

- schallschutz
- bau- und raumakustik
- erschütterungsschutz
- wärme- & feuchteschutz
- energieberatung /-konzepte
- enev - gebäudeenergieausweis
- thermografie & luftdichtheit

Unterlage 10.2



Erschütterungstechnische Untersuchung

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr

Bericht: 21123_ers_gu01_v2

Auftraggeber: Stadtwerke München GmbH
 Verkehrsinfrastruktur - Planung
 Emmy-Noether-Str. 2
 80992 München

Kaufering, den 28.09.2022

Index	Fassung vom	Bemerkung
ers_gu01_v1	16.08.2022	Beurteilung der erschütterungstechnischen Situation hinsichtlich der Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr auf die anliegende (Wohn-)Bebauung Grundlage: Schwingungsmessungen vom 16.,20.,21.07.2022
ers_gu01_v2	28.09.2022	Red. Anpassungen, u.a. exakte Km-Angaben, Ergänzung Lage-skizze mit Kennzeichnung Erschütterungsschutzmaßnahme

Bezeichnung der Untersuchung	TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Auftraggeber	Stadtwerke München GmbH, Emmy-Noether-Str. 2, 80992 München
Auftragnehmer	 <p>hils consult gmbh Kolpingstr. 15 86916 Kaufering fon: (0 81 91) 97 14 37 fax: (0 81 91) 97 14 38 www.hils-consult.de info@hils-consult.de</p> <p>Schall Erschütterung Bauphysik</p>
Bearbeiter	Dr. rer. nat. Th. Hils, Dipl.-Ing. (FH) D. Fleischer
Datum der Berichterstellung	Kaufering, den 28.09.2022

Zusammenfassung

Die Stadtwerke München GmbH (SWM) planen im Bereich der Johanneskirchner Straße den Neubau einer Straßenbahnstrecke. Dabei sollen die bestehenden Linien 16 und 37 auf der Cosimastraße künftig tlw. zum S-Bahnhof Johanneskirchen über die Johanneskirchner Straße mit Wendeschleife geführt werden.

Den erschütterungstechnischen Belangen im Zuge des Planungs-/Genehmigungsverfahrens soll dabei durch die Ermittlung und Bewertung der Erschütterungseinwirkungen sowie des sekundären Luftschalls aus der künftigen Situation Rechnung getragen und der Nachweis eines ausreichenden Erschütterungsschutzes geführt werden. Die Beurteilung erfolgt anhand der Anhaltswerte der DIN 4150-2 [11] sowie weiterer Richtlinien, ggf. in Verbindung mit den Kriterien der „wesentlichen Änderung“.

Hierzu sind exemplarisch an maßgeblichen, im erschütterungstechnischen Einwirkungsbereich der geplanten Trasse gelegenen Anwesen Messungen der Schwingungsübertragungsfunktionen am Gebäude sowie (Emissions-)Messungen weiterer Ausgangsdaten durchzuführen. Basierend auf den zugrundeliegenden Verkehrsmengen sind damit die Beurteilungsschwingstärken sowie Pegel des sekundären Luftschalls für den Planfall 2035 zu ermitteln.

Es zeigt sich, dass

- bei den Erschütterungseinwirkungen auf die bestehenden Gebäude im Planfall mit einer Einhaltung bzw. deutlichen Unterschreitung der gebietsspezifischen Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 zu rechnen ist.
- im Hinblick auf die Einwirkungen aus sekundärem Luftschall ebenfalls eine Einhaltung der in Anlehnung an Nr. 6.2 TA Lärm [16] herangezogenen Richtwerte an den Gebäuden im Bereich von Km 0,0 bis Km 0,8 (Streckenführung i.W. etwa Mitte des Straßenkörpers) zu erwarten ist. Dementsprechend werden auch die Richtwerte der 24. BImSchV deutlich unterschritten.
- jedoch im Bereich der Wendeschleife, an den Gebäuden Freischützstraße 84 und 84a, nachts Überschreitungen des Spitzenpegelkriterium nach Nr. 6.2 der TA Lärm [16] um bis zu 4 dB(A) zu erwarten sind.

Konstruktive Maßnahmen zur Verminderung der Erschütterungsimmissionen im südlichen Bereich der geplanten Wendeschleife sind daher erforderlich. Folgende Maßnahmen wären konkret denkbar:

- 1) (primäre) Erschütterungsschutzmaßnahme am Oberbau:

Ausführung „leichtes Masse/Federsystem“ (LFMS, bzw. vergleichbar mit der Oberbauform am Bunzlauer Platz), von Km 0,8+02 bis Km 0,8+52, Länge ca. 50 m (vgl. Abb. A5 im Anhang).

INHALTSVERZEICHNIS

1. Aufgabenstellung	4
2. Örtliche Gegebenheiten - Planung	4
3. Grundlagen	6
3.1 Planungsgrundlagen, Ausgangsdaten und Regelwerke	6
3.2 Grundlagen der Erschütterungsimmissionen	9
3.2.1 Erschütterungsprognose	11
4 Beurteilungskriterien - Anforderungen	16
4.1 Erschütterungen.....	16
4.1.1 Kriterien einer wesentlichen Änderung bei Erschütterungsimmissionen	20
4.1.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen	21
4.2 Sekundärer Luftschall.....	22
4.2.1 Kriterien einer wesentlichen Änderung beim sekundären Luftschall	24
5 Schutzbedürftige Gebiete - Flächennutzung	24
5.1 Flächennutzung.....	24
5.2 Immissionsorte	25
6. Erschütterungsprognose	26
6.1 Messmethodik, Ablauf und Umfang der Untersuchung	26
6.2 Messorte	28
6.3 Messgrößen und Frequenzbereich.....	31
6.4 Messgeräte	32
6.5 Messereignisse	32
7. Auswertung/ Messergebnisse	33
7.1 Charakteristische Erregerspektren - Emissionspegel	33
7.2 Korrekturen Emissions-/Immissionsspektren	37
7.3 Abstandsbedingte Korrekturen (Transmission im Erdboden).....	38
8. Zu erwartende Immissionen innerhalb der Gebäude	38
8.1 Betriebsprogramm 2035.....	38
8.2 Abschätzung Erschütterungs-Immissionen (Erschütterungsprognose).....	40
8.2.1 Emissions-/Transmissionfunktionen	40
8.2.2 Bewertete Schwingstärke - KB-Werte	46
8.2.3 Beurteilungs- und Maximalpegel sekundärer Luftschall.....	47
9. Beurteilung der zu erwartenden Immissionen innerhalb von Gebäuden	50
9.1 Erschütterung.....	50
9.2 sekundärer Luftschall	51
10. Maßnahmen zu Verbesserung der erschütterungstechnischen Situation	52
11. Zusammenfassung	53

ANHANG:

- Lageskizzen
- grafische Darstellung der Körperschallschnelle-Spektren und Transferfunktionen
- exemplarische Darstellung gemessener Pegel-/Zeitverläufe der Körperschallschnelle
- Tabelle der messtechnisch erfassten Zugfahrten (Zugprotokoll)
- Bildnachweis (exemplarisch)
- Berechnungsdatenblätter Prognose

ANLAGEN:

- keine

1. Aufgabenstellung

Die Stadtwerke München GmbH (SWM) planen im Bereich der Johanneskirchner Straße den Neubau einer Straßenbahnstrecke. Dabei sollen die bestehenden Linien 16 und 37 auf der Cosimastraße künftig tlw. zum S-Bahnhof Johanneskirchen über die Johanneskirchner Straße mit Wendeschleife geführt werden.

Den erschütterungstechnischen Belangen im Zuge des Planungs-/Genehmigungsverfahrens soll dabei durch die Ermittlung und Bewertung der Erschütterungseinwirkungen sowie des sekundären Luftschalls aus der künftigen Situation Rechnung getragen und der Nachweis eines ausreichenden Erschütterungsschutzes geführt werden. Die Beurteilung erfolgt anhand der Anhaltswerte der DIN 4150-2 [11] sowie weiterer Richtlinien, ggf. in Verbindung mit den Kriterien der „wesentlichen Änderung“.

Hierzu sind exemplarisch an maßgeblichen, im erschütterungstechnischen Einwirkungsbereich der geplanten Trasse gelegenen Anwesen Messungen der Schwingungsübertragungsfunktionen am Gebäude sowie (Emissions-)Messungen weiterer Ausgangsdaten durchzuführen. Basierend auf den zugrundeliegenden Verkehrsmengen sind damit die Beurteilungsschwingstärken sowie Pegel des sekundären Luftschalls für den Planfall 2035 zu ermitteln.

2. Örtliche Gegebenheiten - Planung

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der Landeshauptstadt München im nordöstlichen Bereich Stadtteil Bogenhausen bzw. Johanneskirchen. Der Trassenneubau verläuft in der Johanneskirchner Str. (JK-Str..) zwischen der Cosimastraße und der Freischützstraße und endet zunächst westlich des S-Bahnhofes Johanneskirchen.

Die Stadtwerke München GmbH (SWM) haben die Ausgangslage sowie die geplanten Maßnahmen im Leistungsbild [b] wie folgt beschrieben:

...“Die Tram Johanneskirchen soll als Weiterführung der Tram Nordtangente zum S-Bahnhof Johanneskirchen geplant werden. ... Die Führung soll durch die Ausbildung eines kompletten Gleisdreiecks von der bestehenden Trasse der Trambahn der Linien 16/37 in der Cosimastraße mit Linienführung durch die Johanneskirchner Straße und Wendeschleife westlich des S-Bahnhofs Johanneskirchen erreicht werden. Sie weist eine Streckenlänge von ca. 1 km auf. Mit der Anbindung an den S-Bahnhof Johanneskirchen kann ein Anschluss ins Umland und zum Flughafen (S-Bahnlinie S8) geschaffen werden.

... Die Tram Johanneskirchen westlich der Bahngleise gilt als Vorwegmaßnahme für eine spätere Querung der DB-Bahngleise, die zeitlich unabhängig von den vorbeschriebenen DB-Ausbauplanungen realisiert werden kann. Sie ermöglicht außerdem eine anschließende mögliche Weiterführung zur Erschließung der städtebaulichen Entwicklungsmaßnahme Münchner Nordosten (SEM Nordost).

Der Projektumfang umfasst den Anschluss an die Bestandsstrecke in der Cosimastraße, führt mit einer Gesamtlänge von ca. 1 km durch die Johanneskirchner Straße und endet östlich der Freischützstraße (= westlich

des S-Bahnhofs Johanneskirchen) mittels einer Wendeanlage am östlichen Ende der Strecke, angrenzend zur Freischützstraße.

Diese Anlage besteht aus einer Wendeschleife für die Tramgleise mit einem Ausstiegsbahnsteig an der südlichen Seite der Anlage sowie einem Abfahrts- und einem Überholgleis mit je einem Tram-Bahnsteig an der nördlichen Seite der Anlage. Die Gleisanlage der Wendeschleife ist asphaltiert und wird auch durch Buslinien befahren, die den Ausstiegsbahnsteig mit nutzen. Innerhalb der Wendeschleife befindet sich eine Bushaltestelle mit zwei Bussteigen. An der nördlichen Seite der Wendeanlage führt ein Geh- und Radweg nach Osten und mündet in einen Bahnseitenweg, über den die Fahrgäste in nördlicher Richtung weiter zum S-Bahnhof Johanneskirchen gelangen können.

Die Trasse soll auf besonderem Bahnkörper mit Rasengleiseindeckung verlaufen, um die Betriebsstabilität zu erhöhen. Nur im Bereich der Haltestellen, Fußgänger- und Straßenquerungen ist das Gleis mit Asphalteindeckung ausgeführt. „...“

Die örtliche Situation ist in nachfolgender Abbildung ersichtlich:

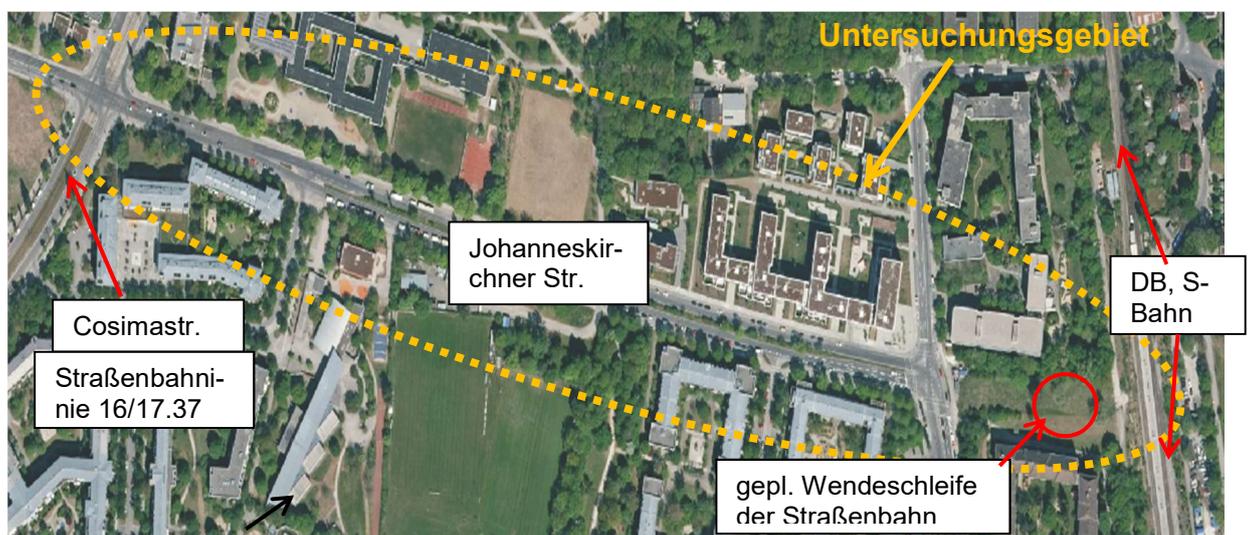


Abb. 1: Luftbild Untersuchungsgebiet (Zustand bis 2021) [Quelle: google maps]

erschütterungstechnische Vorbelastung:

Die erschütterungstechnische Situation wird im Westen des Plangebietes durch die Straßenbahngleise auf der Cosimastraße sowie im Osten durch die Bahnlinie der Deutschen Bahn zwischen Ostbahnhof und Unterföhring bestimmt. Weitere relevante erschütterungstechnische Vorbelastungen aus anderen Quellen (gewerblichen Anlagen etc.) am geplanten Trassenverlauf sind derzeit nicht bekannt bzw. werden im Rahmen dieser Untersuchung nicht betrachtet.

Topografie / Bebauung:

Das Gelände im Untersuchungsgebiet kann im Nahbereich bzw. Einwirkungsbereich der geplanten Neubaustrecke aus erschütterungstechnischer Sicht i.W. als „eben“ betrachtet werden.

Die maßgebliche Bebauung innerhalb des Untersuchungsgebietes ist gekennzeichnet durch die Gebietsnutzungen „Wohnen (W)“, „Arbeiten/Einkaufen (M)“ und „Lernen (Schule)“. In den

Wohngebietsarealen befinden sich überwiegend 3-4 geschossige Mehrfamilienhäuser ähnlicher Bauart. In den Mischgebietsflächen sind in der Regel 3-4-geschossige Büro- und Verwaltungsgebäude mit Ladeneinheiten in den Erdgeschossen anzutreffen. In der westlichen Hälfte des Planungsgebietes dominieren zwei Schulareale beidseits der Neubaustrecke. Nördlich befindet sich die 2-geschossige „Regina-Ullmann-Grundschule“ mit Sportplatz- und Pausenhof-Flächen und südlich liegt die 2-3-geschossige „Helen-Keller- Realschule“ mit angrenzendem Sportplatzgelände. Die „Helen-Keller- Realschule“ wird derzeit neu geplant und wird in der vorliegenden Untersuchung bereits als Neubau berücksichtigt.

3. Grundlagen

3.1 Planungsgrundlagen, Ausgangsdaten und Regelwerke

Dieser Untersuchung liegen zugrunde:

- [a] Bestands- u. Planungsdaten; (Planstand: 01/2022) (dwg und pdf-Datei), d.h. Kataster, Straßenbahn-Streckenplanung, usw. über Vorhabenträger vertreten durch Herrn Ressel und Herrn Borowski (Stadtwerke München GmbH - Ressort Mobilität - Verkehrsinfrastruktur - Fahrweg Tram Planung), E-Mail vom 13.01.2022 mit diversen Ergänzungen und Detailabstimmungen bis 28.09.2022
- [b] Leistungsbild Schall- und erschütterungstechnische Untersuchung (SWM, MI-PL-TA, vom 20.09.2021)
- [c] Straßenbahnverkehr: (SWM) Trambahn - Cosimastraße - Johanneskirchner Str. - Linie 23; Abgestimmtes Verkehrsmengengerüst vom 11.05.2022, Prognose Nullfall 2035 und Prognose Planfall 2035 sowie 2035+; E-Mail vom 11.05.2022
- [d] Ortsbegehung am 27.02.2022 durch Herr Fleischer (hils consult gmbh)
- [e] Ortstermine mit erschütterungstechnischen Messungen am 16.07., 20.07. und 21.07.2022
- [f] Flächennutzungsplan der Stadt München; <http://maps.muenchen.de/plan/flaechennutzungsplan>, Stand: 04/2018
- [g] Geplanter Schul-Neubau „Helen-Keller-Realschule“ - Planungsdaten mittels IFC-Datei über Herrn Ressel; E-Mail vom 24.02.2022
- [h] Auftaktgespräch am 19.01.2022; Teilnehmer: Herr Ressel, Frau Wetzel, Herr Borowski (SWM) sowie Herr Dr. Hils, Herr Steinbauer und Herr Fleischer (hils consult gmbh) mit Festlegungen zum weiteren Vorgehen. siehe Protokoll
- [i] Spezifikationen zum geplanten Oberbau, E-Mails Herr Borowski (SWM) vom 10.02.2022 und Herr Swolana (SWM) vom 07.02.2022

Messungen und Auswertung erfolgen nach folgenden Regelwerken:

- [1] DIN 45669-1: „Messung von Schwingungsimmissionen“, Teil 1: „Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung“; September 2010

- [2] DIN 45669-2: „Messung von Schwingungsimmissionen“, Teil 2: „Messverfahren“, Juni 2005
- [3] Richtlinie 820.2050: „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“, Information der DB AG, Bautechnik, Leit-, Signal- und Telekommunikationstechnik (I.NPF 111): gültig ab 15.09.2017
- [4] VDI 3837: „Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen - Spektrales Prognoseverfahren“, März 2006 nebst Berichtigung 1 vom Juni 2006

ergänzend unter Kenntnisnahme:

- [5] Information der DB AG, ZBT 511: „Körperschall- und Erschütterungsschutz, Leitfaden für den Planer“, Ausgabe August 1996 nebst Ausgabe Februar 1999
- [6] DIN 52221: „Bauakustische Prüfungen - Körperschallmessungen bei haustechnischen Anlagen“, Januar 2006
- [7] DIN 4150-1: "Erschütterungen im Bauwesen" Teil 1: „Vorermittlung von Schwingungsgrößen“: Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), Ausgabe Juni 2001
- [8] Melke, J., Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen, Landesamt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Nr.107, 1992
- [9] Krüger, F., Handbuch Schall und Erschütterungen beim Schienennahverkehr, Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. (STUVA), Köln, 1993
- [10] DIN 45645: „Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen“, Teil 1: „Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft“, Juli 1996

Zur Interpretation der Messergebnisse werden die Anforderungen nachfolgender Normen und Regelwerke herangezogen:

- [11] DIN 4150-2: "Erschütterungen im Bauwesen" Teil 2: „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, Ausgabe Juni 1999
- [12] DIN 4150-3: "Erschütterungen im Bauwesen" Teil 3: „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“, Ausgabe Februar 1999
- [13] 24. BImSchV: „Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 24. BImSchV)“ vom 04.02.1997
- [14] Urteil des Bayerischen Verwaltungsgerichtshofs AZ 20 A 93 40080 v. 21.04.1995
- [15] Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom 21.12.2010, Az: BVerwG 7 A 14.09
- [16] TA Lärm: Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA-Lärm) vom 26.8.1998, zuletzt geändert am 01.06.2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5)

ergänzend unter Kenntnisnahme:

- [17] „Schall- und Erschütterungsschutz im Planfeststellungsverfahren für Landverkehrswege“, Bayrisches Landesamt für Umwelt, Stand 07/2012
- [18] VDI 2719: „Schalldämmung von Fenstern u. deren Zusatzeinrichtungen“, VDI-Kommission Lärminderung, 1987-08
- [19] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) in der aktuell gültigen Fassung
- [20] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 16. BImSchV vom 12.06.1990 – Verkehrslärmschutzverordnung, nebst Verordnung vom 18.12.2014 zur Änderung der Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (16.BImSchV)

- [21] Schall03 [2012]: „*Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege*“, Anlage 2 zu § 4 der 16. BImSchV Stand 19.Dezember 2014
- [22] DIN 4109: „*Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise*“, Ausgabe 11/89 mit Berichtigung 1 zu DIN 4109, Ausgabe 08/1992 und Änderung A1, Ausgabe 01/2001
- [23] DIN 45680: „*Messung und Bewertung von tieffrequenten Geräuschen in der Nachbarschaft*“, Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), 1997
- [24] VDI 2057, Blatt 3: „*Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen in Gebäuden*“, Ausgabe 09/2002 (inzwischen zurückgezogen)¹
- [25] Borgmann, R.: „*Schutz vor Erschütterungen und sekundärem Luftschall an Schienenverkehrswegen*“, Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (LfU), Heft 147, 2001
- [26] Hölzl, G.; Fischer, G.: Körperschall- bzw. Erschütterungsausbreitung an oberirdischen Schienenverkehrswegen, Eisenbahntechnische Rundschau ETR, 34 (1985), Heft 6

Sonstiges:

- [27] Verwaltungs-Verfahrensgesetz (VwVfG) in der aktuell gültigen Fassung
- [28] Baugesetzbuch (BauGB) in der aktuellen Fassung
- [29] Baunutzungsverordnung (BauNVO) in der aktuellen Fassung
- [30] VDI 2038: „*Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik, Blatt 1: Grundlagen - Methoden, Vorgehensweisen und Einwirkungen*“, Juni 2012
- [31] VDI 2038: „*Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik, Blatt 2: Schwingungen und Erschütterungen - Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung*“, Januar 2013
- [32] VDI 2038: „*Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik, Blatt 3: Sekundärer Luftschall - Grundlagen, Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung*“, November 2013
- [33] DIN 45673: „*Mechanische Schwingungen - Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen - Teil 1: Begriffe, Klassifizierung, Prüfverfahren*, August 2010
- [34] Schirmer, Werner, *Technischer Lärmschutz: Grundlagen und praktische Maßnahmen zum Schutz vor Lärm und Schwingungen von Maschinen*, Springer-Verlag, 2006
- [35] Said, A.; Fleischer, D.; Kilcher, H.; Fastl, H.; Grütz, H.-P.: Zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen aus dem Schienenverkehr, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 48 (2001) Nr. 6, November 2001
- [36] Ungar, E.E., Sturz, D.H., Amic, C.H.: „Vibration control design of high technology facilities“, Sound and Vibration, Acoustical Publications Inc. Bay Village, Ohio, USA, 1990
- [37] Harris, C.M., Crede, C.E.: „Shock and Vibration Handbook“, McGraw Hill, 1961
- [38] Heckl, Müller.: „Taschenbuch der technischen Akustik“, 2. Auflage, Springer Verlag

¹ Die VDI 2057, Bl. 3 wurde im Zuge der Anpassung von Arbeitsstättenrichtlinien an europäisches Recht im Jahr 2002 zurückgezogen und im Jahr 2006 sowie 2017 durch eine Neufassung ersetzt. Der dargestellte Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung ist zwar in der Neufassung nicht mehr enthalten, aber weiterhin als wissenschaftlich korrekt anzusehen.

3.2 Grundlagen der Erschütterungsimmissionen

Erschütterungen bzw. Körperschall sind mechanische Schwingungen, die in den Erdboden eingeleitet werden und sich bis zum Immissionsort (Gebäude, Aufenthaltsraum) hin ausbreiten können. Die von der Schwingungsquelle in den Boden eingeleitete Energie besteht je nach Art der Quelle und der Übertragungsbedingungen aus sich ausbreitenden Raum- und Oberflächenwellen bzw. Kompressions-, Biege- und Scherwellen. Die über die Fundamente in die Gebäude eingeleiteten Schwingungen können als Erschütterungen (Stöße, Vibrationen) wahrgenommen werden. Diese Schwingungen können teilweise von den Raumbegrenzungsflächen als Luftschall an die Umgebung abgestrahlt und als solcher wahrgenommen werden (sekundärer Luftschall).

Für die Entstehung und Ausbreitung von Schwingungen sind eine Vielzahl von Parametern maßgebend, z.B.:

- technische und betriebliche Daten der eingesetzten Geräte und Anlagen (bei Schienenverkehr: Zugart, Zuggeschwindigkeit, Zustand der Laufflächen an den Rädern und Radlagern, Streckenführung und deren Beschaffenheit etc.)
- Beschaffenheit des umgebenden Erdbodens (Art des Bodens, Inhomogenitäten, Grundwasserstand)
- Bauwerksausbildung des Gebäudes

Nahfolgende Grafik zeigt symbolisch die Situation:

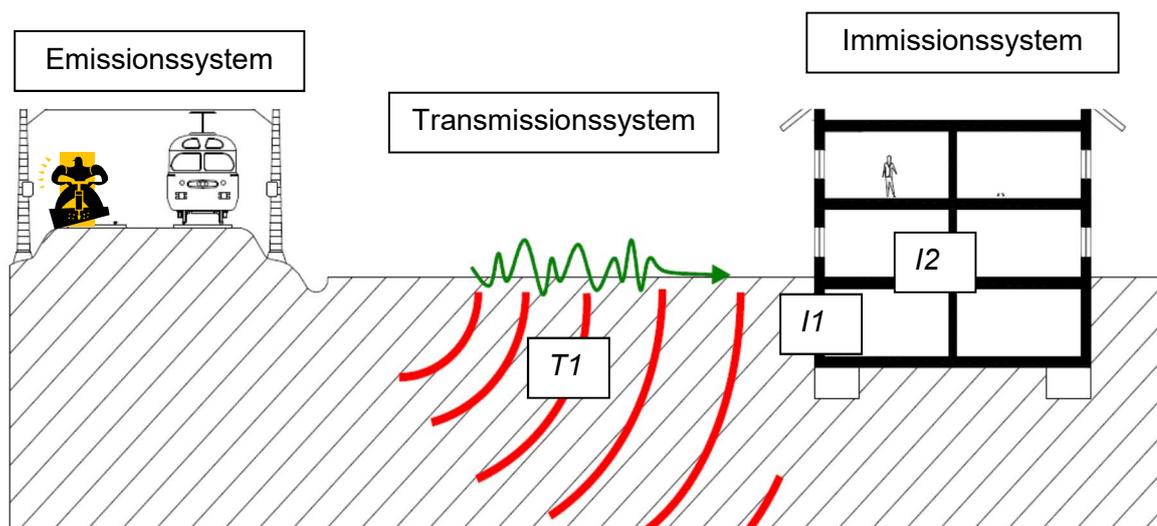


Abb. 2: Entstehung, Ausbreitung und Übertragung von Erschütterungen

Die physikalische Größe, die zur Beschreibung der mechanischen Schwingungen in Gebäuden am häufigsten verwendet wird, ist die Schwinggeschwindigkeit (oder Körperschallschnelle), die i.d.R. als Pegel (in dB, bezogen auf $5 \cdot 10^{-8}$ m/s) angegeben wird. Sie ist in Festkörpern (Erdboden, Bausubstanz) stark frequenzabhängig und muss daher spektral betrachtet werden. Zur Bewertung der Erschütterungen (z.B. über Tastsinn fühlbarer und/oder Ganzkörper wahrnehmbarer Körperschall) wird die Schwingstärke im Frequenzbereich i.d.R. 4 Hz bis etwa 100 Hz nach DIN 4150-2 als KB-Wert (frequenzbewertete Schwinggeschwindigkeit) angegeben. Die KB-Bewertung ist eine frequenzbezogene Bezugsbewertungskurve für Erschütterungssignale. Sie wird herangezogen für die Bewertung bei nicht vorgegebener Körperhaltung und setzt sich zusammen aus Elementen der Bewertung von Einwirkungen im Stehen und Sitzen (vgl. auch DIN 45669-1 [1] Punkte 3.3 bis 3.19).

Ein Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung wird in VDI 2057, Bl. 3 [24] wie folgt dargestellt:

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung in Anlehnung an VDI 2057, Bl. 3

Bewertete Schwingstärke KB	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
6,3 – 100	Sehr stark spürbar

Für die Beurteilung der Möglichkeit von Bauschäden infolge dynamischer Belastung von Gebäuden werden Werte der Schwinggeschwindigkeit an Gebäudefundamenten und/oder oberen Deckenfeldern (in mm/s bzw. m/s) herangezogen.

Zur Beschreibung der bauakustischen Eigenschaften von Gebäuden bei Körperschalleinwirkungen werden Körperschallschnellepegel und Beschleunigungspegel verwendet (u.a. in DIN 52221, VDI 2566).

Für die Vermeidung von Funktionsstörungen bei empfindlichen Geräten (z.B. Fertigungsstätten der Halbleitertechnologie, Anwendungen in Lasertechnik oder Elektronenmikroskopie) werden als Anhaltswerte für zulässige mechanische Schwingungen zusätzlich/alternativ zu o.g. auch die Auslenkung bzw. der Schwingweg angegeben.

Zur Beurteilung etwaiger Einwirkungen aus sekundärem Luftschall im Inneren von körperschallbelasteten Gebäuden wird der von den schwingenden Umfassungsbauteilen wiederum als Luftschall abgestrahlte Schalldruckpegel (Frequenzbewertung „A“ oder „C“) in schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen zur Beurteilung herangezogen. Als maßgeblicher Immissionsort ist gem. DIN 52219 in etwa die Raummitte, bei vorwiegend tieffrequenten Einwirkungen gemäß DIN 45680 (s. hierzu auch Abs. A1.5 der TA Lärm) die Stelle höchster Belastung, an der sich Personen regelmäßig aufhalten, heranzuziehen.

Aufgrund der Vielzahl von Einflüssen sind die Zusammenhänge bei der Erschütterungsentstehung und -übertragung im Regelfall nur schwer vollständig zu erfassen. Die Körperschalleinleitung bei Schienenverkehr über den Oberbau in den Erdboden, die Ausbreitung im Boden und die Körperschalleinleitung in das Bauwerk sind jeweils wegen unterschiedlicher Eigenschaften der Übertragungswege, wie Bodeninhomogenitäten, Filterwirkung eingeschlossener Lockerbodenschichten, Brechung und Reflexion von Wellen an Grenzschichten und Übergängen, mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nicht bzw. nur schwer über Rechenmodelle abzubilden, so dass hierzu vielfach auf Messungen zurückgegriffen wird (kombinierte Verfahren).

3.2.1 Erschütterungsprognose

Für den Fall, dass aus betriebstechnischen oder baulichen Gründen (z.B. geplanter Neubau eines Gleises oder von Gebäuden) eine direkte Messung der Erschütterungen in den betroffenen Aufenthaltsräumen nicht möglich ist bzw. Aussagen über künftige Immissionen benötigt werden, wird eine entsprechende Erschütterungsprognose erforderlich, die im Regelfall auf ggf. messtechnisch ermittelten, repräsentativen Emissionsdaten und/oder (Teil-)Transmissionsfunktionen in Verbindung mit theoretischen Daten (z.B. standardisierte Referenzemissions-/transmissionsspektren) basiert. Die Prognose erfolgt dabei im Wesentlichen in Anlehnung an VDI 3837 [4] bzw. Richtlinie der Deutschen Bahn AG [3] und basiert auf folgendem spektralen Zusammenhang:

$$L_{v,Raum}(f) = L_E(f) + \Delta L_B(f) + \Delta L_G(f) + \Delta L_M(f)$$

wobei

$L_{v,Raum}(f)$	(Terz-)Schnellepegelspektrum Immissionsort (Fußbodenmitte)
$L_E(f)$	(Terz-)Schnellepegelspektrum Emission/Anregung
$\Delta L_B(f)$	baugrund- und entfernungsbedingte Dämpfung (Transmissionsfunktion $T1$)

$\Delta L_G(f)$	= $\Delta L_{G1}(f) + \Delta L_{G2}(f)$; gebäudespezifische Transmissionsfunktion als Überlagerung der Transmissionsfunktion vom Baugrund auf das Gebäudefundament (<i>I1</i> - primäres Immissionssystem) sowie vom Gebäudefundament zur Geschossdecke/Fußboden (<i>I2</i> - sekundäres Immissionssystem)
$\Delta L_M(f)$	Einfügedämmung schwingungsmindernder Maßnahmen, falls vorhanden oder erforderlich

Konkret sind dabei neben Kenntnissen zu den erschütterungstechnischen Quellstärken (Emissionen) und zur Ausbreitung der Schwingungen im Untergrund (Transmissionsfunktion *T1*) auch die Kenntnis des Schwingungsverhaltens der zu untersuchenden Gebäude (Transmissionsfunktion *I1* und *I2*, vgl. *Abb. 2*) erforderlich. Hieraus wird ein Quellen- und Ausbreitungsmodell entwickelt. Der prinzipielle Aufbau des Prognosemodells wird durch eine schematische Darstellung in nachfolgender Tabelle aufgezeigt. Die dargestellten Übertragungswege werden separat ermittelt und dann zu einer Gesamttransmissionsfunktion überlagert.

