

Unterlage 10.2
Tektur C

Vorhaben: Erschütterungstechnische Prognosen
Stadtwerke München GmbH
Neubaustrecke Tram Westtangente
Planfeststellungsabschnitt PFA 2

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

Bearbeitungsstand: 11/2023

Projekt-Nr.: 2023 851

Auftrag vom: 19.08.2015

Anzahl Seiten: 31

Anzahl Anlagen: 5, s. Anlagenverzeichnis

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

Durchwahl: 0821 / 207 129 10

E-Mail: mertl@em-plan.com

Mitarbeiter: B. Sc. (TUM) Luis Mahlkecht

Dokument: 851_SWM_TWT_Tektur_C_Ersch_PFA2_112023

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.	Bebauungspläne	8
4.	Baumaßnahmen und Tektur C	9
5.	Prognoseverfahren – VDI 3837	10
6.	Beurteilungsgrundlagen.....	13
6.1	Erschütterungen - DIN 4150-2.....	13
6.2	Sekundärer Luftschall.....	15
7.	Messdurchführung und Messgeräte	16
7.1	Messorte und Messdatum	16
7.2	Messgeräte	17
8.	Auswertung und Messergebnisse.....	18
8.1	Eingangsspektren	18
8.2	Übertragungsfunktionen nach VDI 3837.....	19
8.3	$KB_{F_{max}}$ - Werte nach DIN 4150-2	19
8.4	Sekundärer Luftschall.....	19
9.	Zugzahlen	21
10.	Prognose und Ergebnisbewertung	22
10.1	Prognose.....	22
10.2	Summarische Bewertung	24
11.	Erschütterungsmindernde Maßnahmen.....	27
12.	Zusammenfassung.....	28
A)	häufig verwendete Abkürzungen	30
B)	Grundlagenverzeichnis.....	30
C)	Regelwerke	31
D)	Anlagenverzeichnis	31
E)	Tabellen	31

1. Gegenstand der Untersuchung

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

Für das Vorhaben ist eine Tektur vorzunehmen.

Die Tektur ist durch die notwendige Berücksichtigung des inzwischen rechtsverbindlichen Bebauungsplans mit Grünordnung Nr. 2139, Machtlfinger Straße (östlich), Boschetsrieder Straße (südlich), Geisenhausenerstraße (westlich), Helfenriederstraße (nördlich) (Teiländerung der Bebauungspläne Nrn. 410, 1070) vom 30.05.2023, vorgebrachte Einwendungen, und zur Berücksichtigung des Radentscheids München vom 24.07.2019 veranlasst.

Die vorliegende Tektur C behandelt diesbezüglich die Änderung der Tram Westtangente der Stadtwerke München im Planfeststellungsabschnitt 2 (PFA 2) von Strecken-km 0+000 bis km 2+700 und ersetzt in diesem Streckenabschnitt die Untersuchung aus 2019.

Es sieht die Planung den zweigleisigen Neubau der Tram Westtangente und den Umbau der ÖV-Anlage in der Aidenbachstraße, in welcher zusätzlich der Tram-Verkehr abgewickelt wird, vor.

Der PFA 2 beginnt in der o. g. ÖV-Anlage, führt nach Norden bis zum Knoten Ratzingerplatz, verschwenkt über die Boschetsrieder Straße in Richtung Westen und über den Knoten Drygalski-Allee in Richtung Nordwesten. Nach der Unterführung der Autobahn A 95 verläuft die TWT in Richtung Norden über die Fürstenrieder Straße bis zum Waldfriedhof und endet dort an der Einmündung Stefan-Zweig-Weg.

Die Strecke ist mit Ausnahme des Waldfriedhofs und des Landschaftsschutzgebiets Südpark süd-östl. A95 beiderseits gesäumt von Wohn- und Geschäftsnutzungen.

Im Vorfeld der Umsetzung der Tram Westtangente wurden im PFA 2 die Schwingungseigenschaften von vier repräsentativen Gebäuden, entlang der Baumaßnahme durch Ersatzanregung ermittelt. Ergänzend wurden mit Verfestigung der Planung im Bereich des Bebauungsplans 2139 in 2022 zusätzliche Erschütterungsmessungen durchgeführt.

Für die Gebäude ist anhand der ermittelten Übertragungsfunktionen und geeigneten Emissionsspektren aus vergleichbaren gemessenen Situationen eine Erschütterungsprognose für den künftigen Straßenbahnbetrieb nach der VDI 3837, Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen – Spektrales Prognoseverfahren, zu erstellen und anhand der dafür einschlägigen Norm, der DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, zu beurteilen.

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 Randbedingungen und Ergebnisse der Untersuchung werden im vorliegenden Bericht dokumentiert.

2. Örtlichkeiten

Die Tram Westtangente beginnt an der ÖV-Anlage in der Aidenbachstraße, führt über die Boschetsrieder Straße, die Fürstenrieder Straße und die Wotanstraße zum Romanplatz.

Der vorliegend betrachtete PFA 2 umfasst den Abschnitt von der ÖV-Anlage Aidenbachstraße bis südlich der Wendeschleife Waldfriedhof.



Abbildung 1: Übersichtsskizze Verlauf der Tram Westtangente, Luftbild Quelle: Google Earth

Der Bauanfang des PFA 2, die ÖV-Anlage, befindet sich in der Aidenbachstraße im Ortsteil München-Obersendling und führt nach Norden bis zum Knoten Ratzingerplatz, verschwenkt über die Boschetsrieder Straße in Richtung Westen und über den Knoten Drygalski-Allee in Richtung Nordwesten. Nach der Unterführung der Autobahn A 95 verläuft die TWT in Richtung Norden über die Fürstenrieder Straße bis zum Waldfriedhof und endet dort an der Einmündung des Stefan-Zweig-Wegs. Dort schließt die bereits genehmigte Trasse des Planfeststellungsabschnitts 1 an.

