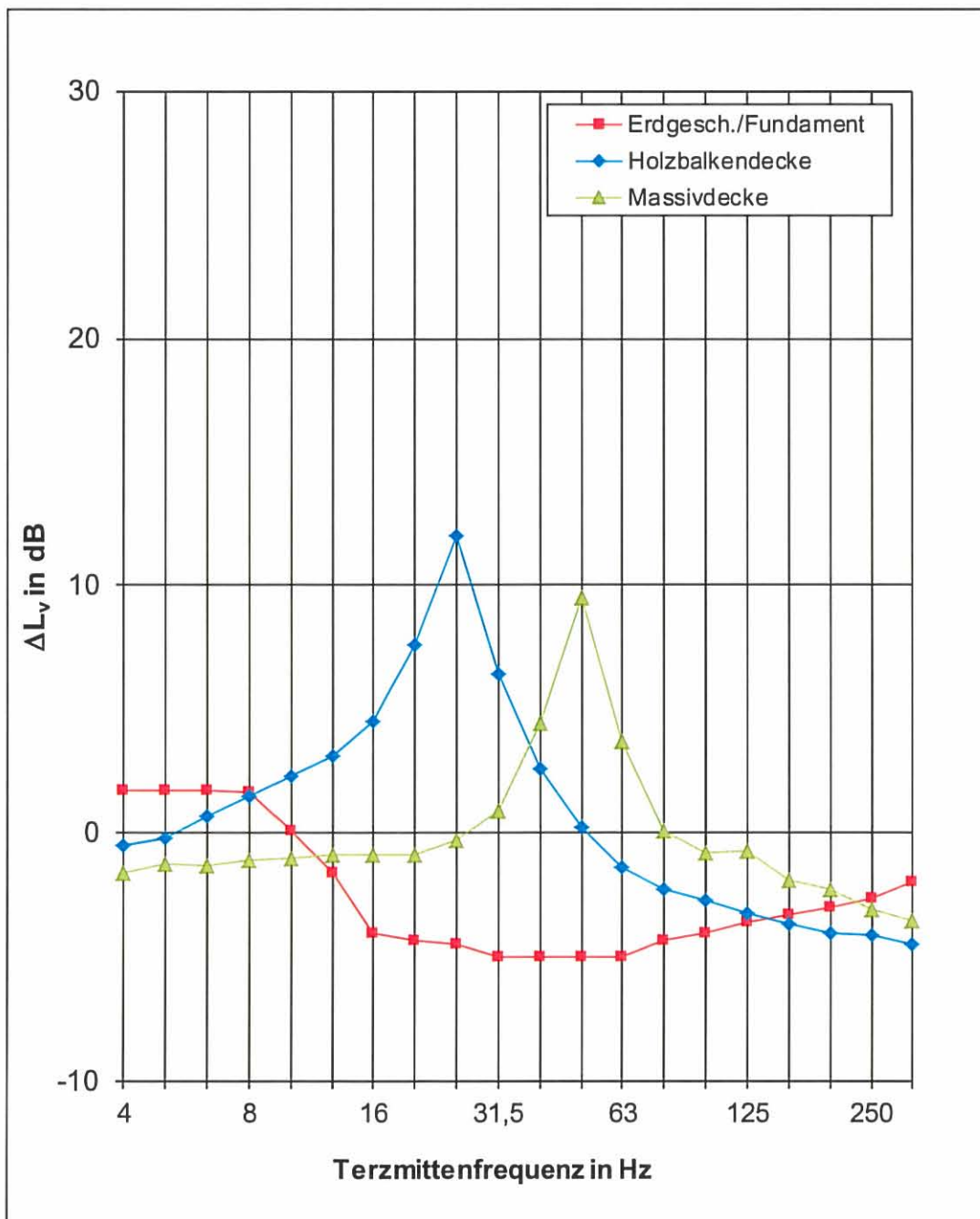
Darstellung: Pegel-Differenz der Mittelungsspektren ($L_{v,eq}$); >0 dB = Verstärkung im Ausbreitungsweg

Anhang 2.3 Gebäudeübertragungsfunktion



Angewendete Übertragungsfunktionen für die Prognose:

- vom Erdboden in Gebäude mit Holzbalkendecken, typische Eigenfrequenz 25 Hz
- vom Erdboden in Gebäude mit Massivdecken, typische Eigenfrequenz 50 Hz
- vom Erdboden zum Fundament/Erdbgeschoss (nach: LIS-Berichte; Nr. 107 - Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen, NRW 1992, Bild 7.8a)



Anhang 3 Erschütterungsprognose ohne Minderungsmaßnahmen

Anhang 3.1 Prognose für nächstgelegene Gebäude

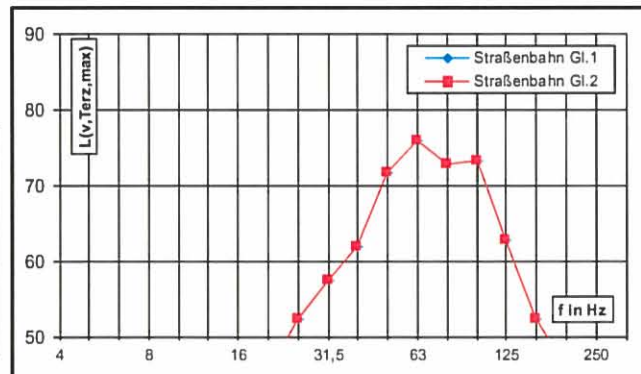
Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

Sonntagstr. 24-31, 10245 Berlin			Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)		Planfall	
Gebietstyp	W	W = Wohngebiet	Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts	
		M = Mischgebiet / Außenb.		unterer Anhaltswert A_u	0,23	0,15
		G = Gewerbegebiet		oberer Anhaltswert A_o	3,00	0,60
		I = Industriegebiet		Anhaltswert A_r	0,11	0,08
		K = besondere Gebiete				

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 5 \cdot 10^{-6} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

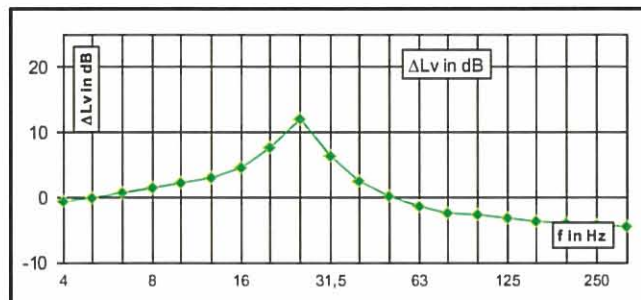
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenbahn Gl.1	30	96	10
Straßenbahn Gl.2	30	96	10
Straßenbahn 30 km/h B NBS ohne elast. Lagerung			



Übertragungsweg

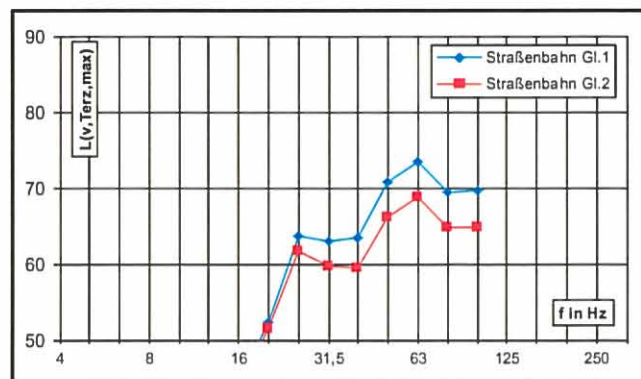
$\Delta L_v = L_v(10) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude

Gebäudeabstand	8,5 m
Deckentyp	Holzbalkendecke



Erschütterungs-Immission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log(v / 10^{-6} \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal



