

Vorhaben: Erschütterungstechnische Prognosen
Stadtwerke München GmbH
Neubaustrecke Tram-Westtangente
Planfeststellungsabschnitt 1
Strecken-km 2,8+25 bis 3,3

Tektur H

Auftraggeber: Stadtwerke München GmbH
Ressort Mobilität
Fahrweg – Planung
Emmy-Noether-Straße 2
80992 München

Bearbeitungsstand: 03/2025

Projekt-Nr.: 2024 851

Auftrag vom: 19.08.2015

Anzahl Seiten: 24

Anzahl Anlagen: 4, s. Anlagenverzeichnis

fachlich verantwortlich: Dipl.-Ing. (FH) Manfred Ertl

Durchwahl: 0821 / 207 129 10

E-Mail: m.ertl@em-plan.com

Mitarbeiter: B. Sc. Luis Mahlkecht

Durchwahl: 0821 / 207 129 13

E-Mail: luis.mahlkecht@em-plan.com

Dokument: 851_SWM_TWT_WS_Walfriedhof_2025_03_25

Das vorliegende Gutachten ist geistiges Eigentum von em plan. Das Gutachten ist ausschließlich zur Durchführung des behandelten Vorhabens zu verwenden. Die Weitergabe des Gutachtens oder dessen Vervielfältigung außerhalb des gegenständlichen Vorhabens, auch auszugsweise, ist nur mit unserer ausdrücklichen und schriftlichen Gestattung zulässig.

Inhaltsverzeichnis

1.	Gegenstand der Untersuchung.....	4
2.	Örtlichkeiten	5
3.	Prognoseverfahren – VDI 3837	9
4.	Beurteilungsgrundlagen.....	12
4.1	Erschütterungen - DIN 4150-2.....	12
4.2	Sekundärer Luftschall.....	14
5.	Messdurchführung und Messgeräte	15
5.1	Messorte und Messdatum	15
5.2	Messgeräte	15
6.	Auswertung und Messergebnisse.....	16
6.1	Eingangsspektren	16
6.2	Übertragungsfunktionen nach VDI 3837	16
6.3	KB _{Fmax} - Werte nach DIN 4150-2	17
6.4	Sekundärer Luftschall.....	17
7.	Zugzahlen	19
8.	Prognose und Ergebnisbewertung	20
8.1	Prognose.....	20
8.2	Summarische Bewertung	20
9.	Zusammenfassung.....	22
A)	häufig verwendete Abkürzungen	23
B)	Grundlagenverzeichnis.....	23
C)	Regelwerke	23
D)	Anlagenverzeichnis	24
E)	Tabellenverzeichnis.....	24
F)	Abbildungsverzeichnis.....	24

1. Gegenstand der Untersuchung

Die Stadtwerke München planen die Umsetzung der Tram-Westtangente (TWT). Das Vorhaben wurde erstmals in 2019 erschütterungstechnisch untersucht und beurteilt.

Gegenstand der vorliegenden Unterlage ist die seitens der SWM beabsichtigte Tektur zur Änderung der Nebenbestimmung 2.5.3 des Bescheids Gz. 32.2-3623.4-4-15 vom 04.09.2023.

Gemäß der Nebenbestimmung 2.5.3 werden im Planfeststellungsabschnitt 1 (PFA 1) ergänzende erschütterungsmindernde Maßnahmen entlang der Fürstenrieder Straße südlich der Würmtal-/Waldfriedhofstraße beauftragt, die über die gutachterlichen Empfehlungen hinausgehen, die dem Planfeststellungsantrag zugrunde lagen. Die beauftragten Maßnahmen sind nach der Einschätzung der SWM aufgrund der gestreckten Linienführung ohne besondere Störstellen im Gleis wie Weichen oder Kreuzungen technisch nicht erforderlich. Die Auflage ist daher für den Bereich von Strecken-km 2,8+25 (nördlich der Wendeschleife Waldfriedhof) bis km 3,3+00 (Kreuzung Fürstenrieder/Würmtal-/Waldfriedhofstraße) mit der vorliegenden Ergänzungsunterlage zu prüfen.

Hierfür wurden die Übertragungsfunktionen von zwei Gebäuden nördlich der WS Waldfriedhof im November 2024 messtechnisch mittels Ersatzanregung ermittelt und eine Prognose der Erschütterungen nach dem Verfahren der VDI 3837, Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen – Spektrales Prognoseverfahren durchgeführt. Für das Gelände des Waldfriedhofs ist eine qualitative Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen vorzunehmen.

Zudem ist der durch Erschütterungen verursachte Schall – der sekundäre Luftschall – in den Gebäuden zu ermitteln und auf der Grundlage der 24. BImSchV zu beurteilen.

Die Prognose der Erschütterungen bis zum Strecken-km 2,7+00 enthält die Unterlage zur Tektur C, *Erschütterungstechnische Prognosen – Stadtwerke München GmbH, Neubaustrecke Tram-Westtangente, Planfeststellungsabschnitt PFA 2* vom November 2023 [8].

Die Randbedingungen, Methoden und Ergebnisse der Untersuchung werden im vorliegenden Bericht dokumentiert.

2. Örtlichkeiten

Der untersuchte Streckenabschnitt befindet sich östlich der Fürstenrieder Straße im PFA 1 nördlich der Wendeschleife Waldfriedhof, südlich der Kreuzung Würmtal-/Waldfriedhofstraße zwischen dem Strecken-km 2,8+25 und 3,3.