Im Umfeld der ÖV-Anlage befinden sich vorwiegend gewerbliche Nutzungen und Mischgebietsnutzungen. Jeweils nördlich und südlich befinden sich neu errichtete Schulgebäude.

Südlich der Boschetsrieder Straße befinden sich ca. bis Bau-km 1+300 gewerbliche Nutzungen. Alle weiteren Nutzungen entlang der Boschetsrieder Straße sind, mit Ausnahme einer Schule in der Drygalsky-Allee 2, Nutzungen in Wohngebieten.

In dem seit Mai 2023 rechtsverbindlichen Bebauungsplan Nr. 2139 sind als Art der baulichen Nutzung fünf Gewerbegebiete (GE 1 mit GE 5), ein Urbanes Gebiet (MU, gegliedert in Teilflächen MU 1 bis 4) und ein Kerngebiet (MK) festgesetzt. Das Areal liegt südlich der Boschetsrieder



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	Nachrichtliche Übernahmen*, Kennzeichnungen** und Sonstige	
SOGI	SO Industrieller Gemeinbedarf	Regionaler Grünzug*	
SOEZ	SO Einzelhandel	FFH-Gebiet*	
SOFM	SO Fachmarkt	Vorrangfläche für Kiesabbau*	
SOGH	SO Großhandel	Vorbehaltsgebiet Kies und Sand*	
SOM	SO Messe		
SOH	SO Hochschule		
SOK	SO Kultur		
SOLV	SO Landesverteidigung		
SOF	SO Forschung		
SOBV	SO Brauereiverlagerung		
	oder nach Beschriftung im Plan		

Abbildung 3: Auszug Legende zum Flächennutzungsplan der LHM

3. Bebauungspläne

Entlang der Linienführung der TWT im PFA 2 sind folgende Bebauungspläne rechtsverbindlich.

Tab. 3-1: rechtsverbindliche Bebauungspläne

Nr.	Bezeichnung	Nutzung	Rechtsverbindlichkeit
136a	Kreuzhofstraße (nördlich)	WA, L	03.04.1970
245a	Aidenbachstraße (östlich); Zwischen Zielstatt- und Boschetsrieder Straße (Feuerwache II)	Gemeinbedarfsfläche (Feuerwehr)	05.04.1968
245b	Boschetsrieder Straße (südlich), Hofmannstraße (östlich)	MK	04.07.1971
343	Olympia-, Fürstenrieder- und Boschetsrieder Straße im Bereich Kreuzhof	WA, MI, Verkehrsführung, Parkplatz, AG	23.08.1972
391	Boschetsrieder Straße zwischen Höglwörther und Ramsauer Straße	WA	07.11.1969
410	Boschetsrieder Straße zwischen Höglwörther und Aidenbachstraße	Verkehrsführung, AG	29.05.1968
1070	Boschetsrieder, Geisenhausener-, Kistlerhof-, Schertlin- und Machtfinger Straße	GE, MI, Gemeinbedarfsfläche (Kirche)	02.10.1978
1300	Boschetsrieder Straße westlich der Höglwörther Straße (Teiländerung des Beb. Pl. Nr. 343)	WA, L	12.09.1980
1488	Drygalski-Allee/Ecke Boschetsrieder Straße – Thomas-Mann-Gymnasium – (Änderung des Beb. Pl. Nr. 71e und Teiländerung des Beb. Pl. Nr. 343)	Gemeinbedarfsfläche (Schule)	27.09.1985
2072a	Boschetsrieder Straße (südlich), Drygalski-Allee (östlich), Kistlerhofstraße (nördlich), Machtfinger Straße (westlich) (Teiländerung des Beb. Pl. Nr. 918b)	WA, MK	08.12.2016
2139	Bebauungsplan mit Grünordnung Machtfinger Straße (östlich), Boschetsrieder Straße (südlich), Geisenhausenerstraße (westlich), Helfenriederstraße (nördlich) (Teiländerung der Bebauungspläne Nrn. 410, 1070)	MU, MK, GE	30.05.2023

4. Baumaßnahmen und Tektur C

Die Baumaßnahme besteht im Wesentlichen aus dem Neubau der zweigleisigen Tram Westtangente, beginnend ab der baulich anzupassenden ÖV-Anlage in der Aidenbachstraße. In der Aidenbachstraße führt die TWT nach Norden bis zum Knoten Ratzingerplatz, verschwenkt über die Boschetsrieder Straße in Richtung Westen und über den Knoten Drygalski-Allee in Richtung Nordwesten. Nach der Unterführung der Autobahn A 95 verläuft die TWT in Richtung Norden über die Fürstenrieder Straße bis zum Wandfriedhof und endet auf Höhe der Einmündung des Stefan-Zweig-Wegs.

Die Gleise der TWT verlaufen vorwiegend in einem besonderen Gleiskörper. Die gewählte Oberbauform ist ein Rasengleis mit hoch liegender Vegetationsebene. Davon ausgenommen ist insbesondere die ÖV-Anlage an der Aidenbachstraße sowie Abschnitte im Bereich von Kreuzungen und Fußgängerüberwegen, in denen die Trasse mit einer festen Fahrbahn ausgebildet wird. Als Folge der Neubaumaßnahmen wird der Straßenraum überplant und abschnittsweise neu geordnet. Die baulichen Änderungen des Straßenraums sind hinsichtlich der Erschütterungen aus Straßenverkehr nicht als relevant einzustufen und werden im Weiteren nicht behandelt.