Tabelle 2: Methodik einer Erschütterungsprognose (insbes. Schienenverkehr)

Referenzspektrum (vergleichbare Strecke o.ä.)						Emissionssystem
Bodenverhältnisse	Hoch-/Ein-schnitts-lage oder Tunnel	Kurvenradius	Geschwindigkeit	Weichen	Sonstiges	
(Gesamt-)Korrekturfunktion						
Emissionsspektrum $L_v(f_T)$; $f_T = 4 - 315$ Hz						
(Einfügedämpfung ΔL_G : Minderungsmaßnahme Quelle)						
Frequenzbewertung, phys. Größe						Transmissions-system
Frequenzbewertung $f_T = 4 - 80$ Hz			$v(KB)$	$L_v(KB)$		
Frequenzbewertung $f_T = 4 - 80$ Hz (315 Hz)			$v(A)$	$L_v(A)$		
Transmissionsfunktion <i>T1</i> : Ausbreitung im Erdreich (Einfügedämpfung ΔL_T : Minderungsmaßnahme Ausbreitungsweg)						
Primäres und sekundäres Immissionssystem						Immissions-system
Transmissionsfkt. <i>I1</i> : Erdreich/Fundament						
Transmissionsfkt. <i>I2</i> : Fundament/Geschossdecke						
Summe: <i>I1</i> + <i>I2</i> : Erdreich/Geschossdecke (Einfügedämpfung ΔL_G : Minderungsmaßnahmen Gebäude)						
Beurteilung Erschütterungen und sekundärer Luftschall						Beurteilung
KB_{FTm} / KB_{Fmax}			$L_v(A)$			
Verkehrsmengengerüst						
KB_{Tr}			$L_{r,sek}$			
Beurteilung in Anlehnung an DIN 4150 und weiteren Regelwerken			Beurteilung in Anlehnung an 24.BImSchV, TA Lärm in Verb. mit VDI 2719			

Da sowohl Emissionsspektren als auch Transmissionsfunktionen zum Teil stark frequenzabhängig sind, wird die spektrale Zusammensetzung im Prognose-Berechnungsverfahren in Form von Terzbändern im Bereich von 4 Hz bis 80 Hz, ggf. bis 315 Hz entsprechend berücksichtigt. Die Transmissionsfunktionen geben dabei das Übertragungsmaß (z.B. in dB) als Funktion der Terzmittenfrequenz an.

Die resultierenden Spektren der Decken- bzw. Fußbodenschwingungen werden einer physiologisch- bzw. empfindungsangenäherten Frequenzbewertung (KB-Filterung) unterzogen und zur Einzahlwertbildung energetisch summiert.

$$KB_{F_{max,i}} \approx \sqrt{\sum_{f=1Hz}^{80Hz} (\overline{KB}_{FTi}(f))^2}$$

wobei

$KB_{F_{max,i}}$: $KB_{F_{max}}$ -Wert der Zug-/Quellengruppe i.

$KB_{FTi}(f)$: mittlere spektrale KB-Werte, terzweise mit max-hold Methode ausgewertet

Die so ermittelten KB-Werte sind aufgrund der Auswertung von „max-hold“-Spektren näherungsweise² als je Zug-/Quellengruppe gemittelte $KB_{F_{max}}$ -Werte zu interpretieren und entsprechen den KB_{FTm} -Werten nach DIN 4150, Teil 2.

Im Hinblick auf den Erschütterungsschutz an Bahnlinien des Schienenverkehrs hat die DB AG einen Leitfaden für Körperschall- und Erschütterungsschutz [3], [5] veröffentlicht, worin der derzeitige Wissens- und Erfahrungsstand der Gutachter zusammengefasst ist. Entsprechende Prognoseberechnungen erfolgen daher basierend auf VDI 3837 [4] in Verbindung mit dem Leitfaden [3], [5].

3.2.1.1 Entfernungsbedingte Dämpfung im Baugrund

Die entfernungsbedingte Amplitudenabnahme der Schwingschnelle zwischen Emissionsbereich (z.B. 8m-Messpunkt bei Schienenverkehrswegen) und im Erdreich unmittelbar vor einem Gebäude wird als Transmissionsfunktion T_1 bezeichnet. Wenn keine diesbezüglichen Messwerte vorliegen, kann näherungsweise von folgendem Zusammenhang ausgegangen werden:

$$T_1 = \left(\frac{R}{R_0}\right)^{-n} e^{-\alpha(R-R_0)}$$

² Die Näherung liegt u.a. darin begründet, dass die einzelnen Terzen i.a. nicht gleichzeitig während eines Ereignisses ihr Schnellepegelmaximum erreichen, die Summation der Frequenzbereiche zu $KB_{F_{max}}$ entspricht daher einer oberen Abschätzung.
 21123_20220928_ers_johanneskirchnerstr_swm_gu01_v02

wobei

- n Exponent, der insbesondere von Wellenform, Quellengeometrie und Schwingungsart abhängt [-]
- $\alpha = 2\pi D/\lambda$, Abklingkoeffizient [m^{-1}]
- D Dämpfungsgrad [-]
- $\lambda = c/f$ Wellenlänge [m]
- c Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle [m/s]
- f Frequenz [Hz]
- R_0 Bezugsabstand [m]
- R Abstand Immissionsort zur Quelle [m]

Vielfach kann im Rahmen einer konservativen Abschätzung von einer Dämpfung des Baugrunds von etwa $D = 1\%$ und einer Ausbreitungsgeschwindigkeit für (die im Regelfall dominierende) Oberflächenwelle von etwa $c = 200$ m/s ausgegangen werden. In Anlehnung an DIN 4150-1 kann bei Linienquellen von einem Ausbreitungsexponenten zwischen 0,2 und 0,4 ausgegangen werden, so das i.d.R. im Mittel $n = 0,3$ herangezogen wird. Im Bereich von Weichen, die beim Überfahren eher als punktförmige Inhomogenitäten einzustufen sind, wird stattdessen von $n = 1$ ausgegangen.

Alternativ kann im Untersuchungsgebiet anhand von Messungen der Schwingschnelle an mehreren repräsentativen Messpunkten in unterschiedlichen Abständen zur Erschütterungsquelle durch Regressionsrechnung und entsprechender Interpolation, ggf. auch Extrapolation die Transmissionsfunktion $T1$ bestimmt und zur Berücksichtigung etwaiger Abstandsvariationen herangezogen werden.

Im Rahmen vorliegender Untersuchung ist im Bereich des Plangebietes eine messtechnische Erfassung der Transmissionsfunktion möglich, daher werden entsprechende Messpunkte eingerichtet und ausgewertet.

3.2.1.2 Übertragung Baugrund - Fundament

Transmissionsfunktion $I1$:

Die Übertragung vom Körperschallschnellefeld im Baugrund (Erboden) auf die Gebäudestruktur erfolgt im Wesentlichen über das Gebäudefundament sowie sekundär über erdberührte aufgehende Bauteile (soil-structure-interaction). Für den Fall, dass keine konkreten gebäudespezifischen Daten oder Daten von vergleichbaren Gebäuden vorliegen, kann für die Transmissionsfunktion $I1$ (primäres Immissionssystem) gemäß [8] näherungsweise von folgender spektraler Dämpfung ausgegangen werden.

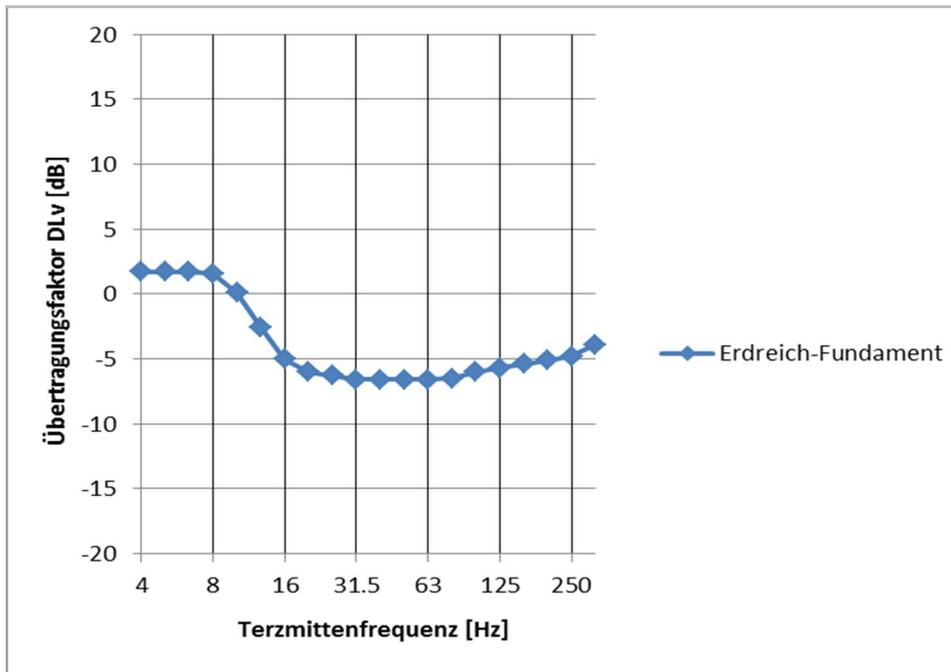


Abb. 3: Transmissionsfunktion Erdreich-Fundament (I1 - primäres Immissionssystem), [Quelle: [8], dort Bild 7.8a: Typische Minderung bei Übertragung von Erschütterungen vom Erdreich auf das Gebäudefundament]

3.2.1.3 Übertragung Gebäudefundament-Geschossdecke

Transmissionsfunktion I2:

Im Bereich der Einleitungsstelle Erdboden/Gebäudefundament ist die dynamische Anregbarkeit des Bauwerkes (Eingangsimpedanz, mechanischer Schwingwiderstand) für die Fortleitung der Schwingungen bestimmend. Die Anregung des Fundamentes wird in der Regel (bei üblicher Bauausführung) in bestimmten Frequenzbereichen mit überhöhten Intensitätswerten an Decken und Wänden beantwortet (Resonanzverhalten). Dabei ist insbesondere im Frequenzbereich von etwa 15 Hz bis 40 Hz, bei Ausführung von schwimmenden Estrichen zusätzlich etwa zwischen 50 Hz und 100 Hz mit einer Vergrößerung der Schwingungsamplituden durch Resonanzerscheinungen (Eigenfrequenz der Decken sowie Estrichresonanz) zu rechnen. Dadurch können in Gebäude eingeleitete Schwingungen z.B. in den Aufenthaltsräumen stark vergrößert werden und zu Belästigungen führen. Die durch Resonanz auftretenden Vergrößerungsfaktoren unterliegen großen Streuungen und erreichen erfahrungsgemäß Werte von etwa 2 bis 8 (entsprechend etwa 6 dB bis 18 dB). Zur Abschätzung kann hier das physikalische Modell eines Ein-Massen-Schwingers herangezogen werden, dessen Vergrößerungsfunktion die Resonanzüberhöhung beschreibt.

$$V = \sqrt{\left(\frac{1 + 4D^2\eta^2}{(1 - \eta^2)^2 + 4D^2\eta^2} \right)}$$

wobei:

$$\eta = \frac{\omega}{\omega_0} \quad : \text{Verhältnis Erregerfrequenz zu Resonanzfrequenz}$$

D : Dämpfungsgrad (typ. Erfahrungswerte um etwa 0,01 - 0,1)

Im Leitfaden Körperschall- und Erschütterungsschutz der DB AG [3], [5] wird eine Unterteilung zwischen den Transmissionsfunktionen *I1* und *I2* (primäres und sekundäres Immissionssystem) nicht vorgenommen und stattdessen von einer Gesamttransmissionsfunktion beim Übergang vom Erschütterungs-Freifeld (im Erdboden) in das Gebäude und bis zum Immissionspunkt ausgegangen.

Da bislang aus o.g. Gründen noch keine allgemein gültigen und zuverlässigen Berechnungs- bzw. Prognoseverfahren über die Entstehung, Ausbreitung und Immission von Erschütterungen bestehen, werden zur Erstellung einer Erschütterungsprognose im allgemeinen Messungen zur Ermittlung der quellen-, orts- und gebäudespezifischen Ausgangsdaten erforderlich. Für den Fall, dass entsprechende Gebäudedaten nicht vorliegen bzw. nicht messtechnisch ermittelbar sind (z.B. bei geplanten Gebäuden) lassen sich gegebenenfalls auch unter Zuhilfenahme statistisch abgesicherter Mittelwerte [3], [5] oder Messwerte an Immissionsorten mit vergleichbaren Randbedingungen (bei Berücksichtigung entsprechender Streuung) überschlägige Prognosen treffen.

Dies gilt teilweise auch für quellenspezifische Daten, wo dann im Rahmen von Analogiebeobachtungen ggf. auf vorhandene Emissionsdaten oder synthetisierte Anregungsspektren zurückgegriffen werden kann.

4 Beurteilungskriterien - Anforderungen

4.1 Erschütterungen

Vorbemerkung:

Die Anforderungen an Erschütterungsschutz in Gebäuden sind vielseitig und weisen eine starke anwendungsbezogene Abhängigkeit auf. Zur Übersicht und Einschätzung der vorliegenden Situation sind in folgender Grafik beispielhaft typische Größenordnungen zulässiger

Erschütterungseinwirkungen dargestellt (zusammengestellt aus [36], [37] sowie Erfahrungswerten). Im Einzelfall können andere Maßstäbe erforderlich sein.

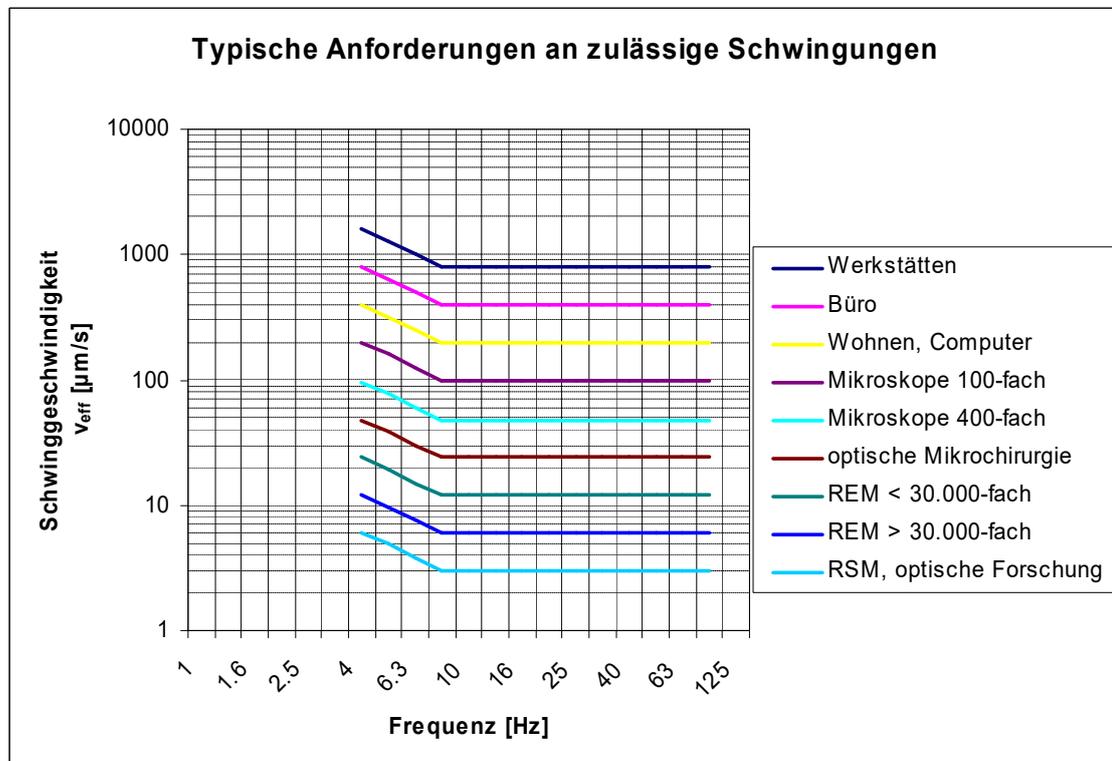


Abb. 4: Typische Anforderungen an die Schwinggeschwindigkeit v_{eff} in [$\mu\text{m/s}$] für verschiedene Anwendungen

Im Gegensatz zum Schallschutz (z.B. 16. BImSchV) existieren derzeit in Deutschland keine gesetzlich geregelten Grenzwerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen.

Die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden erfolgt daher entsprechend der Gebietsnutzung anhand der Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 (Fassung 6/99) [11], die als bewährtes Regelwerk auch über Deutschland hinaus als fachlich richtig anerkannt wird. Die Bestimmung von Erschütterungsimmissionen auf Grundlage von Messungen erfolgt daher ebenfalls nach dem in dieser Norm festgelegten Berechnungsverfahren.

Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden werden anhand der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ beurteilt. Dabei ergibt sich das $KB_F(t)$ -Signal aus dem unbewerteten Schwingungsschnellesignal durch Frequenzbewertung und Normierung. Der $KB_F(t)$ -Wert ist nach DIN 45669 [1] als gleitender Effektivwert des bewerteten Erschütterungssignals $KB(t)$ mit der Zeitkonstante 0,125 sec. (Fast bzw. F) definiert. Als untere Wahrnehmbarkeitsschwelle wird

etwa $KB_F = 0,1$ angesehen. Da bei Schienenverkehr im Regelfall die Schwingstärke der Vertikalkomponente (z-Richtung) die der Horizontalkomponenten (x- und y-Richtung) übersteigt, wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchung auf die Vertikalkomponente abgestellt.

Zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden sind nach DIN 4150, Teil 2 hierbei zwei Beurteilungsgrößen erforderlich:

- KB_{Fmax} : maximale bewertete Schwingstärke

Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} ist der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$, der während der jeweiligen Beurteilungs- bzw. Einwirkungszeit auftritt.

- KB_{FTr} : Beurteilungs-Schwingstärke

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} berücksichtigt neben der Stärke der Erschütterungsereignisse auch die Dauer und Häufigkeit ihres Auftretens. Dabei wird jedes Ereignis(maximum) in 30 sec. Takte eingeteilt (Taktmaximalverfahren).

Es gilt:

$$KB_{FTr} = KB_{FTm} \cdot \sqrt{\left(\frac{T_e}{T_r}\right)}$$

Dabei ist:

T_r : Beurteilungszeit (tags 16 h, nachts 8 h)

T_e : Summe der Taktzeiten mit Erschütterungseinwirkungen.³

KB_{FTm} : Taktmaximal-Effektivwert als Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte KB_{FTi} der Ereignisse i (z.B. Zugvorbeifahrt).

N : Anzahl der Takte

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (KB_{FTi})^2}$$

Anmerkung:

Takte mit $KB_{FTi} < 0,1$ sind gleich 0 zu setzen, gehen jedoch in die Anzahl der Takte N ein.

Nach DIN 4150, Teil 2 erfolgt die Beurteilung anhand der Kriterien A_u und A_o für die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} sowie anhand A_r für die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} . Hierbei gilt folgende Methodik:

- Ist KB_{Fmax} kleiner als der untere Anhaltswert A_u , dann ist die Anforderung der Norm eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der untere Anhaltswert A_u und kleiner als der obere Anhaltswert A_o , gilt die Anforderung der Norm als eingehalten, wenn KB_{FTr} kleiner als der Anhaltswert A_r

³ Dabei wird ein Faktor 2 zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten angesetzt.

ist.

- Ist KB_{Fmax} größer als der obere Anhaltswert A_o und/oder KB_{FTr} größer als der Anhaltswert A_r , gilt die Anforderung der Norm als nicht eingehalten.

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen gelten abhängig vom Einwirkungsort folgende Anhaltswerte A nach Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2:

Tabelle 3: Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach DIN 4150, Teil 2

Einwirkungsort	Tags			Nachts		
	A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und ggf. ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vgl. Industriegebiete BauNVO § 9)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vgl. Gewerbegebiete BauNVO § 8)	0,3	6	0,15	0,2	0,4 (0,6)	0,1
Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vgl. Kerngebiete BauNVO § 7, Mischgebiete BauNVO § 6, Dorfgebiete BauNVO § 5)	0,2	5	0,10	0,15	0,3 (0,6)	0,07
Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vgl. reines Wohngebiet BauNVO § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO § 2)	0,15	3	0,07	0,1	0,2 (0,6) (0,3)	0,05
Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

Für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen aus Schienenverkehr gelten dabei folgende Besonderheiten:

- Die Anhaltswerte A_o (oberer Wert) erhalten beim Schienenverkehr eine andere Bedeutung als die übrigen Quellen. Der obere Anhaltswert A_o hat nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne KB_{Fmax} -Werte bei oberirdischen Strecken über $A_o = 0,6$ bzw. bei unterirdischen Strecken über $A_o = 0,3$, so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z.B. Flachstellen an Rädern) und diese sind möglichst rasch zu beheben.
- Für oberirdische Schienenwege des ÖPNV gelten die um den Faktor 1,5 angehobenen A_u - und A_r -Werte nach *Tabelle 3*
- Bei der Ermittlung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} wird der Faktor 2 zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten nicht angesetzt.
- Im Zuge der Bauleitplanung ist eine Einhaltung der Anhaltswerte anzustreben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Anhaltswerte indikatorischen Charakter haben und bei der

Beurteilung im Einzelfall ggf. entsprechende (Mess-)Unsicherheiten zu berücksichtigen sind.

4.1.1 Kriterien einer wesentlichen Änderung bei Erschütterungsimmissionen

Nach der aktuellen Rechtsprechung [14] und [15] müssen sich Betroffene vorhandene Vorbelastungen aus Erschütterungsimmissionen zurechnen lassen, d.h. dass die Vorbelastung bei der Prüfung möglicher Vorsorgeansprüche und bei der Abwägung geeigneter Schutzvorkehrungen zu berücksichtigen ist. In diesem Zusammenhang wird auf die Rechtsprechung zum Luftschallschutz vor Inkraftsetzung der 16. BImSchV [20] verwiesen. Demgemäß lassen sich nach der gegenwärtigen Rechtslage reale und geldwerte Ausgleichsansprüche beim Vorhandensein erheblich belastender Erschütterungsimmissionen an baulich geänderten Schienenverkehrswegen nur dann ableiten, wenn die Vorbelastung durch bestehende Bahnanlagen durch das Hinzutreten weiterer Erschütterungseinwirkungen aus Schienenverkehr in beachtlicher Weise erhöht wird und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche, unzumutbare Beeinträchtigung liegt. Dies wird auch durch ein Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes [15] bestätigt. Konkret wird dabei argumentiert, dass ein Erschütterungsschutz nur dann verlangt werden kann, wenn die Erschütterungsbelastung durch den baulichen Eingriff an der Bahnanlage in beachtlicher Weise erhöht und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche, dem Betroffenen billigerweise nicht mehr zumutbare Belastung liegt.

Im Zusammenhang mit der Frage, welche Erhöhung der Erschütterungsimmission eine unzumutbare Beeinträchtigung darstellt bestätigt das Gericht, dass eine Verstärkung der Erschütterungen dann wesentlich ist, wenn diese sich gegenüber der Vorbelastung um mindestens 25 % erhöht. Hierbei wird die Festsetzung der Größe dieser Wahrnehmungsschwelle durch empirische hinreichend abgesicherte Erkenntnisse gestützt. Die Ergebnisse einer Laborstudie im Auftrag der Deutschen Bahn AG [35] bilden hierzu eine Grundlage. Die Laborstudie kommt zum Ergebnis, dass eine Erschütterungsdifferenz von 25 % Erhöhung praktisch als „Labor-Unterschiedsschwelle“ anzusehen ist. Bei der Durchführung der Laboruntersuchungen, bei denen mehreren Probanden Erschütterungssignale zur Beurteilung angeboten wurden, wurden strenge Vergleichsbedingungen mit kurzen Pausen (ca. 3 Sekunden) zwischen den beiden angebotenen Signalen (veränderter Reiz und Vergleichsreiz) angewendet. Unter realen Bedingungen ist die Pausenstruktur zwischen den einzelnen Zugvorbeifahrten jedoch wesentlich größer, so dass in der Praxis die Wahrnehmung von Erschütterungsdifferenzen erst bei größeren Reizdifferenzen zu erwarten ist und somit der Ansatz als obere Abschätzung im Sinne der Betroffenen einzustufen ist. Dennoch besteht dabei eine

Analogie zur Definition der „wesentlichen Änderung“ im Schallschutz an öffentlichen Verkehrswegen nach 16.BImSchV [20].

4.1.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

Zur Beurteilung der Einwirkungen von Erschütterungen im Hinblick auf Gebäudeschäden können die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 3 [12] herangezogen werden. Dort werden Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Minderung des Gebrauchswerts von Bauwerken und Gebäuden nicht zu erwarten sind. Derartige Minderungen beinhalten auch leichte Schäden wie z.B. Risse im Putz von Wänden, Vergrößerung bereits vorhandener Risse u.a.

Für **stationäre Erschütterungsereignisse** (Dauererschütterungen) gem. Abschnitt 6.1, DIN 4150, Teil 3 gelten folgende Anhaltswerte:

Beurteilung Gesamtbauwerk:

Tabelle 4: Anhaltswerte für die horizontale Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in [mm/s]
		Oberste Deckenebene, horizontal , alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnliche strukturierte Bauten	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5

Beurteilung von Decken:

Vertikale Schwinggeschwindigkeiten bis 10 mm/s führen bei Geschossdecken in Gebäuden nach Tabelle 1, Zeile 1 und 2 erfahrungsgemäß nicht zu Schäden, selbst wenn die bei der statischen Bemessung zulässigen Spannungen voll in Anspruch genommen werden. Diese Schwingungen sind sehr stark spürbar. Bei Gebäuden nach Tabelle 4, Zeile 3 kann kein Anhaltswert für Geschossdecken angegeben werden.

Anmerkung:

Diese o.g. Werte liegen jedoch um ein Vielfaches über den Werten zur Einhaltung der Anhaltswerte für Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, so dass die Ermittlung der KB-

Werte in vorliegender Untersuchung ausreicht.

Für **kurzzeitige Erschütterungsereignisse** (Stoßerschütterungen, Spitzenwerte) gem. Abschnitt 5.1 der DIN 4150, Teil 3 werden hauptsächlich Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit am Fundament herangezogen. Hierfür gelten folgende Anhaltswerte:

Beurteilung Gesamtbauwerk:

Tabelle 5: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke (Spitzenwerte)

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s			
		Fundament			Oberste Deckenebene, horizontal
		1 Hz bis 10 Hz	10 Hz bis 50 Hz	50 Hz bis 100 Hz*)	alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnliche strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 bis 8	8 bis 10	8

*) Für Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.

Vgl. hierzu auch vorstehende Anmerkung zu *stationäre Erschütterungsereignisse*.

4.2 Sekundärer Luftschall

Sich auf das Gebäude über den Erdboden übertragende Schwingungen werden von den Raumbegrenzungsflächen (z.B. Wände, und insbesondere Geschossdecken) abgestrahlt und können in Räumen als ggf. tieffrequenter Luftschall auch störend wahrgenommen werden (sog. „sekundärer Luftschall“).

Für die Beurteilung von Einwirkungen durch sekundären Luftschall aus öffentlichen Verkehrswegen existieren z.Zt. weder gesetzlich verbindliche Richtlinien noch konkrete normative Grenz- bzw. Orientierungswerte. Hilfsweise wird daher vielfach auf Regelwerke, die Anforderungen an den Innenpegel in Räumen stellen (z.B. VDI 2719, 24.BImSchV, TA Lärm

u.a.), zurückgegriffen. Konkrete normative Grenz- bzw. Richtwerte für sekundären Luftschall aus gewerblichen Anlagen legt die TA-Lärm [16] fest. Das LfU Bayern [17] empfiehlt daher eine differenzierte Anwendung der TA Lärm als aktuelle Erkenntnisquelle auch für Schienenverkehrswege. Die Anforderungen gelten hierbei als erfüllt, wenn die folgenden für Geräuschübertragungen innerhalb von Gebäuden oder bei Körperschallübertragung heranzuziehenden Immissionsrichtwerte gemäß Nr. 6.2 der TA Lärm für Immissionsorte innerhalb von Gebäuden (Wohn- und Schlafräume bzw. vergleichbar genutzte unabhängig von der Gebietsnutzung) eingehalten werden:

Tabelle 6: Immissionsrichtwerte innerhalb von Gebäuden gemäß Nr.6.2 der TA-Lärm

Beurteilungszeitraum	Beurteilungspegel L_r in dB(A)	Maximalpegel L_{max} in dB(A)
Tags (6:00 - 22:00 Uhr)	35	45
Nachts (22:00 - 6:00 Uhr)	25	35

Die VDI 2719 „Schalldämmung von Fenstern u. deren Zusatzeinrichtungen“ [18] führt Anhaltswerte für „mittlere Maximalpegel“ der Innenschallpegel auf, die nur für von außen (über die Luft) in Aufenthaltsräume eindringenden Luftschall gültig sind. Hierzu enthält sie den Hinweis: „Bei Außenlärm mit starken Pegelschwankungen kann die Berücksichtigung der Pegelspitzen zur Kennzeichnung der erhöhten Störwirkung wichtig sein. In diesen besonderen Fällen sollte der mittlere Maximalpegel bestimmt werden.“ Als entsprechender *mittlerer Maximalpegel* ist u.E. gerade bei Schienenverkehr der Innenpegel als Mittelungspegel während einer einzelnen Vorbeifahrt eines Fahrzeuges zu verstehen. Vor diesem Hintergrund wird bei Schienenverkehr vom LfU Bayern bei mehr als fünf nächtlichen Zugvorbeifahrten empfohlen, zusätzlich auf das Maximalpegelkriterium nachts abzustellen.

Eine weitere Praxis zur Beurteilung von sekundärem Luftschall erfolgt in Anlehnung an die 24. BImSchV [13], diese stellt das rechtlich bindende Verfahren dar. Daraus können Richtwerte der zulässigen Innenraumpegel von verkehrsinduzierten Immissionen als Mittelungspegel über die Beurteilungszeit tags/nachts abgeleitet werden. Diese betragen in Räumen, die vorwiegend zum Schlafen benutzt werden, nachts 30 dB(A), in Wohnräumen sowie Behandlungs- und Untersuchungsräumen in Arztpraxen tags 40 dB(A). In Räumen, die nach DIN 4150-2 zum Aufenthalt von Menschen als schutzbedürftig bezeichnet werden, gilt demnach unabhängig von der jeweiligen Gebietsnutzung:

- in Wohnräumen o.ä. **tags: 40 dB(A)**
- in Schlafräumen **nachts: 30 dB(A)**

Einzelne Spitzenpegel sind hierbei nicht gesondert zu beurteilen. Die Anhaltswerte für sekundären Luftschall sind demnach um 5 dB(A) höher als nach TA Lärm, die sich ausdrücklich auf Gewerbelärm bezieht.

4.2.1 Kriterien einer wesentlichen Änderung beim sekundären Luftschall

Für den sekundären Luftschall wird in Anlehnung an die Vorgehensweise gemäß 16. BImSchV [20] eine Erhöhung der Beurteilungspegel als wesentlich eingestuft, wenn Umbaumaßnahmen an bestehenden Anlagen (als erheblicher baulicher Eingriff) zu einer Erhöhung des sekundären Luftschallpegels um mindestens 3 dB(A) führen. Ab 2,1 dB(A) ist der Beurteilungspegel jedoch auf 3 dB(A) aufzurunden, eine wesentliche Erhöhung also bereits gegeben. Ein Anspruch auf Vorsorgemaßnahmen kann demzufolge nur dann bestehen, wenn die Maßnahme zu einer Erhöhung um mehr als 2,1 dB(A) führt und darüber hinaus der Immissionsrichtwert für den sekundären Luftschall überschritten wird.

5 Schutzbedürftige Gebiete - Flächennutzung

5.1 Flächennutzung

In Anlehnung an die übliche Praxis im Immissionsschutz sind bezüglich der Art der betroffenen baulichen Gebiete und Einrichtungen für die Anwendung von Anhaltswerten die Festsetzungen in den Bebauungsplänen maßgeblich. Gebiete, für welche keine Festsetzungen bestehen, werden „entsprechend der Schutzbedürftigkeit“ bzw. anhand der tatsächlichen Nutzung eingestuft.

Die im Untersuchungsgebiet rechtskräftigen B-Pläne lassen keine abweichenden Angaben zum Flächennutzungsplan der Stadt München erkennen.