Bewertete Schwingstärke KB

	KB_{Fmax}	KB_{FTT} Tag	KB_{FTT} Nacht
Straßenbahn Gl.1	0,38	0,09	0,04
Straßenbahn Gl.2	0,23	0,05	0,02
gesamt	0,38	0,10	0,05

Sekundärer Luftschall in dB(A)

$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
45,1	34,1	27,3

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2

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

Maximale Schwinggeschwindigkeit v

am Fundament	$v_{max} =$	0,30	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$	0,45	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

Sonntagstr. 24-31, 10245 Berlin

Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)

Planfall

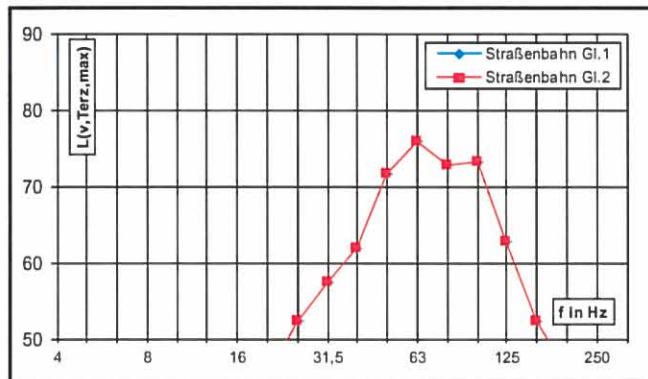
Gebietstyp	W	W = Wohngebiet
		M = Mischgebiet / Außenb.
		G = Gewerbegebiet
		I = Industriegebiet
		K = besondere Gebiete

Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts
unterer Anhaltswert A_u	0,23	0,15
oberer Anhaltswert A_o	3,00	0,60
Anhaltswert A_r	0,11	0,08

Anregung/Quelle

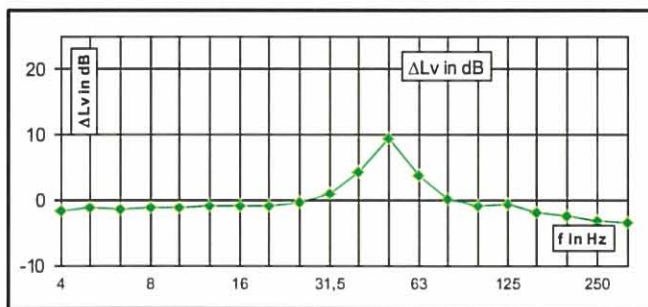
Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenbahn Gl.1	30	96	10
Straßenbahn Gl.2	30	96	10
Straßenbahn 30 km/h B NBS ohne elast. Lagerung			

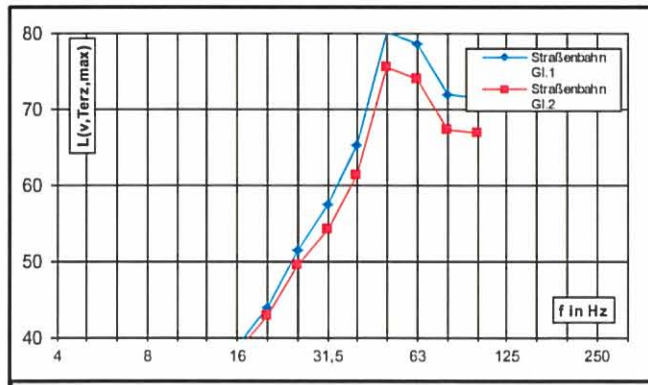
**Übertragungsweg**

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

Gebäudeabstand	8,5 m
Deckentyp	Massivdecke

**Erschütterungs-Immission**

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

**Bewertete Schwingstärke KB**

	KB_{Fmax}	KB_{FTf} Tag	KB_{FTf} Nacht
Straßenbahn Gl.1	0,72	0,16	0,07
Straßenbahn Gl.2	0,42	0,09	0,04
gesamt	0,72	0,19	0,08

Sekundärer Luftschall in dB(A)

$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
50,1	38,9	32,1

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2

KB_{Fmax} $> A_u$	KB_{Fmax} $> A_u$	KB_{Fmax} $> A_o$	KB_{Fmax} $> A_o$	KB_{FTf} $> A_f$	KB_{FTf} $> A_f$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
ja	ja	nein	ja	ja	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v

am Fundament	$v_{max} =$	0,30	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$	0,84	mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3

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

Anhang 3.2 Einwirkungsbereich - betroffene Gebäude (Planfall)

Gebäude im Einwirkungsbereich von Straßenbahn-Erschütterungen

"x": Anhaltswert für Wohngebiete $A_r = 0,11$ (Tag) oder $A_r = 0,08$ (Nacht) nach DIN 4150-3 im Plan-Zustand ohne Minderungsmaßnahmen durch KB_{FT} überschritten

d_{min} , Plan = Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse ^{K)} im Kurvenbereich

d_{min} , Plan in m	Gebäude liegt im Über- schreibungsbereich für Deckentyp:		Straße, Haus-Nr.	Gebiets- einstufung
	Holzbalken	massiv		
9,5 (4,5 ^{K)})	- x	x x	Holteistraße 23 ^{K)} , 24, 24a, 25, 26 ^{K)} Wühlischstr. 8 ^{K)} , 9, Boxhagener Str. 47, 48 ^{K)}	WA
8,5	(-) ²⁾	x	Holteistraße 10, 11, 12, 13	WA
9,5	-	x	Holteistraße 6 (Gaststätte)	WA
16,5	-	-	Sonntagstraße 22	WA
16,5	-	-	Holteistraße 30	WA
8,5	(-) ²⁾	x	Sonntagstraße 24, 25, 26	WA
17	-	-	Sonntagstraße 15	WA
11	-	x	Böcklinstraße 6	WA
8,5	(-) ²⁾	x	Sonntagstraße 27, 28, 29, 30, 31	WA
9,5	-	x	Sonntagstraße 10, 11, 12	WA
10	-	x	Sonntagstraße 8, 9	WA
9	-	x	Lenbachstraße 8	WA
10	-	x	Lenbachstraße 13b	WA
13	-	-	Lenbachstraße 7a	WA
10	-	x	Sonntagstraße 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	WA
34	-	-	Neue Bahnhofstraße 36	WA
7	x	x	Neue Bahnhofstraße 37 ¹⁾	Bahngelände
17	-	-	Marktstraße 10 (Jugendherberge)	MI
15,5	-	-	Marktstraße 13	MI
33	-	-	Schreiberhauer Straße 48	MI
23	-	-	Marktstraße 1, 2, 3 (Schule)	WA/Sch
25	-	-	Pfarrstraße 146	WA
13	-	-	Türschmidtstraße 1	WA

¹⁾ Schutzanspruch entsprechend voraussichtlicher Nutzung nur am Tage (Büro u. ä.)