Die vorliegende Tektur hat neben der Berücksichtigung des Bebauungsplans Nr. 2139, vorgebrachte Einwendungen, und die Auswirkungen des Radentscheids auf die Verkehrsanlagenplanung zum Gegenstand.

Im Rahmen der Änderungen gegenüber der Urplanung wurden die Fahrbahnen inkl. Parkbucht auf der Nordseite der Boschetsrieder zugunsten einer Radwegführung zwischen Baumgraben und Parkreihe nach Süden verschoben, was ebenfalls das Verschieben beider Gleise nach Süden zur Folge hatte. Im Rahmen dessen wurde eine Anpassung des Doppelgleisachsabstands um 15 cm vorgenommen.

Die maximalen Anpassungen der Trassierung betragen eine Abrückung aus der bisherigen Gleislage um ca. 3 m etwa 170 m westlich der Verschwenkung der Linienführung von der Boschetsrieder Straße in die Aidenbachstraße bei km 0+550 nach Norden. Bei km 1+300 ist eine maximale Abrückung von ca. 1,2 m nach Süden gegeben. Überwiegend liegen die Änderungen der Gleislagen im Bereich von einigen Zentimetern bis Dezimetern.

5. 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.

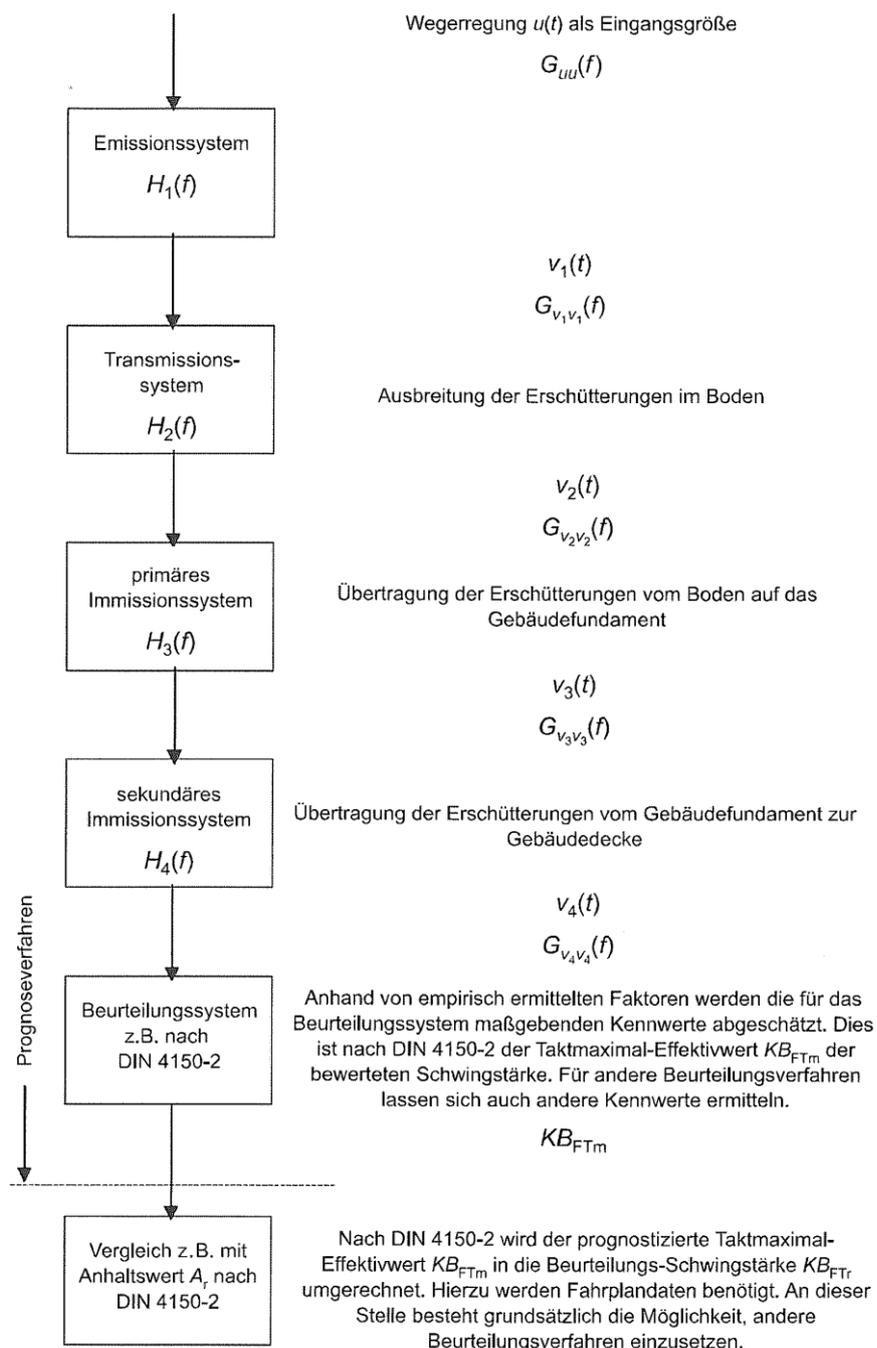


Abbildung 4: Blockschaltbild für das spektrale Prognoseverfahren der VDI 3837

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 $KB_{F_{max}}$ ermittelt worden. Aus diesen errechnen sich über die Zugfrequenz die Beurteilungsschwingschnellen $KB_{F_{Tr}}$ 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.

6. Beurteilungsgrundlagen

6.1 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 Erschütterungsergebnisse 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. 6-1: 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. 6-2: 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

6.2 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.