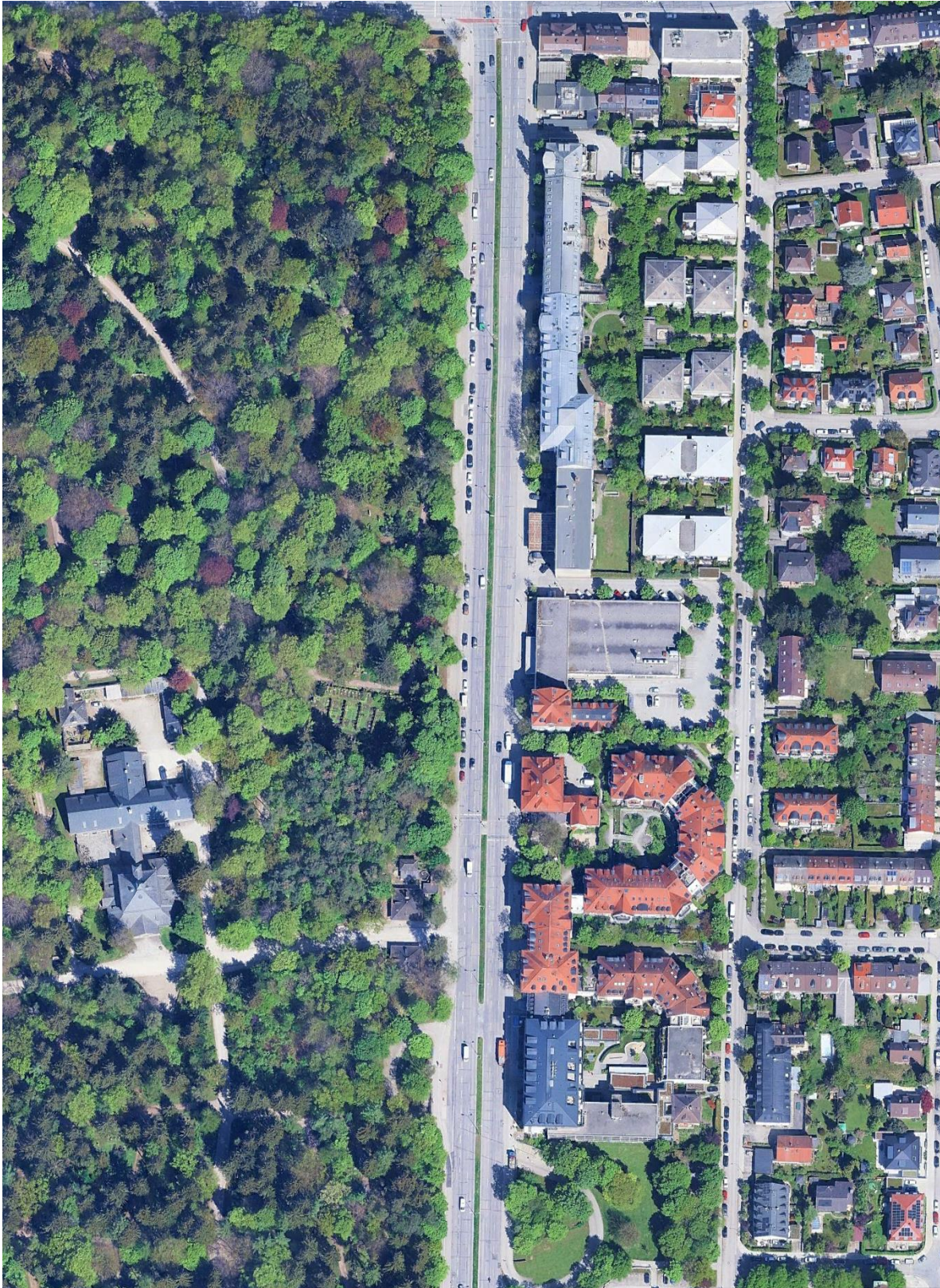


Abb. 1: PFA 1 – Strecken-km 2,8+00 bis 3,3, Luftbild Quelle: Google Earth

Der Gleiskörper im untersuchten Bereich verläuft in Mittellage. Der Oberbau soll abschnittsweise als feste Fahrbahn oder als Rasengleis, jedoch abweichend von der Nebenbestimmung 2.5.3 ohne erschütterungsmindernde Maßnahmen ausgebildet werden.

Westlich und östlich des Gleiskörpers verlaufen bis zu drei Fahrstreifen für den Kfz-Verkehr.

Die abstandsbedingt maßgeblich von den Erschütterungen aus dem Trambetrieb betroffenen, für eine Beurteilung nach der DIN 4150-2 repräsentativen Gebäude befinden sich wenigstens rd. 13 m östlich des geplanten Gleiskörpers der TWT. Die Gebäude werden zu Wohnzwecken genutzt oder dienen als Büroräumlichkeiten und verfügen über bis zu fünf Vollgeschoße und ein ausgebautes Dachgeschoß.

Der Bereich nördlich der WS Waldfriedhof, östlich der Fürstenrieder Straße ist auf der Ebene der Bauleitplanung nicht überplant. Gemäß dem Flächennutzungsplan (FNP) handelt es sich bei dem Bereich um Mischgebietsflächen. Davon ausgenommen sind die Gebäude an der Fürstenrieder Straße 255-257, die in allgemeinem Wohngebiet gemäß FNP liegen. Der Bereich im Westen liegt auf Friedhofsflächen gemäß dem FNP.