²⁾ im Grenzbereich, aufgrund von Prognosegenauigkeit als betroffen einzustufen

Abstandslinien für die Einhaltung von A_r (Tag), ohne Minderungsmaßnahmen:

	Wohngebiet, $A_r = 0,11$	Mischgebiet, $A_r = 0,15$	Gewerbegebiet, $A_r = 0,225$
Holzbalkendecke (Resonanzfrequenz 25 Hz)	$d_{min} = 8,0 \text{ m}$	$d_{min} = 6,5 \text{ m}$	$d_{min} = 5,5 \text{ m}$
Massivdecke (Resonanzfrequenz 50 Hz)	$d_{min} = 11,5 \text{ m}$	$d_{min} = 9,5 \text{ m}$	$d_{min} = 7,5 \text{ m}$

Abstandslinien für die Einhaltung von $v_{max} = 3 \text{ mm/s}$, ohne Minderungsmaßnahmen:

(empfindlichste Gebäudekategorie nach DIN 4150-2) $d_{min} = 2,2 \text{ m}$

Anhang 4 Erschütterungsprognose mit Minderungsmaßnahmen

Anhang 4.1 Prognose für nächstgelegene Gebäude

Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

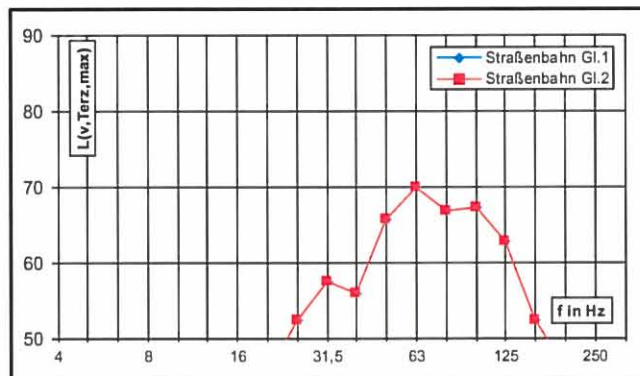
Sonntagstr. 24-31, 10245 Berlin			Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)		Planfall	
Gebietstyp	M	W = Wohngebiet	Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2		tags	nachts
		M = Mischgebiet / Außenb.	unterer Anhaltswert A _u		0,30	0,23
		G = Gewerbegebiet	oberer Anhaltswert A _o		5,00	0,60
		I = Industriegebiet	Anhaltswert A _i		0,15	0,11
		K = besondere Gebiete				

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-6} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenbahn Gl.1	30	96	10
Straßenbahn Gl.2	30	96	10

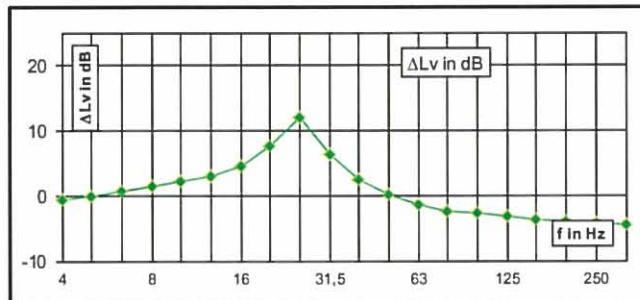
Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz (6 dB)



Übertragungsweg

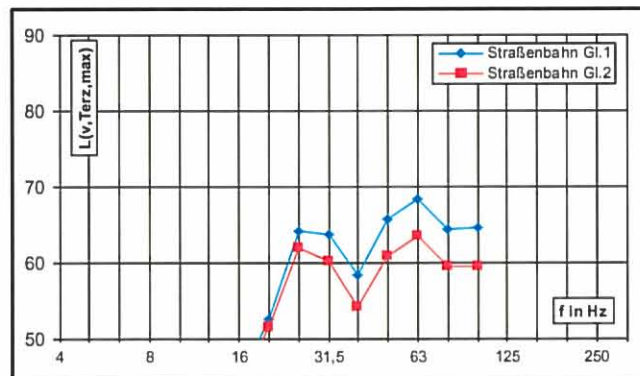
$\Delta L_v = L_v(10) - L_v(8\text{m-MP})$ in dB
vom 8 m-Punkt zum Gebäude

Gebäudeabstand	8,0 m
Deckentyp	Holzbalkendecke



Erschütterungs-Immission

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 10^{-6} \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal



Bewertete Schwingstärke KB

	KB_{Fmax}	KB_{FTr} Tag	KB_{FTr} Nacht
Straßenbahn Gl.1	0,24	0,05	0,02
Straßenbahn Gl.2	0,14	0,03	0,01
gesamt	0,24	0,06	0,03

Sekundärer Luftschall in dB(A)

$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
42,7	31,7	24,9

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2

KB_{Fmax} $> A_u$	KB_{Fmax} $> A_u$	KB_{Fmax} $> A_o$	KB_{Fmax} $> A_o$	KB_{FTr} $> A_i$	KB_{FTr} $> A_i$
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
nein	ja	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v

am Fundament	$v_{max} =$	0,17 mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$	0,28 mm/s

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3

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

Erschütterungsprognose - Straßenbahnverkehr

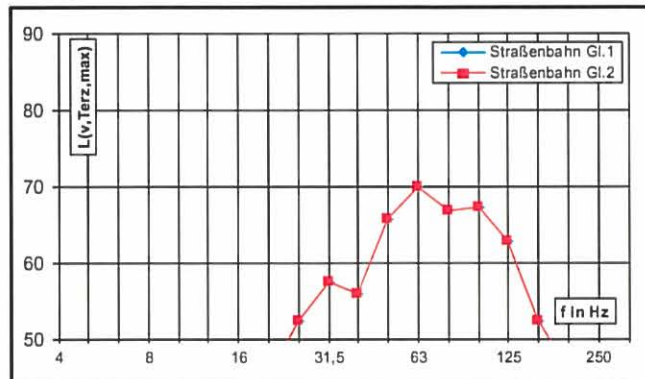
Sonntagstr. 24-31, 10245 Berlin			Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)		Planfall	
Gebietstyp	M	W = Wohngebiet	Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts	
		M = Mischgebiet / Außenb.		unterer Anhaltswert A_u	0,30	0,23
		G = Gewerbegebiet		oberer Anhaltswert A_o	5,00	0,60
		I = Industriegebiet		Anhaltswert A_f	0,15	0,11
		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

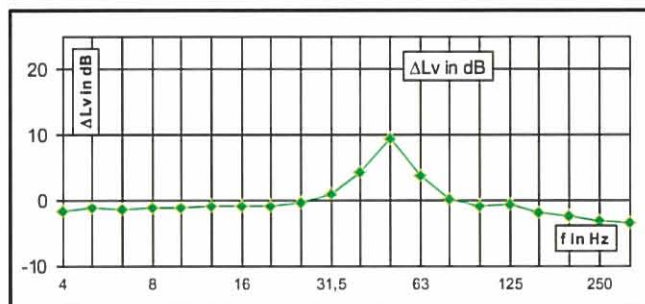
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenbahn Gl.1	30	96	10
Straßenbahn Gl.2	30	96	10

Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz (6 dB)

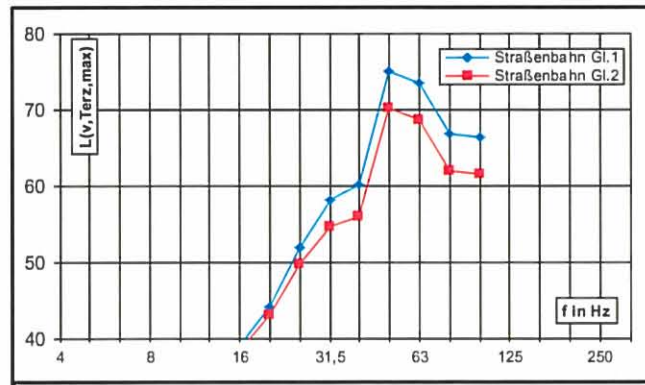
**Übertragungsweg**

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

Gebäudeabstand	8,0 m
Deckentyp	Massivdecke

**Erschütterungs-Immission**

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



Bewertete Schwingstärke KB			
	KB_{Fmax}	KB_{FTr} Tag	KB_{FTr} Nacht
Straßenbahn Gl.1	0,40	0,09	0,04
Straßenbahn Gl.2	0,23	0,05	0,02
gesamt	0,40	0,10	0,05