7. Messdurchführung und Messgeräte

7.1 Messorte und Messdatum

Die Örtlichkeiten sind dem Lageplan in den Anlagen 1 und 2 zu entnehmen. Es wurden an folgenden Gebäuden die Übertragungsfunktionen ermittelt.

Tab. 7-1: untersuchte Gebäude

Nr.	Gebäude	Messdatum	Messpunkt				Deckenaufbau
			1	2	3	4	
1	Aidenbachstr. 30	30.10.2018	Gehweg	Sockel	EG Geschäft	OG Arztpraxis	Beton
2	Boschetsrieder Str. 129	29.08.2018	Gelände	Sockel	EG Lager	OG WZ	Beton
11	Fürstenrieder Str. 307	26.09.2018	Gehweg	Fundament	EG Treppenpodest	OG Treppenpodest	Beton
13	Höglwörther Str. 391	29.08.2018	Gelände	Lichtschacht	EG Flur	OG Flur	Beton
Messung im Ausbreitungsquerschnitt (nachträgliche Zusatzmessung)							
19	BP Nr. 2139	24.11.2021	8 m Gelände	22 m Gelände	28 m Gelände	52 m Gelände	-

Die Numerierung der Messorte ist aus Konsistenzgründen zur Vorgängerefassung der Untersuchung beibehalten.

Der Messpunkt 19 wurde aufgrund vorgebrachter Einwendungen als Messquerschnitt im Bereich des Bebauungsplans Nr. 2139 aufgenommen. Im Rahmen jener Einwendungen wurde geltend gemacht, dass die, zu diesem Zeitpunkt noch nicht rechtsverbindliche, Planung im Rahmen erschütterungstechnischer Begutachtungen zu berücksichtigen sei.

Im Rahmen der zusätzlichen Messungen wurde am Ort der künftigen Gleistrasse durch mehrmalige Ersatzanregung mittels Flächenrüttler an zwei 8-m-Punkten das Erschütterungssignal aus der Ersatzanregung bestimmt. In einem zweiten Schritt wurden an weiteren Messpunkten im Ausbreitungsquerschnitt auf dem künftigen Baufeld die Schwingschnellen durch die Ersatzanregung am selben Ort (künftigen Gleistrasse) erfasst. Die Messung erfolgte analog zur emissionsseitigen Messung über jeweils mehrminütige Ersatzanregung in unterschiedlichen Lastzuständen. Dies bildet die Grundlage für die Bestimmung der Erschütterungsausbreitung und der spektralen Abnahmefaktoren zwischen der Gleistrasse und dem Ort der künftigen Bebauung.

Die Boschetsrieder Straße 129 (Messpunkt 2) wird im Zug der Umsetzung des Bebauungsplans rückgebaut.

7.2 Messgeräte

Für die Messung wurden folgende Geräte bzw. Programme verwendet:

Tab. 7-2: eingesetzte Messtechnik

Gerät / Programm	Typ	Hersteller	Seriennummer
4x Beschleunigungsaufnehmer	KS 48C	Metra Mess- u. Frequenztechnik	10109, 10107, 10174, 12044
Messgerät	SoundBook Quadro	Sinus Messtechnik GmbH	6308
SAMURAI	2.8.3	Sinus Messtechnik GmbH	---

8. Auswertung und Messergebnisse

8.1 Eingangsspektren

Für die Prognose wurden das Emissions- und Transmissionssystem

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

durch bereits durchgeführte Messungen in einer vergleichbaren Situation in der Ismaninger Straße abgebildet.

Die Messungen erfolgten in 8 m und 16 m Entfernung zur Gleisachse. Für die Prognose wird die Dämpfung durch den Gleisabstand zur Bebauung entsprechend der tatsächlichen Situation auf die folgenden mittleren Abstände zu den Gleisachsen umgerechnet.

Tab. 8-1: mittlerer Abstand der Gleisachsen zu den untersuchten Gebäuden

Nr.	Gebäude	Distanz
1	Aidenbachstr. 30	16,3
2	Boschetsrieder Str. 129	24,1
11	Fürstenrieder Str. 307	22,8
13	Höglwörther Str. 391	24,8
19	BP. Nr. 2139 (noch unbebaut)	22,0