Basierend auf einer örtlichen Einsichtnahme [d] erfolgt die Gebietseinstufung in unter Berücksichtigung rechtskräftiger Bebauungs-, hilfsweise Flächennutzungspläne (FNP) sowie, falls erforderlich, anhand der „tatsächlichen Schutzbedürftigkeit“.

Nach Abgleich des Flächennutzungsplanes der Landeshauptstadt München [f] mit der vor Ort erfassten Bebauung lässt sich die Schutzbedürftigkeit der betroffenen Areale in der Schutzbedürftigkeit einem allgemeinen Wohngebiet entsprechend der DIN 4150-2 gleichstellen (u.E. auch für Schule und Kirche). Lediglich im Nordosten des Plangebietes befindet sich

im erschütterungstechnischen Einwirkungsbereich Bebauung, die einem Mischgebiet entspricht.

5.2 Immissionsorte

Zur Beurteilung der erschütterungstechnischen Situation werden maßgebliche, repräsentative Immissionsorte herangezogen, die insbesondere die nächstgelegene bestehende bzw. evtl. geplante oder zulässige, schutzbedürftige (Wohn-)Bebauung charakterisieren. Bei den Immissionsorten handelt es sich um:

Tabelle 7: maßgebende Immissionsorte

Nr.	Immissionsort	Bezeichnung/Lage	Nutzung
IO1	Cosimastraße 204 (MO 4)	EG: kirchl. Gruppenraum, 1.OG: Wohnen	WA
IO2	Johanneskirchner Str. 62 (MO 8)	EG: Wohnen, 1.OG: Wohnen	WA
IO3	Johanneskirchner Str. 72	(Schule Neubau Hauptgebäude)	WA
IO4	Johanneskirchner Str. 83 (MO 5)	EG: Wohnen, 1.OG: Wohnen	WA
IO5	Johanneskirchner Str. 88 (MO 6)	EG: Wohnen, 1.OG: Wohnen	WA
IO6	Johanneskirchner Str. 90 (MO 7)	EG: Wohnen, 1.OG: Wohnen	WA
IO7	Johanneskirchner Str. 107 (MO 9)	1.OG: Wohnen, 2.OG: Wohnen	WA
IO8	Freischützstr. 84	EG: Wohnen, 1.OG: Wohnen	WA

Anmerkungen:

- 1) Bei dem Anwesen IO1 handelt es sich um ein kirchliches Gemeindehaus mit zur Cosimastraße und Johanneskirchner Straße zugewandten Gruppenräumen und Wohnräumen. Hier kann das Kriterium zur Prüfung einer „wesentlichen Änderung“ der Erschütterungsimmissionen zutreffen.
- 2) Bei den Anwesen IO1, IO2 und IO4 bis IO7 wurden mit einer Ersatz-Anregung die Übertragungsfunktionen zwischen Erdboden (Freifeld) und Wohnraum ermittelt.
- 3) Das Anwesen IO3 (Neubau Schule) ist derzeit noch in Planung, jedoch im Prognosehorizont bereits als „bestehend“ zu berücksichtigen. Hier wird auf statistisch ermittelte Übertragungsfunktion gemäß [3] abgestellt.
- 4) Für das Anwesen IO8 wird mangels Kontakt zu Ansprechpartner der Verwaltung und Zutrittsmöglichkeiten zur Durchführung der Messungen in Aufenthaltsräumen ebenfalls auf statistisch ermittelte Übertragungsfunktion gemäß [3] abgestellt.

Auswahl der Immissions- und Messorte

Die vorgenommene Auswahl und konkrete Untersuchung besonders bahnnaher sowie von

der Bauart als erschütterungsempfindlich und für die umliegende Bebauung als repräsentativ anzusehenden Immissionsorte führt zu Ergebnissen, die im Regelfall eine obere Abschätzung darstellen, so dass die Übertragung der Ergebnisse auch auf andere im Untersuchungsgebiet befindliche bzw. weiter entfernt gelegene Immissionsorte gerechtfertigt erscheint.

Bei der Auswahl der Immissions- bzw. Messorte werden neben den einschlägigen Erfahrungen der Gutachter insbesondere folgende Aspekte berücksichtigt:

- 1) Abstand zur Strecke, wobei im Regelfall die der Erschütterungsquelle nächstgelegenen Anwesen/Immissionsorte messtechnisch untersucht werden.
- 2) Streckenführung, ggf. Weichen, Oberbauformen
- 3) Gebäudeart/-kategorie. Hierbei spielen zum Beispiel neben dem Gebäudealter (Altbau/Neubau), die Bauweise (Massiv- oder Leichtbauweise bzw. Mischformen), die Gebäudenutzung Wohnungsbau, Büroflächen, Gewerbenutzung etc. eine Rolle
- 4) Aufbau und Art der Geschossdecken (Massivdecken, Holzbalkendecken u.ä.) sowie der Fußbodenaufbau (schwimmende Estriche etc.)
- 5) erschütterungstechnisch relevante geologische und topographische Aspekte

6. Erschütterungsprognose

6.1 Messmethodik, Ablauf und Umfang der Untersuchung

Ermittlung der Schwingstärken (Erschütterungseinwirkungen):

Die DIN 4150, Teil 2 sieht die Ermittlung der Beurteilungsgrößen über Messungen an maßgeblichen Immissionsorten (i.d.R. Fußbodenmitte schutzbedürftiger Aufenthaltsräume) vor. Da derzeit die auf der geplanten Strecke zukünftig zu erwartende Anregung nicht vor Ort messtechnisch erfasst werden kann, werden in einem Berechnungsmodell Messwerte der Emissions-, Transmissions- und Immissionsbereiche (vgl. Tab. 2 aus Kap. 3.2.1) zur Bestimmung der Schwingstärken zusammengeführt.

Das Verfahren zur Ermittlung der Beurteilungsschwingstärken aus dem geplanten Linienverkehr stützt sich in vorliegendem Fall demnach auf exemplarische Messungen der Erschütterungsemissionen von Vorbeifahrten im aktuellen Linienverkehr eingesetzter Fahrzeuge auf einem vergleichbaren Straßenbahnbahngleis an der Cosimastraße sowie zweier Wendeschleifen im übrigen Netz der Straßenbahn München (Körperschallschnelle-Spektren). Zusätzlich werden im Bereich der stichprobenartig ausgewählten Gebäude bzw. an den der

Erschütterungsquelle zugewandten Baulinien/Fassaden und im Erdboden im Nahbereich der Fassade sowie in kritischen Aufenthaltsräumen Messpunkte eingerichtet. Mittels Ersatz-Anregung (einer im Gehweg-Bau üblichen Rüttelplatte) werden durch Schwingungsanregung in unterschiedlichen Abständen - entsprechend etwa der zukünftigen Lage der Straßenbahn-gleise - die Übertragungsfunktionen zwischen Erdboden und Immissionspunkt untersucht.

Somit werden die Emissionsspektren und die entsprechenden Übertragungsfunktionen I1, I2 der untersuchten Anwesen sowie tlw. Transmissionsfunktionen im Ausbreitungsweg durch Anregung aus den Straßenbahn-Vorbeifahrten an bestehenden Strecken sowie mit einer Rüttelplatte als Ersatz-Anregung messtechnisch erfasst. Durch Verknüpfung der Emissionsspektren mit den Übertragungsfunktionen ergeben sich dann die an den Immissionsorten zu erwartenden Erschütterungsimmissionsspektren. Zusammen mit dem prognostizierten Verkehrsmengengerüst ergeben sich daraus die zu erwartenden Beurteilungsschwingstärken.

Ermittlung des sekundären Luftschalls:

Aus den für die Immissionspunkte (innerhalb der Gebäude) ermittelten Körperschallschne-lespektren der einzelnen Zuggruppen und deren jeweiligen Einwirkzeit nebst deren jeweiliger Anzahl kann gemäß Leitfaden der DB AG [3], [5] in Abhängigkeit der Deckenbauweise bzw. entsprechend kritischer Frequenzlage der Deckenresonanzüberhöhung und ggf. weiterer Pa-rameter der zu erwartende Innenpegel-Anteil aus Erschütterungseinwirkungen (sog. sekun-därer Luftschall als Maximal- bzw. Vorbeifahrt-Pegel und anhand der Häufigkeit und jeweili-gen Dauer ermittelte Beurteilungspegel) in Gebäuden abgeschätzt werden. Eine unmittelbare, messtechnische Erfassung des sekundären Luftschalls ist i.d.R. aufgrund des gleich-zeitig einwirkenden Direktschalls über die Fenster nur mit großem Aufwand z.B. zusätzlicher Schalldämmung der Fenster o.ä. möglich.

Ablauf und Umfang:

Zur umfassenden Beurteilung der erschütterungstechnischen Auswirkungen durch die ge-plante Maßnahme werden bestehende Gebäude im Bereich des gegenständlichen Strecken-abschnittes herangezogen und messtechnisch untersucht.

Dabei werden im Untersuchungsgebiet an ausgewählten, bestehenden Gebäuden mittels Ersatz-Anregung die Übertragungsfunktionen sowie ergänzend an geeigneten Strecken-querschnitten die vorliegenden Schwingschnellen im Erdboden während des Straßenbahn-Betriebs erfasst und darauf aufbauend eine Prognose der künftig zu erwartenden Erschütte-

rungseinwirkungen der Straßenbahn-Neubaustrecke TJO-1509 erstellt. Die Messungen fanden am 20. und 21.07.2022 zwischen ca. 09:00 Uhr und 19:30 Uhr statt. Zusätzlich wurden Messungen im Außenbereich (Erdboden, Freifeld) am 16.07.2022 an Wendeschleifen des Münchner Straßenbahn-Netzes durchgeführt. Anwesend waren die Bewohner der ausgewählten Wohnungen, die Messingenieure F. Besenschek und D. Fleischer, sowie zeitweise der unterzeichnende Sachverständige (hils consult gmbh).

Prognose der Erschütterungseinwirkungen:

Konkret sind die im „Prognose-Planfall“ nach Umsetzung der geplanten Straßenbahn-Neubaustrecke bzw. des Linienverkehrs 2035 auf der Johanneskirchner Straße zu erwartenden Erschütterungseinwirkungen zu ermitteln und ggf. (z.B. für das Gebäude Cosimastraße 204) dem „Prognose-Nullfall“ unter Zugrundelegung der ohne die geplante Neubaustrecke im Jahr 2035 verkehrenden Straßenbahnen (nur auf der Cosimastraße) gegenüber zu stellen.

Die Prognose erfolgt durch messtechnisch ermittelte Ausgangsdaten entsprechend der Richtlinien [3], [4], [5].

6.2 Messorte

Zur Erfassung und Beurteilung der Situation werden - bedingt durch die bestehende Bebauung, räumliche Gegebenheiten und Zugänglichkeiten - Messpunkte im Nahereich bestehender Bahnkörper sowie Messpunkte in unterschiedlichen Aufenthaltsräumen und im Umfeld der ausgewählten Gebäude eingerichtet. Folgende Messpunkte werden dabei herangezogen:

Tabelle 8: Messpunkte zur Erfassung u.a. Erschütterungsemissionen als Ausgangsdaten zur Prognose für TJO-1509 Neubaustrecke 2035, Messungen vom 16., 20. und 21.07.2022

Messort, Datum	Messpunkt/Bezeichnung	Kanal	horizontaler Abstand zur nächstgelegenen Gleismitte	Ankopplung / Mess- richtung
Cosimastr., südl. Ecke Fürkhofstr., 20.07.2022	MO1_MP 1 Grünstreifen, östlich, gegenüber Einmündung Hochstiftsweg	1	11 m *)	Erdspieß Vertikal (Z)
	MO1_MP 2 Grünstreifen, östlich, etwa Mitte zw. MP1 und MP3	2	11 m	Erdspieß Vertikal (Z)
	MO1_MP 3 Grünstreifen, östlich, unmittl. südl. der Einmündung Fürkhofstr.	3	11 m	Erdspieß vertikal (Z)
	MO1_MP 4 Grünstreifen, wie MP1	4	16 m	Erdspieß vertikal (Z)
	MO1_MP 5 Grünstreifen, wie MP2	5	16 m	Erdspieß vertikal (Z)
	MO1_MP 6 Grünstreifen, wie MP2	6	24 m	Erdspieß vertikal (Z)
Wende Großhesselohrer Brücke, 16.07.2022d	MO2_MP 1 Grünstreifen, östlich	1	8,5 m	Erdspieß vertikal (Z)
	MO2_MP 2 Waldboden, wie MP1	2	16 m	Erdspieß vertikal (Z)
	MO2_MP 3 Grünbereich, südöstlich	3	8,5 m	Erdspieß vertikal (Z)
Bunzlauer Str. (Wende Moosach) 16.07.2022	MO3_MP 1 Grünstreifen/Hecke, südöstlich	1	8,5 m *)	Erdspieß vertikal (Z)
	MO3_MP 2 Grünstreifen, wie MP 1	2	16 m	Erdspieß vertikal (Z)
	MO3_MP 3 Grünstreifen, östlich/südöstlich	3	8,5 m *)	Erdspieß vertikal (Z)
Cosimastr. 204, 21.07.2022	MO4_MP 1 Rasenfläche, südwestlich der Fassade	1	34 m	Erdspieß vertikal (Z)
	MO4_MP 2 Fundament, Strebe Lichtschacht/Gitter	2	ca. 40 m	geschraubt vertikal (Z)
	MO4_MP 3 Fußbodenmitte, Gruppenraum, EG	3	ca. 40 m	geklebt, vertikal (Z)
	MO4_MP 4 Fußbodenmitte, Wohnen, 1.OG	4	ca. 40 m	geklebt vertikal (Z)
	MO4_MP 5 Grünstreifen, südwestlich bzw. nahe Kreuzung mit Johanneskirchner	5	11 m *)	Erdspieß vertikal (Z)

*) wegen Gehwegen und Fahrbahn ist nur in diesem Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse einheitlich die Ankopplung mittels Messspieß an die „gewachsene“ Erdoberfläche (Grünstreifen) möglich

Tabelle 9: Messpunkte zur Erfassung u.a. Übertragungsfunktionen als Ausgangsdaten zur Prognose für TJO-1509 Neubaustrecke 2035, Messungen vom 20. und 21.07.2022

Messort, Datum	Messpunkt/Bezeichnung	Kanal	horizontaler Abstand zur Fassade	Ankopplung / Mess- richtung
Johanneskirchen Str. 83 20.07.2022	MO5_MP 1 Grünstreifen, östlich der Fassade	1	1 m	Erdspieß vertikal (Z)
	MO5_MP 2 Fundament, Balkonstütze	2	--	geschraubt vertikal (Z)
	MO5_MP 3 Fußbodenmitte, Wohnen, EG	3	--	geklebt, vertikal (Z)
	MO5_MP 4 Grünstreifen, wie MP1, östlich der Zufahrt	4	7,5 m	Erdspieß vertikal (Z)
Johanneskirchen Str. 88 20.07.2022	MO6_MP 1 Rasen, nördlich der Fassade	1	1 m	Erdspieß vertikal (Z)
	MO6_MP 2 Fundament, seitlich (Wand West)	2	--	geschraubt vertikal (Z)
	MO6_MP 3 Fußbodenmitte, Wohnen, EG nordwest	3	--	geklebt, vertikal (Z)
	MO6_MP 4 Rasen, wie MP1	4	6 m	Erdspieß vertikal (Z)
Johanneskirchen Str. 90 20.07.2022	MO7_MP 1 Rasen, nördlich der Fassade, wie MP3	1	1 m	Erdspieß vertikal (Z)
	MO7_MP 2 Rasen, nördlich der Fassade, 9m östl.	2	1 m	geklebt vertikal (Z)
	MO7_MP 3 Fußbodenmitte, Wohnen, EG	3	--	geklebt, vertikal (Z)
	MO7_MP 4 Fußbodenmitte, Kind, EG	4	--	Erdspieß vertikal (Z)
	MO7_MP 5 Fundament, Wand Ost	5	--	magnetisch vertikal (Z)
Johanneskirchen Str. 62 21.07.2022	MO8_MP 1 Rasen, nördlich der Fassade	1	1 m	Erdspieß vertikal (Z)
	MO8_MP 2 Fundament, Laibung Kellerfenster	2	--	geschraubt vertikal (Z)
	MO8_MP 3 Fußbodenmitte, Wohnen, 1.OG	3	--	geklebt, vertikal (Z)
	MO8_MP 4 Rasen, wie MP1	4	4,5 m	Erdspieß vertikal (Z)

Messort, Datum	Messpunkt/Bezeichnung	Kanal	horizontaler Abstand zur Fassade	Ankopplung / Mess- richtung
Johanneskirchner Str. 107 21.07.20227	MO9_MP 1 Rasen, südlich der Fassade, wie MP3	1	1 m	Erdspieß vertikal (Z)
	MO9_MP 2 Fundament, Innenwand Trh.	2	--	magnetisch vertikal (Z)
	MO9_MP 3 Fußbodenmitte, Wohnen, 2.OG	3	--	geklebt, vertikal (Z)
	MO9_MP 4 Rasen, südlich der Fassade, wie MP1	4	6 m	Erdspieß vertikal (Z)
	MO9_MP 5 Fußbodenmitte, Wohnen, 3.OG	5	--	geklebt, vertikal (Z)

In den Lageskizzen im Anhang (Abb. A1 bis A4) sowie exemplarisch im anschließenden Bildnachweis ist die Lage der Messpunkte ersichtlich.

6.3 Messgrößen und Frequenzbereich

Als Messgröße dient die durch Beschleunigungsaufnehmer erfasste Körperschallbeschleunigung bzw. das sich daraus durch Integration ergebende unbewertete und der Schwingschnelle proportionale Erschütterungssignal nach DIN 45669-1. Der zu analysierende Frequenzbereich reicht von 4 Hz bis 80 Hz bzw. 315 Hz.

Die Pegelschriebe der Schwingschnelle werden für alle Ereignisse / Messpunkte gesichtet und auf Störungen kontrolliert bzw. bereinigt. Mit Störungen behaftete Messungen werden aussortiert bzw. gestörte Abschnitte ausgeblendet.

Störungen treten vereinzelt als durch die Bewohner hervorgerufene Ereignisse auf (z.B. Gehen oder Gegenstände hart abstellen während der Vorbeifahrt einer Straßenbahn oder einem Rüttelplattenversuch).

6.4 Messgeräte

Zur Durchführung der Messungen werden nachfolgende Messeinrichtungen verwendet, deren korrekte Funktion vor, während und nach den Messungen soweit möglich überprüft wird:

Tabelle 10: Übersicht Messgeräte

	Gerät	Typ	Serien-Nr.	Hersteller
x	modulares 6-Kanal-Datenerfassungssystem	DATaRec 4 MIC6	050736-032012	Zodiac Heim Systems
x	Auswerte-/Erfassungssoftware	si++	4.2.D617	Soundtec GmbH
x	Beschleunigungsaufnehmer Empfindlichkeit ~1 V/g, Frequenzbereich 0,5 - 5000 Hz	M393A03	9686, 9687, 9688, 9421, 9465, 10345, 11183	PCB
x	modulares Schallmesssystem	2270	3009638	Bruel+Kjaer
x	Beschleunigungsaufnehmer Empfindlichkeit ~0,5 V/g, Frequenzbereich 0,5 - 5000 Hz	3055B3T	6254	Fa. Dytran

* verwendete Messgeräte sind durch „x“ gekennzeichnet

Das Messsystem entspricht DIN 45699-1, wobei in regelmäßigen Abständen die maßgeblichen Komponenten (Sensoren, Datenerfassungssystem, Kalibrator) auf ein nationales Normal rückgeführt werden. Die Messketten wurden zuletzt vom Kalibrierlaboratorium Spektra Dresden im Januar 2019 überprüft/kalibriert.

Das Büro *hils consult gmbh, ing.-büro für bauphysik* wird im Verzeichnis sachverständiger Prüfstellen für die Durchführung von Güteprüfungen nach DIN 4109 (VMPA-Schallschutzprüfstellen) unter der Nummer VMPA-SPG-214-04-BY geführt und nimmt am Qualitätssicherungsverfahren des Verbandes der Materialprüfungsämter (VMPA) teil. Hierbei erfolgen im Rahmen einer regelmäßig wiederkehrenden Auditierung eine Kontrolle der angewandten Messverfahren sowie die Überprüfung der verwendeten Schallsender und Messgeräte. Die Messstelle ist darüber hinaus als DAkkS akkreditiertes Prüflaboratorium gem. DIN EN ISO 17025 nach § 26/29b BImSchG amtlich bekannt gegeben.

6.5 Messereignisse

Messdauer und Umfang der Messungen orientiert sich an messtechnischen Erfordernissen im Hinblick auf Signifikanz der Messdaten (insbesondere Anzahl der Ereignisse je Zuggruppe bzw. Messquerschnitt) für die spektrale Mittelwert- und Differenz-Bildung.

Als Erschütterungsquelle werden zum Einen Zugvorbeifahrten auf bestehenden Gleisen der Straßenbahnlinien ausgewertet. Dabei werden insgesamt mindestens 6 Zugvorbeifahrten je untersuchtem Oberbau-Querschnitt messtechnisch erfasst (s. Protokolle Tabelle T1 im Anhang). Zusätzlich werden an 6 Gebäuden die Übertragungsfunktionen zwischen Erdboden und Fußbodenmitte Aufenthaltsraum mittels Ersatz-Anregung (Gehweg-Rüttelplatte) durch Vibrationszyklen in u.a. mit der zukünftigen Gleislage vergleichbaren Abstandsbereichen messtechnisch erfasst.

Exemplarische Zeitverläufe und dazugehörige Spektren der Einwirkungen bei einzelnen Straßenbahn-Vorbeifahrten und Ersatz-Anregungsversuchen sind im Anhang, *Abb.A6 bis .A16* dargestellt.

7. Auswertung/ Messergebnisse

7.1 Charakteristische Erregerspektren - Emissionspegel

Zur Ermittlung der bewerteten Schwingstärke innerhalb der betroffenen Gebäude nach Umsetzung der geplanten Neubaustrecke sowie insbesondere für die von Straßenbahn-Vorbeifahrten hervorgerufenen sekundären Luftschallimmissionen ist basierend auf die vorliegenden Messungen eine spektrale Auswertung i.d.R. in Terz-Bandbreite erforderlich. Daher wird aus den Zeitverläufen des unbewerteten Schwingschnellesignals der entsprechende Wert je Terzband (mittlerer und maximaler Körperschallschnellepegel $L_{v,eq}$ und $L_{v,max}$ „max-hold“) im messtechnisch relevanten Frequenzbereich von 4 Hz bis 80 Hz bzw. bis 315 Hz je Messpunkt gebildet. Diese Spektren können für die jeweiligen Messpunkte und die zugrundeliegenden Randbedingungen (u.a. Zuggeschwindigkeit, Entfernung zur Quelle, Bodenverhältnisse etc.) als repräsentativ für die vorhandene und im Prognosehorizont zu erwartende Anregung angesehen werden.

Emissionspegel:

Bei (oberirdischen) Schienenverkehrswegen wird die Emission (Quellstärke) durch die in einem festgelegten Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse (typischerweise 8 m, hier: 8,5 m oder 11 m) im Erdboden gemessenen Schwingstärken charakterisiert. Weitere Messpunkte werden herangezogen, um den Einfluss der Randbedingungen (z.B. Fahrtrichtung, Geschwindigkeit sowie ggf. Transmission im Erdboden) zu bestimmen.

Im vorliegenden Fall werden an einem bestehenden, ausgewählten Gebäude die Erschütterungsimmissionen aus der bestehenden Straßenbahnlinie unmittelbar am Immissionsort erfasst, hier ist zur Prognose die Gegenüberstellung der Lastfälle Prognose-Nullfall und Prognose-Planfall vorzunehmen.

Im Folgenden werden exemplarisch für die Prognose relevante Aspekte der erfassten Erschütterungseinwirkungen aufgezeigt.

Zunächst werden alle Emissionsspektren der an den in 8,5 m und 11 m Abstand erfassten Vorbeifahrten im Einwirkungsbereich unterschiedlicher Streckenführungen sowie Oberbauarten ggf. nach Zugtypen zusammengefasst und mit Mittelwert sowie deren Streuung dargestellt. Am Messort MO 1 (Cosimastr. Unmittelbar südlich des Abzweiges in die Johanneskirchner Str., Linie 16+17/37) lassen sich die Emissionsspektren für die Oberbau-Arten Rasengleis und „feste Fahrbahn“ ermitteln:

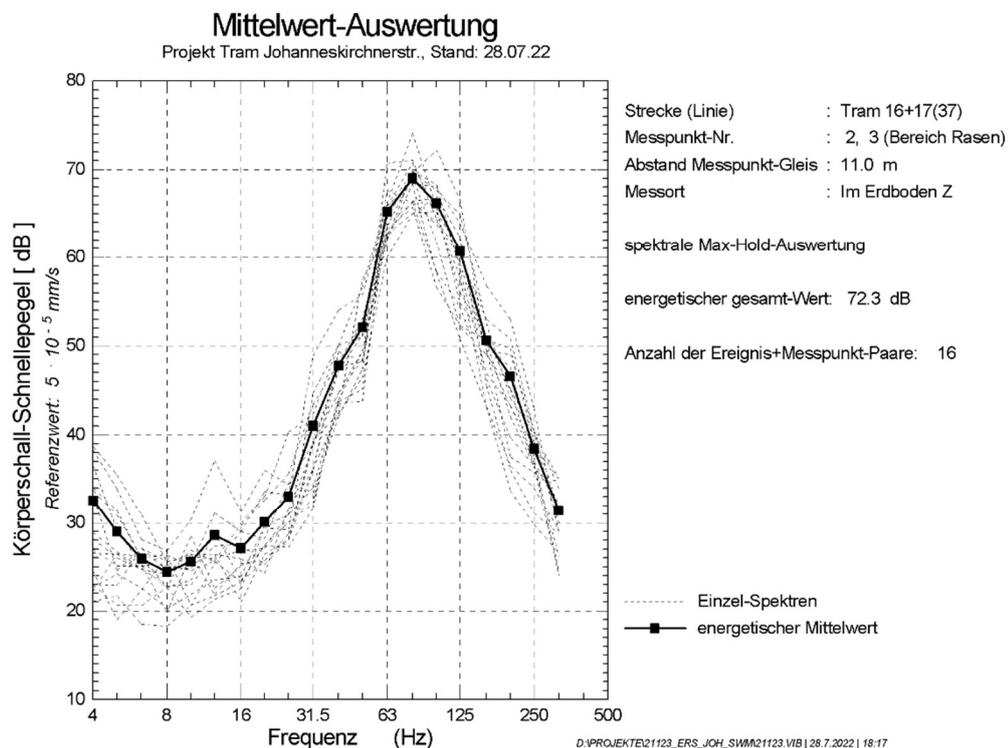


Abb. 5: messtechnisch am 20.07.2022 im Erdboden bzw. an der Erdoberfläche in 11 m zur nächstgelegenen Gleisachse in der Cosimastraße erfasste typische Erregung für aktuelle und neue Straßenbahnen sowie Rasengleis-Oberbau, als Max-Hold-Spektrum

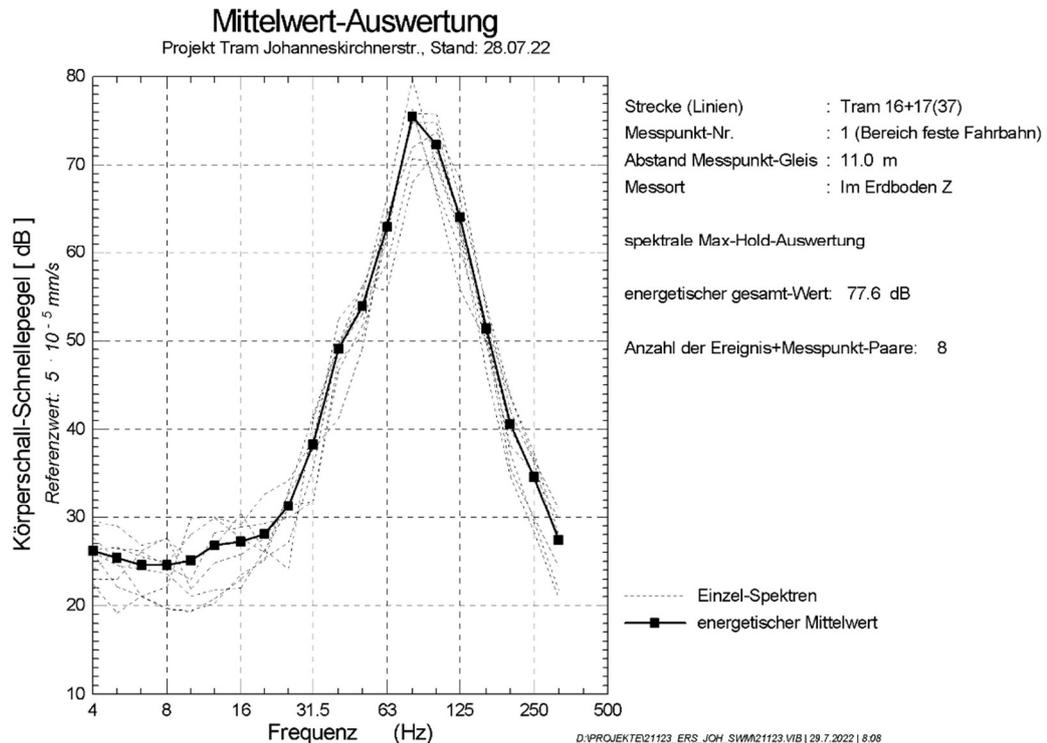


Abb. 6: messtechnisch am 20.07.2022 im Erdboden bzw. an der Erdoberfläche in 11 m zur nächstgelegenen Gleisachse in der Cosimastraße erfasste typische Erregung im Bereich „feste Fahrbahn“ mit Asphaltdeckung, als Max-Hold-Spektrum

Aus den in vorstehenden Abb. 5 und Abb. 6 dargestellten Körperschall-Schnellepegeln ist erkennbar, dass im Bereich mit Asphaltdeckung (feste Fahrbahn) im oberen Frequenzbereich etwas höhere Emissionen stattfinden als beim Rasengleis. Diese beiden stellen die aus den geplanten Neubau-Bereichen der Johanneskirchner Str. zu erwartenden Emissionen dar. Für die Emissionen der Kurven im geplanten Gleisdreieck aus der Cosimastraße sowie der Wendeschleife am Johanneskirchner S-Bahnhof wurden ebenfalls Messungen an vergleichbaren Wendeschleifen im Münchner Straßenbahn-Netz durchgeführt. Erschütterungsemissionsspektren an Wendeschleifen mit Asphaltdeckung („feste Fahrbahn“) werden bei Haltepunkt „Großhesseloher Brücke“ (Linie 25) und Bunzlauer Straße bzw. am Bunzlauer Platz (Bahnhof Moosach, Linie 20) ermittelt und herangezogen:

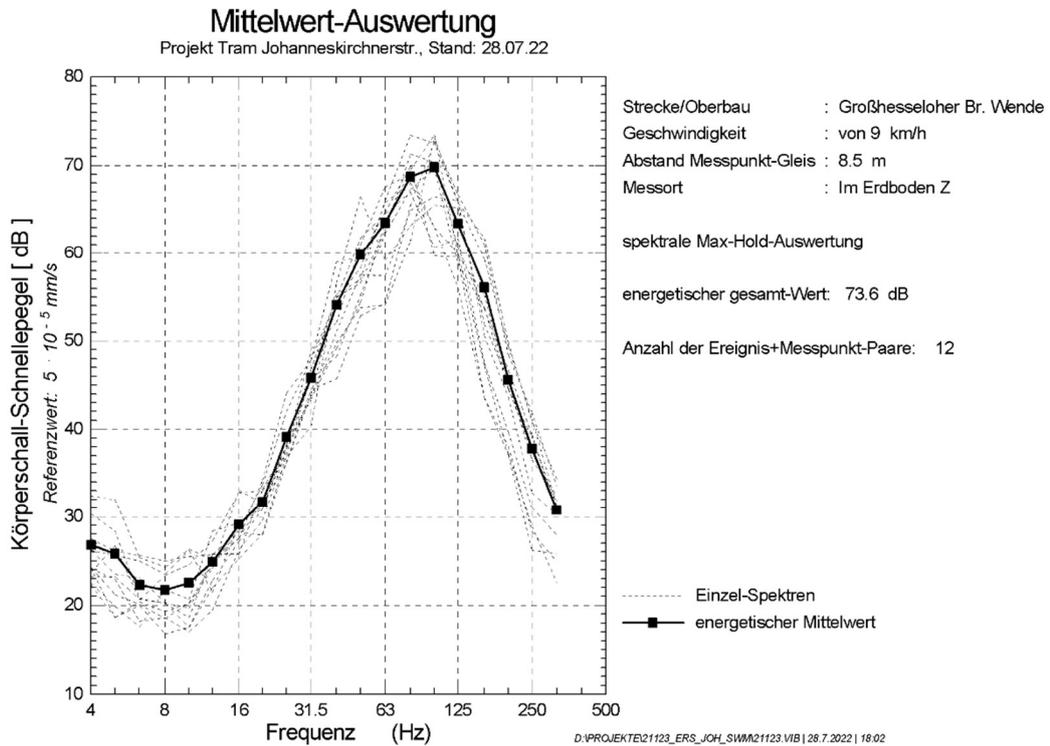


Abb. 7: messtechnisch am 16.07.2022 im Erdboden bzw. an der Erdoberfläche in 8,5 m zur Gleisachse an der Wendeschleife „Großhesseloher Brücke“ erfasste typische Erregung im Bereich „feste Fahrbahn“ mit Asphaltdeckung, als Max-Hold-Spektrum

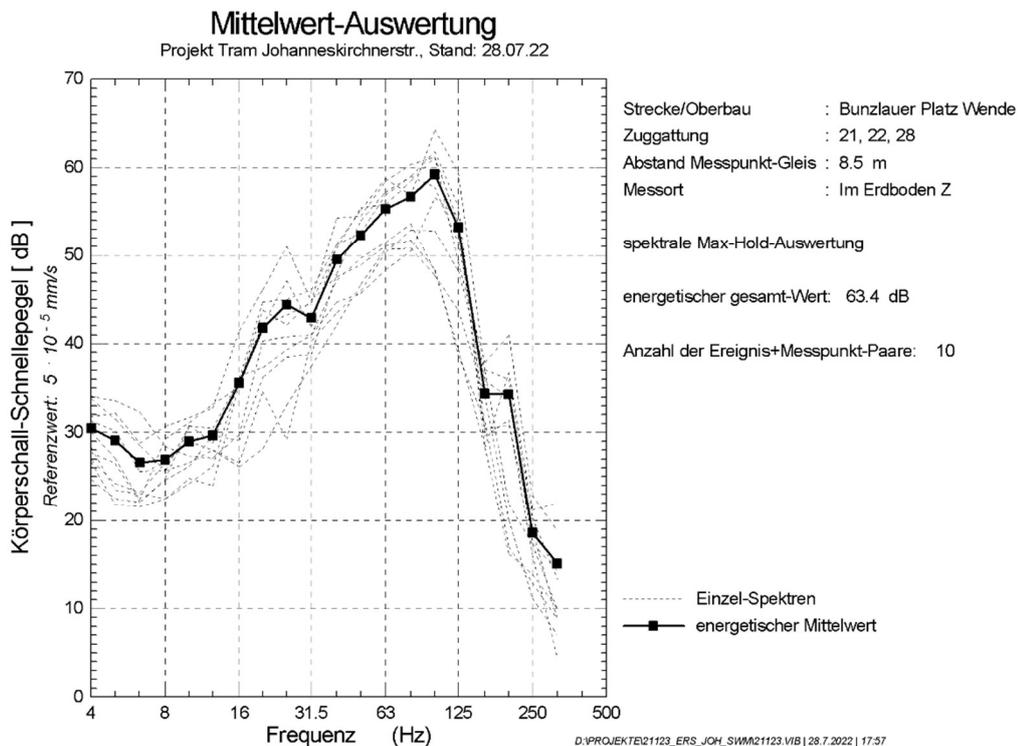


Abb. 8: messtechnisch am 16.07.2022 im Erdboden bzw. an der Erdoberfläche in 8,5 m zur Gleisachse an der Wendeschleife „Bunzlauer Platz“ erfasste typische Erregung im Bereich „feste Fahrbahn“ mit Asphaltdeckung, als Max-Hold-Spektrum

Aus den in vorstehenden Abb. 7 und Abb. 8 dargestellten Körperschall-Schnellepegeln ist erkennbar, dass im Bereich der Wendeschleife „Großhesseloher Brücke“ im oberen Frequenzbereich deutlich höhere Emissionen auftreten als bei der Wendeschleife am Bunzlauer Platz. U.E. besteht am Bunzlauer Platz eine Erschütterungsschutzmaßnahme, die voraussichtlich auch für die geplante Wendeschleife zumindest im südlichen Bereich erforderlich wird.