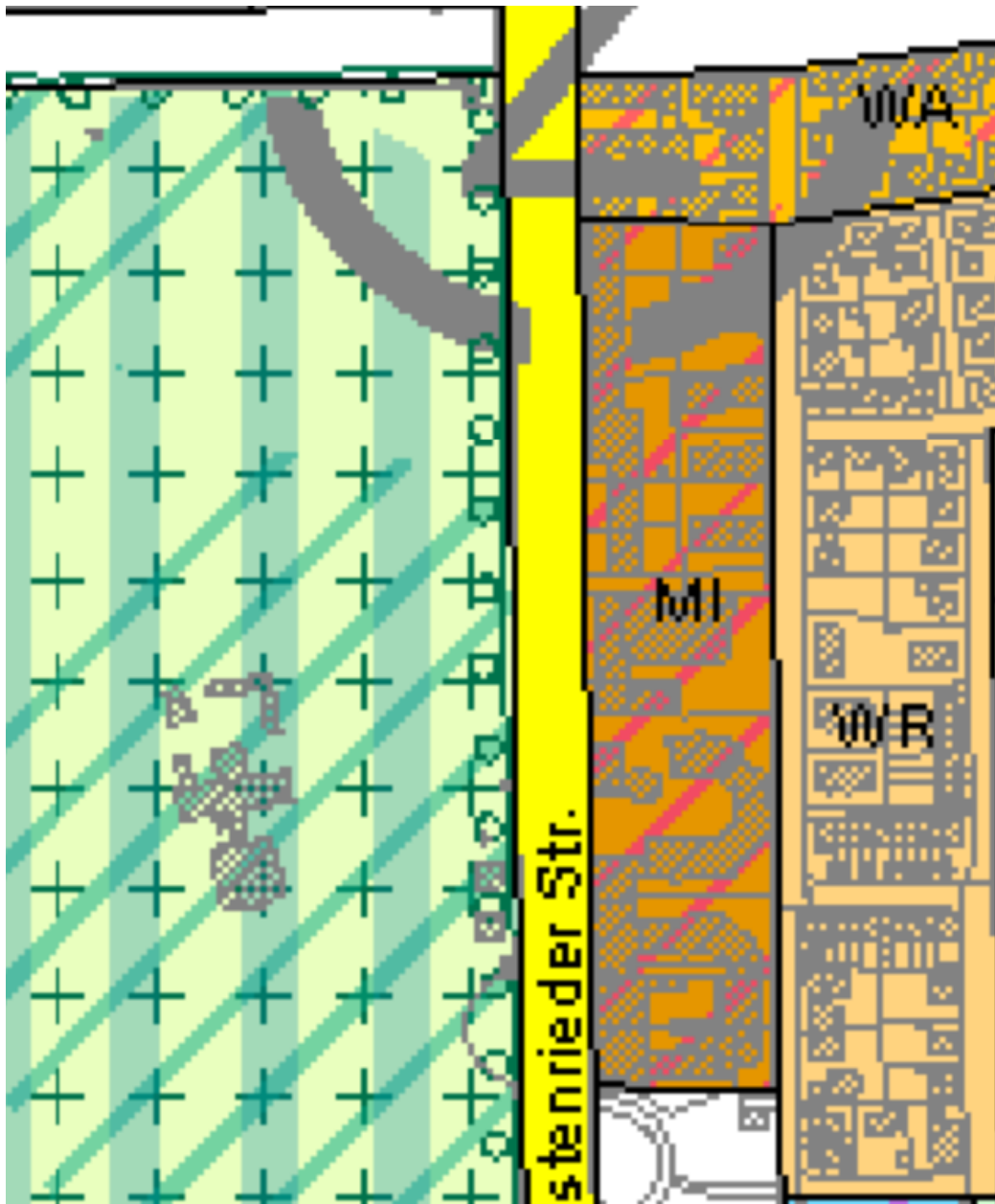


Abb. 2: Auszug Flächennutzungsplan der LHM, genordnet, abgerufen März 2025



Flächennutzungsplan mit integrierter Landschaftsplanung

Legende (Stand April 2022)

W	Wohnbauflächen	SG	Sonstige Grünflächen
WS	Kleinsiedlungsgebiete	ÖEKO	Ökologische Vorrangflächen
WR	Reine Wohngebiete	WALD	Waldflächen
WA	Allgemeine Wohngebiete	LW	Flächen für die Landwirtschaft
WB	Besondere Wohngebiete	GAR	Flächen für den Gartenbau
M	Gemischte Bauflächen		Wasserflächen
MD	Dorfgebiete		Überschwemmungsgebiete
MI	Mischgebiete		Maßnahmen zur Verbesserung der Grünausstattung
MU	Urbane Gebiete		Vorrangige Maßnahmen zur Verbesserung der Grünausstattung
MK	Kerngebiete		Flächen mit Nutzungsbeschränkungen zum Schutz, zur Pflege und Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft
G	Gewerbliche Bauflächen		Flächen auf denen auch Maßnahmen zur Aktivierung von Grün erforderlich sind
GE	Gewerbegebiete		Flächen für Maßnahmen zum Schutz gegen schädliche Umwelteinwirkungen
GI	Industriegebiete		Übergeordnete Grünbeziehung
SO	Sondergebiete		Örtliche Grünverbindung
SOGE	SO Gewerblicher Gemeinbedarf		
SOGI	SO Industrieller Gemeinbedarf		
SOEZ	SO Einzelhandel		
SOFM	SO Fachmarkt		
SOGH	SO Großhandel		
SOM	SO Messe		
SOH	SO Hochschule		
SOIK	SO Kultur		
SOLV	SO Landesverteidigung		
SOF	SO Forschung		
SOBV	SO Brauereiverlagerung		
	oder nach Beschriftung im Plan		
			Nachrichtliche Übernahmen*, Kennzeichnungen** und Sonstige
			Regionaler Grünzug*
			FFH-Gebiet*
			Vorrangfläche für Kiesabbau*
			Vorbehaltsgebiet Kies und Sand*

Abb. 3: Auszug Legende zum Flächennutzungsplan der LHM

3. Prognoseverfahren – VDI 3837

In der VDI 3837 werden grundlegende Abhängigkeiten für die Emission, Transmission und Immission von Erschütterungen aufgezeigt und darauf aufbauend ein spektrales Prognoseverfahren für die Erschütterungen im Frequenzbereich von 4 Hz bis 80 Hz beschrieben, die von oberirdisch geführten Schienenbahnen ausgehen. Das Verfahren kann bei bestehenden oder neu zu errichtenden Strecken angewendet werden.

Die nachstehende Abbildung zeigt schematisch die Vorgehensweise einer Prognose nach VDI 3837.