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
47,1	35,8	29,0

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

Maximale Schwinggeschwindigkeit v			
am Fundament	$v_{max} =$	0,17	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$	0,47	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

Wühlichstr. 8 / Holteistr. 26, 10245 Berlin Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte) Planfall

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

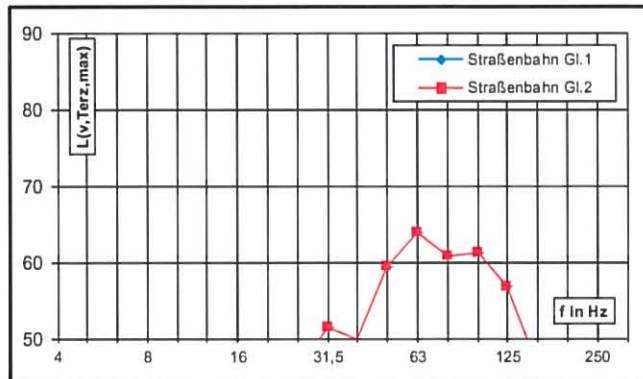
Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts
unterer Anhaltswert A_u	0,30	0,23
oberer Anhaltswert A_o	5,00	0,60
Anhaltswert A_f	0,15	0,11

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-6} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

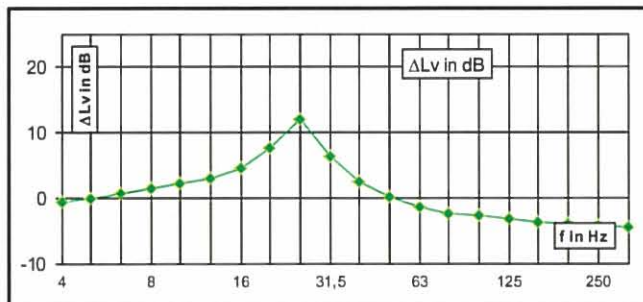
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenbahn Gl.1	15	96	10
Straßenbahn Gl.2	15	96	10

Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz (6 dB) -> 15 km/h

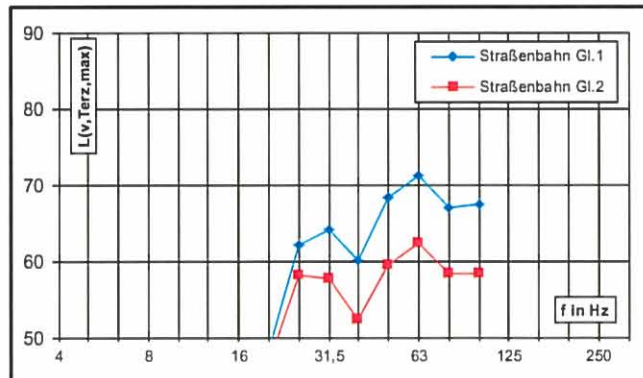
**Übertragungsweg**

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

Gebäudeabstand	4,5 m
Deckentyp	Holzbalkendecke

**Erschütterungs-Immission**

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 10^{-6} \odot 5 \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal

**Bewertete Schwingstärke KB**

	KB_{Fmax}	KB_{FTI} Tag	KB_{FTI} Nacht
Straßenbahn Gl.1	0,30	0,07	0,03
Straßenbahn Gl.2	0,12	0,03	0,01
gesamt	0,30	0,07	0,03

Sekundärer Luftschall in dB(A)

$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
44,0	32,4	25,6

Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2

KB_{Fmax} > A_u	KB_{Fmax} > A_u	KB_{Fmax} > A_o	KB_{Fmax} > A_o	KB_{FTI} > A_f	KB_{FTI} > A_f
Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
ja	ja	nein	nein	nein	nein

Maximale Schwinggeschwindigkeit v

am Fundament	$v_{max} =$	0,21	mm/s
auf der Geschossdecke	$v_{max} =$	0,32	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

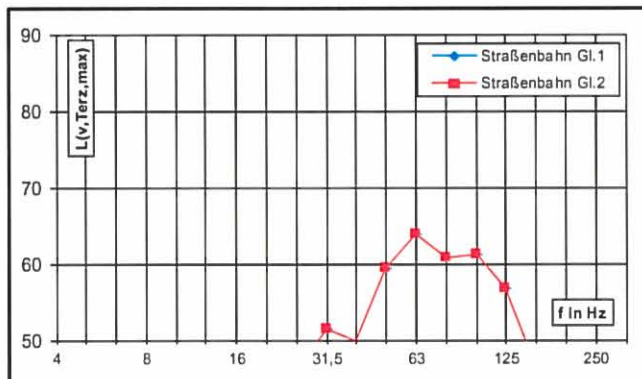
Wühlischstr. 8 / Holteistr. 26, 10245 Berlin			Obergeschoss, Wohnraum (Deckenmitte)		Planfall	
Gebietstyp	M	W = Wohngebiet	Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2		tags	nachts
		M = Mischgebiet / Außenb.	unterer Anhaltswert A_u		0,30	0,23
		G = Gewerbegebiet	oberer Anhaltswert A_o		5,00	0,60
		I = Industriegebiet	Anhaltswert A_i		0,15	0,11
		K = besondere Gebiete				

Anregung/Quelle

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 5 \cdot 10^{-6} \text{ mm/s})$
im Boden, 8 m von der Gleisachse

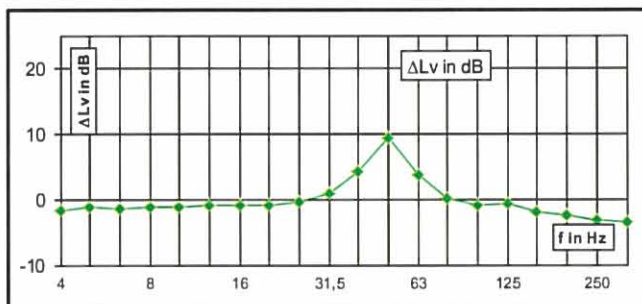
Emissionsspektrum		Anzahl Züge	
Zugtyp	v in km/h	Tag	Nacht
Straßenbahn Gl.1	15	96	10
Straßenbahn Gl.2	15	96	10

Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz (6 dB) \rightarrow 15 km/h

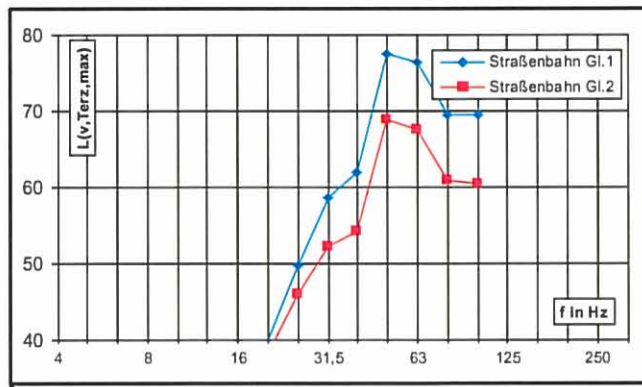
**Übertragungsweg**

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

Gebäudeabstand	4,5 m
Deckentyp	Massivdecke

**Erschütterungs-Immission**

Terzspektrum, $L_v = 20 \log (v / 10^{-6} \text{ mm/s})$
auf der Geschossdecke, vertikal



Bewertete Schwingstärke KB			
	KB_{Fmax}	KB_{FTF} Tag	KB_{FTF} Nacht
Straßenbahn Gl.1	0,55	0,12	0,06
Straßenbahn Gl.2	0,20	0,04	0,02
gesamt	0,55	0,13	0,06

Sekundärer Luftschall in dB(A)		
$L_{sek,max}$	$L_{sek,m}$ Tag	$L_{sek,m}$ Nacht
48,8	36,9	30,0

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

Maximale Schwinggeschwindigkeit v			
	v_{max}		
am Fundament	0,21	mm/s	
auf der Geschossdecke	0,59	mm/s	

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

Erforderliche Minderungswirkung der Oberbau-Konstruktion

im Bereich Holteistraße - Sonntagstraße, einschließlich Kurvengleis zur Wühlschstr. und Boxhagener Str.