7.2 Korrekturen Emissions-/Immissionsspektren

Zur Anpassung der messtechnisch erfassten Emissionen an die künftige Situation werden emissionsseitig keine spezifischen Korrekturen erforderlich. In Bezug auf die Emissionen aus dem zweiten Gleis wird von den gleichen Mittelwerten bzw. in 11 m Abstand aus Gleis 1 erfassten Emissionspegeln ausgegangen, jedoch eine weitere durch die Gleislage abstandsbedingte Korrektur aus den Mittelwert-Differenzen gebildet. Diese beträgt:

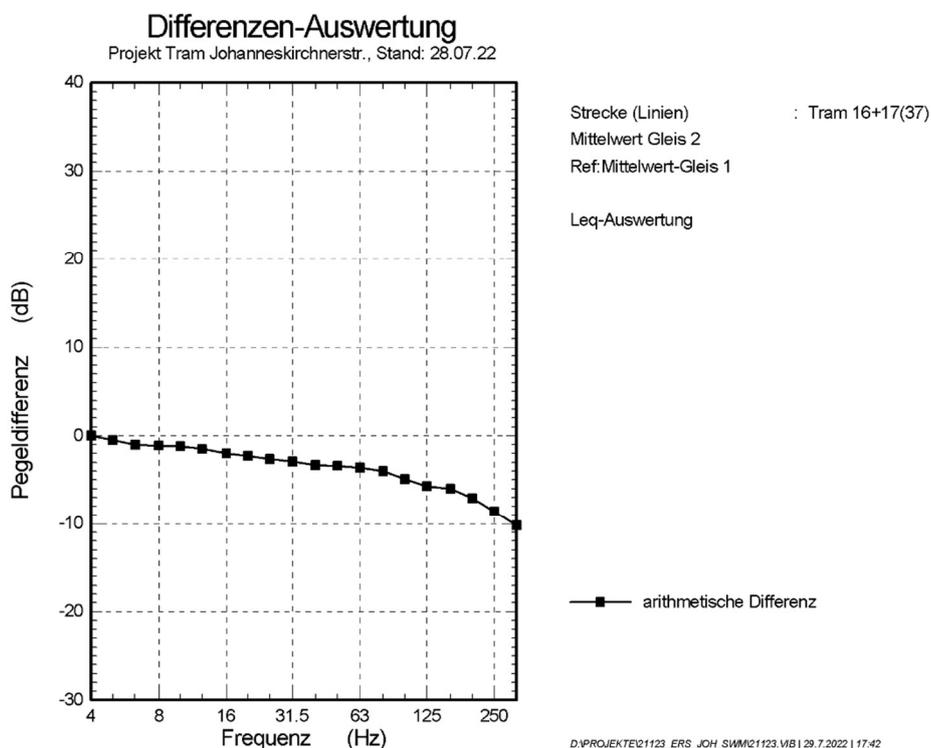


Abb. 9: messtechnisch am 20.07.2022 ermittelte Pegelunterschiede zwischen den Vorbeifahrten auf Gleis 1 und Gleis 2 an den Messpunkten MO1_MP1, MP2 und MP3 sowie MO4_MP5

7.3 Abstandsbedingte Korrekturen (Transmission im Erdboden)

Zur entsprechenden Abstandskorrektur wird von den Messungen vom 20.07.2022 am Querschnitt Bereich Rasengleis, konkret MP2, MP5 und MP6 ausgegangen. Die Pegelabnahme zwischen 11 m und 24 m beträgt hierbei:

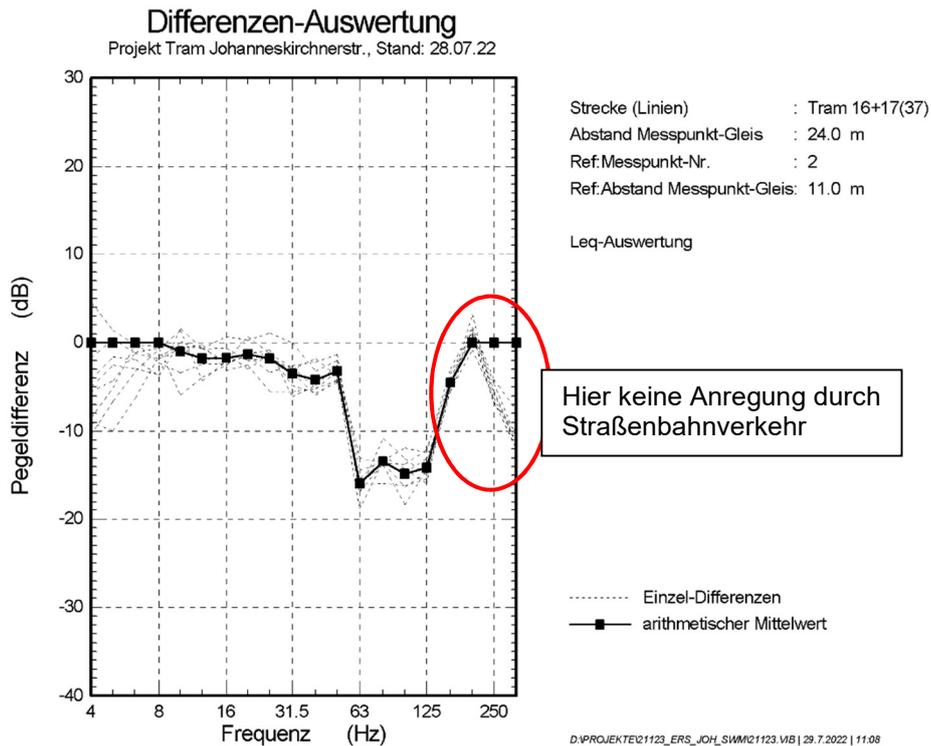


Abb. 10: messtechnisch am 20.07.2022 ermittelte Pegelabnahme bei MO 1, Messquerschnitt Rasengleis in der Cosimastraße, etwa zwischen Fürkhofstraße und Hochstiftsweg

Für weitere Abstandsbereiche wird durch Regressionsrechnung je Terz die Pegeldifferenz interpoliert bzw. ggf. extrapoliert.

8. Zu erwartende Immissionen innerhalb der Gebäude

8.1 Betriebsprogramm 2035

Das der Untersuchung zugrunde liegende Verkehrsmengengerüst wird den Zugzahlen gemäß [c] entnommen. Für die erschütterungstechnische Untersuchung relevante Daten sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 11: Verkehrszahlen 2035

lfd. Nr.	Richtung	Zugzahlen					
		PN 2035			PP 2035+		
		Bezeichnung (Straßenbahnlinie)	Tag 06:00–22:00 Uhr	Nacht 22:00– 06:00 Uhr	Bezeichnung (Straßenbahnlinie)	Tag 06:00–22:00 Uhr	Nacht 22:00– 06:00 Uhr
1	Cosimastr. Ri Norden vor Kreuzung	15 / 16(11) / 17 N11 / N17	192 96	40 40	6 / 7 / 21 / N21	288	64
2	Cosimastraße Richtung Norden in Kreuzung	15 / 16(11) / 17 N11 / N17	192 96	40 40	6 / 7	192	24
3	Cosimastraße Richtung Norden nach Kreuzung	15 / 16(11) / 17 N11 / N17	192 96	40 40	6 / 7 / 23 / N23	288	64
4	Cosimastraße Richtung Süden vor Kreuzung	15 / 16(11) / 17 N11 / N17	192 96	40 40	6 / 7 / 23 / N23	288	64
5	Cosimastraße Richtung Süden in Kreuzung	15 / 16(11) / 17 N11 / N17	192 96	40 40	6 / 7	192	24
6	Cosimastraße Richtung Süden nach Kreuzung	15 / 16(11) / 17 N11 / N17	192 96	40 40	6 / 7 / 21 / N21	288	64
7	Abbieger von Cosimastr Ri. Nord in Johanneskirchner Str.	--	--	--	21 / N21	96	40
8	Abbieger von Cosimastr Ri. Süd in Johanneskirchner Str.	--	--	--	23 / N23	96	40
9	Johanneskirchner Str. Richtung Ost	--	--	--	21 / 23 / N21 / N23	192	80
10	Johanneskirchner Str. im Wendehammer ^{**})	--	--	--	11 / N11 ^{**})	96 ^{**})	40 ^{**})
11	Johanneskirchner Str. Richtung West	--	--	--	21 / 23 / N21 / N23	192	80
12	Abbieger von Joh.-kirchner Str. in Cosimastr Ri. Nord	--	--	--	23 / N23	96	40
13	Abbieger von Joh.-kirchner Str. in Cosimastr Ri. Süd	--	--	--	21 / N21	96	40

^{**}) hier wird auf den Prognosehorizont 2035 mit Wendeschleife westlich des S-Bahnhofes abgestellt, da die Prognose 2035+ bereits von einer Fortführung der Tram Johanneskirchen östlich der S-Bahnlinie ausgeht und die Wendeschleife dann bereits rückgebaut wäre.

Es zeigt sich, dass im Prognosehorizont 2035+ auf der Cosimastraße im Beurteilungszeitraum bis zu 352 Züge und auf der Johanneskirchner Straße bis zu 272 Züge je Richtung verkehren sollen.

8.2 Abschätzung Erschütterungs-Immissionen (Erschütterungsprognose)

8.2.1 Emissions-/Transmissionsfunktionen

1) Emissionspegelkorrekturen

Als Emissionspegel für die zukünftig zu erwartenden Erschütterungsimmisionen aus dem Straßenbahnverkehr werden die unter Kap. 7.1 dargestellten Messergebnisse ohne weitere Korrekturen herangezogen.

2) Transmission im Erdboden - Abstandskorrekturen

Die maßgeblichen Gebäude im Einwirkungsbereich der geplanten Neubau-Trasse (gleiszugewandte Fassaden) liegen in Abständen von 8,5 m (Freischützstr. 84 südlich der Wendeschleife) und 11 m (Freischützstr. 84a), im weiteren Verlauf mindestens 16 m zur Gleisachse. Für die ersten beiden Abstände können die vorliegenden Emissionsdaten ohne Abstandskorrektur herangezogen werden, für die übrigen Anwesen wird als Abstandskorrektur folgende, über Regressionsrechnung aus den Messwerten an MO 1 zwischen 11 m und 16 m ermittelte Pegeldifferenz angewendet:

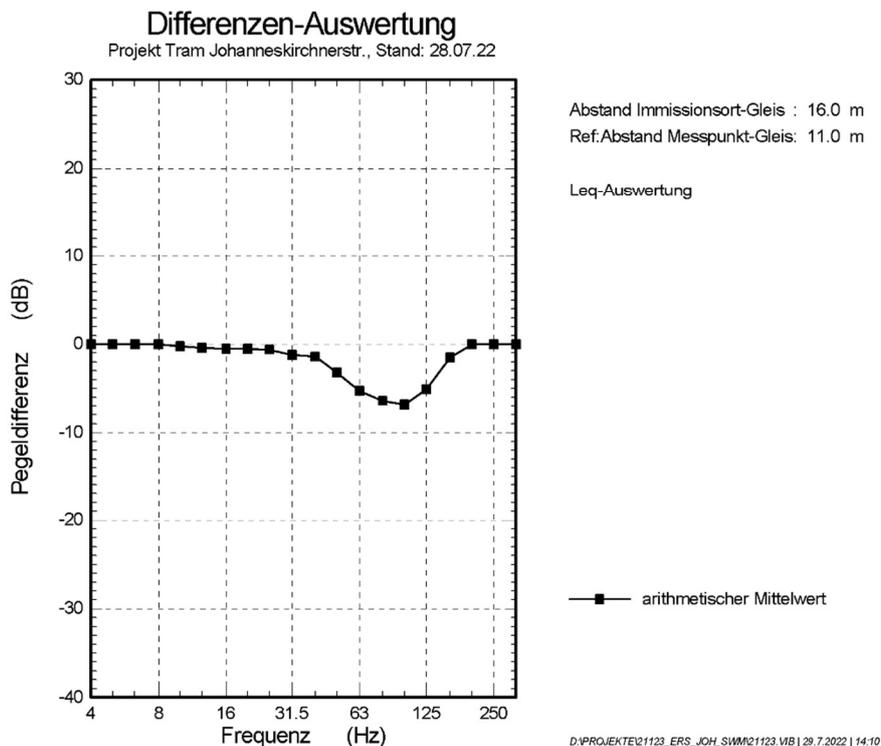


Abb. 11: über Regressionsrechnung ermittelte Pegelabnahme zwischen 11 m und 16 m Abstand

Für größere Abstände wird vereinfachend ebenfalls diese Korrektur gemäß Abb. 11 im Sinne einer oberen Abschätzung herangezogen.

3) Transmissionsfunktion Boden-Gebäude - (I1+I2)

Wie bereits in Kap. 3.2 beschrieben, unterliegt sowohl die Körperschallübertragung Boden-Gebäude (soil-structure-interaction) als auch die Fortleitung in Gebäuden großen Schwankungen. Insbesondere die gebäudespezifische Ankopplung an den Baugrund sowie die für jeden Raum individuellen Frequenzlagen der Deckenresonanzen nebst den jeweiligen Verstärkungsfaktoren haben einen entscheidenden Einfluss auf die Höhe der Erschütterungsimmersionen.

Im vorliegenden Fall wurden die gebäudespezifischen Übertragungsfaktoren (Transmissionsfunktionen I1+I2, d.h. *Erdboden* -> *Fußboden Aufenthaltsraum*) der bestehenden Bebauung unmittelbar an den exemplarisch herangezogenen Immissionsorten durch Ersatz-Anregung ermittelt und werden wie folgt für die Prognose berücksichtigt:

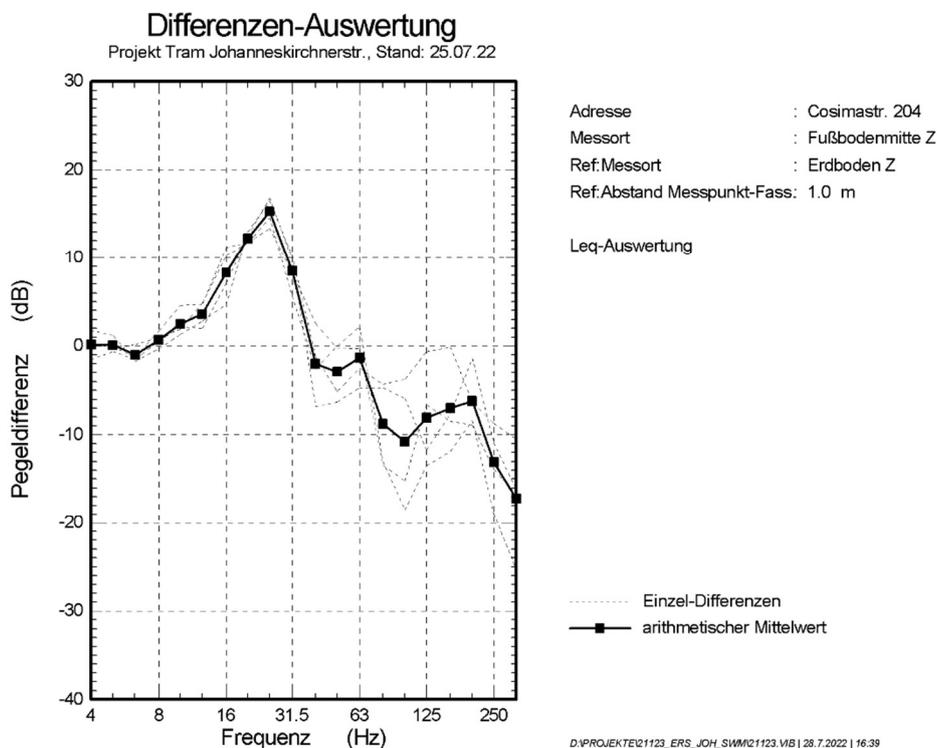


Abb. 12: Transmissionsfunktion *Erdboden* -> *Fußboden Aufenthaltsraum* für MO 4 (Cosimastr. 204) bei Ersatz-Anregung

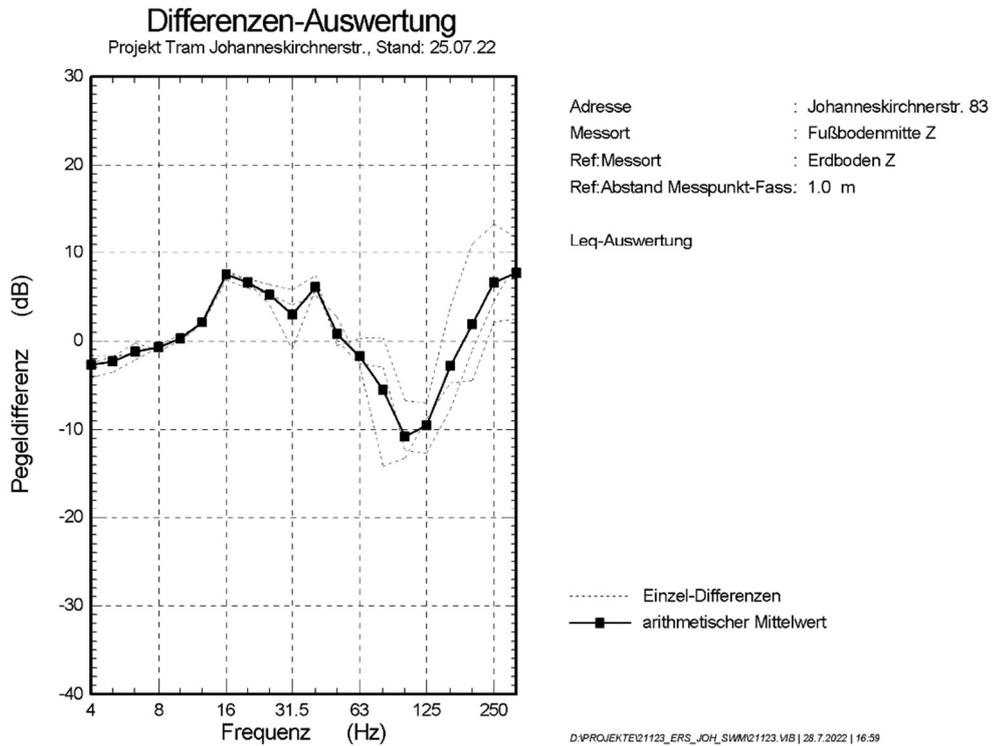


Abb. 13: Transmissionsfunktion *Erdboden -> Fußboden Aufenthaltsraum* für MO 5 (Johanneskirchner Str. 83) bei Ersatz-Anregung

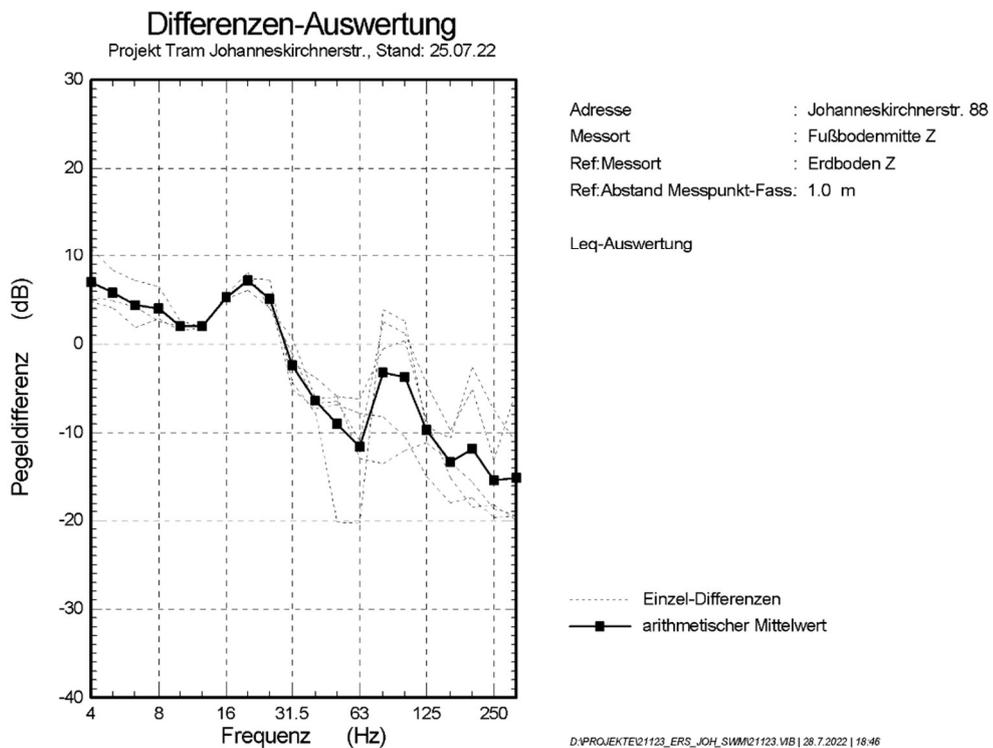


Abb. 14: Transmissionsfunktion *Erdboden -> Fußboden Aufenthaltsraum* für MO 6 (Johanneskirchner Str. 88) bei Ersatz-Anregung

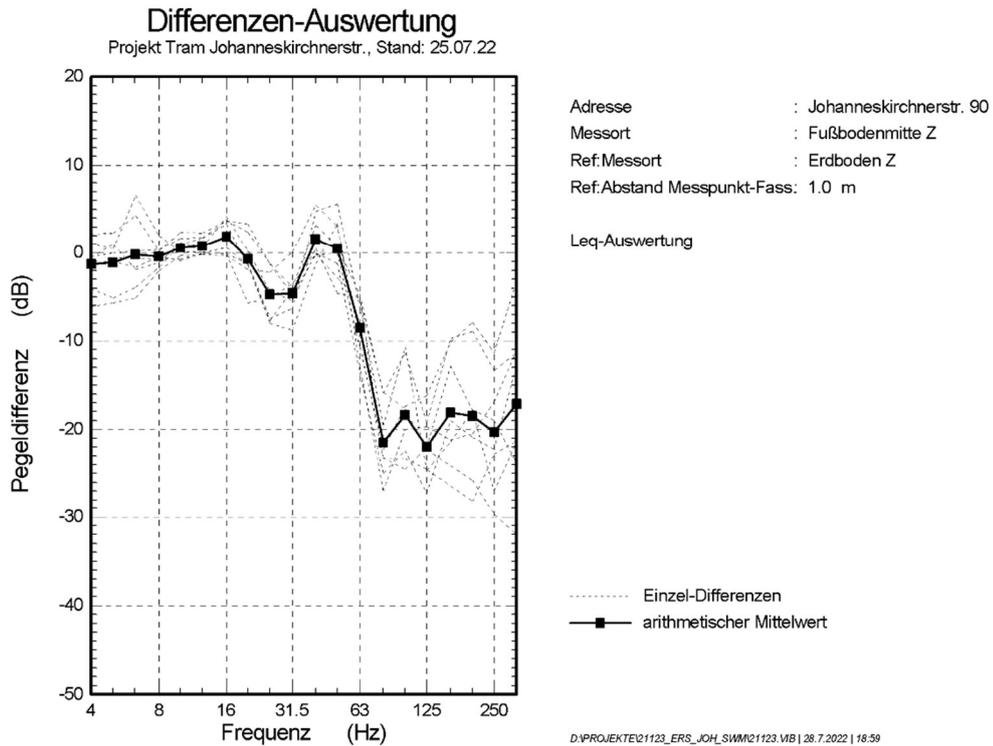


Abb. 15: Transmissionsfunktion *Erdboden -> Fußboden Aufenthaltsraum* für MO 7 (Johanneskirchner Str. 90) bei Ersatz-Anregung

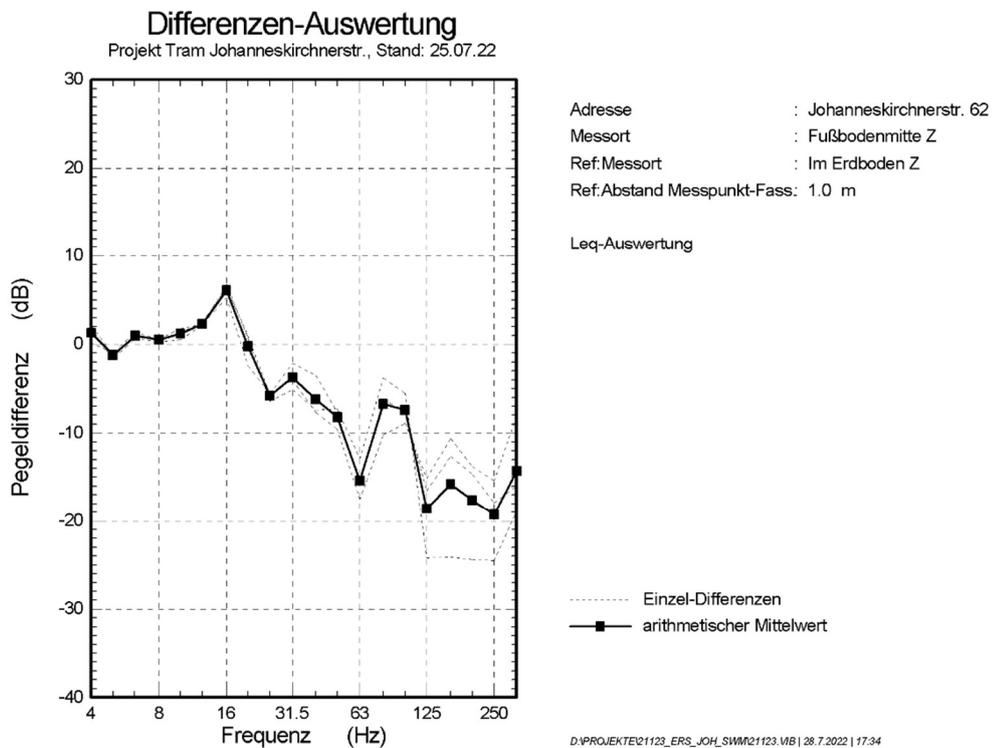


Abb. 16: Transmissionsfunktion *Erdboden -> Fußboden Aufenthaltsraum* für MO 8 (Johanneskirchner Str. 62) bei Ersatz-Anregung

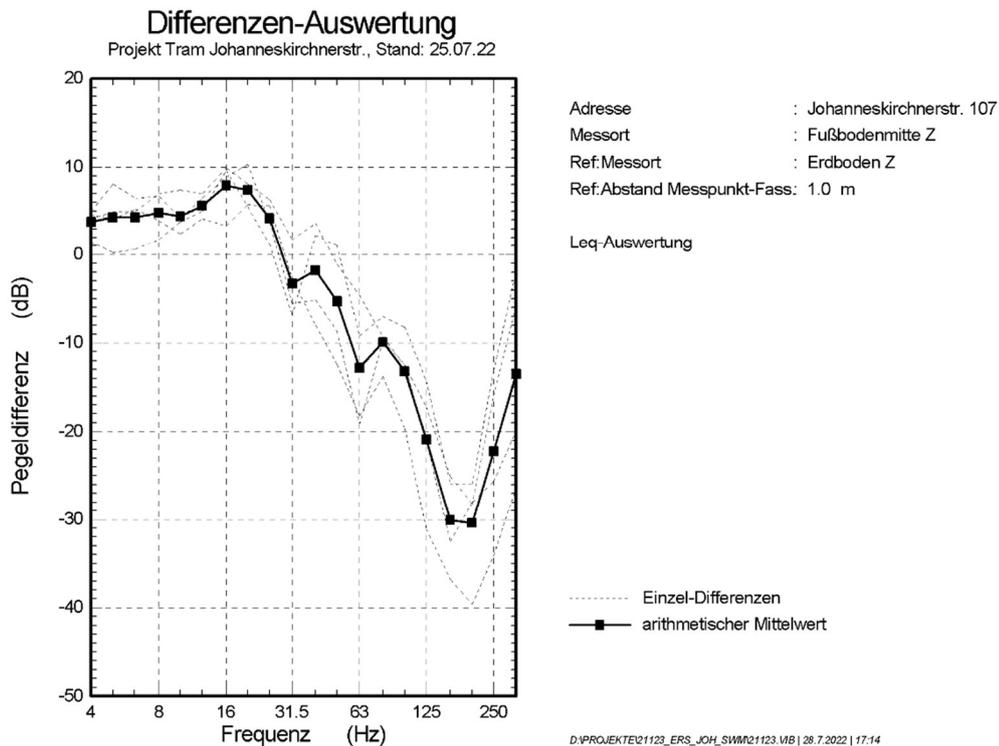


Abb. 17: Transmissionsfunktion *Erdboden -> Fußboden Aufenthaltsraum* für MO 9 (Johanneskirchner Str. 107) bei Ersatz-Anregung

Es zeigt sich, dass an den Gebäuden im Untersuchungsgebiet Pegelerhöhungen der Körperschall-Schnelle gegenüber der Freifeld-Anregung im Frequenzbereich zwischen 16 Hz und 50 Hz und Verstärkungen i.d.R. bis etwa 10 dB auftreten. Auffällig ist am Gebäude Cosimastr. 204 eine Verstärkung um 15 dB, dies ist jedoch auf die besondere Bauweise zurückzuführen (außen liegende Stützen der Geschossdecken und Abgrabung bzw. „Wanne“ für das Untergeschoss, vgl. Bild B10 im Bildnachweis). An diesem Gebäude wurde auch Anregung durch die Straßenbahn (Vorbeifahrten auf der Cosimastraße) erfasst, die hieraus ermittelte Übertragungsfunktion zeigt dabei eine gute Übereinstimmung mit der durch Ersatz-Anregung ermittelten (vgl. Abb. A17 im Anhang).