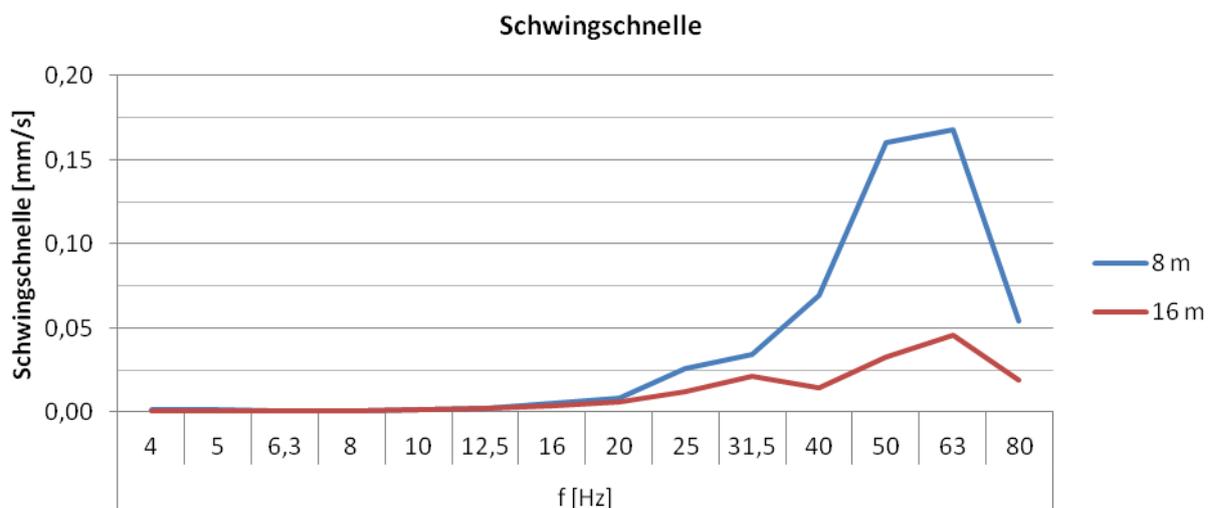


Abbildung 5: Eingangsspektrum

Die o. a. Emissionsspektren (Fahrzeugtyp Avenio, Vierteiler) wurden bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von etwa 35 km/h gemessen und stellen Mittelungsspektren 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 straßenbündigem Bahnkörper. Die Emissionsspektren werden linear auf die Höchstgeschwindigkeit der TWT hochgerechnet.

8.2 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.

8.3 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. 6.1).

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.

8.4 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.

9. Zugzahlen

Für die Berechnung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} und des sekundären Luftschallpegels L_{sek} im Ausbauzustand wurden vom Auftraggeber folgende Verkehrsmengengerüste für die Strecke zur Verfügung gestellt:

Tab. 9-1: Zugzahlen, Summe beide Richtungsgleise

Linie	Züge 6-22 Uhr	Züge 22-6 Uhr
TWT	384	84
Nachtlinie	0	32
Summe	384	116

10. Prognose und Ergebnisbewertung

10.1 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.

Die Prognosewerte sind bis auf den Prognosepunkt 2 messwertgestützt, was die Gebäudeübertragungsfunktionen anbelangt. Die Messungen am Gebäude Boschetsrieder Straße 129, welches mit Umsetzung des Bebauungsplans 2139 rückgebaut werden soll, haben sich im Zug der Auswertung als nicht verwertbar gezeigt und wurden in der Urfassung entsprechend gekennzeichnet.

Als alternatives Prognoseverfahren wurde im Rahmen der Tektur eine Prognose anhand der RIL 820.2050, Grundlagen des Oberbaus, Erschütterungen und sekundärer Luftschall vorgenommen. Das Regelwerk stellt für Gebäude mit Beton- und Holzbalkendecken spektrale Übertragungsfunktionen ΔL_G in Abhängigkeit von der Deckenresonanzfrequenz zur Verfügung. Bei dem gegebenen Anregespektrum der Avenio-Tramfahrzeuge ergibt sich im Bereich von Betondecken, die im Regelfall Eigenfrequenzen von nicht über 20 Hz aufweisen, die maximale Schwingantwort bei 20 Hz. Der o. a. Prognosewert für den Prognosepunkt 2 stellt hierauf ab.

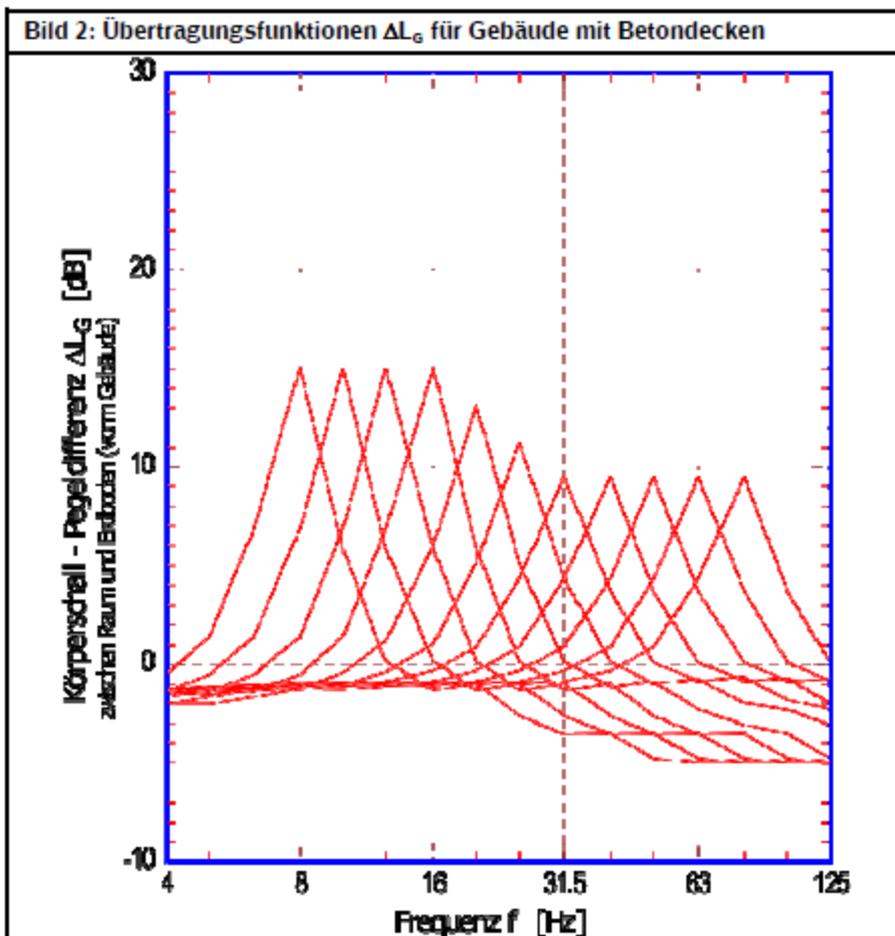


Abbildung 6: Übertragungsfunktion nach RIL 820.2050 für Gebäude mit Betondecken

Für den Bebauungsplan Nr. 2139 wurden in 2021 vorsorglich zusätzliche Überlegungen angestellt. Bei den Neubauten ist noch ungeklärt, ob diese in Holz- oder Massivbauweise errichtet werden. Im Gegensatz zu Betondecken weisen Holzbalkendecken typischer Weise Eigenresonanzfrequenzen im Bereich von 6 bis 16 Hz auf. Bei dem gegebenen Anregespektrum ergeben sich die höchsten Schwingantworten bei 16 Hz.