Die Minderungswirkung versteht sich als im Vergleich zu einem gleichartigen Oberbau ohne Einbau elastischer Schichten.

Nr.	Zugattung für die Prognose	v in km/h	s in m	Rich- tung	Ober- bau	Quelle		Terzmittelfreq. in Hz																Bemerkung Quelle					
						4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200		250	315			
1	Straßenbahn Gl.1	30	8	z	feste Fahrbahn, Neubau	38,3	38,3	37,4	38,2	39,7	40,0	40,4	45,3	52,4	57,4	55,9	65,6	69,8	66,7	67,2	62,8	52,3	45,9	41,8	37,6	Msg. Kastanienallee + erf. Minderung 6 dB			
1	Straßenbahn Gl.2	30	8	z	feste Fahrbahn, Neubau	38,3	38,3	37,4	38,2	39,7	40,0	40,4	45,3	52,4	57,4	55,9	65,6	69,8	66,7	67,2	62,8	52,3	45,9	41,8	37,6	Msg. Kastanienallee + erf. Minderung 6 dB			
Nr.	Messort	Terzmittelfreq. in Hz																Bemerkung Quelle											
		4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125		160	200	250	315							
4	Kastanienallee, Berlin	0,0	0,0	0,0	0,0	a	-3,4	-2,6	-2,1	-2,0	-2,0	-2,5	-2,2	-3,3	-6,9	-11,4	-13,6	-15,3	-15,8	-15,4	-15,9	0,0	0,0	0,0	0,0	Straßenbahn-Messung, Proj. 16-32/16			
						b	7,1	5,5	4,4	4,2	4,2	5,3	4,6	6,9	14,3	23,7	28,3	31,7	32,8	32,1	33,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13.10.2016			
						x (in m) =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
						y (in dB) =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
						x (in m) =	100																						
						y (in dB) =	-8,6	-6,6	-5,4	-5,2	-5,1	-6,4	-5,6	-8,4	-17,4	-28,8	-34,4	-39,5	-39,9	-38,9	-40,1	0,0	0,0	0,0	0,0				
Nr.	Zugattung	Hz	Parameter sek. LS		Quelle		Terzmittelfreq. in Hz																Bemerkung Quelle						
			a	b	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200		250	315				
1	Erdgesch./Fundament	-	0,54	18,1	1,7	1,7	1,6	0,1	-1,6	-4,0	-4,3	-4,5	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-4,3	-4,0	-3,6	-3,3	-3,0	-2,6	-2,0	-1,5	-1,0	US-Bericht 107 NRW 1992, Bild 7 &a			
5	Holzballendecke	25	0,47	19,9	-0,5	-0,2	0,7	1,5	2,3	3,1	4,5	7,6	12,0	6,4	2,6	0,2	-1,4	-2,3	-3,2	-3,7	-4,0	-4,1	-4,5	-4,9	-5,3	DB-Richtlinie 820.050, 01.01.2017			
10	Massendecke	50	0,60	15,8	-1,6	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,3	0,9	4,4	9,5	3,7	0,1	-0,8	-0,7	-1,9	-2,3	-3,1	-3,5	-3,9	DB-Richtlinie 820.050, 01.01.2017			
Nr.	Zugattung	f in Hz	Auswahl- Nr Geb.	KB _r max	KB _r Tag	KB _r Nacht	Terzmittelfreq. in Hz																Bemerkung Quelle						
							4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125		160	200	250	315		
1	Straßenbahn Gl.1	30		0,14	0,032	0,015		36,5	38,1	38,6	37,6	35,9	40,7	47,7	52,3	50,8	60,5	64,8	62,4	63,2						64,8	0,14	Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz	
1	Straßenbahn Gl.2	30		0,08	0,018	0,008		35,7	35,9	37,5	37,9	36,8	35,2	39,6	45,5	48,7	46,4	55,6	59,8	57,5	59,2						59,8	0,08	Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz
Decke Holzballendecke																													
1	Straßenbahn Gl.1	30		0,24	0,053	0,024		34,6	35,6	38,0	40,8	42,3	44,4	52,6	64,2	63,7	58,4	65,7	68,4	64,4	64,5						68,4	0,24	Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz
1	Straßenbahn Gl.2	30		0,14	0,032	0,015		33,8	34,9	37,4	40,1	41,5	43,7	51,5	62,0	60,1	54,0	60,8	63,4	59,5	59,5						63,4	0,14	Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz
Decke Massendecke																													
1	Straßenbahn Gl.1	30		0,40	0,090	0,041		33,6	33,6	35,4	37,5	38,3	39,0	44,1	51,9	58,2	60,2	75,0	73,5	66,8	66,4						75,0	0,40	Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz
1	Straßenbahn Gl.2	30		0,23	0,051	0,023		32,8	32,9	34,8	36,8	37,5	38,3	43,0	49,7	54,6	55,8	70,1	68,5	61,9	61,4						70,1	0,23	Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz
Nr.	Zugattung	a	b	L _{max} in dB(A)	L _m Tag	L _m Nacht	Terzmittelfreq. in Hz																Bemerkung Quelle						
							4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125		160	200	250	315		
	Erdgesch./Fundament			43,6	32,4	25,6																					47,7		
	Holzballendecke			42,7	31,7	24,9																							
	Massendecke			47,1	35,8	29,0																						53,4	
Erdgeschoss = Fundament																													
1	Straßenbahn Gl.1	0,60	15,8	43,6	30,6	23,6																						46,5	Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz
1	Straßenbahn Gl.2	0,60	15,8	40,6	27,6	20,8																						41,5	Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz
Decke Holzballendecke																													
1	Straßenbahn Gl.1	0,47	19,9	42,7	29,7	22,9																						48,6	Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz
1	Straßenbahn Gl.2	0,47	19,9	40,4	27,4	20,5																						43,6	Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz
Decke Massendecke																													
1	Straßenbahn Gl.1	0,60	15,8	47,1	34,1	27,3																						52,2	Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz
1	Straßenbahn Gl.2	0,60	15,8	44,1	31,1	24,3																						47,3	Straßenbahn 30 km/h B NBS + elast. Lagerung 40-100 Hz

Anhang 4.2 Einwirkungsbereich - betroffene Gebäude (mit Maßnahme)

Gebäude im Einwirkungsbereich von Straßenbahn-Erschütterungen

"x": Anhaltswert für Wohngebiete $A_r = 0,11$ (Tag) oder $A_r = 0,08$ (Nacht) nach DIN 4150-3 im Plan-Zustand mit Minderungsmaßnahme durch KB_{FTT} überschritten

d_{min} , Plan = Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse, $v = 30$ km/h

d_{min} , Plan in m	Gebäude liegt im Überschreitungsbereich für Deckentyp:		Straße, Haus-Nr.	Gebiets-einstufung
	Holzbalken	massiv		
9,5	-	-	Holteistraße 23, 24, 24a, 25, 26 Wühlischstr. 8, 9, Boxhagener Str. 47, 48	WA
8,5	-	-	Holteistraße 10, 11, 12, 13	WA
9,5	-	-	Holteistraße 6 (Gaststätte)	WA
16,5	-	-	Sonntagstraße 22	WA
16,5	-	-	Holteistraße 30	WA
8,5	-	-	Sonntagstraße 24, 25, 26	WA
17	-	-	Sonntagstraße 15	WA
11	-	-	Böcklinstraße 6	WA
8,5	-	-	Sonntagstraße 27, 28, 29, 30, 31	WA
9,5	-	-	Sonntagstraße 10, 11, 12	WA
10	-	-	Sonntagstraße 8, 9	WA
9	-	-	Lenbachstraße 8	WA
10	-	-	Lenbachstraße 13b	WA
13	-	-	Lenbachstraße 7a	WA
10	-	-	Sonntagstraße 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	WA
34	-	-	Neue Bahnhofstraße 36	WA
7	-	x	Neue Bahnhofstraße 37 ¹⁾	Bahngelände
17	-	-	Marktstraße 10 (Jugendherberge)	MI
15,5	-	-	Marktstraße 13	MI
33	-	-	Schreiberhauer Straße 48	MI
23	-	-	Marktstraße 1, 2, 3 (Schule)	WA/Sch
25	-	-	Pfarrstraße 146	WA
13	-	-	Türschmidtstraße 1	WA