Für weitere Gebäude, an denen die Übertragungsfunktion nicht messtechnisch ermittelt wird, kann eine entsprechende Übertragungsfunktion aus [3] herangezogen werden. Diese beträgt für die Deckenresonanzfrequenzlage um 50 Hz wie folgt:

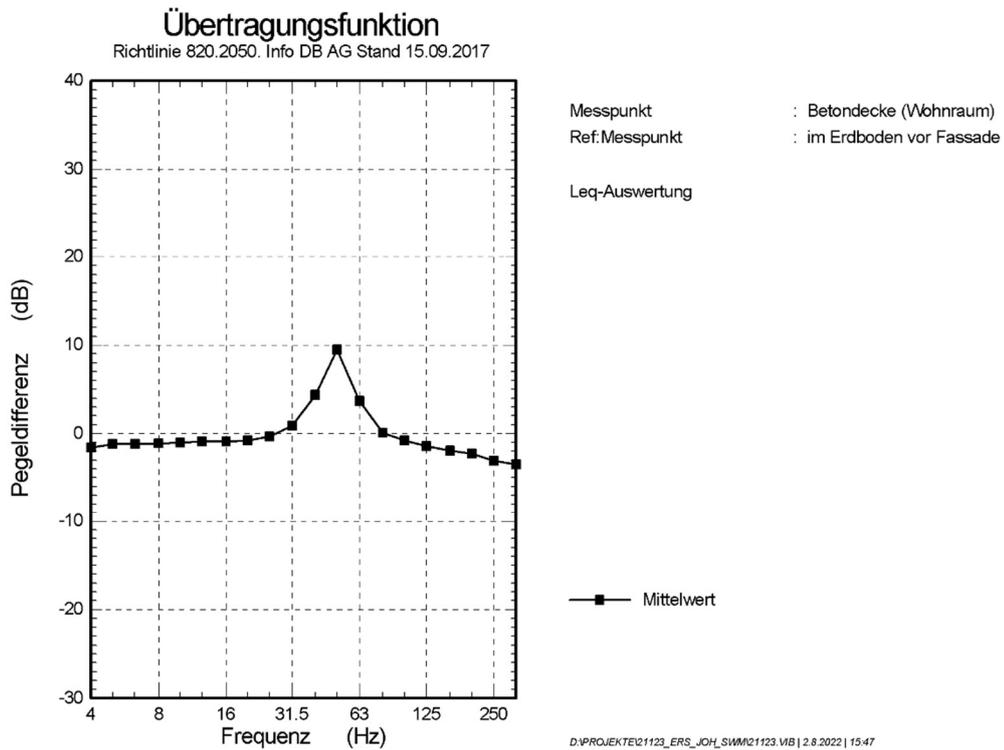


Abb. 18: Transmissionsfunktion *Erdboden -> Fußboden Aufenthaltsraum* für Gebäude in massiver Bauweise (Stahlbetondecken) gemäß [3]

8.2.2 Bewertete Schwingstärke - KB-Werte

Ausgehend von den gemäß Kap. 7 ermittelten charakteristischen Erreger- und entsprechenden Immissionspektren sowie o.g. Transmissionsfunktionen ergeben sich die zu erwartenden Deckenschwingungen „Max-Hold“ und die hieraus abgeleiteten KB-Werte. Die Ausgangsdaten bzw. -parameter sind aus den Berechnungsblättern im Anhang ersichtlich. Darauf basierend sowie mit dem zugrundeliegenden Verkehrsmengengerüst ergeben sich innerhalb der untersuchten Gebäude folgende Erschütterungsimmissionen:

Tabelle 12: Prognose-Abschätzung Erschütterungsimmissionen für die untersuchten Gebäude

Immissionsort Adresse	Beurteilungsschwingstärken				
	KB _{FTm,Tag}	KB _{FTm,Nacht}	KB _{FTr,Tag}	KB _{FTr,Nacht}	KB _{Fmax} ^{*)}
Cosimastraße 204 Nullfall 2035	0,026	0,026	-- ^{**)}	--	0,031
Cosimastraße 204 Planfall 2035	0,033	0,033	--	--	0,040
Johanneskirchner Str. 62	0,034	0,034	--	--	0,041
Johanneskirchner Str. 72	0,112	0,112	0,035	0,032	0,134
Johanneskirchner Str. 83	0,061	0,061	--	--	0,106
Johanneskirchner Str. 88	0,050	0,050	--	--	0,060
Johanneskirchner Str. 90	0,028	0,028	--	--	0,034
Johanneskirchner Str. 107	0,028	0,028	--	--	0,034
Freischützstr. 84/84a (Oberbau Wende wie bei Großhesseloher Brücke)	0,236	0,236	0,053	0,048	0,283

*) hier wird bedingt durch die Streuung der Einzelwerte um den **KB_{FTm}** von Faktor etwa 1,2 ausgegangen

***) da kein **KB_{Fmax}**-Wert die Wahrnehmbarkeitsschwelle 0,1 überschreitet, ist die Beurteilungsschwingstärke **KB_{FTr}** nicht zu ermitteln

Es zeigt sich, dass Beurteilungsschwingstärken mit Werten bis **KB_{Fmax} < 0,3** und **KB_{FTr} ≤ 0,05** zu erwarten sind, die jedoch die Anhaltswerte gemäß DIN 4150-2 einhalten bzw. größtenteils deutlich unterschreiten. Im gemeinsamen Einwirkungsbereich der bestehenden Strecke auf der Cosimastraße und des geplanten Abzweigs in die Johanneskirchner Straße kann es dabei zwar zu einer Erhöhung um mehr als 25 % kommen, jedoch mit Schwingstärken noch deutlich unterhalb der Anhaltswerte. In weiteren Anwesen mit Räumen anderer Deckenresonanzfrequenzbereiche, niedrigeren Verstärkungen sowie größeren Abständen zur Gleisanlage sind tendenziell niedrigere Werte zu erwarten.

8.2.3 Beurteilungs- und Maximalpegel sekundärer Luftschall

Die Belastung durch sekundären Luftschall wird aus den vorliegenden, prognostizierten Erschütterungsimmissionen als „Leq“-Vorbeifahrtpegel (Körperschallschnellepegelspektren der Ereignisse in Fußbodenmitte schutzbedürftiger Räume) abgeschätzt.

Theoretisch lässt sich nachfolgender Zusammenhang zwischen der Schwingschnelle auf den Raummfassungsbauteilen, den jeweiligen Abstrahl- und Absorptionsverhältnissen im Raum und den daraus resultierenden Schalldruckpegeln im Raum angeben.

$$L_{pA}(f_T) = L_{vA}(f_T) + 10 \log 4 S/A(f_T) + 10 \log \sigma(f_T) \quad \text{in dB(A)}$$

wobei

$L_{pA}(f_T)$	=	Terzpegel des A-bewerteten Schalldrucks im Raum
$L_{vA}(f_T)$	=	Terzpegel der A-bewerteten Schwingschnelle der Raumbegrenzungsflächen, bezogen auf $5 \cdot 10^{-8}$ m/s
S	=	Größe der schwingerregten Fläche in m^2
A(f_T)	=	äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m^2
$\sigma(f_T)$	=	Abstrahlgrad
f_T	=	Terzmittenfrequenz

In der Praxis ist die Anwendung obiger Beziehung mit einigen Schwierigkeiten verbunden, da die Körperschallschnelle nicht nur in Fußbodenmitte, sondern auf allen Raum-Umfassungsbauteilen (also auch Wände und Decke) und mit Flächenverteilung bzw. flächendeckend gemessen werden oder entsprechend bekannt sein müsste. Weiterhin ist die Kenntnis des Abstrahlgrades der Bauteile erforderlich bzw. deren Abschätzung/Vorermittlung mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Im vorliegenden Fall erfolgt die Berechnung daher anhand der Richtlinie 820.2050 „Körperschall und Erschütterungsschutz“ der DB AG [3] auf Basis einer Regressionsanalyse der Zusammenhänge zwischen Körperschallschnelle in Fußbodenmitte und sekundärem Luftschall. Es gibt Gesamtpegel-Korrelationsbeziehungen (Einzahlmethode) und die spektrale Korrelationsmethode.

Bei der Einzahl-Methode ist der bis 100 Hz ermittelte Schwinggeschwindigkeitspegel in Fußbodenmitte je Zuggattung zunächst terzweise mit der A-Bewertung zu versehen und aus die-

sen Terzpegeln energetisch die Summe zu bilden. Au dem erhaltenen Gesamt-Schwinggeschwindigkeitspegel ist dann der Vorbeifahrt-Pegel (Mittelungspegel über die Vorbeifahrt-Zeit aus Zuglänge und Geschwindigkeit) nach folgenden Gleichungen zu bilden:

Für Betondecken:

$$L_{\text{sek,Zug,A}} = 15,75 + 0,60 \cdot L_{V,\text{Zug,A}} \text{ [dB(A)]}$$

Für Holzbalkendecken:

$$L_{\text{sek,Zug,A}} = 19,88 + 0,47 \cdot L_{V,\text{Zug,A}} \text{ [dB(A)]}$$

Die spektralen Korrelationsfunktionen gehen vom Schwinggeschwindigkeitspegel je Terz aus, für verschiedene Deckenkonstruktionen bei wohnüblicher Bauweise und Möblierung im hörbaren Frequenzbereich zwischen 25 Hz und 80 Hz, mit anschließender A-Bewertung wie folgt:

Für Betondecken:

$$L_{\text{sek, 25 Hz}} = 32,36 + 0,418 \cdot L_{V, 25 \text{ Hz}} \text{ [dB(lin)]}$$

$$L_{\text{sek, 31 Hz}} = 27,98 + 0,501 \cdot L_{V, 31 \text{ Hz}} \text{ [dB(lin)]}$$

$$L_{\text{sek, 40 Hz}} = 28,84 + 0,506 \cdot L_{V, 40 \text{ Hz}} \text{ [dB(lin)]}$$

$$L_{\text{sek, 50 Hz}} = 25,33 + 0,557 \cdot L_{V, 50 \text{ Hz}} \text{ [dB(lin)]}$$

$$L_{\text{sek, 63 Hz}} = 22,62 + 0,595 \cdot L_{V, 63 \text{ Hz}} \text{ [dB(lin)]}$$

$$L_{\text{sek, 80 Hz}} = 23,66 + 0,597 \cdot L_{V, 80 \text{ Hz}} \text{ [dB(lin)]}$$

Für Holzbalkendecken:

$$L_{\text{sek, 25 Hz}} = 32,57 + 0,446 \cdot L_{V, 25 \text{ Hz}} \text{ [dB(lin)]}$$

$$L_{\text{sek, 31 Hz}} = 29,33 + 0,528 \cdot L_{V, 31 \text{ Hz}} \text{ [dB(lin)]}$$

$$L_{\text{sek, 40 Hz}} = 25,23 + 0,615 \cdot L_{V, 40 \text{ Hz}} \text{ [dB(lin)]}$$

$$L_{\text{sek, 50 Hz}} = 20,01 + 0,660 \cdot L_{V, 50 \text{ Hz}} \text{ [dB(lin)]}$$

$$L_{\text{sek, 63 Hz}} = 22,58 + 0,543 \cdot L_{V, 63 \text{ Hz}} \text{ [dB(lin)]}$$

$$L_{\text{sek, 80 Hz}} = 26,80 + 0,463 \cdot L_{V, 80 \text{ Hz}} \text{ [dB(lin)]}$$

Hierbei ist $L_{V,f}$ der entsprechende Körperschallschnellepegel im Raum gemäß DIN 4150-2 etwa Fußbodenmitte und $L_{\text{sek},f}$ der je Frequenzband f zu erwartende Schalldruckpegel. Anschließend sind diese spektralen Werte nach A-Frequenzbewertung energetisch zu summieren. Dieser Pegel kann somit als A-bewerteter "mittlerer Vorbeifahrtpegel" der jeweiligen Zuggruppe $L_{\text{sek,Zug,A}}$ verstanden werden. Über die o.g. korrelativen Beziehungen wird somit der

sekundäre Luftschallpegel L_A einzelner Zugvorbeifahrten oder Zuggruppen bestimmt. Über die Anzahl der im Beurteilungszeitraum auftretenden Ereignisse, der Beurteilungszeit und der jeweiligen mittleren Einwirkzeit je Zuggruppe kann hieraus ein Mittelungspegel über die zu beurteilenden Zeiträume (Beurteilungspegel tagsüber / nachts) berechnet werden.

Die Berechnungen zur Abschätzung der Immissionen aus sekundärem Luftschall werden im vorliegenden Fall aus den prognostizierten Körperschall-Immissionspegeln je Terz nach dem spektralen Verfahren ermittelt. Die Ausgangsdaten bzw. -parameter sind tlw. aus den Berechnungsblättern im Anhang ersichtlich, als Emissionspegel werden die energetisch über die Vorbeifahrt gemittelten Körperschallschnelle-Pegel herangezogen. Im Plangebiet ist folgende Situation bei den angesetzten Straßenbahnemissionen und tlw. kritischen Übertragungsfunktionen zu erwarten:

Tabelle 13: Prognose- Abschätzung sekundärer Luftschall für die untersuchten Gebäude

Immissionsort	Beurteilungspegel $L_{r,sek}$ dB(A)		Vorbeifahrtpegel $L_{sek,A,max}$ dB(A)	
	tags	nachts	tags	nachts
Cosimastraße 204 Nullfall 2035	13	10	26	26
Cosimastraße 204 Planfall 2035	18	17	32	32
Johanneskirchner Str. 62	16	16	33	33
Johanneskirchner Str. 72	22	21*)	38	38*)
Johanneskirchner Str. 83	18	18	35	35
Johanneskirchner Str. 88	18	18	35	35
Johanneskirchner Str. 90	14	13	28	28
Johanneskirchner Str. 107	15	14	31	31
Freischützstr. 84/84a (Oberbau Wende wie bei Großhesseloher Brücke)	21	20	39	39

*) hier ist keine Nutzung mit Schutzbedürftigkeit der Nachtruhe gegeben

Es zeigt sich, dass Einwirkungen des sekundären Luftschalls im Bereich von Km 0,0 bis Km 0,8 (Streckenführung i.W. etwa Mitte des Straßenkörpers) mit Maximalwerten bzw. Vorbeifahrt-Pegeln bis zu 35 dB(A) nachts, an den zur Wendeschleife am nächsten gelegenen Gebäuden bis 39 dB(A) zu erwarten sind. Die Beurteilungspegel erreichen hingegen Werte bis zu maximal 22 dB(A) tagsüber und 20 dB(A) nachts.

9. Beurteilung der zu erwartenden Immissionen innerhalb von Gebäuden

9.1 Erschütterung

Mit den in Kap. 8.2 dargestellten, ermittelten Beurteilungsschwingstärken aus der geplanten Neubaustrecke TJO-1509 ergibt sich folgende Beurteilung:

Tabelle 14: Bewertung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen anhand DIN 4150-2

Gebäudebereich, (Bauweise)	Nutzung	Anhaltswerte DIN 4150-2 $A_u/A_o/A_r$		Schwingstärken 2035			Anhaltswerte eingehalten j/n
		Tag	Nacht	KB_{Fmax} Tag/Nacht	KB_{FTr} Tag	KB_{FTr} Nacht	
Cosimastraße 204 Nullfall '35	WA	0,225/3/0,105 ^{*)}	0,15/0,6/0,075 ^{*)}	0,031	--	--	ja
Cosimastraße 204 Planfall '35	WA	0,225/3/0,105 ^{*)}	0,15/0,6/0,075 ^{*)}	0,040	--	--	ja
Johanneskirchner Str. 62	WA	0,225/3/0,105 ^{*)}	0,15/0,6/0,075 ^{*)}	0,041	--	--	ja
Johanneskirchner Str. 72	WA	0,225/3/0,105 ^{*)}	0,15/0,6/0,075 ^{*)}	0,134	0,035	0,032	ja
Johanneskirchner Str. 83	WA	0,225/3/0,105 ^{*)}	0,15/0,6/0,075 ^{*)}	0,106	--	--	ja
Johanneskirchner Str. 88	WA	0,225/3/0,105 ^{*)}	0,15/0,6/0,075 ^{*)}	0,060	--	--	ja
Johanneskirchner Str. 90	WA	0,225/3/0,105 ^{*)}	0,15/0,6/0,075 ^{*)}	0,034	--	--	ja
Johanneskirchner Str. 107	WA	0,225/3/0,105 ^{*)}	0,15/0,6/0,075 ^{*)}	0,034	--	--	ja
Freischützstr. 84/84a (Oberbau Wende wie bei Großhesseloher Brücke)	WA	0,225/3/0,105 ^{*)}	0,15/0,6/0,075 ^{*)}	0,283	0,053	0,048	ja

*) die Werte sind hier bereits für den öffentlichen Personennahverkehr um den Faktor 1,5 angehoben

Es zeigt sich, dass die Anhaltswerte für Beurteilungs- und Maximalwerte der Schwingstärke im Hinblick auf Vermeidung erheblicher Belästigungen von Menschen in Wohnungen und Arbeitsräumen bei den bestehenden/untersuchten Gebäuden eingehalten werden. Ein Vergleich mit dem Prognose-Nullfall (ohne geplante Nutzungsänderung) ist daher nicht erforderlich, entsprechende Schutzmaßnahmen zur Verminderung der Einwirkungen aus Erschütterungen erscheinen ebenfalls nicht erforderlich.

Die Anforderungen der DIN 4150, Teil 3 [12], bzgl. Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden werden dabei bei weitem eingehalten, Gebäudeschäden infolge des Bahnverkehrs können für die Gebäude an der Neubaustrecke TJO-1509 ausgeschlossen werden.

9.2 sekundärer Luftschall

Mit den in Kap. 8.2 dargestellten, ermittelten Pegeln des sekundären Luftschalls bei Erschütterungseinwirkungen aus der geplanten Neubaustrecke TJO-1509 ergibt sich folgende Beurteilung:

Tabelle 15: Bewertung sekundärer Luftschall (mittlere maximale Vorbeifahrt- und Beurteilungspegel) in Anlehnung an TA Lärm, ohne Erschütterungsschutzmaßnahmen

Gebäudebereich, Nutzung (Bauweise)	Nutzung	Anforderung TA Lärm Nr. 6.2 *)				Sekundäre Luftschall-Pegel 2035, [dB(A)]			Anforderungen eingehalten j/n alle oder (1),(2),(3),(4)
		L _i		L _{i,max}		L _i Tag	L _i Nacht	L _{i,max} Tag/Nacht	
		Tag (1)	Nacht (2)	Tag (3)	Nacht (4)				
Cosimastraße 204, Nullfall '35	WA	35	25	45	35	13	10	26	ja
Cosimastraße 204, Planfall '35	WA	35	25	45	35	18	17	32	ja
Johanneskirchner Str. 62	WA	35	25	45	35	16	16	33	ja
Johanneskirchner Str. 72	WA	35	25	45	35	22	21	38**)	ja
Johanneskirchner Str. 83	WA	35	25	45	35	18	18	35	ja
Johanneskirchner Str. 88	WA	35	25	45	35	18	18	35	ja
Johanneskirchner Str. 90	WA	35	25	45	35	14	13	28	ja
Johanneskirchner Str. 107	WA	35	25	45	35	15	14	31	ja
Freischützstr. 84/84a (Oberbau Wende wie bei Großhesseloher Brücke)	WA	35	25	45	35	21	20	39	j/j/j/n

*) Anm.: die TA Lärm unterscheidet bei Innenpegeln aus Körperschallübertragung nicht nach Gebietsnutzung

***) hier ist keine Nutzung mit Schutzbedürftigkeit der Nachtruhe gegeben

Es zeigt sich, dass die zu erwartenden Beurteilungspegel des durch Straßenbahn-Vorbeifahrten über Körperschalleinwirkungen induzierten sekundären Luftschalls im Bereich von Km 0,0 bis Km 0,8 (Streckenführung i.W. etwa Mitte des Straßenkörpers) sowohl den Anforderungen der 24.BImSchV als auch der TA Lärm genügen, einzelne Vorbeifahrtpegel erreichen dabei z.T. nachts den in Anlehnung an die TA Lärm abgeleiteten maximal zulässigen Innenpegel. Im Bereich der Wendeschleife, an den Gebäuden Freischützstraße 84 und 84a ist jedoch nachts eine Überschreitung des Spitzenpegelkriterium nach Nr. 6.2 der TA Lärm [16] um bis zu 4 dB(A) zu erwarten. Im Bereich südlich der Wendeschleife, von etwa Km 0,8 bis Km 0,8+50 sind daher entsprechende Schutzmaßnahmen zur Verminderung der Einwirkungen aus Erschütterungen erforderlich (vgl. Abb. A5 im Anhang).

10. Maßnahmen zu Verbesserung der erschütterungstechnischen Situation

Im Rahmen der Ermittlung von Ausgangsdaten der vorliegenden Untersuchung wurden im Straßenbahn-Netz der SWM am Messort MO3, Wendeschleife Bunzlauer Platz (vgl. Kap. 6.2 und 7.1) Emissionspegel messtechnisch ermittelt. Der Vergleich zwischen den Emissionspegeln an den Wendeschleifen am Haltepunkt Großhesseloher Brücke und am Bunzlauer Platz zeigt, dass am Oberbau der Wendeschleife Bunzlauer Platz eine Erschütterungsschutzmaßnahme vorliegt.

Ausgehend von den Emissionspegeln gemäß MO3 für die geplante Wendeschleife westlich des S-Bahnhofes Johanneskirchen sind am Gebäude Freischützstr. 84/84a folgende Beurteilungsschwingstärken und sekundäre Luftschallpegel zu erwarten:

Tabelle 16: Prognose-Abschätzung Schwingstärken mit Erschütterungsschutzmaßnahme

Immissionsort	Beurteilungsschwingstärken					
	Adresse	KB _{FTm,Tag}	KB _{FTm,Nacht}	KB _{FTr,Tag}	KB _{FTr,Nacht}	KB _{Fmax} ^{*)}
Freischützstr. 84/84a (Oberbau Wende wie am Bunzlauer Platz)		0,088	0,088	--	--	0,105

Tabelle 17: Prognose- Abschätzung sekundärer Luftschall mit Erschütterungsschutzmaßnahme

Immissionsort	Beurteilungspegel L _{r,sek} dB(A)		Vorbeifahrtpegel L _{sek,A,max} dB(A)	
	tags	nachts	tags	nachts
Freischützstr. 84/84a (Oberbau Wende wie am Bunzlauer Platz)	15	14	33	33

Es zeigt sich, dass mit einer entsprechenden Oberbauform im südlichen Bereich der geplanten Wendeschleife bzw. entsprechenden Erschütterungsemissionen auch an den Gebäuden Freischützstr. 84/84a die Anforderung des Spitzenpegelkriterium nach Nr. 6.2 der TA Lärm [16] nachts eingehalten werden kann.

11. Zusammenfassung

Die Stadtwerke München GmbH (SWM) planen im Bereich der Johanneskirchner Straße den Neubau einer Straßenbahnstrecke. Dabei sollen die bestehenden Linien 16 und 37 auf der Cosimastraße künftig tlw. zum S-Bahnhof Johanneskirchen über die Johanneskirchner Straße mit Wendeschleife geführt werden.

Den erschütterungstechnischen Belangen im Zuge des Planungs-/Genehmigungsverfahrens soll dabei durch die Ermittlung und Bewertung der Erschütterungseinwirkungen sowie des sekundären Luftschalls aus der künftigen Situation Rechnung getragen und der Nachweis eines ausreichenden Erschütterungsschutzes geführt werden. Die Beurteilung erfolgt anhand der Anhaltswerte der DIN 4150-2 [11] sowie weiterer Richtlinien, ggf. in Verbindung mit den Kriterien der „wesentlichen Änderung“.

Hierzu sind exemplarisch an maßgeblichen, im erschütterungstechnischen Einwirkungsreich der geplanten Trasse gelegenen Anwesen Messungen der Schwingungsübertragungsfunktionen am Gebäude sowie (Emissions-)Messungen weiterer Ausgangsdaten durchzuführen. Basierend auf den zugrundeliegenden Verkehrsmengen sind damit die Beurteilungsschwingstärken sowie Pegel des sekundären Luftschalls für den Planfall 2035 zu ermitteln.

Es zeigt sich, dass

- bei den Erschütterungseinwirkungen auf die bestehenden Gebäude im Planfall mit einer Einhaltung bzw. tlw. deutlichen Unterschreitung der gebietsspezifischen Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 zu rechnen ist.
- im Hinblick auf die Einwirkungen aus sekundärem Luftschall ebenfalls eine Einhaltung der in Anlehnung an Nr. 6.2 TA Lärm [16] herangezogenen Richtwerte an den Gebäuden im Bereich von Km 0,0 bis Km 0,8 (Streckenführung i.W. etwa Mitte des Straßenkörpers) zu erwarten ist. Dementsprechend werden auch die Richtwerte der 24. BImSchV deutlich unterschritten.
- jedoch im Bereich der Wendeschleife, an den Gebäuden Freischützstraße 84 und 84a, nachts Überschreitungen des Spitzenpegelkriterium nach Nr. 6.2 der TA Lärm [16] um bis zu 4 dB(A) zu erwarten sind.

Konstruktive Maßnahmen zur Verminderung der Erschütterungsimmissionen im südlichen Bereich der geplanten Wendeschleife sind daher erforderlich. Folgende Maßnahmen wären konkret denkbar:

1) (primäre) Erschütterungsschutzmaßnahme am Oberbau:

- Ausführung „*leichtes Masse/Federsystem*“ (LFMS, bzw. vergleichbar mit der Oberbauform am Bunzlauer Platz), von Km 0,8+02 bis Km 0,8+52, Länge ca. 50 m (vgl. Abb. A5 im Anhang).

Dieser Bericht ist nur für seinen vorgesehenen Zweck bestimmt und darf auch auszugsweise nur nach Genehmigung durch das Büro hils consult gmbh vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden.

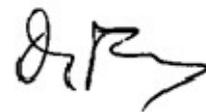
Diese erschütterungstechnische Untersuchung umfasst 54 Seiten, 31 Seiten Anhang sowie keine Anlagen.

Kaufering, den 28.09.2022

hils consult gmbh



Dr. rer. nat. Th. Hils
(GF/TL)



Dipl.-Ing. (FH) D. Fleischer
(TB)



Durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiertes Prüflaboratorium.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

ANHANG

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Lageskizzen:

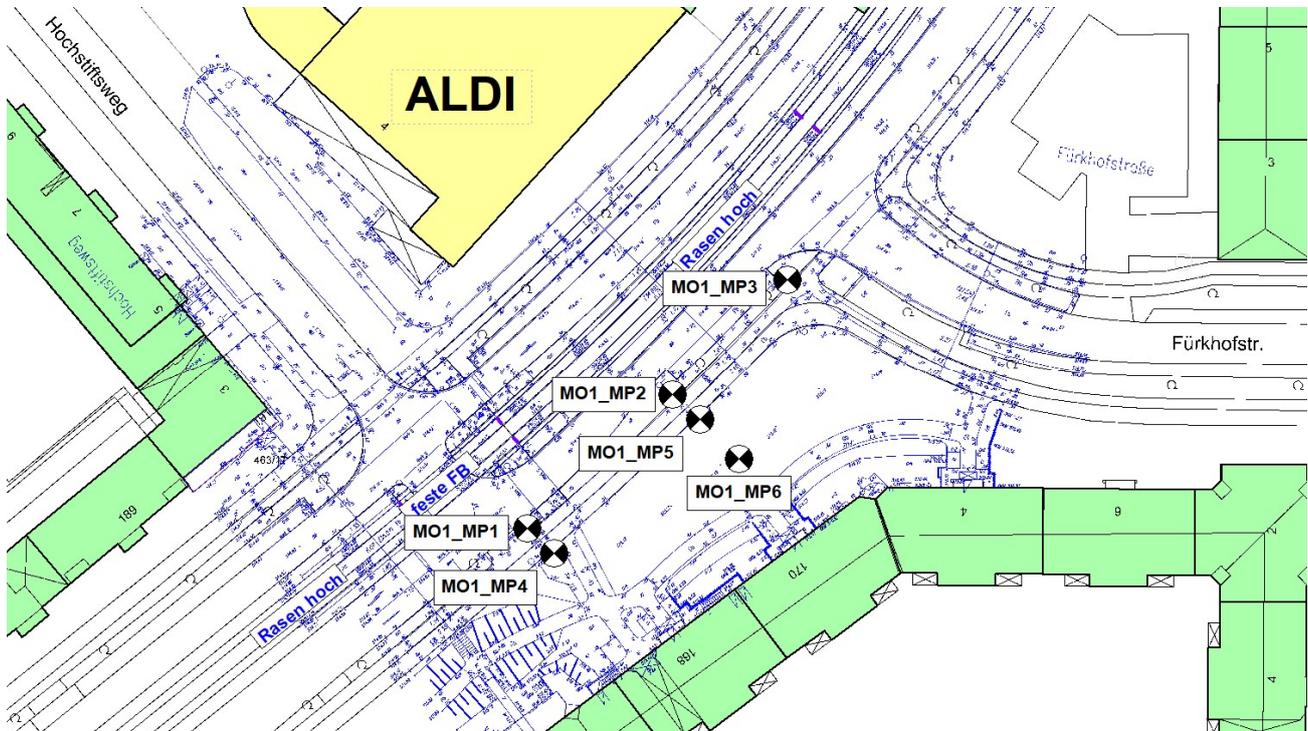


Abb. A1: Lageskizze MO1 mit Messpunkten und Umgebung

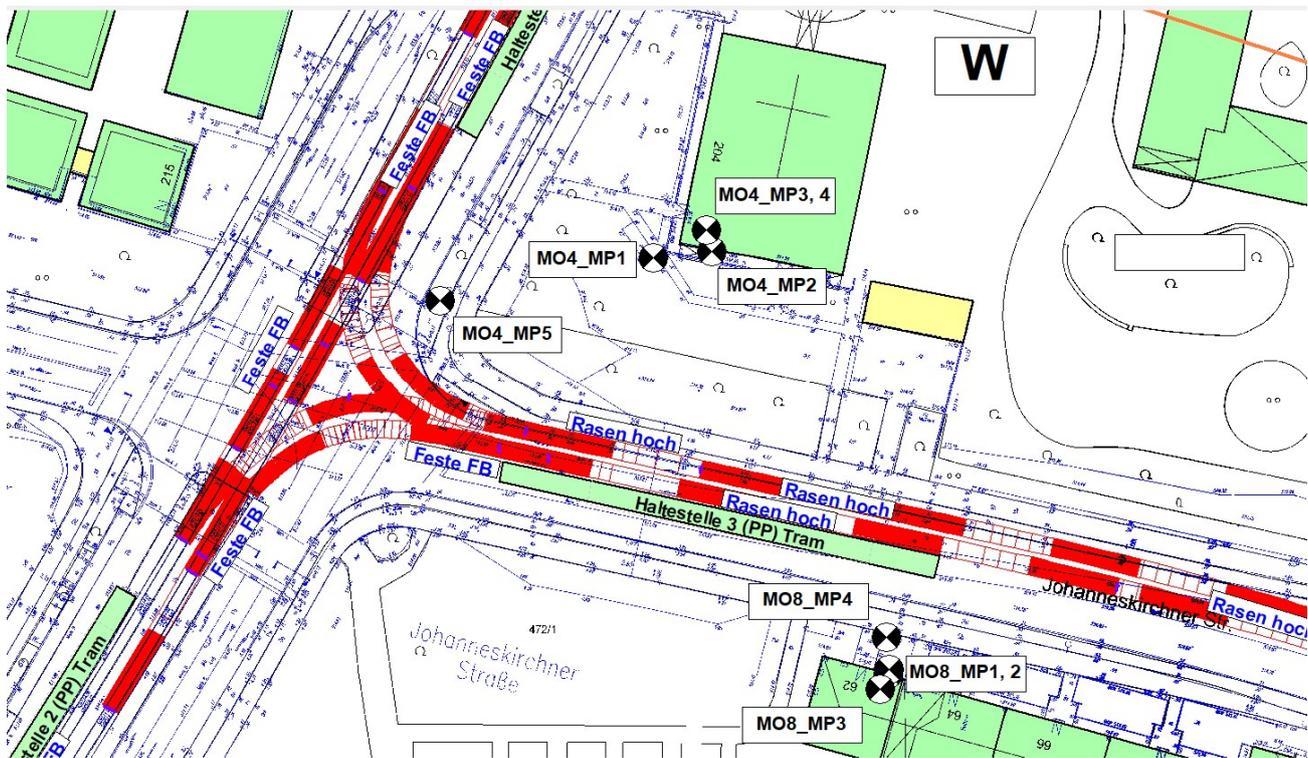


Abb. A2: Lageskizze MO4 und MO8 mit Messpunkten und Umgebung

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

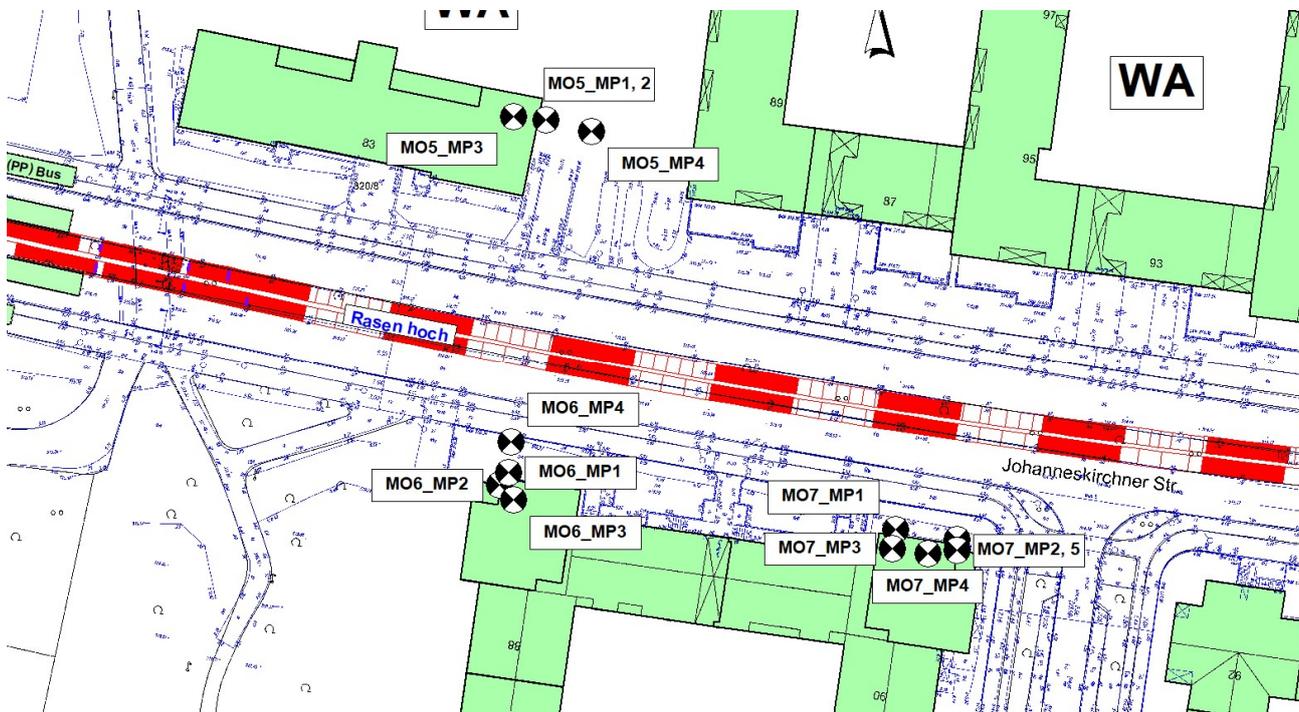


Abb. A3: Lageskizze MO5, 6 und 7 mit Messpunkten und Umgebung

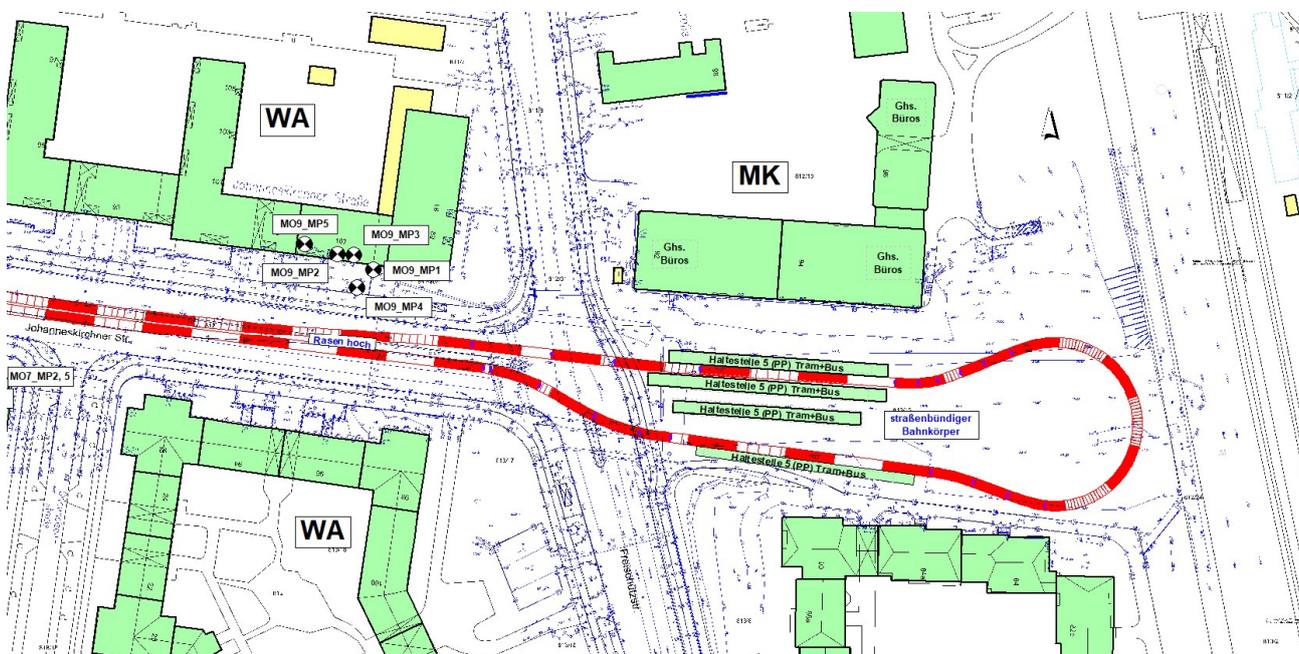


Abb. A4: Lageskizze MO9 mit Messpunkten und Umgebung

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

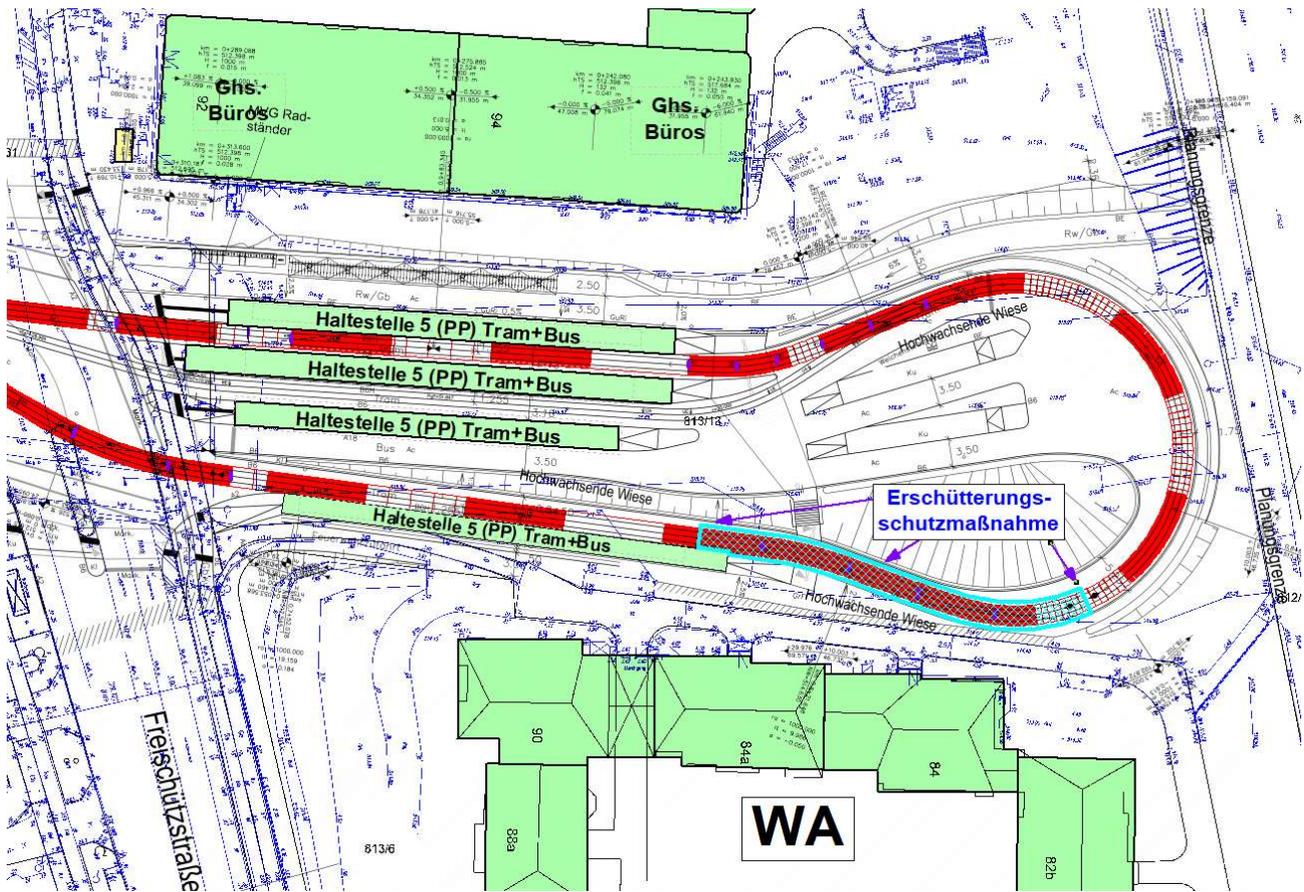


Abb. A5: Lageskizze mit Kennzeichnung Bereich der erforderlichen Erschütterungsschutzmaßnahme

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

exemplarische Pegel-/Zeitverläufe:

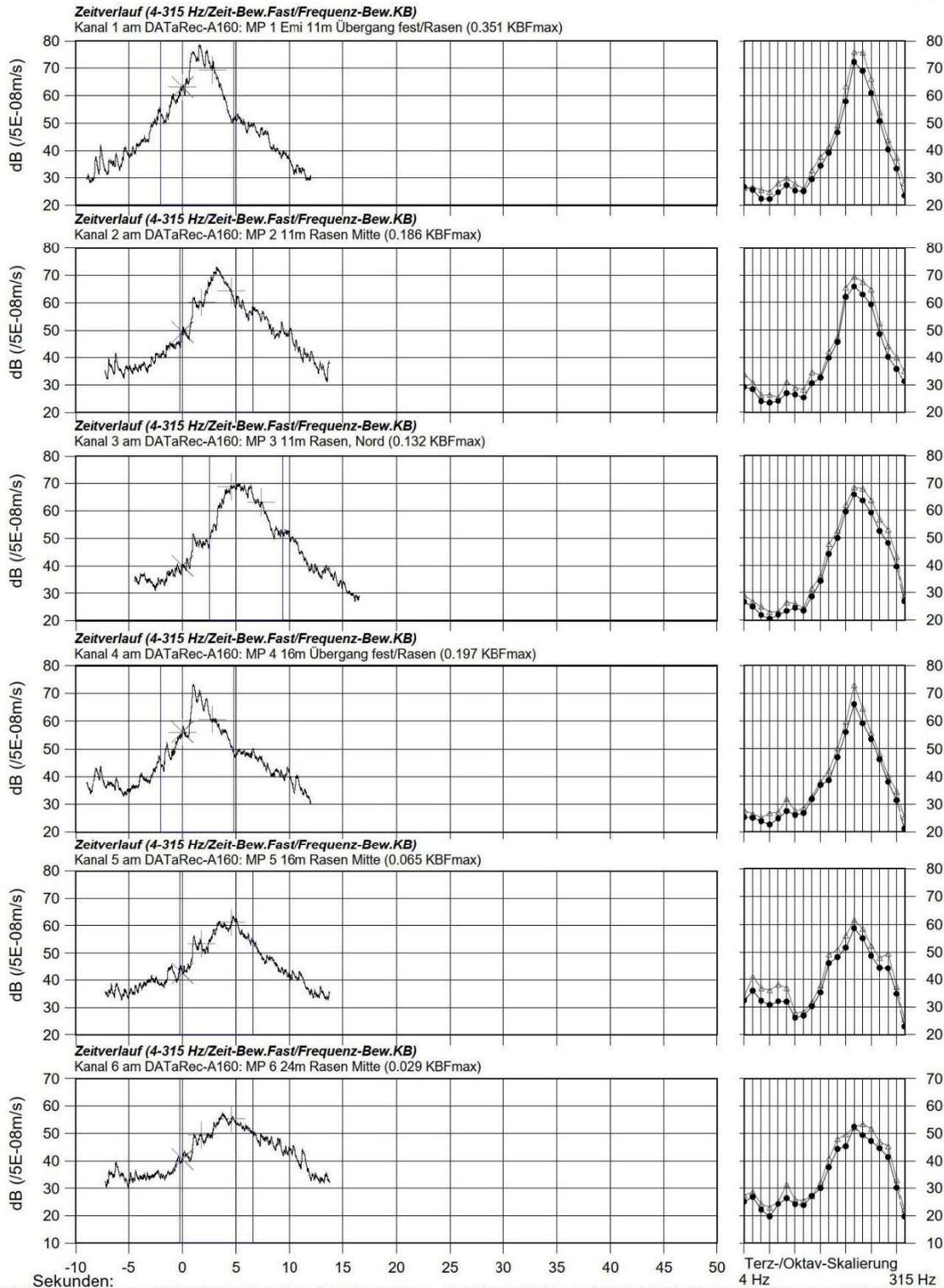
Messort: Muenchen, Cosimastr. Ecke Fuerkhofstr.

Datum: 20.07.22

Ereignis Nr.:	Uhrzeit:	Bezeichnung der Quelle:	Charakteristik:	Messzeit (geom. Dauer):	Kenn-Nr. (Gleis):	Zusatz-Info:
11	13:01:05	Br. 27	44 km/h	2.8 Sek.	1	Zug 2753;

Frequenzanalysen:

- △— max-hold-Spitzenpegel
- äquivalenter Dauerpegel



Seiten: 1 bis 6 von 6 / Blatt 1 von 1
Datei 'D:\Data\si++\famos_21123\20_furk7\furk-7.dap... bearbeitet mit 'Ver:150314_Famos6-Digilyse' am 27.07.22 um 11:25:24

Abb. A6: Pegel-Zeit-Verlauf und Spektren der Körperschallschnelle am Messort MO1, Zugvorbeifahrt Gleis 1

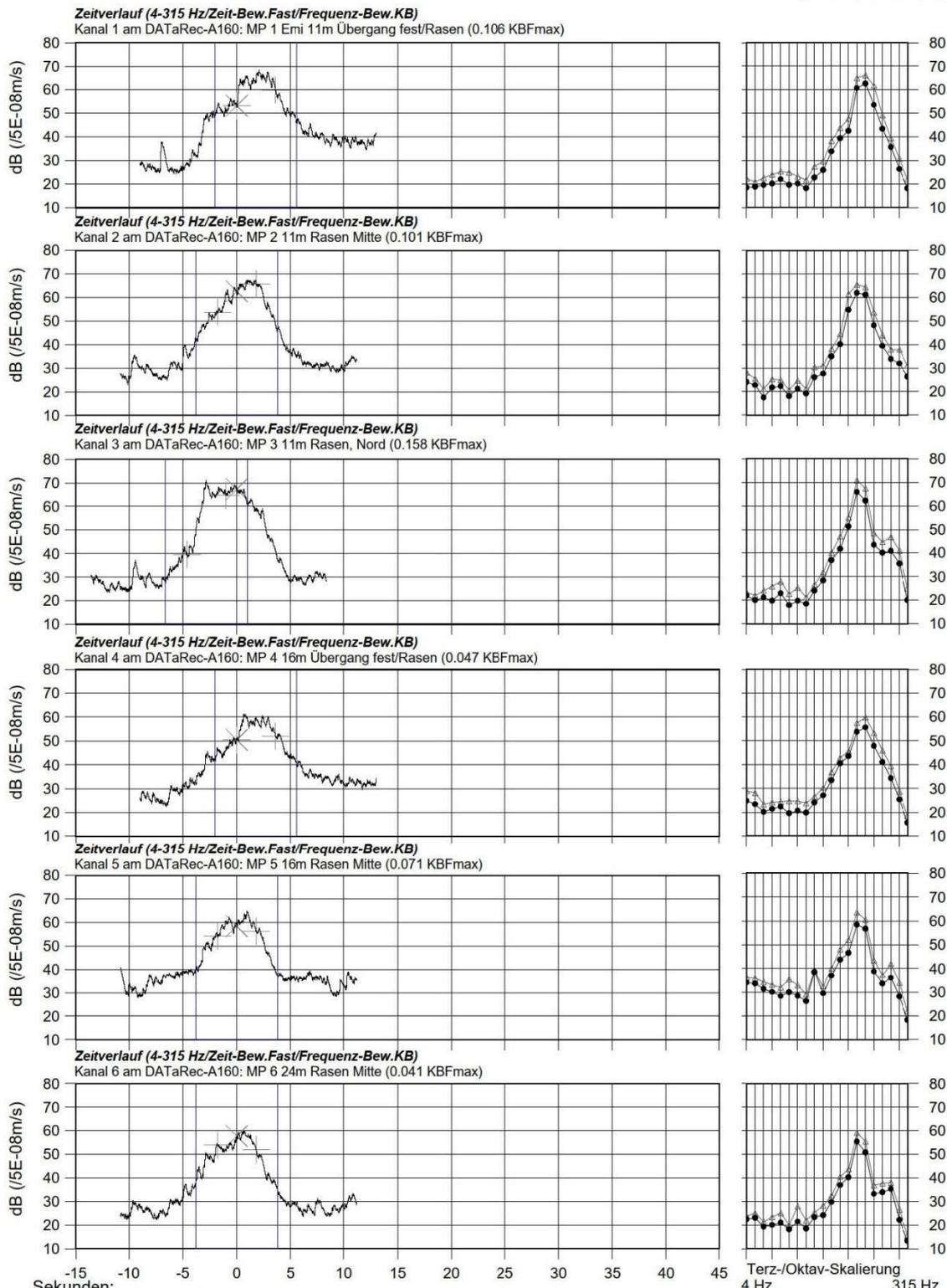
TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Messort: Muenchen, Cosimastr. Ecke Fuerkhofstr.

Datum: 20.07.22

Ereignis Nr.:	Uhrzeit:	Bezeichnung der Quelle:	Charakteristik:	Messzeit (geom. Dauer):	Kenn-Nr. (Gleis):	Zusatz-Info:
12	13:06:55	Br. 27	43 km/h	3.6 Sek.	2	Zug 2755;

Frequenzanalysen:
 —△— max-hold-Spitzenpegel
 —●— äquivalenter Dauerpegel



Sekunden:
Datei D:\Data\si++\famos_21123\20_furk7\furk7-7.dap..D:\Data\si++\famos_21123\20_furk7\ bearbeitet mit 'Ver:150314_Famos6-Digilyse' am 27.07.22 um 11:25:38
- Zeilen 1 bis 6 von 6 / Blatt 1 von 1

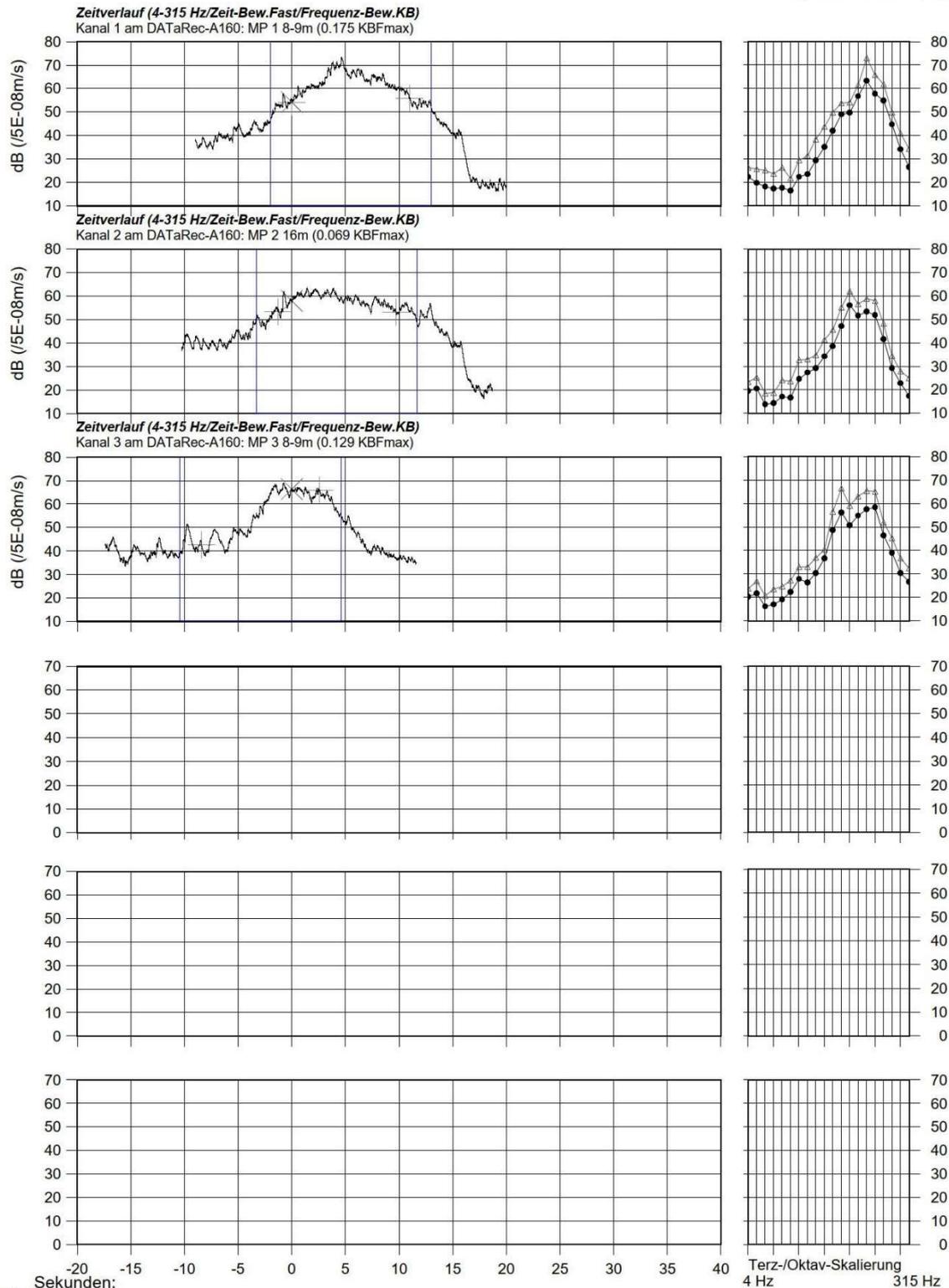
Abb. A7: Pegel-Zeit-Verlauf und Spektren der Körperschallschnelle am Messort MO1, Zugvorbeifahrt Gleis 2

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Messort: München, Wendeschleife HP Großhesseloher Brücke Datum: 16.07.22

Ereignis Nr.:	Uhrzeit:	Bezeichnung der Quelle:	Charakteristik	Messzeit (geom. Dauer):	Kenn-Nr. (Gleis):	Zusatz-Info:
3	13:17:44	Br. 27	11 km/h	11.0 Sek.	1	Zug 2752;

Frequenzanalysen:
 △ max-hold-Spitzenpegel
 ● equivalenter Dauerpegel



Datei: 'K:\Projekte\21123_sch_str_bla_ers_johanneskirchnerstr_swm\data\ers\Messung_Emissionen\220220716_gru\gru_ws.dap..K:\Projekte\21123_sch_str_bla_ers_johan

Abb. A8: Pegel-Zeit-Verlauf und Spektren der Körperschallschnelle am Messort MO2, Zugvorbeifahrt Gleis 1

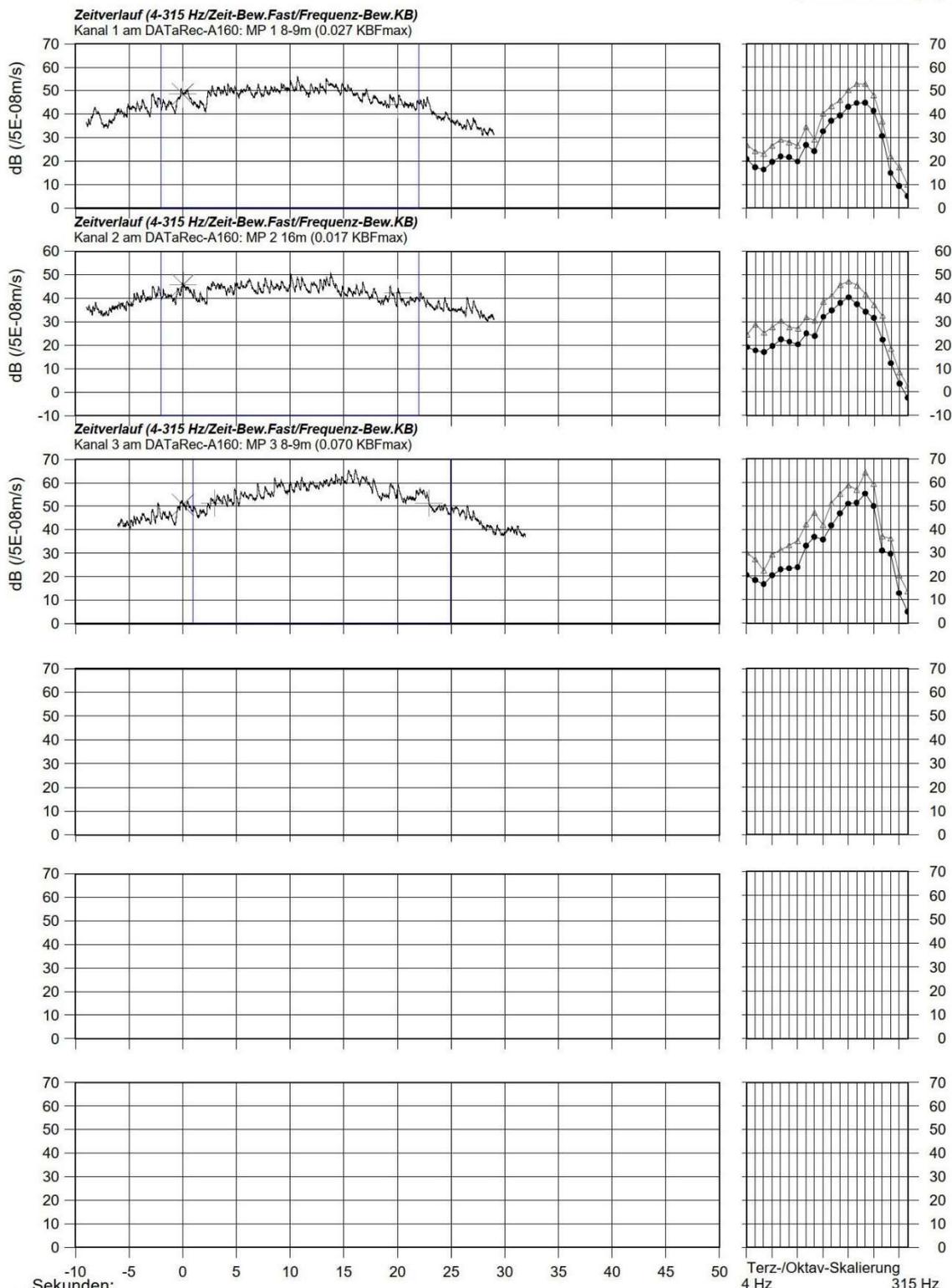
TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Messort: München, Wendeschleife Bunzlauer Platz

Datum: 16.07.22

Ereignis Nr.:	Uhrzeit:	Bezeichnung der Quelle:	Charakteristik:	Messzeit (geom. Dauer):	Kenn-Nr. (Gleis):	Zusatz-Info:
6	11:14:59	Br. 28	6 km/h	20.0 Sek.		Zug 2805;

Frequenzanalysen:
 —△— max-hold-Spitzenpegel
 —●— äquivalenter Dauerpegel



Datei
"K:\Projekte\21123_sch_str_bla_ers_johanneskirchnerstr_swm\datiers\Messung_Emissionen\220220716_mos\mos_ws.dap..K:\Projekte\21123_sch_str_bla_ers_joh

Abb. A9: Pegel-Zeit-Verlauf und Spektren der Körperschallschnelle am Messort MO3, Zugvorbeifahrt

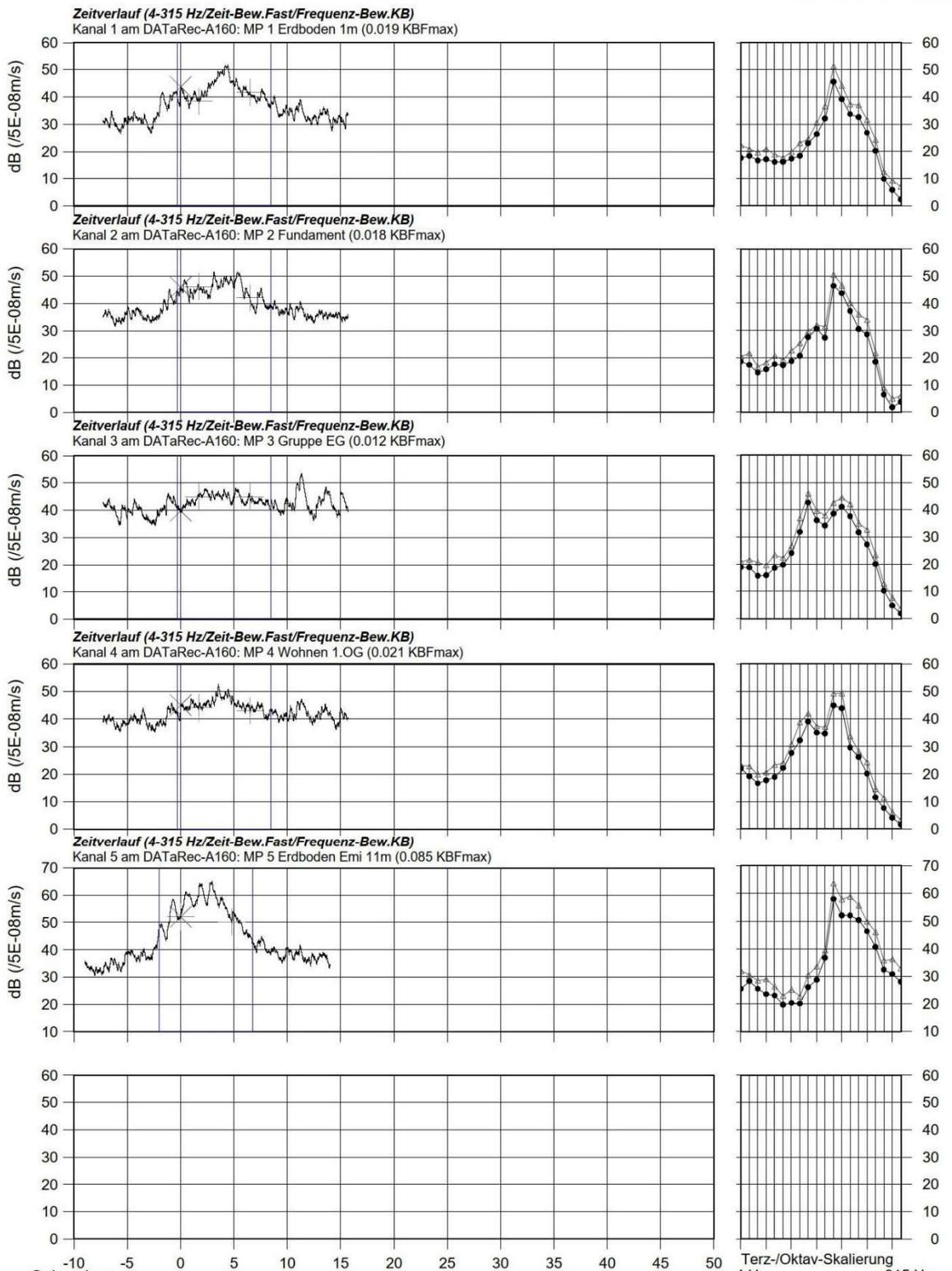
TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Messort: Muenchen, Cosimastr. 204

Datum: 21.07.22

Ereignis Nr.:	Uhrzeit:	Bezeichnung der Quelle:	Charakteristik:	Messzeit (geom. Dauer):	Kenn-Nr. (Gleis):	Zusatz-Info:
7	16:17:33	Br. 27	26 km/h	4.8 Sek.	1	Zug 2757;

Frequenzanalysen:
 △ max-hold-Spitzenpegel
 ● äquivalenter Dauerpegel



Seiten: 1
 Datei: D:\Data\si++\famos_21123\21cos204\cos204.dap...D:\Data\si++\famos_21123\21cos204\ bearbeitet mit 'Ver:150314_Famos6-Digilyse' am 27.07.22 um 10:34:55 - Zeilen 1 bis 6 von 5 / Blatt 1 von 1

Abb. A10: Pegel-Zeit-Verlauf und Spektren Körperschallschnelle am Messort MO4 bei Zugvorbeifahrt Gl.1

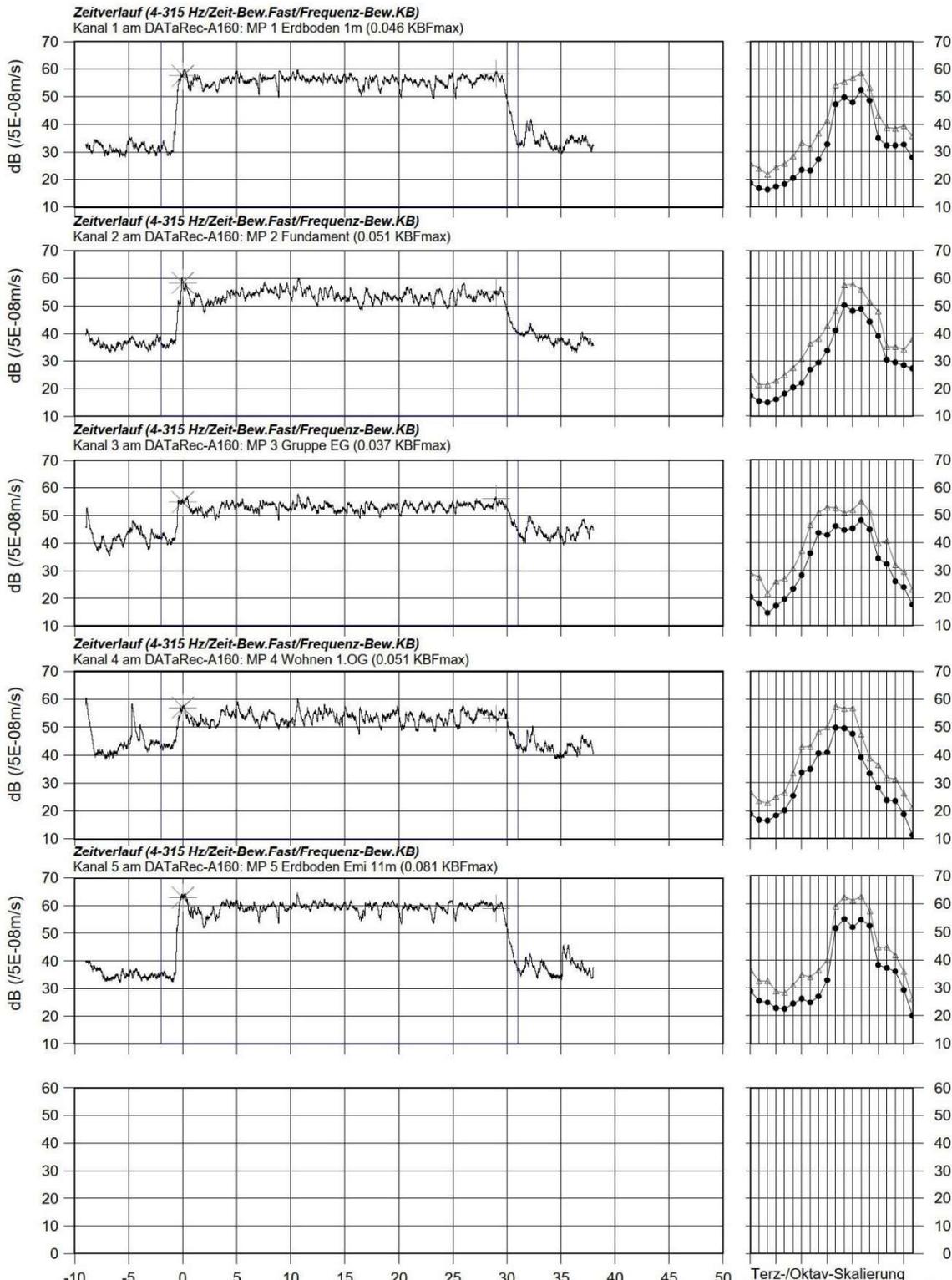
TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Messort: Muenchen, Cosimastr. 204

Datum: 21.07.22

Ereignis Nr.:	Uhrzeit:	Bezeichnung der Quelle:	Charakteristik:	Messzeit (geom. Dauer):	Kenn-Nr. (Stufe):	Zusatz-Info:
23	15:54:56	Rüttelplatte	Gehweg	29.0 Sek.		