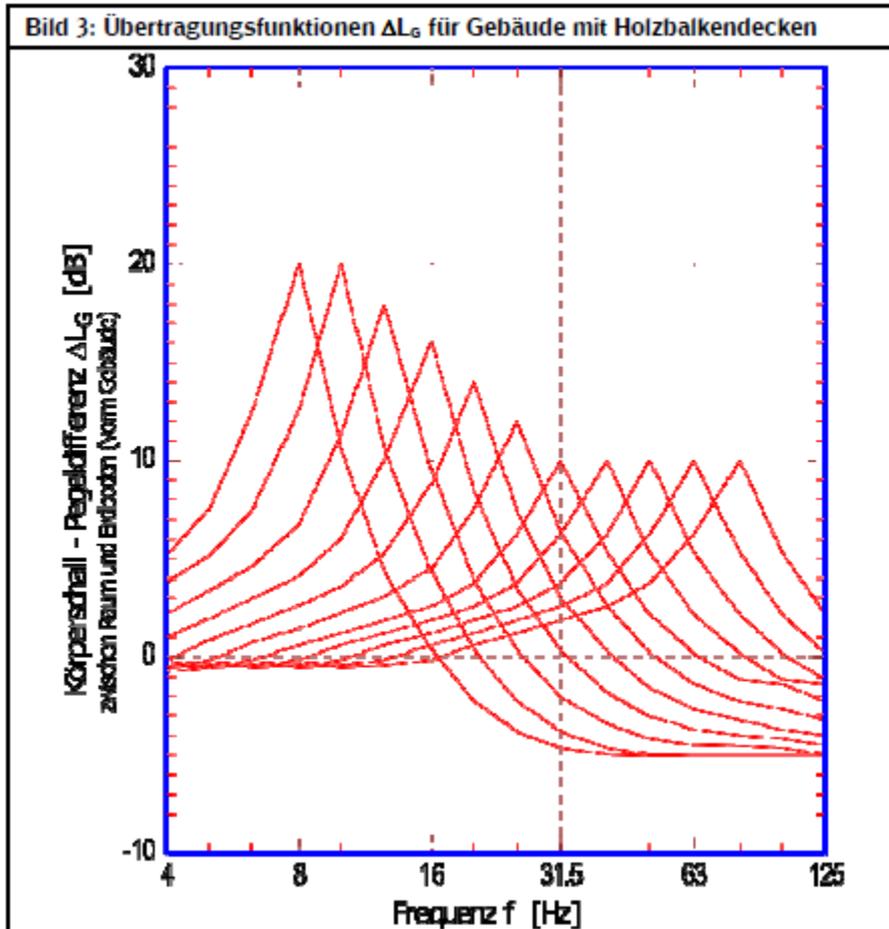


Abbildung 7: Übertragungsfunktion nach RIL 820.2050 für Gebäude mit Holzbalkendecken

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

Tab. 10-1: Prognose Erschütterungseinwirkungen und sekundärer Luftschall

Nr.	Gebäude/Nutzung	MP	Anhaltswerte Erschütterungen						Erschütterungseinwirkungen			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	Aidenbachstr. 30 M	EG	0,3	0,225	5	0,6	0,15	0,105	0,100	0,045	0,035	40	30	19,5	17,3
		OG	0,3	0,225	5	0,6	0,15	0,105	0,136	0,061	0,047	40	30	15,5	13,3
2	Boschetsrieder Str. 129 GE (Rückbau geplant)	EG	0,45	0,3	6	0,6	0,225	0,15	0,052	0,023	0,018	40	30	14,7	12,5
		OG	0,45	0,3	6	0,6	0,225	0,15	0,066	0,029	0,023	40	30	17,3	15,1
11	Fürstenrieder Str. 307 W	EG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,029	0,013	0,010	40	30	10,2	8,0
		OG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,076	0,034	0,026	40	30	12,3	10,1
13	Höglwörther Str. 391 W	EG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,008	0,004	0,003	40	30	6,4	4,2
		OG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,020	0,009	0,007	40	30	8,4	6,2
19	BP Nr. 2139 MU Betondecken	EG	0,3	0,225	5	0,6	0,15	0,105	0,057	0,026	0,020	40	30	15,5	13,3
		OG	0,3	0,225	5	0,6	0,15	0,105	0,088	0,040	0,031	40	30	19,0	16,8
19	BP Nr. 2139 MU Holzbalkendecken	EG	0,3	0,225	5	0,6	0,15	0,105	0,057	0,026	0,020	40	30	15,9	13,7
		OG	0,3	0,225	5	0,6	0,15	0,105	0,068	0,030	0,024	40	30	17,4	15,2

10.2 Summarische Bewertung

Die o. a. Prognosewerte werden nachstehend mit den maßgeblichen Beurteilungswerten verglichen. Der KB_{Fmax} unterschreitet nachts durchweg die unteren Anhaltswerte. Es ist weder ein Vergleich mit dem unteren Anhaltswert für den Tagzeitraum, noch eine Beurteilung anhand der Anforderungen für den KB_{FTr} notwendig.