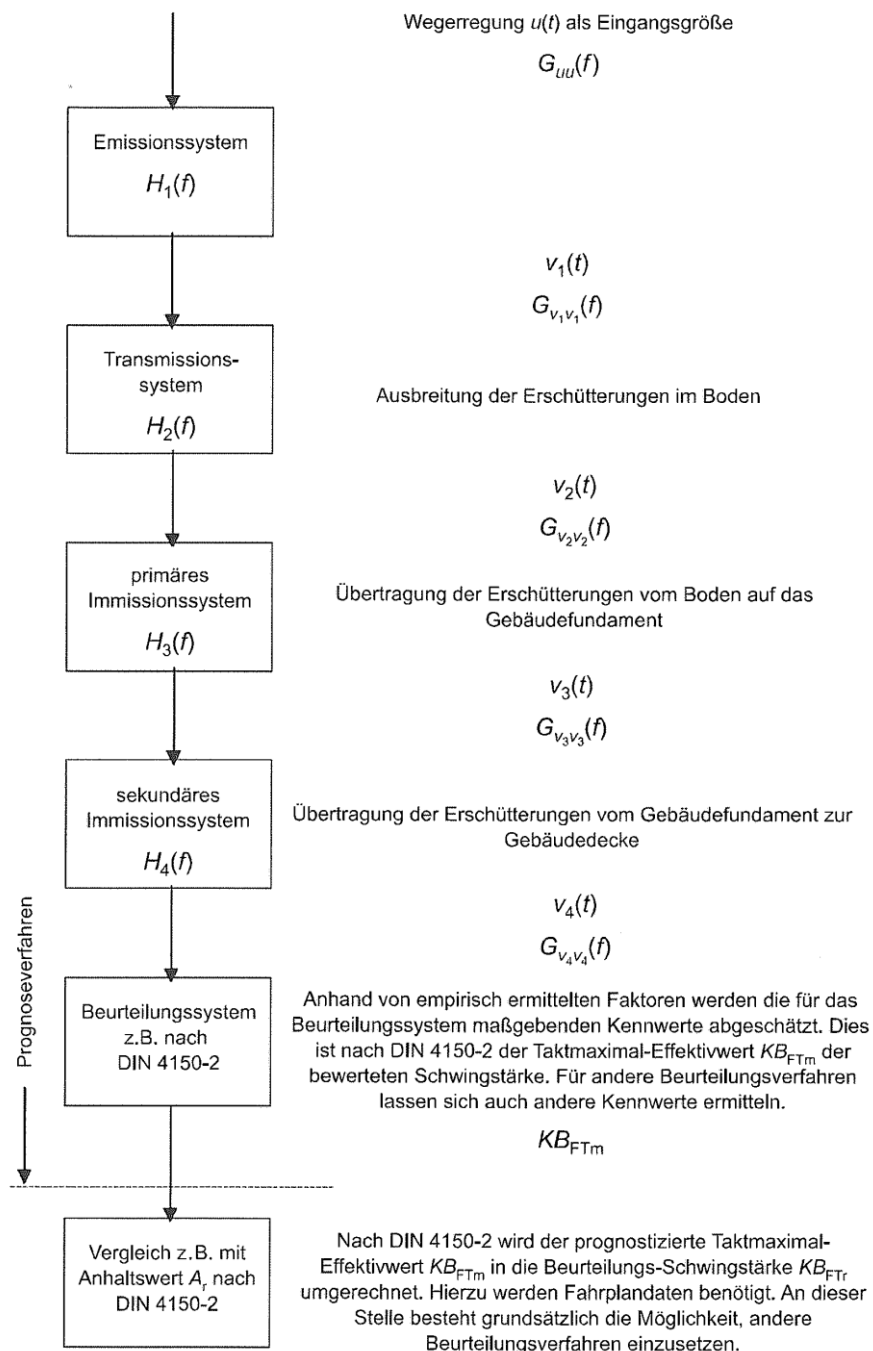


Abbildung 4: Blockschaltbild für das spektrale Prognoseverfahren der VDI 3837

In der vorliegenden Prognose wurde das Emissions- und Transmissionsystem

$$H_1(f) \rightarrow H_2(f)$$

durch bereits durchgeführte Messungen in einer vergleichbaren Situation, abgebildet. Der Emission liegt hierbei ein über mehrere Messungen gemitteltes Emissionsspektrum in Terzbandbreite zu Grunde. Dieses wurde auf die im Planungsabschnitt vorgesehenen gefahrenen Geschwindigkeiten linear hochgerechnet.

Das resultierende Emissionsspektrum gibt hierbei die Schwingantwort aus dem Straßenbahnbetrieb in 8 m seitlich zur Trasse wieder.

Über die gegebenen Abstandsverhältnisse der Gebäude zur Gleisachse wurde die jeweilige zu erwartende Dämpfung des Erschütterungssignals auf dem Ausbreitungsweg bestimmt.

Die Ermittlung der Übertragungsfunktionen vom Boden in die Geschoßdecken

$$H_2(f) \rightarrow H_4(f)$$

erfolgte durch eine Ersatzanregung mittels Plattenrüttler bei gleichzeitiger Messung der Schwingantwort des o. a. Übertragungssystems.

Die Auswertung ergibt eine spektrale Übertragungsfunktion in Terzen im Frequenzbereich von 4 bis 80 Hz.

Über die spektrale Einleitung der Erschütterungen und die spektralen Übertragungsfunktionen sind in der Folge die zu erwartenden maximalen Schwingschnellen KB_{Fmax} ermittelt worden. Aus diesen errechnen sich über die Zugfrequenz die Beurteilungsschwingschnellen KB_{FTr} und der zu erwartende sekundäre Luftschall.

In der Regel kann die Prognose anhand der gewonnenen Übertragungsfunktionen und der verwendeten Emissionsspektren direkt abgebildet werden. Dies ist die Grundlage zur Bestimmung der Bereiche, in denen Überschreitungen der Anhaltswerte wahrscheinlich und erschütterungsmindernde Maßnahmen als erforderlich anzusehen sind.

In Kreuzungsbereichen von Straßenbahnen lassen sich die sich überlagernden Erschütterungsemissionen im Vergleich zur Freien Strecke in aller Regel nicht exakt bestimmen, da enge Gleisbögen und Störstellen stets das Potential haben, atypische Erschütterungsemissionen zu erzeugen. Es wird daher vorsorglich dazu geraten, in diesen Situationen stets eine elastische Lagerung der Gleise vorzusehen.

Erschütterungsprognosen sind stets mit einer gewissen Unschärfe behaftet. Dies hängt einerseits mit den im Vorfeld nicht final bekannten baulichen Eingriffen in den Untergrund im Straßenraum zusammen, d. h. den lokalen Einleitungsverhältnissen, und andererseits mit der benachbarten Bausubstanz. Nachdem nicht jedes Gebäude im Hinblick auf seine Übertragungsverhältnisse gemessen werden kann, besteht also die Möglichkeit, dass etwa zwei benachbarte Gebäude auf dieselbe Anregung unterschiedlich reagieren, sei es etwa durch die Spannweite der Decken oder deren Bauart. So ist die Schwingantwort bei Holzbalkendecken bei niederfrequenter Einleitung von Erschütterungen in aller Regel höher als bei Stahlbetondecken, wobei aber die Schwingantwort wiederum vom Spektrum der eingeleiteten Erschütterungen und der Anteile der tieffrequenten Schwingungsanteile im Terzbandspektrum abhängt.

Es wurde daher zur Sicherung der möglichen Abweichungen eine worst-case-Prognose vorgenommen, um eventuelle unterschiedliche bauliche Gegebenheiten und ungünstige Übertragungsverhältnisse zu berücksichtigen. Dafür wurde ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor von 1,3 in der Berechnung hinterlegt und bei der Beurteilung berücksichtigt.