¹⁾ Schutzanspruch entsprechend voraussichtlicher Nutzung nur am Tage (Büro u. ä.); bei Einstufung als Gewerbegebiet auch Anhaltswert bei Massivdecken eingehalten

Abstandslinien für die Einhaltung von A_r (Tag), mit Minderungsmaßnahme am Oberbau gemäß 5.2 im farblich hervorgehobenen Bereich:

	Wohngebiet, $A_r = 0,11$	Mischgebiet, $A_r = 0,15$	Gewerbegebiet, $A_r = 0,225$
Holzbalkendecke (Resonanzfrequenz 25 Hz)	$d_{min} = 5,5$ m	$d_{min} = 4,5$ m	$d_{min} = 3,5$ m
Massivdecke (Resonanzfrequenz 50 Hz)	$d_{min} = 8,0$ m	$d_{min} = 6,5$ m	$d_{min} = 5,0$ m

Bereich ohne Minderungsmaßnahme enthält gleiche Betroffenheits-Zuordnung wie Anhang 3.2

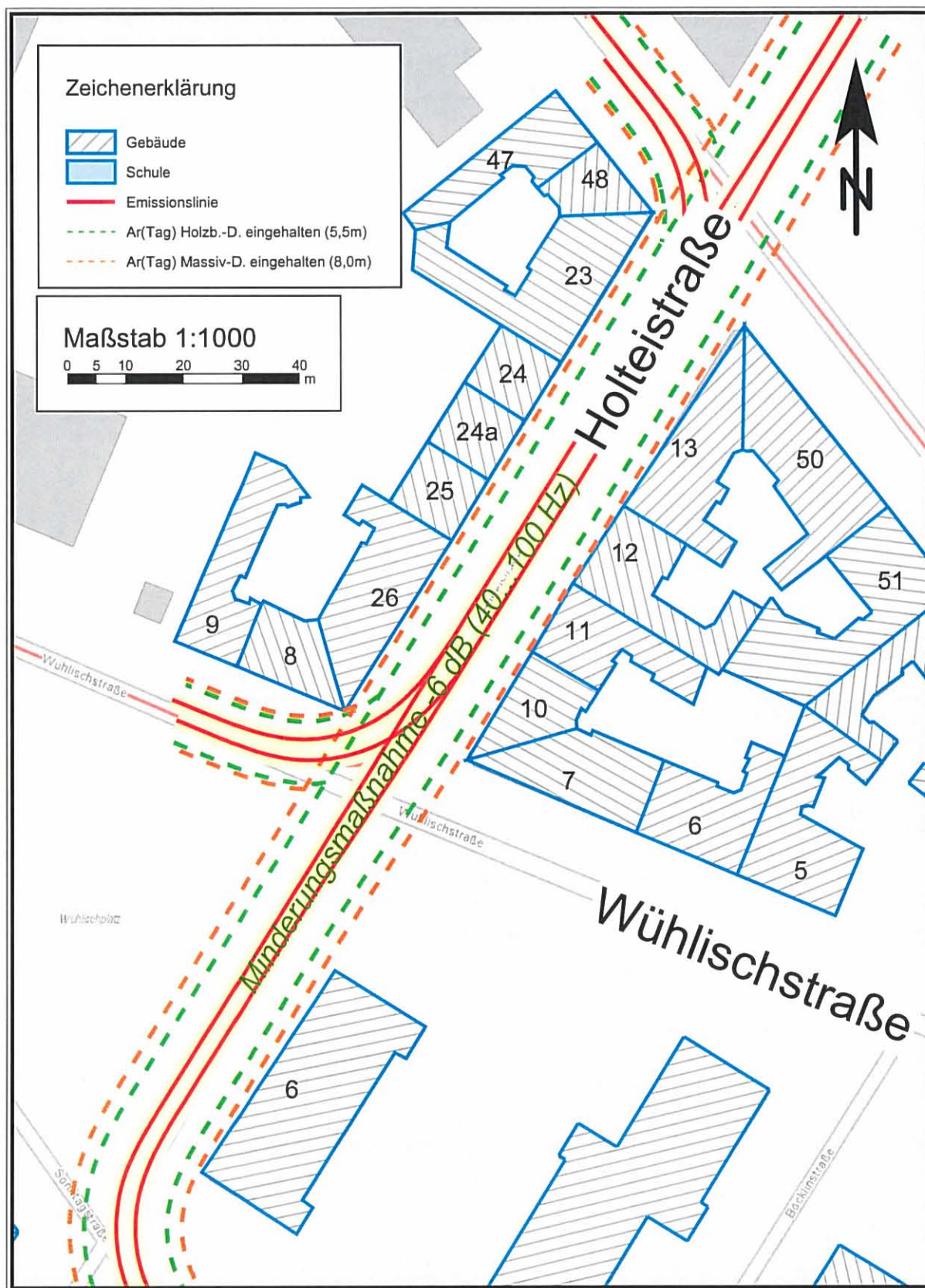
$d_{\min, \text{Plan}}$ = Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse, $v = 15 \text{ km/h}$ in Kurvengleisen

$d_{\min, \text{Plan}}$ in m	Gebäude liegt im Überschreitungsbereich für Deckentyp:		Straße, Haus-Nr.	Gebiets-einstufung
	Holzbalken	massiv		
5,5	-	-	Holteistraße 23, Boxhagener Str. 48	WA
4,5	-	-	Wühlischstraße 8, Holteistraße 26	WA