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

Nr.	Gebäude/Nutzung	MP	Anhaltswerte Erschütterungen		Erschütterungseinw.	GW L _{sek}		L _{sek}		Differenzen Prognose - Beurteilungswert		
			A _u			KB _{Fmax}	in dB(A)				KB _{Fmax}	
			T	N	T		N	T	N	N	T	N
1	Aidenbachstr. 30	EG	0,3	0,225	0,100	40	30	19,5	17,3	-0,12	-20,5	-12,7
	M	OG	0,3	0,225	0,136	40	30	15,5	13,3	-0,09	-24,5	-16,7
2	Boschetsrieder Str. 129	EG	0,45	0,3	0,052	40	30	14,7	12,5	-0,25	-25,3	-17,5
	GE	OG	0,45	0,3	0,066	40	30	17,3	15,1	-0,23	-22,7	-14,9
11	Fürstenrieder Str. 307	EG	0,225	0,15	0,029	40	30	10,2	8,0	-0,12	-29,8	-22,0
	W	OG	0,225	0,15	0,076	40	30	12,3	10,1	-0,07	-27,7	-19,9
13	Höglwörther Str. 391	EG	0,225	0,15	0,008	40	30	6,4	4,2	-0,14	-33,6	-25,8
	W	OG	0,225	0,15	0,020	40	30	8,4	6,2	-0,13	-31,6	-23,8
19	BP 2139 (Betondecke) M	EG	0,3	0,225	0,057	40	30	15,5	13,3	-0,17	-24,5	-16,7
		OG	0,3	0,225	0,088	40	30	19,0	16,8	-0,14	-21,0	-13,2
19	BP 2139 (Holzdecke) M	EG	0,3	0,225	0,057	40	30	15,9	13,7	-0,17	-24,1	-16,3
		OG	0,3	0,225	0,068	40	30	17,4	15,2	-0,16	-22,6	-14,8

In der Gesamtschau sind die Anforderungen der DIN 4150 im PFA 2 deutlich eingehalten. Das Ergebnis stimmt in guter Weise überein mit den Grenzabständen, welche in der aus 1999 stammenden VDI 3837 für Fahrwege des ÖPNV angegeben werden. Danach ist in allen Schutzkategorien (Nutzungsarten) ein Einwirkungsbereich von maximal 25 m bei ÖPNV-Strecken relevant. Dieser gilt mithin für die erschütterungsempfindlichsten Nutzungen nachts. Im vorliegenden Fall beträgt der Abstand zur Achse des Verkehrswegs zumindest rund 20 m, zumeist ist der Abstand zur Bebauung größer.

In diesem Zusammenhang ist zu sehen, dass der Erschütterungseintrag von Avenio-Fahrzeugen deutlich geringer ist als z. B. der noch teilweise fahrenden Fahrzeuge der Baureihen R 2.2 und R 3.3, welche zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der VDI 3837 noch verbreitet im Einsatz waren. Insofern ist anhand eines Vergleichs typischer Emissionsspektren für die Baureihen für einen wahrscheinlichen Prognosefall davon auszugehen, dass eine von Avenios befahrene Strecke allenfalls bis zu einem Abstand von etwa 15 m zur Gleisachse Erschütterungen im beurteilungsrelevanten Umfang zu erzeugen geeignet ist. Dies spiegelt sich u. E. in den gefundenen Prognosewerten in guter Übereinstimmung wieder.

Gleichwohl sind an der geplanten Wendeschleife Aidenbachstraße beiderseits zwei Schulgebäude errichtet worden. Es handelt sich um sensible Nutzungen in weniger als 20 m Abstand zur Gleisachse, und zudem in einem Bereich, in dem Kurvenfahrten auftreten, was nach aller Erfahrung stets zu höheren Erschütterungseinträgen führt. Die Zunahme liegt in der Regel in einem engen Kurvenbereich mit geringem Radius in einer Bandbreite von Faktor 2 bis Faktor 4 gegenüber einer geraden Linienführung. Insofern besteht hier ein Risiko, dass in den Schulgebäuden spürbare Erschütterungen auftreten können. Um dies nach dem Stand der Technik zu vermeiden werden dort erschütterungsmindernde Maßnahmen in Form einer elastischen Lagerung vorgeschlagen. Anzustreben ist eine Abstimmfrequenz des Oberbaus von 16 Hz.

Die Empfehlung berücksichtigt

- technisch verfügbare Bauweisen von elastischen Gleislagerungen,
- mit verhältnismäßigem Aufwand erzielbare Minderungen ohne die Anwendung von Sonderbauformen,
- das anzusetzende Emissionsspektrum von Trambahnen des Typs Avenio und
- fahrdynamische Belange wie die zulässige Einsenkung der Schiene insbesondere im Bereich von Knoten als straßenbündiger Oberbau.

11. Erschütterungsmindernde Maßnahmen

In folgenden Bereichen werden erschütterungsmindernde Maßnahmen angeraten.

Tab. 11-1: Bereich für empfohlene erschütterungsmindernde Maßnahmen

Straße	empfohlener Abschnitt für erschütterungsmindernde Maßnahme	
	von Bau-km	bis Bau-km
Wendeschleife Aidenbachstraße mit Abzweigung Aidenbachstraße / Boschetsrieder Straße	0+000	0+355 (Beginn Kreuzung)

An der Wendeschleife Aidenbachstraße und der Zufahrt entlang des Schulgebäudes sollte generell eine elastische Lagerung des Oberbaus zumindest in den Gleisbögen vorgesehen werden, auch wenn diesbezüglich keine Messergebnisse vorhanden sind.