4. Beurteilungsgrundlagen

4.1 Erschütterungen - DIN 4150-2

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen auf Menschen ist die DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, einschlägig. Darin werden Verfahren (im Zusammenhang mit anderen Normen) für die Ermittlung und die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen vorgestellt.

Die DIN 4150-2 nennt Anhaltswerte zur Beurteilung der gemessenen Erschütterungs-Immissionen.

Die Wirkung von Erschütterungen auf Menschen wird anhand der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ beurteilt.

Nach DIN 45669 ist die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ der gleitende Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals mit der Zeitbewertung FAST (0,125 s).

Die Beurteilung erfolgt gemäß DIN 4150-2 anhand von zwei Beurteilungsgrößen. Der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} und der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} .

KB_{Fmax} ist der maximale, während der Messung auftretende, oder in anderer Weise ermittelte Wert der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$.

In der Beurteilungsgröße KB_{FTr} wird die Häufigkeit und Dauer der auftretenden Erschütterungseignisse berücksichtigt. Sie wird durch das Taktmaximalwertverfahren mit einer Taktzeit von 30 s ermittelt und anhand der Verkehrsprognose über den Beurteilungszeitraum (Tag/Nacht) gemittelt.

Die Beurteilungsgrößen sind zu ermitteln und mit den Anhaltswerten der DIN 4150-2 in der nachfolgenden Tabelle zu vergleichen.

- Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert A_u , dann ist die Anforderung dieser Norm eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der (obere) Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung dieser Norm nicht eingehalten.
- Für häufige Einwirkungen, bei denen KB_{Fmax} größer als A_u , aber kleiner als A_o ist, ist die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} mit dem Anhaltswert A_r zu vergleichen. Wird dieser unterschritten, sind die Anforderungen der Norm ebenfalls eingehalten.

Tab. 4-1: Anhaltswerte für Erschütterungs-Immissionen gemäß DIN 4150-2

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	A _r
1	Einwirkungsorte in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, § 9).	0,4 (0,6)	6	0,2 (0,3)	0,3 (0,45)	0,6	0,15 (0,225)
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, § 8).	0,3 (0,45)	6	0,15 (0,225)	0,2 (0,3)	0,4 (0,6)	0,1 (0,15)
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5).	0,2 (0,3)	5	0,1 (0,15)	0,15 (0,225)	0,3 (0,6)	0,07 (0,105)
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reine Wohngebiete BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2).	0,15 (0,225)	3	0,07 (0,105)	0,1 (0,15)	0,2 (0,6)	0,05 (0,075)
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1 (0,15)	3	0,05 (0,075)	0,1 (0,15)	0,15 (0,6)	0,05 (0,075)

Für oberirdischen Schienenverkehr gilt gemäß DIN 4150-2 eine Sonderregelung. Der obere Anhaltswert A_o ist unabhängig von der Gebietsausweisung nachts mit 0,6 anzusetzen. Des Weiteren gilt nach DIN 4150-2 für den ÖPNV in der Verkehrswegeplanung ein um den Faktor 1,5 angehobener Wert für A_u und A_r (vgl. Werte in Klammern in Tab. 7-1).

Generell ist zu berücksichtigen, dass die Anhaltswerte indikatorischen Charakter haben und eine Beurteilung jeweils im Einzelfall - auch unter Berücksichtigung der Messunsicherheit - zu erfolgen hat.

In den Erläuterungen zur Norm werden Zusammenhänge zwischen bewerteten Schwingstärken und subjektiver Wahrnehmung angegeben. Die folgende Tabelle beschreibt diesen Zusammenhang:

Tab. 4-2: Wahrnehmung von Erschütterungen

KB-Werte	Beschreibung der Wahrnehmung
< 0,1	nicht spürbar
0,1	Fühlschwelle
0,1 - 0,4	gerade spürbar
0,4 - 1,6	gut spürbar
1,6 - 6,3	stark spürbar

4.2 Sekundärer Luftschall

Der sekundäre Luftschall wird durch Schwingungen der Umfassungsbauteile von Gebäuden bzw. Räumen verursacht. Dieser wird, sofern nicht durch Tunnel oder Lärmschutzanlagen abgeschirmt, durch den Primärluftschall überlagert und ist im Regelfall nicht direkt messbar. Die Gebäude werden wiederum durch vorbeifahrende Züge zum Schwingen angeregt, die Intensität nimmt vom Gleis aus mit zunehmendem Abstand zum Gebäude ab.

Bezüglich sekundären Luftschalls an Schienenwegen existieren keine expliziten Grenzwerte bzw. normative Regelungen. Im Falle der Planung von Schienenverkehrswegen werden in der Regel Innenraumpegel von

40 dB(A) tags in Wohnräumen bzw.

30 dB(A) nachts in Schlafräumen

als Grenzwerte angewandt. Die o. a. Grenzwerte basieren auf der Grundlage der 24. BImSchV und werden auch seitens der Rechtsprechung als Zumutbarkeitsschwelle herangezogen.

5. Messdurchführung und Messgeräte

5.1 Messorte und Messdatum

Die Örtlichkeiten sind dem Lageplan in der Anlage 1 zu entnehmen. Es wurden an den folgenden Gebäuden die Übertragungsfunktionen ermittelt.

Tab. 5-1: untersuchte Gebäude

Nr.	Gebäude	Messdatum	Messpunkt			Decken- aufbau
			1	2	3	
1	Fürstenrieder Str. 277	26.11.2024	Gehweg	KG – Fund.	2. OG	Holz
2	Fürstenrieder Str. 281			EG - Lobby	3. OG	Beton

5.2 Messgeräte

Für die Messung wurden folgende Geräte bzw. Programme verwendet:

Tab. 5-2: eingesetzte Messtechnik

Gerät / Programm	Typ	Hersteller	Seriennummer
3x Beschleunigungsaufnehmer	KS 48C	Metra Mess- u. Frequenztechnik	10109, 10107, 10174
Messgerät	SoundBook Quadro	Sinus Messtechnik GmbH	6308
SAMURAI	3.0	Sinus Messtechnik GmbH	---

6. Auswertung und Messergebnisse

6.1 Eingangsspektren

Für die Prognose wurden das Emissions- und Transmissionssystem

$$H_1(f) \rightarrow H_2(f)$$

durch bereits durchgeführte Messungen in vergleichbaren Situationen im Raum München abgebildet. Die Messungen erfolgten in 8 m Entfernung zur Gleisachse. Für die Prognose wird die Dämpfung durch den Gleisabstand zur Bebauung entsprechend der tatsächlichen Situation umgerechnet.