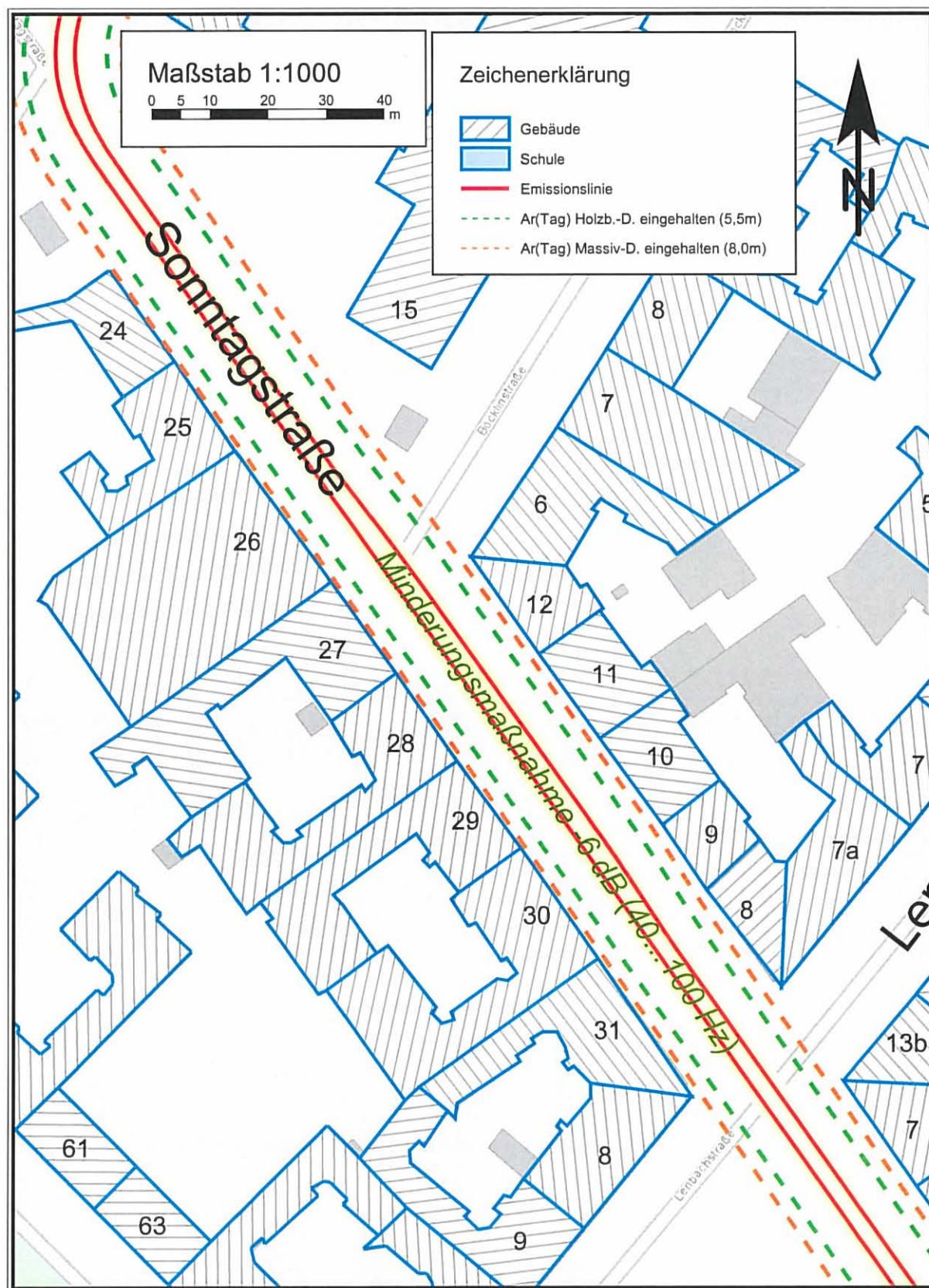
Abstandslinien für die Einhaltung von A_r (Tag), mit Minderungsmaßnahme am Oberbau gemäß 5.2 im farblich hervorgehobenen Bereich:

	Wohngebiet, $A_r = 0,11$
Holzbalkendecke (Resonanzfrequenz 25 Hz)	$d_{\min} = 3,5 \text{ m}$
Massivdecke (Resonanzfrequenz 50 Hz)	$d_{\min} = 4,5 \text{ m}$

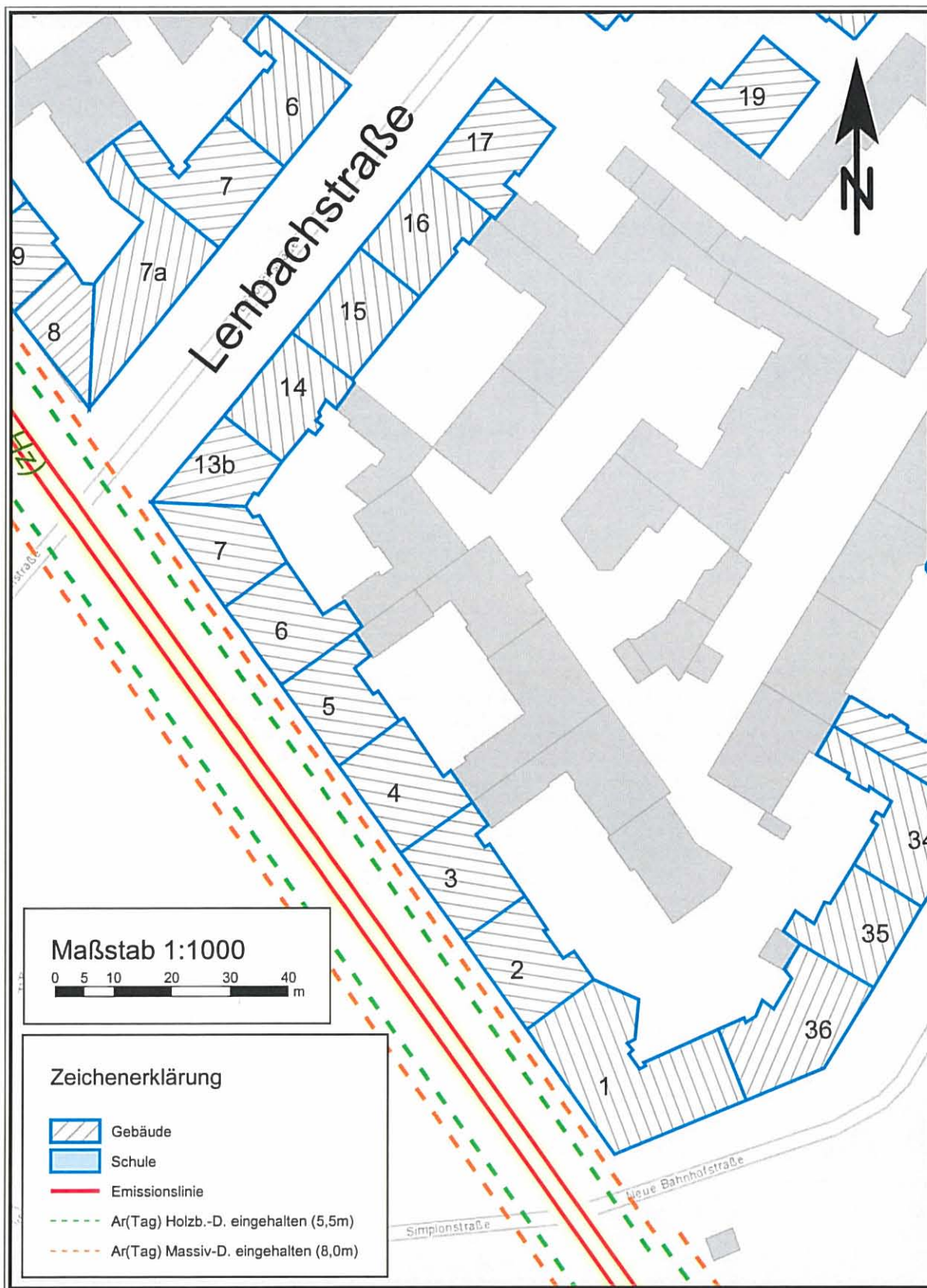
Erschütterungs-Einwirkungsbereich (mit Minderungsmaßnahme), Blatt 1