Frequenzanalysen:
 △ max-hold-Spitzenpegel
 ● equivalenter Dauerpegel



Sekunden:
Datei 'D:\Data\si++\famos_21123\21cos204\cos204.dap..' ID: 'Data\si++\famos_21123\21cos204\1' bearbeitet mit 'Ver:150314_Famos6-Digilyse' am 27.07.22 um 10:33:05 - Zeilen 1 bis 6 von 5 / Blatt 1 von 1

Abb. A11: Pegel-Zeit-Verlauf und Spektren der Körperschallschnelle am Messort MO4 bei Ersatz-Anregung

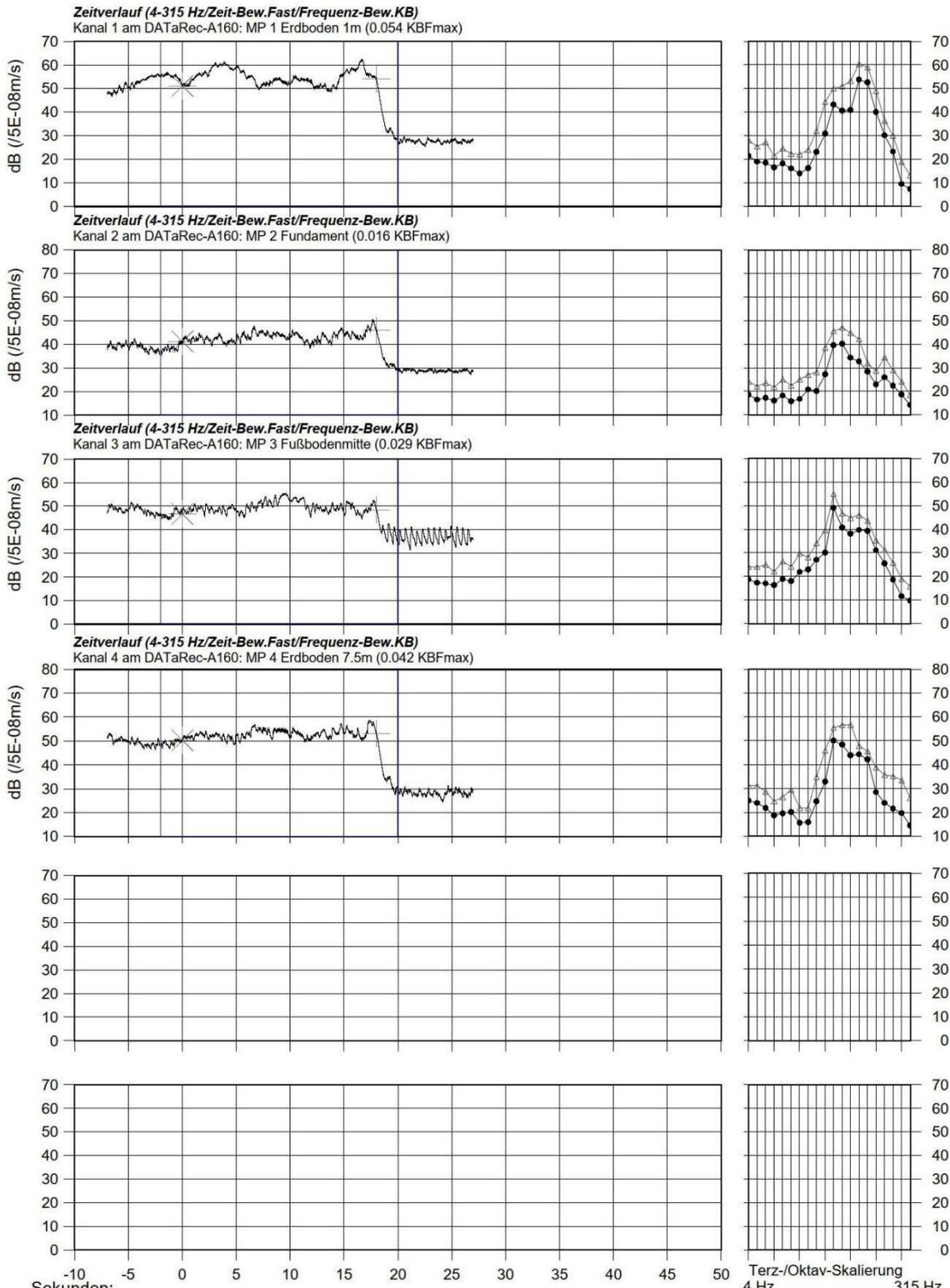
TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Messort: Muenchen, Johanneskirchnerstr. 83

Datum: 20.07.22

Ereignis Nr.:	Uhrzeit:	Bezeichnung der Quelle:	Charakteristik:	Messzeit (geom. Dauer):	Kenn-Nr. (Stufe):	Zusatz-Info:
1	09:46:10	Rüttelplatte	Gehweg	18.0 Sek.		

Frequenzanalysen:
 -△- max-hold-Spitzenpegel
 -●- equivalenter Dauerpegel



16:33:54 - Zeilen 1 bis 6 von 4 / Blatt 1 von 1

Abb. A12: Pegel-Zeit-Verlauf und Spektren der Körperschallschnelle am Messort MO5 bei Ersatz-Anregung

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Messort: Muenchen, Johanneskirchnerstr. 88

Datum: 20.07.22

Ereignis Nr.:	Uhrzeit:	Bezeichnung der Quelle:	Charakteristik:	Messzeit (geom. Dauer):	Kenn-Nr. (Stufe):	Zusatz-Info:
1	14:55:10	Rüttelplatte	Gehweg	65.0 Sek.		

Frequenzanalysen:
 -△- max-hold-Spitzenpegel
 -●- äquivalenter Dauerpegel

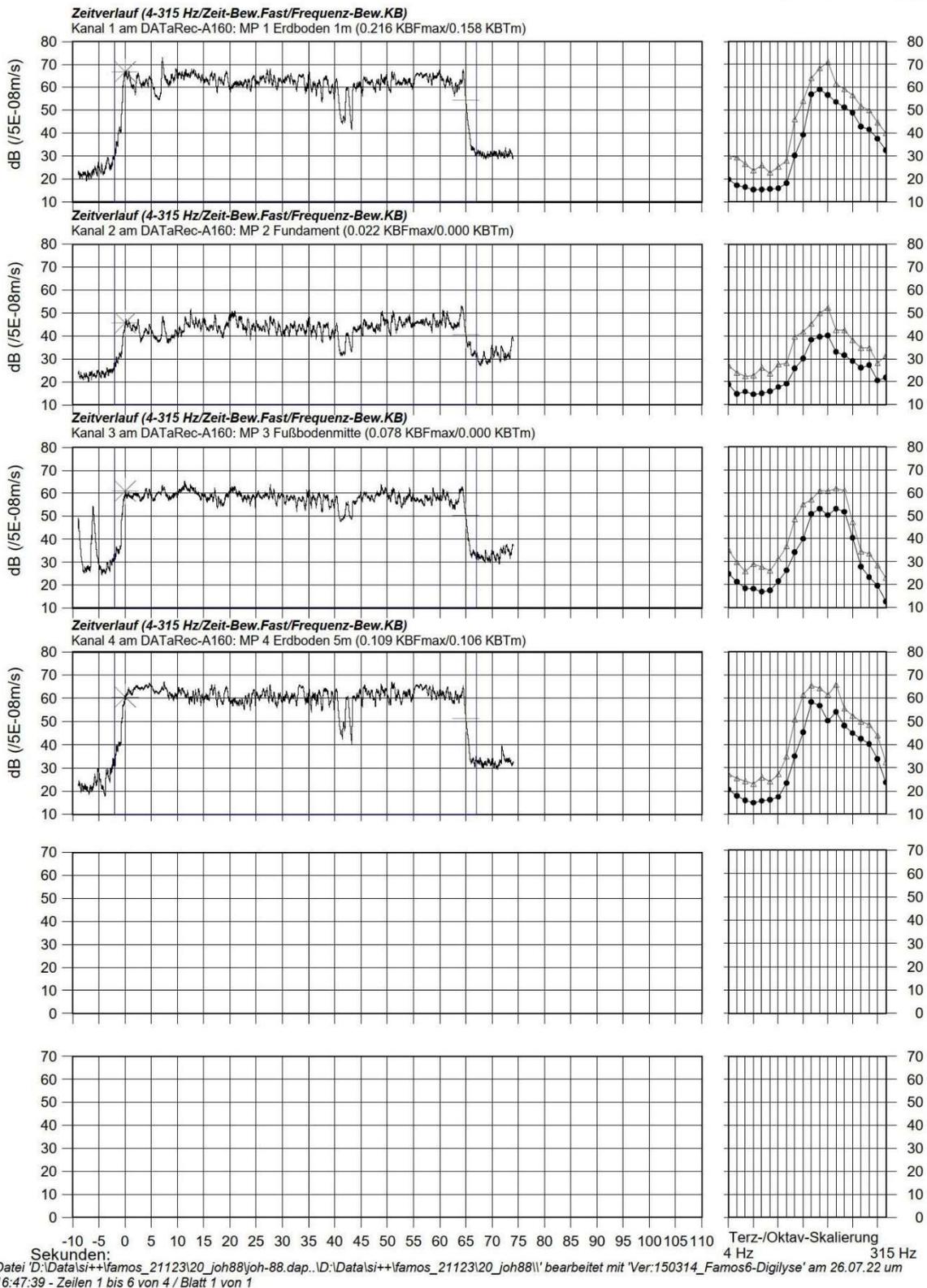


Abb. A13: Pegel-Zeit-Verlauf und Spektren der Körperschallschnelle am Messort MO6 bei Ersatz-Anregung

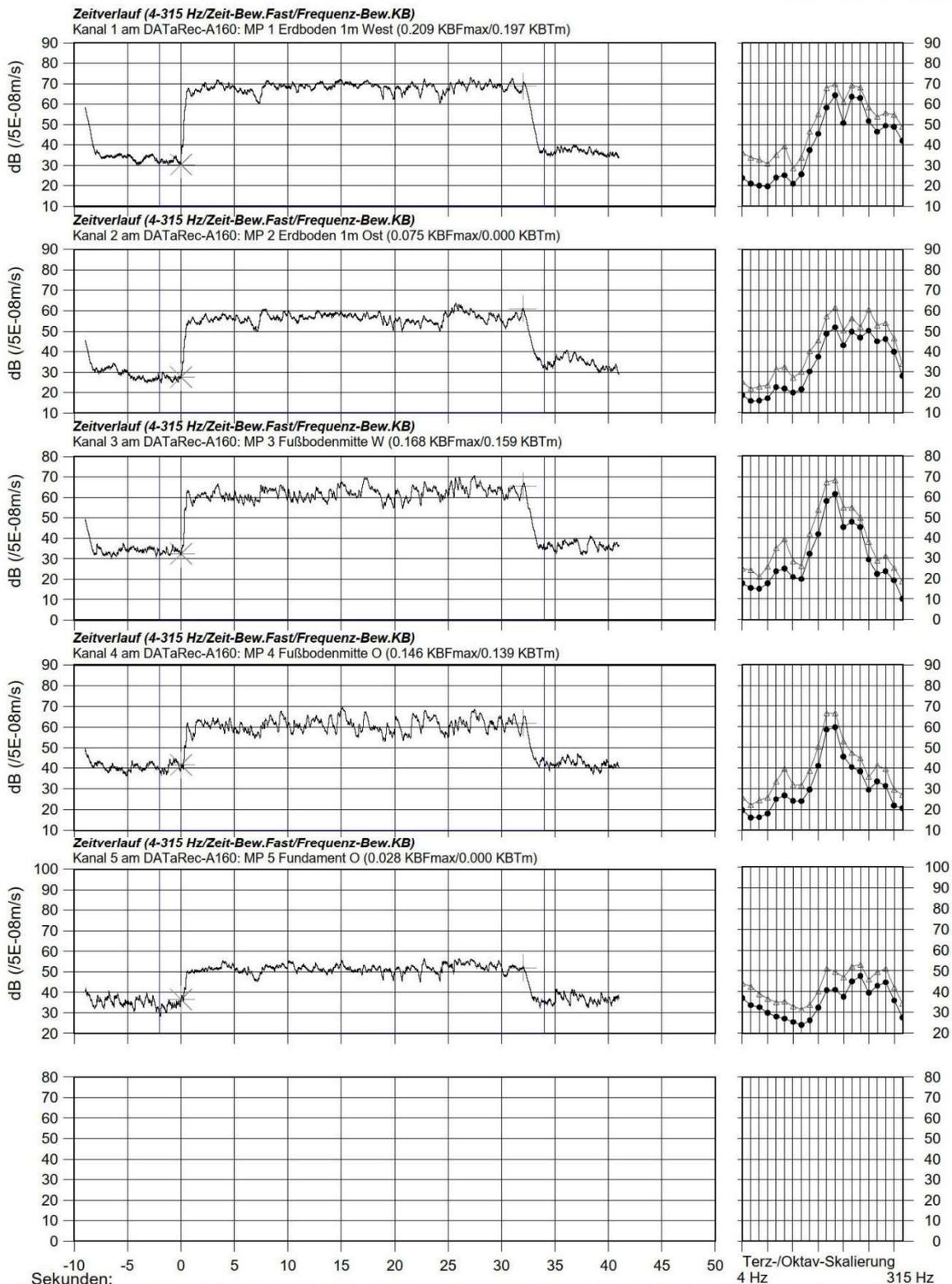
TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Messort: Muenchen, Johanneskirchnerstr. 90

Datum: 20.07.22

Ereignis Nr.:	Uhrzeit:	Bezeichnung der Quelle:	Charakteristik:	Messzeit (geom. Dauer):	Kenn-Nr. (Stufe):	Zusatz-Info:
3	17:34:09	Rüttelplatte	Gehweg	32.0 Sek.		

Frequenzanalysen:
 △ max-hold-Spitzenpegel
 ● equivalenter Dauerpegel



Skunden:
 Datei 'D:\Data\si+++famos_21123\20_joh90\joh-90.dap.' ID:\Data\si+++famos_21123\20_joh90\ bearbeitet mit 'Ver:150314_Famos6-Digilyse' am 26.07.22 um 16:50:43 - Zeilen 1 bis 6 von 5 / Blatt 1 von 1

Abb. A14: Pegel-Zeit-Verlauf und Spektren der Körperschallschnelle am Messort MO7 bei Ersatz-Anregung

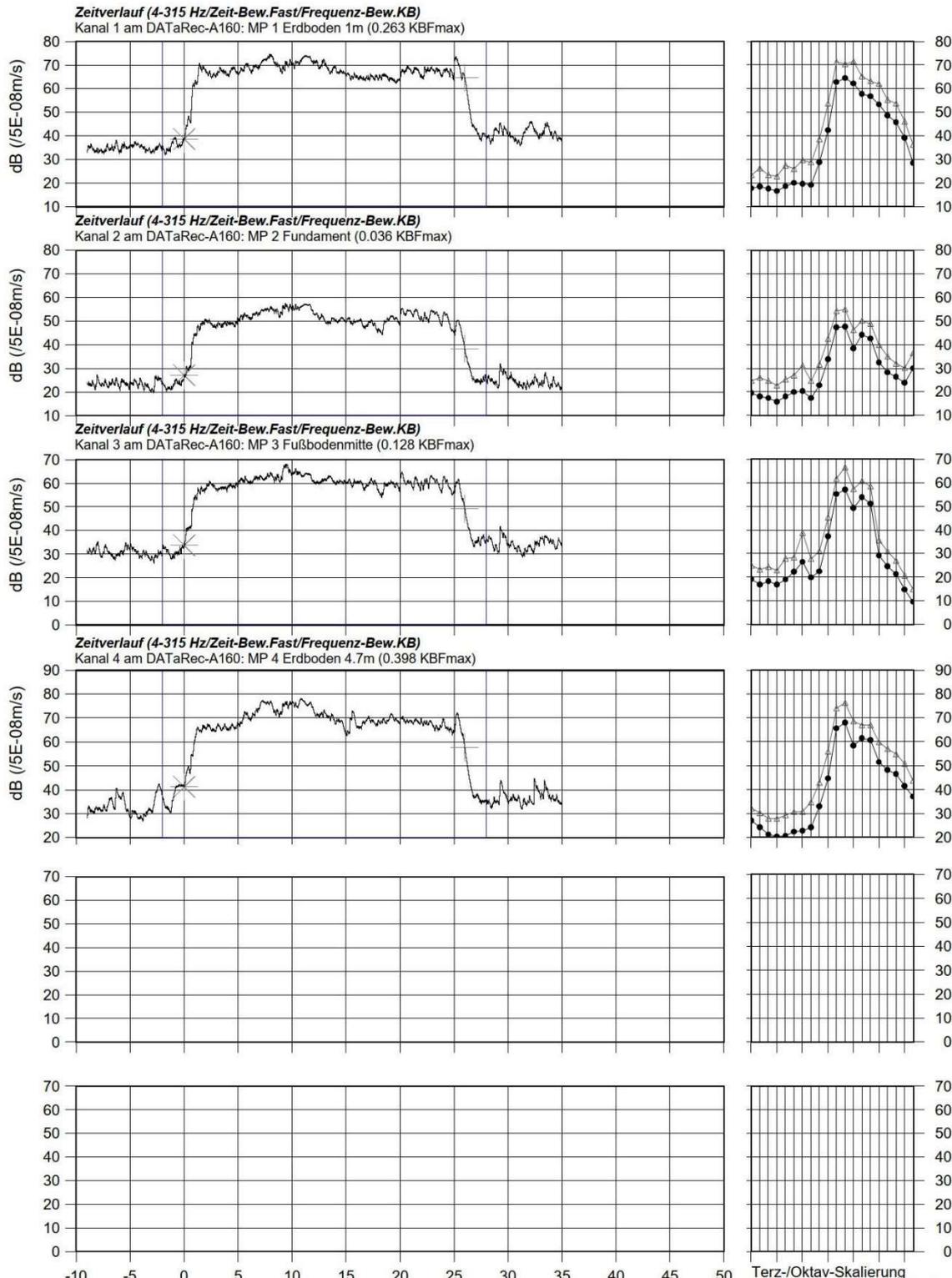
TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Messort: Muenchen, Johanneskirchnerstr. 62

Datum: 21.07.22

Ereignis Nr.:	Uhrzeit:	Bezeichnung der Quelle:	Charakteristik:	Messzeit (geom. Dauer):	Kenn-Nr. (Stufe):	Zusatz-Info:
5	14:47:51	Rüttelplatte	Gehweg	26.0 Sek.		

Frequenzanalysen:
 △ max-hold-Spitzenpegel
 ● equivalenter Dauerpegel



Sekunden:
 Datei D:\Data\si++\famos_21123\21_joh62\joh-62.dap..ID:\Data\si++\famos_21123\21_joh62\ bearbeitet mit 'Ver:150314_Famos6-Digilyse' am 26.07.22 um 16:57:13 - Zeilen 1 bis 6 von 4 / Blatt 1 von 1

Abb. A15: Pegel-Zeit-Verlauf und Spektren der Körperschallschnelle am Messort MO8 bei Ersatz-Anregung

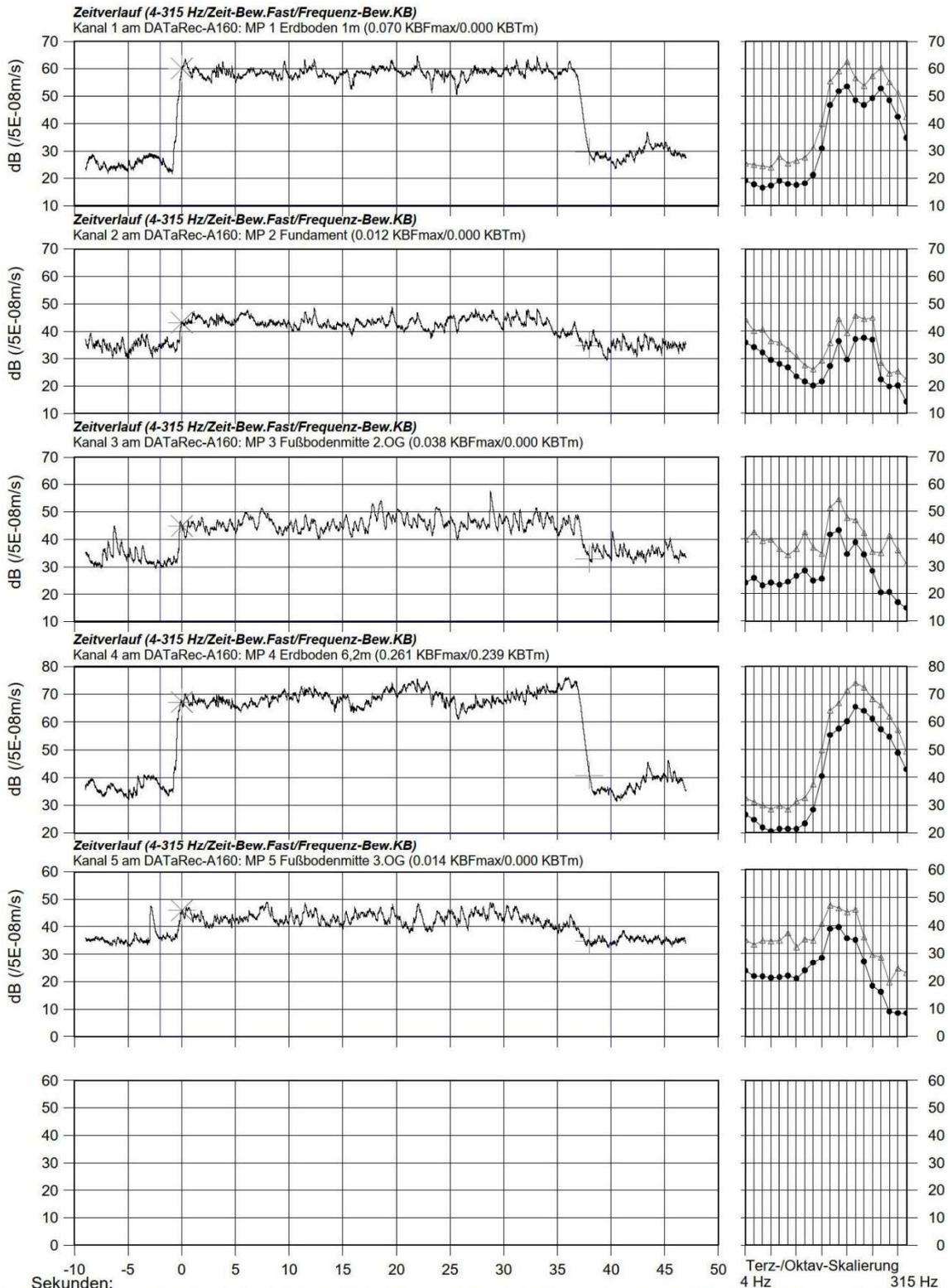
TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Messort: Muenchen, Johanneskirchnerstr. 107

Datum: 21.07.22

Ereignis Nr.:	Uhrzeit:	Bezeichnung der Quelle:	Charakteristik:	Messzeit (geom. Dauer):	Kenn-Nr. (Stufe):	Zusatz-Info:
4	13:25:28	Rüttelplatte	Radweg	38.0 Sek.	3	

Frequenzanalysen:
 △ max-hold-Spitzenpegel
 ● äquivalenter Dauerpegel



Seiten: 1
 Datei 'D:\Data\s\++\famos_21123\21joh107\joh107.dap..ID:\Data\s\++\famos_21123\21joh107\' bearbeitet mit 'Ver:150314_Famos6-Digilyse' am 26.07.22 um 17:06:58 - Zeilen 1 bis 6 von 5 / Blatt 1 von 1

Abb. A16: Pegel-Zeit-Verlauf und Spektren der Körperschallschnelle am Messort MO9 bei Ersatz-Anregung

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

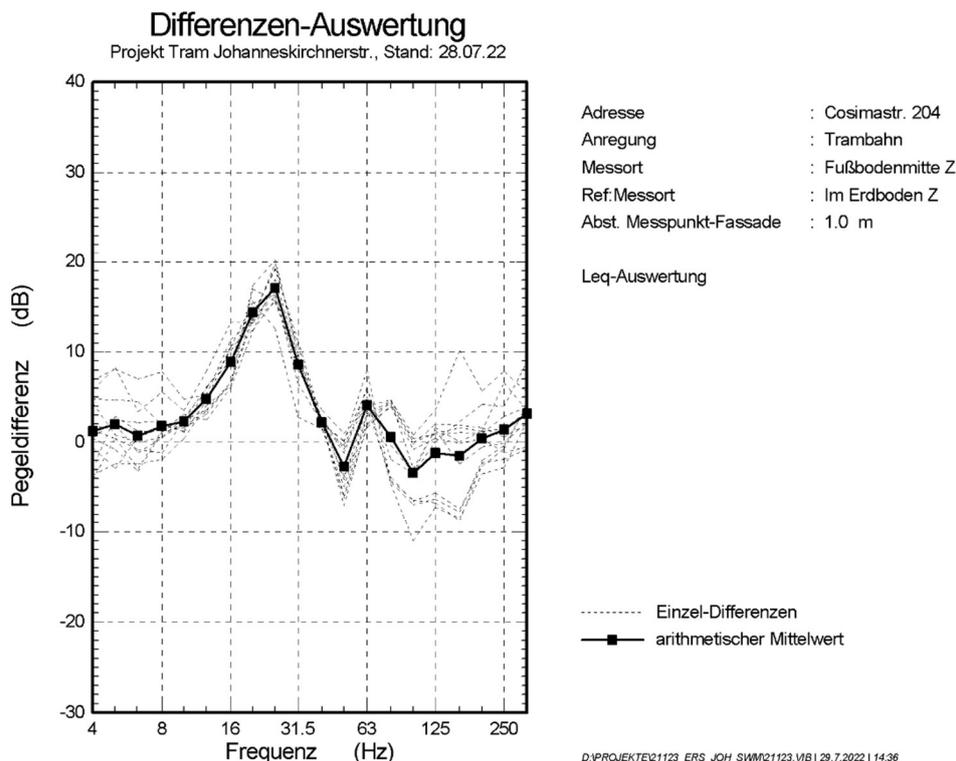


Abb. A17: Transmissionsfunktion Erdboden -> Fußboden Aufenthaltsraum für MO 4 (Cosimastr. 204) bei Anregung durch Tram-Vorbeifahrten

Ereignisprotokolle:

Tabelle T1: am 16.07.2022 erfasste Zugvorbeifahrten

Messort	Ereignis-Nr.	Gleis-Nr	Tram-Baureihe	Vorbeifahrtzeit	Geschwindigkeit	Zugnummer	Zeit	Bemerkung
MO2, Wendeschleife Großes-selohrer Br.	1	2	21	19,0	6	2107	13:11:41	
	2	2	27	10,0	12	2753	13:17:03	
	3	1	27	11,0	11	2752	13:17:44	
	4	1	21	10,5	12	2125	13:39:34	
	5	1	27	10,5	12	2759	13:45:34	
	6	1	21	12,0	10	2150	13:50:22	
	7	1	21	9,0	5	2147	14:00:37	hält bei MP3
	8	1	21	9,0	5	2147	14:02:39	Abfahrt von MP3
	9	1	21	13,0	9	2103	14:16:46	
	10	1	21	11,0	11	2133	14:30:32	
MO3, Wendeschl. Bunzlauer Platz	1	1	21	23,0	5	2161	10:29:37	
	2	1	28	23,0	5	2803	10:39:19	
	3	1	22	23,0	5	2218	10:47:43	
	4	1	22	23,0	5	2201	11:03:20	
	5	1	23	22,0	6	2303	11:08:28	
	6	1	28	20,0	6	2805	11:14:59	

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
 Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Tabelle T2: am 20.07.2022 erfasste Zugvorbeifahrten

Messort	Ereignis-Nr.	Gleis-Nr	Tram-Baureihe	Vorbeifahrzeit	Geschwindigkeit	Zugnummer	Zeit	Bemerkung
MO1, Fürkhof-Einmündung Cosimastraße	1	1	27	3,7	33	2754	12:03:46	
	2	2	27	7,5		2756	12:10:03	hält an Ampel Hochstiftstr.
	201	2	27	6,0		2756	12:10:14	fährt von Ampel Hochstiftstr. ab
	3	1	21	3,7	39	2153	12:15:19	
	4	2	27	4,9	43	2754	12:19:58	
	5	1	27	4,3	36	2751	12:28:48	
	6	2	21	5,0	45	2153	12:30:29	
	7	1	27	3,5	35	2758	12:33:50	
	8	2	27	4,0	34	2751	12:40:33	
	9	2	27	3,5	37	2758	12:50:15	
	10	1	27	3,4	36	2755	12:59:38	
	11	1	27	2,8	44	2753	13:01:05	
	12	2	27	3,6	43	2755	13:06:55	
	13	2	27	5,3	37	2753	13:09:56	
	14	1	21	3,1	39	2111	13:35:35	
15	1	27	3,6	34	2759	13:36:30		