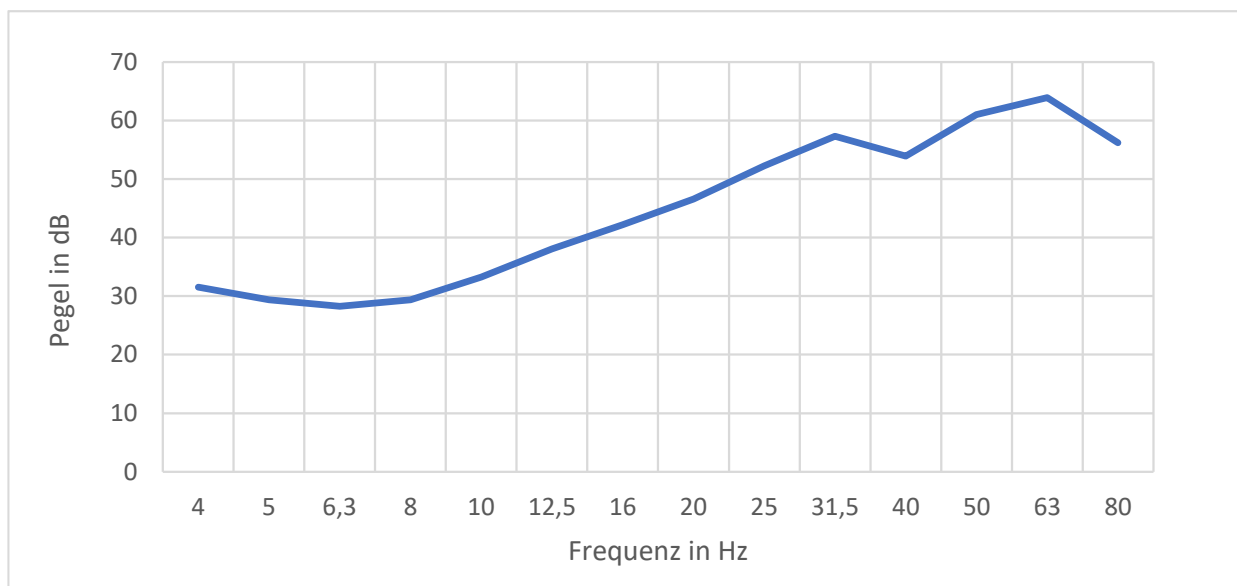


Abb. 4: Emissionsspektrum

Das dargestellte Emissionsspektrum (Fahrzeugtyp Avenio, Vierteiler) wurde bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von rd. 60 km/h gemessen und stellt ein Mittelungsspektrum über eine größere Anzahl von Vorbeifahrten dar. Die Höchstgeschwindigkeit auf der Strecke der TWT liegt bei 60 km/h auf besonderem Bahnkörper und 50 km/h auf straßenbündigem Bahnkörper.

6.2 Übertragungsfunktionen nach VDI 3837

Die Ermittlung der Übertragungsfunktion wurde wie in Punkt 3 beschrieben durchgeführt. Die Auswertung liefert eine spektrale Übertragungsfunktion in Terzen im Frequenzbereich von 4 bis 80 Hz.

Die Übertragungsfunktionen wurden vom Boden in die Geschoßdecken

$$H_2(f) \rightarrow H_4(f)$$

ermittelt. In der Anlage 4 werden die Ergebnisse der Untersuchung für die untersuchten Gebäude dargestellt.

6.3 KB_{Fmax} - Werte nach DIN 4150-2

Messtechnisch erfolgt die Bestimmung der Erschütterungs-Immissionen nach DIN 4150-2 durch die Messung der Schwingbeschleunigung mit Hilfe von Beschleunigungssensoren während der Zugvorbeifahrten an den jeweils erforderlichen Messpunkten (vgl. Pkt. 4.1).

Aus der gemessenen Schwingbeschleunigung wird durch Integration das unbewertete Erschütterungssignal (Schnellesignal) nach DIN 45669 im Frequenzbereich von 1 bis 315 Hz ermittelt (siehe auch DIN 4150-2). Aus dem weiter von 4 bis 80 Hz bandpassgefilterten und KB -bewerteten Schnellesignal ist nach der Bildung des gleitenden Effektivwerts mit der Zeitkonstante 0,125 s der Maximalwert in der Taktzeit von 30 s zu ermitteln. Das Ergebnis entspricht dem KB_{Fmax} einer Zugvorbeifahrt.

Vorliegend sind die Messergebnisse zur Bestimmung der Erschütterungsemission und der Ausbreitung außerhalb der Gebäude aus einer ähnlichen Situation bereits vorhanden und wurden in Form von energetisch gemittelten Max-Hold-Spektren in Ansatz gebracht.

6.4 Sekundärer Luftschall

Zunächst liegt für jede Zugvorbeifahrt an jedem Messpunkt ein gemäß DIN 45669-1 Bandpassgefiltertes Zeitsignal der Schwingungen vor. Aus den Zeitsignalen werden Terzschnellespektren nach dem Verfahren „Max-Hold, FAST“ ausgewertet. Das bedeutet, dass für jede Zugvorbeifahrt der Maximalwert des „FAST“-bewerteten gleitenden Effektivwertes in jeder Terz berechnet wird. Das so ermittelte Terzschnellespektrum ist die Grundlage für das spektrale Prognoseverfahren für die Erschütterungen und den sekundären Luftschall.

Die entstehenden Schallpegel werden gemäß (4) anhand der an den Decken gemessenen Schwingschnellen im Frequenzband von 25 bis 80 Hz berechnet. Hierbei wird zwischen Beton- und Holzbalkendecken unterschieden.

Die Terz-Schnelle-Spektren werden in Dezibel umgerechnet und A-bewertet (L_{VA}). Aus dem energetisch aufsummierten Terzspektrum ist nach folgender Beziehung der resultierende sekundäre Luftschallpegel (L_{sek}) zu berechnen:

Betondecke:

$$L_{sek} = 15,8 \text{ dB(A)} + 0,60 L_{VA}$$

Holzbalkendecke:

$$L_{sek} = 19,9 \text{ dB(A)} + 0,47 L_{VA}$$

Aus der Vorbeifahrtzeit und der Häufigkeit der Vorbeifahrten der jeweiligen Zuggattungen werden getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum die Beurteilungspegel in den Räumen gebildet.