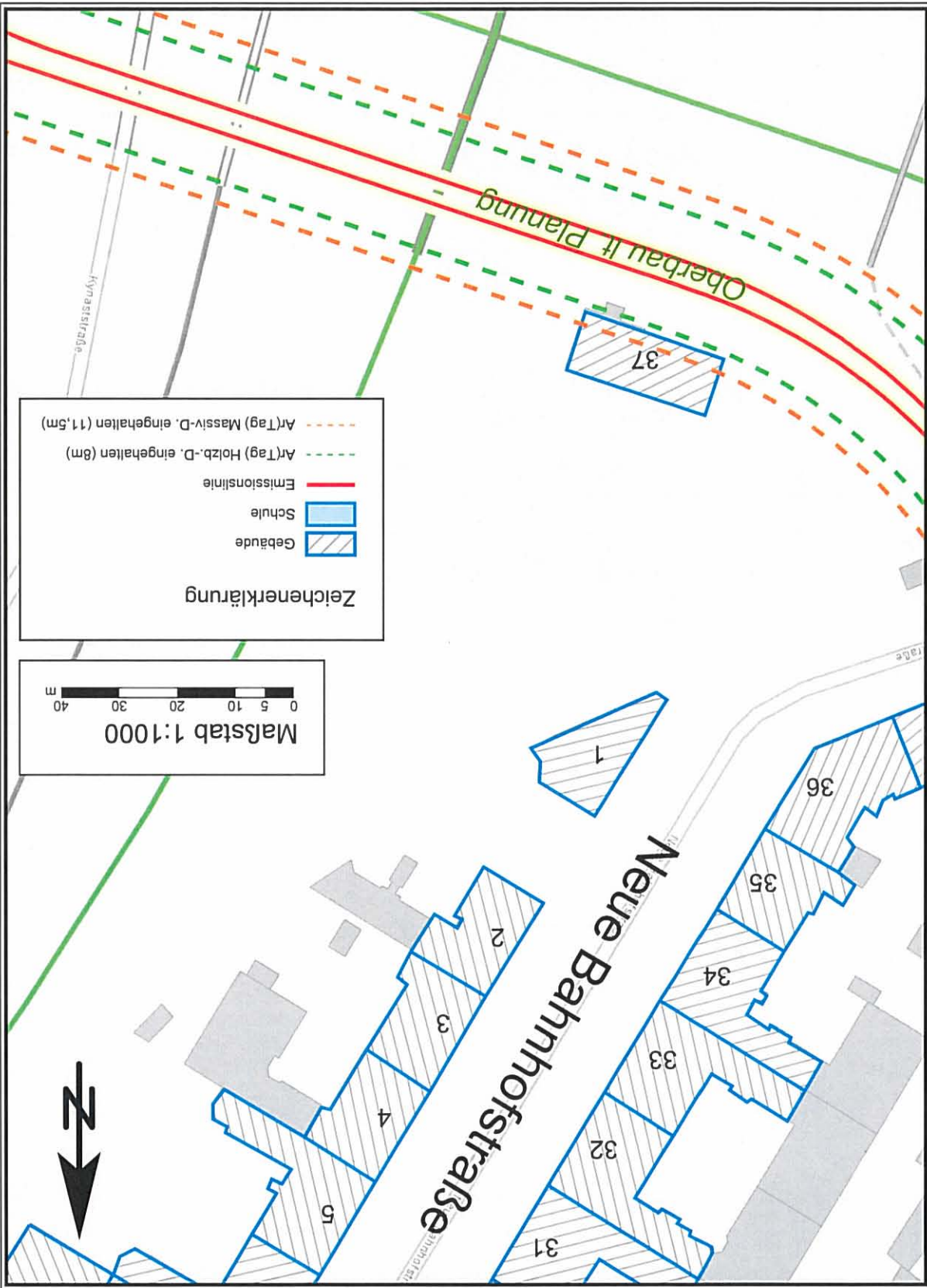
Erschütterungs-Einwirkungsbereich (mit Minderungsmaßnahme), Blatt 2



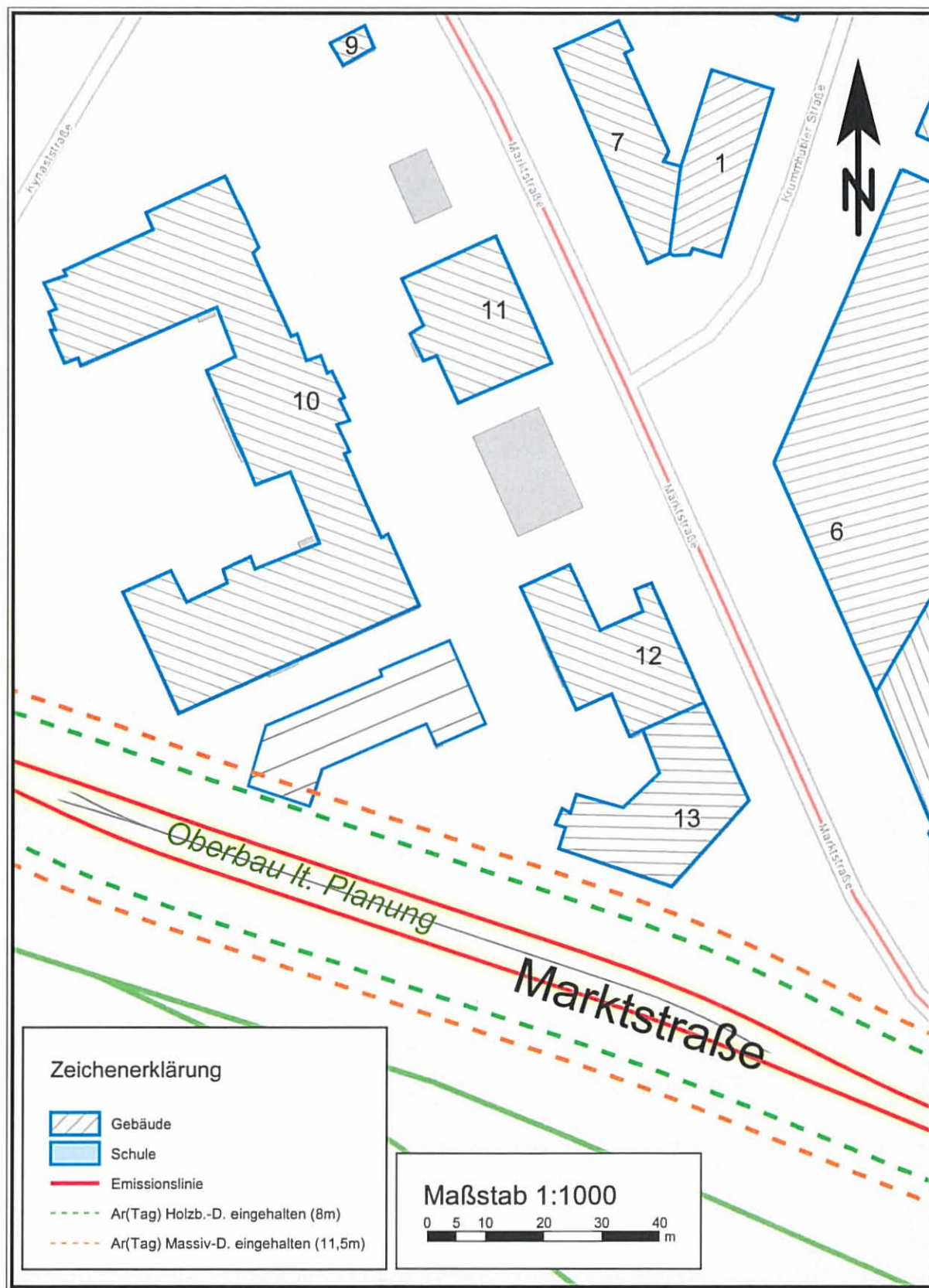
Erschütterungs-Einwirkungsbereich (mit Minderungsmaßnahme), Blatt 3



Erschütterungs-Einwirkungsbereich (mit Minderungsmaßnahme), Blatt 4



Erschütterungs-Einwirkungsbereich (mit Minderungsmaßnahme), Blatt 5



Erschütterungs-Einwirkungsbereich (mit Minderungsmaßnahme), Blatt 6