Es ist aus der Empirie zu erwarten, dass ohne erschütterungsmindernde Maßnahmen an den benachbarten schulischen Einrichtungen Erschütterungen oberhalb der Fühlschwelle auftreten können. Geht man von einer Überhöhung um ca. den Faktor 2 durch Kurvenfahrten aus ist bei einem Abstand von weniger als 20 m zum Gleis bereits mit einem Erreichen des unteren Anhaltenswerts für Wohngebiet tags zu rechnen.

12. Zusammenfassung

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

Für das Vorhaben ist eine Tektur vorzunehmen.

Die Tektur ist durch die notwendige Berücksichtigung des inzwischen rechtsverbindlichen Bebauungsplans mit Grünordnung Nr. 2139, Machtfinger Straße (östlich), Boschetsrieder Straße (südlich), Geisenhausenerstraße (westlich), Helfenriederstraße (nördlich) (Teiländerung der Bebauungspläne Nrn. 410, 1070) vom 30.05.2023, vorgebrachte Einwendungen, und zur Berücksichtigung des Radentscheids München vom 24.07.2019 veranlasst.

Die vorliegende Tektur C behandelt diesbezüglich die Änderung der Tram Westtangente der Stadtwerke München im Planfeststellungsabschnitt 2 (PFA 2) von Strecken-km 0+000 bis km 2+700 und ersetzt in diesem Streckenabschnitt die Untersuchung aus 2019.

Im Vorfeld der Umsetzung der Tram Westtangente wurden im PFA 2 die Schwingungseigenschaften von vier repräsentativen Gebäuden entlang der Baumaßnahme durch Ersatzanregung ermittelt. An einem Gebäude, der Boschetsrieder Straße 129, erwiesen sich die Messwerte als nicht direkt verwertbar.

Zwischenzeitlich wurde der Bebauungsplan Nr. 2139 rechtsverbindlich. Aufgrund vorgebrachter Einwände wurden im Baufeld ergänzende Messungen zur Feststellung der lokalen Ausbreitungsbedingungen vorgenommen.

Für die Gebäude war anhand der ermittelten Übertragungsfunktionen und geeigneten Emissionsspektren aus vergleichbaren gemessenen Situationen eine Erschütterungsprognose zu erstellen und anhand der DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, zu beurteilen. Zudem war der durch Erschütterungen verursachte Schall – der sekundäre Luftschall – in den Gebäuden zu ermitteln und auf der Grundlage der 24. BImSchV zu beurteilen. Hierzu wurden die lokal gemessenen Übertragungsfunktionen herangezogen, am Gebäude Boschetsrieder Straße 129, und im Bereich des Bebauungsplans Nr. 2139, wurde zur Prognose auf die RIL 800.2050 der Deutschen Bahn AG zurückgegriffen.

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 die Anhaltswerte der heranzuziehenden DIN 4150-2 bezüglich der Erschütterungseinwirkungen für Menschen in Gebäuden im Streckenverlauf zwischen der Kreuzung Aidenbachstraße – Boschetsrieder Straße und dem Ende des Planfeststellungsabschnitts auf Höhe Waldfriedhof eingehalten werden.
2. Im Bereich der schulischen Nutzungen an der Wendeschleife in der Aidenbachstraße wird aufgrund der gegebenen Abstandsverhältnisse, der engen Gleisradien und der Sensibilität der ausgeübten Nutzung empfohlen, vorsorglich eine elastische Lagerung des Gleiskörpers vorzunehmen. Die Lage der Maßnahmen ist dem Lageplan in Anlage 2.1 zu entnehmen.

3. Bei Berücksichtigung der empfohlenen Maßnahmen sind Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 4150-2 nicht zu erwarten.
4. Die Anhaltswerte für sekundären Luftschall werden nach der vorliegenden Prognose mit großer Sicherheit eingehalten.

Augsburg, 01.11.2023

M. Ull

Dipl.-Ing. (FH) M. Ertl



A) häufig verwendete Abkürzungen

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

B) Grundlagenverzeichnis

- (1) SWM, Genehmigungsplanung – Tektur C, 05.08.2022
- (2) SWM, Trassierung/Gradienten – Tektur C, 05.08.2022
- (3) SWM, Auszug aus der digitalen Flurkarte im Untersuchungsgebiet, 28.03.2018
- (4) SWM, Zugzahlen der TWT und der Linie 18+19, Prognose 2030, 04.05.2018
- (5) Stadt München, Online-Informationssystem für Bebauungspläne
- (6) Stadt München, Online-Informationssystem zum Flächennutzungsplan
- (7) Luftbildauszüge des Untersuchungsraum, Quelle Google Earth
- (8) Geodaten Online, DOP40, abgerufen am 20.09.2023
- (9) Geodaten Online, LoD2-Gebäude, abgerufen am 20.09.2023

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
2.1 – 2.2	Lagepläne	Messpunkte und erschütterungsmindernde Maßnahmen
3	Abbildungen	Fotodokumentation der Messungen
4	Tabellen/Grafiken	Berechnungsergebnisse der Prognose
5	Tabellen	Eingangsdaten der Prognose

E) Tabellen

Tab. 3-1: rechtsverbindliche Bebauungspläne	8
Tab. 6-1: Anhaltswerte für Erschütterungs-Immissionen gemäß DIN 4150-2	14
Tab. 6-2: Wahrnehmung von Erschütterungen	14
Tab. 7-1: untersuchte Gebäude	16
Tab. 7-2: eingesetzte Messtechnik	17
Tab. 8-1: mittlerer Abstand der Gleisachsen zu den untersuchten Gebäuden	18
Tab. 9-1: Zugzahlen, Summe beide Richtungsgleise	21
Tab. 10-1: Prognose Erschütterungseinwirkungen und sekundärer Luftschall	24
Tab. 11-1: Bereiche für empfohlene erschütterungsmindernde Maßnahmen	27