Die nach den o. a. Gleichungen ermittelten Sekundärschallpegel sind in den Anlagen zusammengestellt.

7. Zugzahlen

Für die Berechnung der maximalen Schwingschnellen KB_{Fmax} , der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTT} und des sekundären Luftschallpegels L_{sek} wurde vom Auftraggeber das folgende Verkehrsmengengerüst für den PFA 1 zur Verfügung gestellt:

Tab. 7-1: Zugzahlen, Summe beide Richtungsgleise

Linie	Züge 6-22 Uhr	Züge 22-6 Uhr
TWT	552	84
Nachtlinie	0	32
Summe	552	116

Die Grundlage für die Prognose der Erschütterungen zwischen dem Strecken-km 2,8+25 und km 3,3+00 stellt der Standardgleisoberbau ohne erschütterungsmindernde Maßnahmen dar.

Der Streckenabschnitt im Bereich der WS Waldfriedhof zwischen dem Strecken-km 2,7+00 und km 2,8+25 ist nicht Gegenstand der vorliegenden Prognose. Entsprechende Empfehlungen hinsichtlich erschütterungsmindernder Maßnahmen enthält die Unterlage [9], Erschütterungstechnische Prognosen, Neubaustrecke Tram-Westtangente vom Juli 2019.

8. Prognose und Ergebnisbewertung

8.1 Prognose

Es wurde für die Prognose eine Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h zugrunde gelegt. Zusätzlich wurde bei den Emissionen ein Sicherheitszuschlag um den Faktor 1,3 in Ansatz gebracht, um Mess- und Prognoseunsicherheiten im konservativen Sinn zu berücksichtigen.

In der nachstehenden Tabelle sind die Ergebnisse der Erschütterungsprognose und der Prognose des sekundären Luftschalls für die untersuchten Gebäude bzw. Prognosepunkte zusammengefasst.

Tab. 8-1: Prognose Erschütterungseinwirkungen und sekundärer Luftschall

Nr.	Gebäude/Nutzung	MP	Anhaltswerte Erschütterungen						Erschütterungs- immissionen			GW L _{sek}		L _{sek}	
			A _u		A _o		A _r		KB _{Fmax}	KB _{FTr}		in dB(A)			
			T	N	T	N	T	N		T	N	T	N	T	N
1	Fürstenrieder Str. 277 (MI)	2. OG	0,3	0,225	5	0,6	0,15	0,105	0,171	0,088	0,057	40	30	21,5	17,8
2	Fürstenrieder Str. 281 (MI)	3. OG							0,148	0,076	0,049			22,8	19,0

8.2 Summarische Bewertung

Die obenstehenden Prognosewerte werden nachstehend mit den maßgeblichen Beurteilungswerten verglichen.

Tab. 8-2: Vergleich Prognosewerte - Beurteilungswerte

Nr.	Gebäude/Nutzung	MP	Erschütterungsimmissionen		GW L _{sek}	L _{sek}	Differenzen Prognose - Beurteilungswert					
			Anhaltswert				Messwert					
			A _u		KB _{Fmax}	in dB(A)				KB _{Fmax}	L _{sek} in dB	
			T	N		T	N	T	N	N	T	N
1	Fürstenrieder Str. 277 (MI)	2. OG	0,3	0,225	0,171	40	30	21,5	17,8	-24%	-18,5	-12,2
2	Fürstenrieder Str. 281 (MI)	3. OG			0,148			22,8	19,0	-34%	-17,2	-11,0

Es wird ersichtlich, dass die Anforderungen der DIN 4150 an den beiden untersuchten Gebäuden nördlich der WS Waldfriedhof, östlich der Fürstenrieder Straße deutlich eingehalten werden.

Der $KB_{F\text{max}}$ unterschreitet nachts an beiden Objekten den unteren Anhaltswert. Es ist weder ein Vergleich mit dem unteren Anhaltswert für den Tagzeitraum, noch eine Beurteilung anhand der Anforderungen für den $KB_{F\text{Tr}}$ notwendig.

Ebenso unterschreiten die Prognosewerte für den sekundären Luftschall tags und nachts deutlich die Anhaltswerte.

Die untersuchten Gebäude weisen im Bereich zwischen dem Strecken-km 2,7 und 3,3 die niedrigsten Abstände zum geplanten Gleiskörper der TWT auf und verfügen über Holzbalken- oder Betondecken. Die Prognosewerte sind folglich als repräsentativ für eine Beurteilung hinsichtlich der Einhaltung der Anforderungen der DIN 4150-2 für den Streckenabschnitt zu bewerten.

Die Gebäude unmittelbar südöstlich der Kreuzung der Fürstenrieder Straße mit der Waldfriedhof-/Würmtalstraße, Fürstenrieder Str. 255 - 257 liegen gemäß FNP im allgemeinen Wohngebiet. Diese weisen einen größeren Abstand zum Gleiskörper als die Prognoseobjekte auf, wenigstens rd. 17 m. Anhand der Tab. 8-1 wird ersichtlich, dass in einem Abstand von wenigstens rd. 13,5 m der A_u für allgemeine Wohngebiete der DIN 4150-2 von 0,15 nachts gerade erreicht oder überschritten wird. Der A_u tags von 0,225 wird unterschritten. Der A_r von 0,105 tags und 0,075 nachts wird unterschritten. Die Anforderungen der DIN 4150-2 werden folglich unter Berücksichtigung der Prognoseunsicherheit auch an den Gebäuden in allgemeinem Wohngebiet im untersuchten Abschnitt eingehalten.

Die maximalen aus dem Betrieb der TWT zu erwartenden Schwingschnellen im Boden des östlichen Rands des Waldfriedhofs liegen rechnerisch bei $\leq 0,15$ mm/s. Die Erschütterungen im Boden liegen folglich nur unwesentlich über der Fühlschwelle.

Die DIN 4150-2 stellt auf eine Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden ab. Diese unterstellt den dauerhaften Aufenthalt von Menschen in Gebäuden, der auf dem weitgehend unbebauten Waldfriedhofsareal nicht gegeben ist.

9. Zusammenfassung

Die Stadtwerke München planen die Umsetzung der Tram Westtangente (TWT). Das Vorhaben wurde erstmals in 2019 erschütterungstechnisch untersucht und beurteilt.

Gemäß der Nebenbestimmung 2.5.3 des Bescheids Gz. 32.2-3623.4-4-15 vom 04.09.2023 der Planfeststellungsbehörde sind entlang der Fürstenrieder Straße im gesamten Bereich südlich der Kreuzung Waldfriedhof-/Würmtalstraße erschütterungsmindernde Maßnahmen baulich umzusetzen.

Vorliegende Ergänzungsunterlage stellt auf eine Prüfung des Erfordernisses erschütterungsmindernder Maßnahmen im Streckenabschnitt, Strecken-km 2,8+25 bis 3,3+00 hinsichtlich der Einhaltung der Anforderungen der DIN 4150-2 ab.

Die Prognose erfolgte anhand von im November 2024 messtechnisch ermittelten Übertragungsfunktionen an zwei Gebäuden östlich der Fürstenrieder Straße.

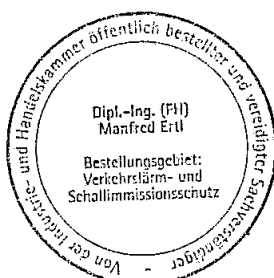
Die Untersuchung kommt zu folgenden Ergebnissen:

1. Die Erschütterungsprognose lässt erwarten, dass aufgrund der eingesetzten Avenio-Züge und dem Abstand der Randbebauung zu den Gleisen südlich der Kreuzung Waldfriedhof-/Würmtalstraße, östlich der Fürstenrieder Straße zwischen dem Strecken-km 2,8+25 und 3,3+00 die Anhaltswerte der heranzuziehenden DIN 4150-2 bezüglich der Erschütterungseinwirkungen für Menschen in Gebäuden eingehalten werden.
2. Die Anhaltswerte für sekundären Luftschall werden nach der vorliegenden Prognose mit großer Sicherheit eingehalten.
3. Das Niveau der maximal zu erwartenden Schwingschnellen am östlichen Rand des Waldfriedhofs liegt rechnerisch bei $\leq 0,15$ mm/s und folglich nur geringfügig über der der Fühlschwelle. Die DIN 4150-2 stellt auf eine Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden ab und findet folglich auf dem Friedhofsgelände keine Anwendung. Eine Belästigung von Friedhofsbesuchern durch die Erschütterungen aus dem Trambetrieb ist unseres Erachtens nicht zu besorgen.
4. Erschütterungsmindernde Maßnahmen zwischen dem Strecken-km 2,8+25 und km 3,3+00 werden aus gutachterlicher Sicht nicht erforderlich.

Augsburg, 25.03.2025

Dipl.-Ing. (FH) M. Ertl

i. A. B. Sc. Luis Mahlkecht



A) häufig verwendete Abkürzungen

G	Gebietsnutzung: Gewerbegebiet
L _{sek}	Sekundärer Luftschallpegel in dB(A)
M	Mischgebiet
KB _{Fmax}	Maximale KB-bewertete Schwingschnelle (30 s Taktmaximalverfahren)
KB _{Ftr}	Beurteilungsschwingstärke
S	Schule
U	Urbane Gebiete
W	Wohngebiet
x / y / z	Messrichtung, x / y = horizontal, z = vertikal

B) Grundlagenverzeichnis

- [1] SWM, Auszug aus der digitalen Flurkarte im Untersuchungsgebiet, 28.03.2018
- [2] SWM, Zugzahlen der TWT und der Linie 18+19, Prognose 2030, 04.05.2018
- [3] Stadt München, Online-Informationssystem für Bebauungspläne
- [4] Stadt München, Online-Informationssystem zum Flächennutzungsplan
- [5] Luftbildauszüge des Untersuchungsraums, Quelle Google Earth
- [6] Geodaten Online, DOP40, abgerufen am 20.09.2023
- [7] Geodaten Online, LoD2-Gebäude, abgerufen am 20.09.2023
- [8] em plan, Unterlage 10.2, Tektur C, Erschütterungstechnische Prognosen – Stadtwerke München GmbH, Neubaustrecke Tram Westtangente, Planfeststellungsabschnitt PFA 2, Stand 11.2023
- [9] em plan, Erschütterungstechnische Prognosen – Stadtwerke München GmbH, Neubaustrecke Tram Westtangente, Stand 07.2019

C) Regelwerke

Für die Untersuchung wurden folgende Grundlagen herangezogen:

- (1) DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen
- (2) DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- (3) DB AG, Leitfaden für den Planer, Körperschall und Erschütterungsschutz, August 1996
- (4) Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr, Januar 2006

- (5) VDI 3837, Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen – Spektrales Prognoseverfahren, März 2006
- (6) Richtlinie Bautechnik, Leit-, Signal- und Kommunikationstechnik, Grundlagen des Oberbaus, Erschütterungen und sekundärer Luftschall, RIL 800.2050, 01.01.2017

D) Anlagenverzeichnis

Anlage Nr.	Art	Inhalt
1	Lageplan	Übersichtslageplan Untersuchungsraum
2	Abbildungen	Fotodokumentation der Messungen
3	Tabellen/Grafiken	Berechnungsergebnisse der Prognose
4	Tabellen	Eingangsdaten der Prognose

E) Tabellenverzeichnis

Tab. 4-1: Anhaltswerte für Erschütterungs-Immissionen gemäß DIN 4150-2	13
Tab. 4-2: Wahrnehmung von Erschütterungen	13
Tab. 5-1: untersuchte Gebäude	15
Tab. 5-2: eingesetzte Messtechnik	15
Tab. 7-1: Zugzahlen, Summe beide Richtungsgleise	19
Tab. 8-1: Prognose Erschütterungseinwirkungen und sekundärer Luftschall	20
Tab. 8-2: Vergleich Prognosewerte - Beurteilungswerte	20

F) Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: PFA 1 – Strecken-km 2,8+00 bis 3,3, Luftbild Quelle: Google Earth.....	5
Abb. 2: Auszug Flächennutzungsplan der LHM, genordet, abgerufen März 2025.....	7
Abb. 3: Auszug Legende zum Flächennutzungsplan der LHM.....	8
Abb. 4: Emissionsspektrum	16