Tabelle T3: am 21.07.2022 erfasste Zugvorbeifahrten

Messort	Ereignis-Nr.	Gleis-Nr	Tram-Baureihe	Vorbeifahrzeit	Geschwindigkeit	Zugnummer	Zeit	Bemerkung
MO4, Cosimastr. 204	2	2	21	4,6	27	2127	16:04:40	
	3	1	27	4,2	29	2759	16:06:10	
	4	1	21	4,2	29	2164	16:09:11	
	5	2	21	4,2	29	2131	16:09:44	
	6	2	28	5,1	24	2807	16:15:50	
	7	1	27	4,8	26	2757	16:17:33	
	9	1	27	4,0	31	2751	16:23:59	
	10	2	21	7,0	17	2164	16:25:54	abfahrend
	11	1	22	8,0	15	2211	16:28:25	
	12	2	27	4,6	27	2757	16:30:04	
	13	1	22	4,8	26	2206	16:32:38	

Anm.:

- Gleis 1 ist immer das zum Messpunkt nächstgelegene und Gleis 2 das weitere bzw. Gegenfahrrichtung zu Gleis 1

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Bildnachweis (exemplarisch)

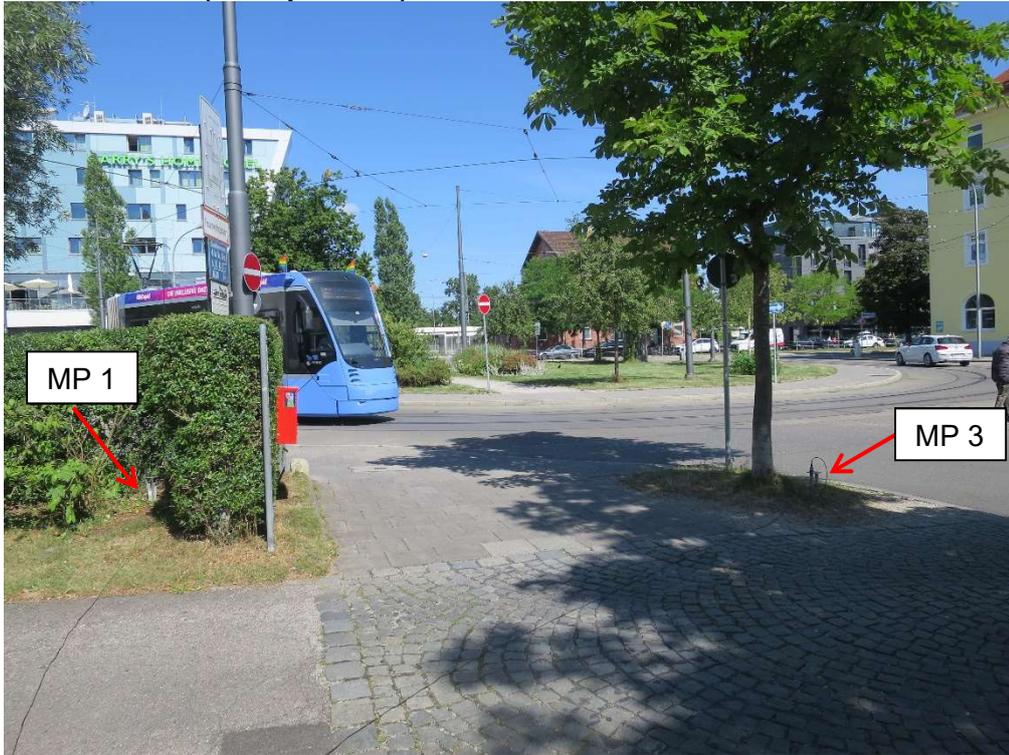


Bild B1: Messort MO3, Wendeschleife Bunzlauer Platz

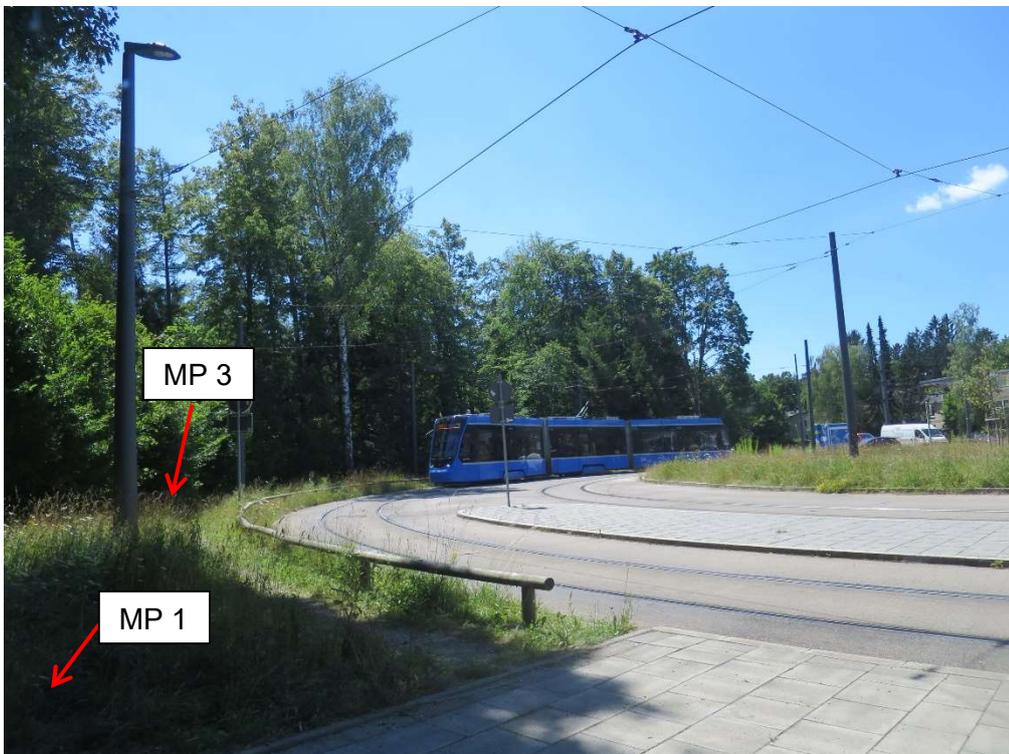


Bild B2: Messort MO2, Wendeschleife am Haltepunkt Großhesseloher Brücke

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

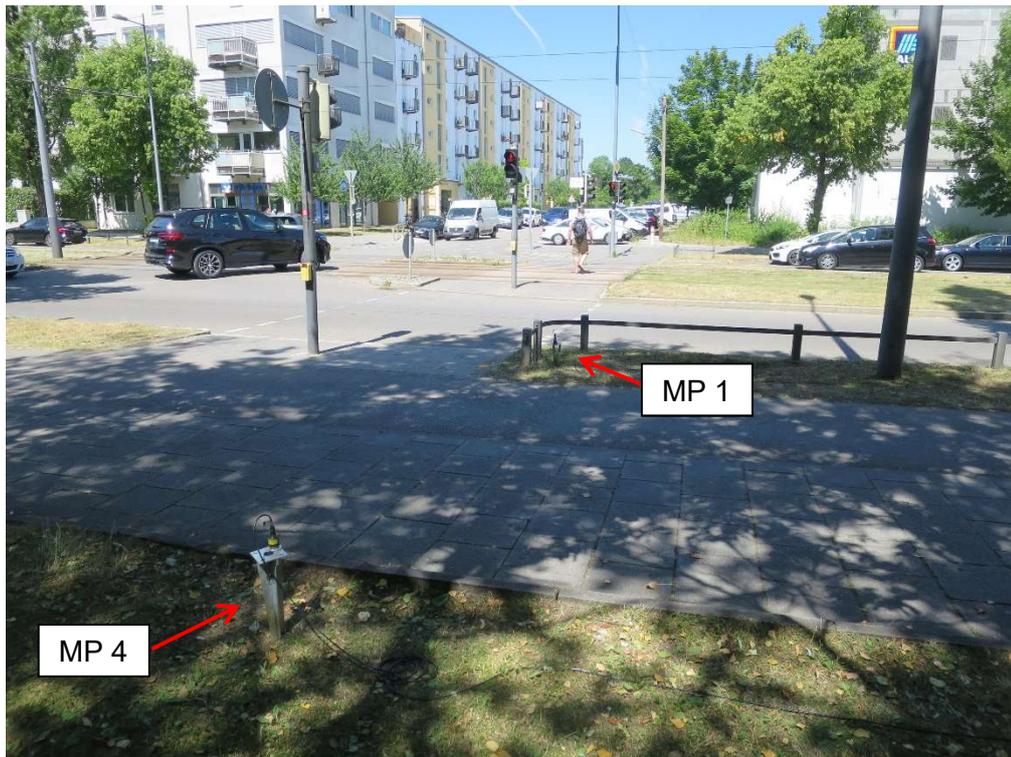


Bild B3: Messort MO1, Cosimastraße, gegenüber Einmündung Hochstiftsweg



Bild B4: Messort MO1, Cosimastraße, an Einmündung Fürkhofstraße

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

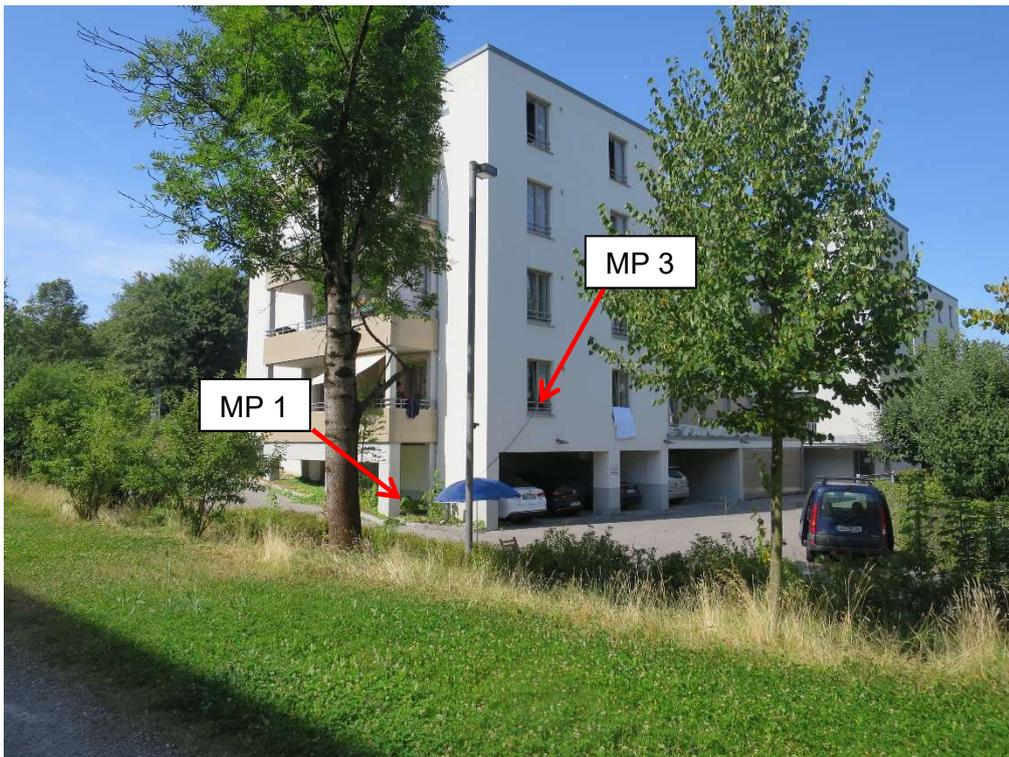


Bild B5: Messort MO5, Johanneskirchner Str. 83

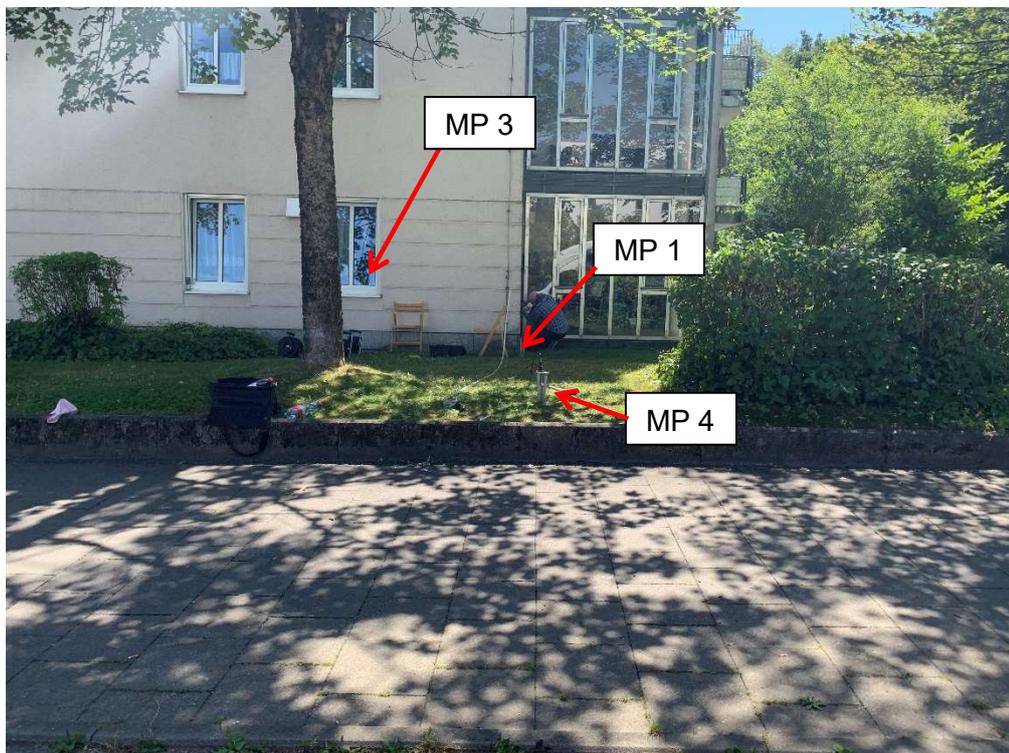


Bild B6: Messort MO6, Johanneskirchner Str. 88

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

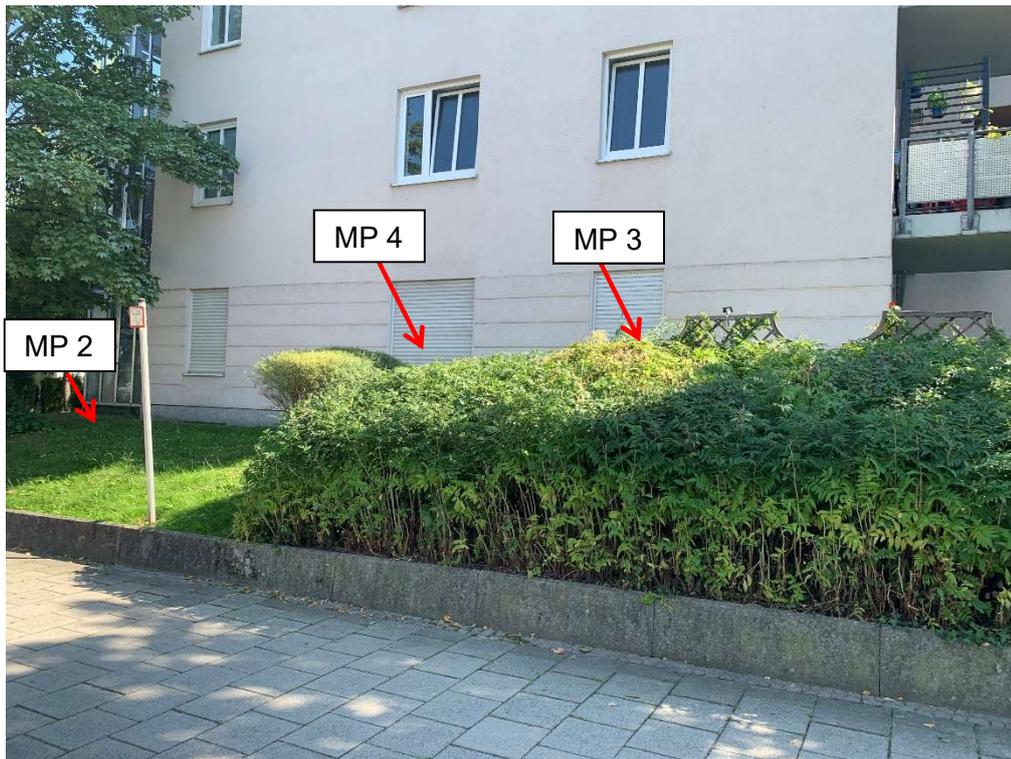


Bild B7: Messort MO7, Johanneskirchner Str. 90

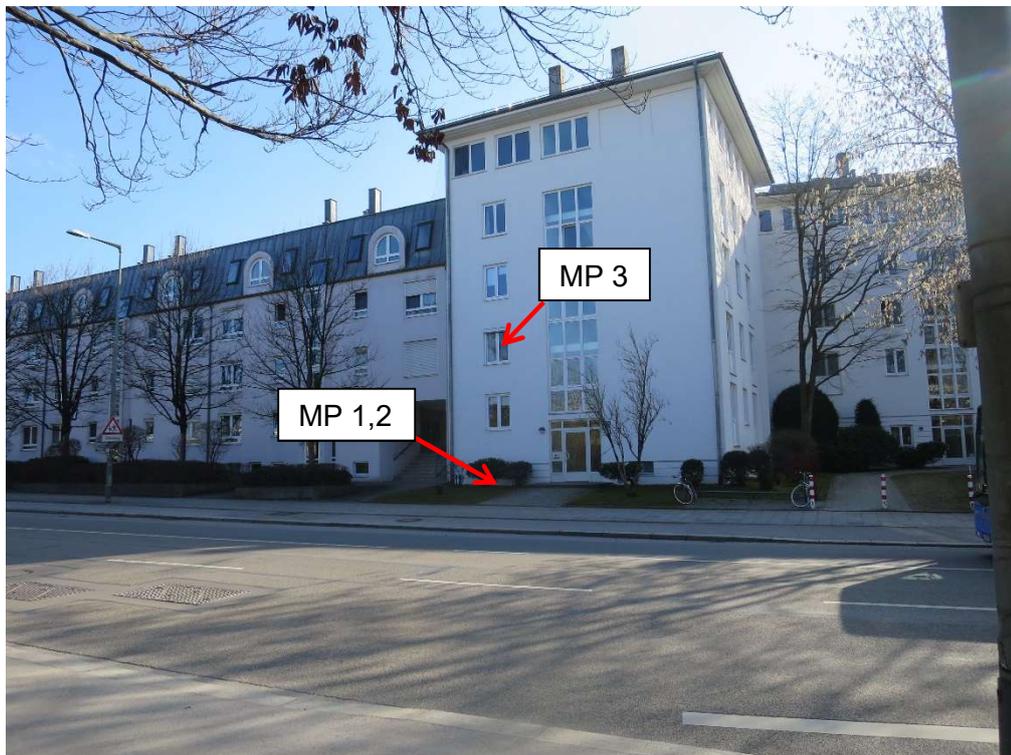


Bild B8: Messort MO8, Johanneskirchner Str. 62

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

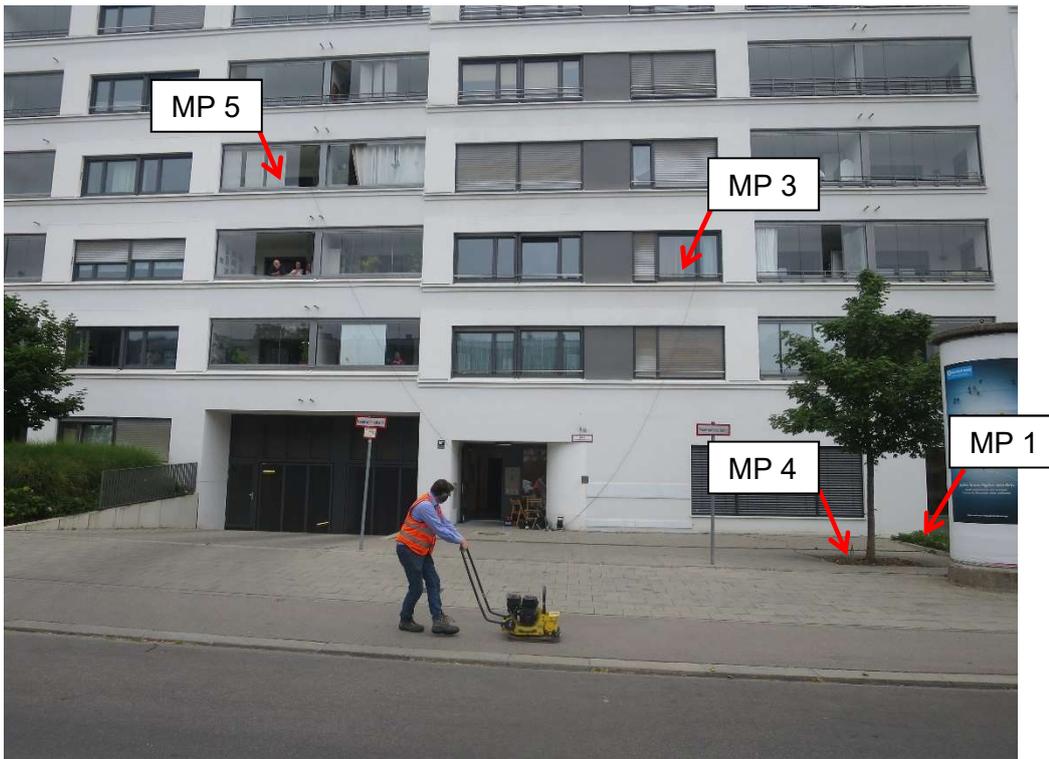


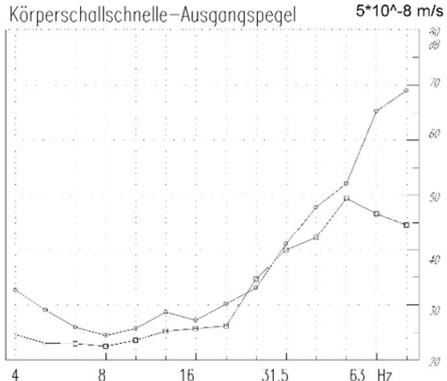
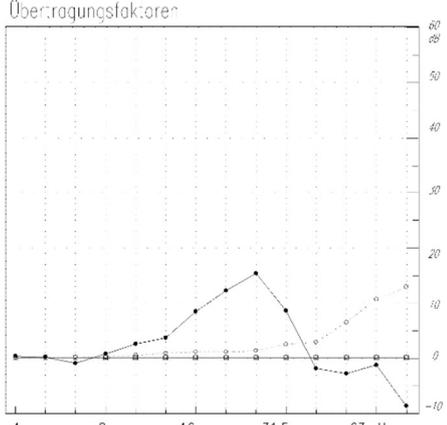
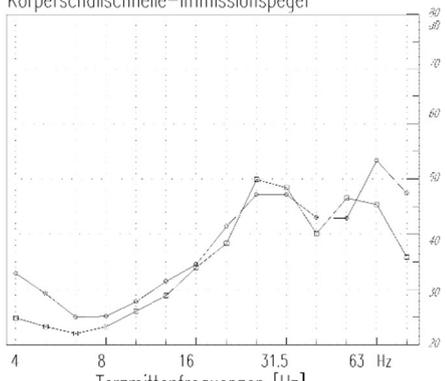
Bild B9: Messort MO9, Johanneskirchner Str. 107



Bild B10: Messort MO4, Cosimastr. 204

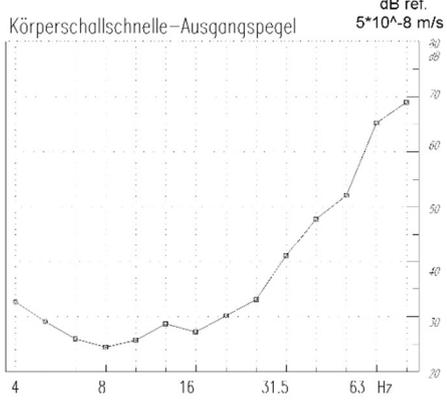
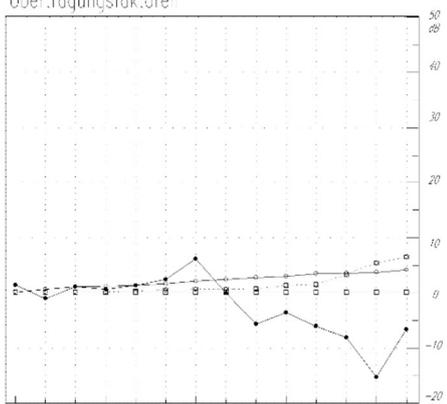
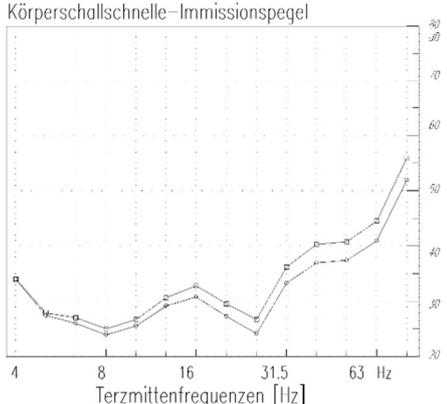
TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
 Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

Berechnungsdatenblätter Prognose

<p>hils consult gmbh</p>	<p>Ermittlung von Erschütterungs- Immissionen in Gebäuden</p>	<p>Projekt Nr.: 21123 Anlage</p>																																		
<p>TJO-1509, PP 2035, Cosimastr. Linien 6/7/21) und Johanneskirchner Str. (Linien 21/23)</p>																																				
<p>Anregungsquellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 6/7/21, beide Ri., Msg. 21.07.'22 ○ Neubau 21/23, Msg. 20/21.07.'22 																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anregungsquelle</th> <th colspan="2">Häufigkeit</th> <th rowspan="2">Anzahl Nacht</th> <th rowspan="2">Dauer mittlere Vorbefahrzeit</th> <th colspan="2">Abstände vom Anregungsort zum Immissionsort</th> </tr> <tr> <th>Anzahl Tag</th> <th>dauer in Ruhezeit</th> <th>Messort</th> <th>Immissionsort</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□</td> <td>576</td> <td>0</td> <td>128</td> <td>4,5 s</td> <td>34,0 m</td> <td>0,0 m</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>384</td> <td>0</td> <td>160</td> <td>4,5 s</td> <td>11,0 m</td> <td>26,0 m</td> </tr> </tbody> </table>	Anregungsquelle	Häufigkeit		Anzahl Nacht	Dauer mittlere Vorbefahrzeit	Abstände vom Anregungsort zum Immissionsort		Anzahl Tag	dauer in Ruhezeit	Messort	Immissionsort	□	576	0	128	4,5 s	34,0 m	0,0 m	○	384	0	160	4,5 s	11,0 m	26,0 m	<p style="text-align: right;">dB ref. 5*10⁻⁸ m/s</p> 										
Anregungsquelle		Häufigkeit				Anzahl Nacht	Dauer mittlere Vorbefahrzeit	Abstände vom Anregungsort zum Immissionsort																												
	Anzahl Tag	dauer in Ruhezeit	Messort	Immissionsort																																
□	576	0	128	4,5 s	34,0 m	0,0 m																														
○	384	0	160	4,5 s	11,0 m	26,0 m																														
<p>Übertragungsfaktoren:</p> <p>Pegeldifferenz durch Abstandsdifferenz Messpunkt-Immissionsort: — Pegelabnahme 11m-26m (hier:-28m)</p> <p>Dämpfungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg: □ keine</p> <p>Maßnahme am Gebäudefundament: — keine</p> <p>Übertragungsfaktoren des Gebäudes: ● r2, r3, Fz.Bodermite Z - 1,0 m</p> <p>Beschreibung des Gebäudes:</p> <p>Objektnutzung: □ allgemeines Wohngebiet</p> <p>Immissionsort-Bezeichnung (Adresse): Cosimastr. 204</p> <p>Deckenbauweise, Stockwerk: Betondecke, 1. OG</p>																																				
<p>Immissionswerte:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anregungsquelle</th> <th colspan="3">Erschütterung</th> <th colspan="3">sek.Luftschall</th> </tr> <tr> <th>KB-Fmax</th> <th>KB-Tr,Tag</th> <th>KB-Tr,Nacht</th> <th>Lmax</th> <th>Leq,Tag</th> <th>Leq,Nacht</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□</td> <td>0.026</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>26.3</td> <td>13.0</td> <td>9.3</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>0.033</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>32.2</td> <td>17.0</td> <td>16.2</td> </tr> <tr> <td>gesamt:</td> <td>0.033</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>32.2</td> <td>18.4</td> <td>17.3</td> </tr> </tbody> </table> <p>Beurteilung:</p> <p>Anhaltswerte der DIN 4150 eingehalten: ja ja ja</p> <p>74,8mSchV eingehalten: x ja ja</p>	Anregungsquelle	Erschütterung			sek.Luftschall			KB-Fmax	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht	□	0.026	0.000	0.000	26.3	13.0	9.3	○	0.033	0.000	0.000	32.2	17.0	16.2	gesamt:	0.033	0.000	0.000	32.2	18.4	17.3	<p style="text-align: center;">Körperchallschnelle-Immissionspegel</p> 	
Anregungsquelle		Erschütterung			sek.Luftschall																															
	KB-Fmax	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht																														
□	0.026	0.000	0.000	26.3	13.0	9.3																														
○	0.033	0.000	0.000	32.2	17.0	16.2																														
gesamt:	0.033	0.000	0.000	32.2	18.4	17.3																														

Drum: 63.08.22 Datei: Hilsprojekte\21123_ers_gu01_v2

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

<p>hils consult gmbh</p>	<h3>Ermittlung von Erschütterungs- Immissionen in Gebäuden</h3>	<p>Projekt Nr.: 21123 Anlage</p>																																		
<p>TJO-1509, PP 2035</p> <p>Anregungsquellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> □ Ri. Ost, 21/23, Msg. 20/21.07.'22 ○ Ri. West, 21/23, Msg. 20/21.07.'22 																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anregungsquelle</th> <th colspan="2">Häufigkeit</th> <th rowspan="2">Dauer mittlere Verweildauer</th> <th colspan="2">Abstände vom Anregungsort zum Messort</th> <th rowspan="2">Abstände zum Immissionsort</th> </tr> <tr> <th>Anzahl Tag</th> <th>davon in Ruhezellen</th> <th>Anzahl Nacht</th> <th>11.0 m</th> <th>16.0 m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□</td> <td>192</td> <td>0</td> <td>80</td> <td>4,5 s</td> <td>11.0 m</td> <td>16.0 m</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>192</td> <td>0</td> <td>80</td> <td>4,5 s</td> <td>11.0 m</td> <td>16.0 m</td> </tr> </tbody> </table>	Anregungsquelle	Häufigkeit		Dauer mittlere Verweildauer	Abstände vom Anregungsort zum Messort		Abstände zum Immissionsort	Anzahl Tag	davon in Ruhezellen	Anzahl Nacht	11.0 m	16.0 m	□	192	0	80	4,5 s	11.0 m	16.0 m	○	192	0	80	4,5 s	11.0 m	16.0 m	<div style="text-align: right; font-size: small;">dB ref. 5*10⁻⁸ m/s</div> 									
Anregungsquelle		Häufigkeit			Dauer mittlere Verweildauer	Abstände vom Anregungsort zum Messort		Abstände zum Immissionsort																												
	Anzahl Tag	davon in Ruhezellen	Anzahl Nacht	11.0 m		16.0 m																														
□	192	0	80	4,5 s	11.0 m	16.0 m																														
○	192	0	80	4,5 s	11.0 m	16.0 m																														
<p>Übertragungsfaktoren:</p> <p><u>Pegeldifferenz durch Abstandsdifferenz Messpunkt-Immissionsort:</u> — Pegelabnahme 11m-16m (hier:-18m)</p> <p><u>Dämpfungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> □ keine ○ Dämpfung zw. Geis 1 u. 2 <p><u>Maßnahme am Gebäudefundament:</u> — keine</p> <p><u>Übertragungsfaktoren des Gebäudes:</u> ● r*, Fußbodenmitte Z = 1.0 m</p> <p><u>Beschreibung des Gebäudes:</u> <u>Gebietnutzung:</u> algemeines Wohngebiet</p> <p><u>Immissionsort-Bezeichnung (Adresse):</u> Johanneskirchner Str. 62</p> <p><u>Deckenbauweise, Stockwerk:</u> Betondecke, 1. OG</p>																																				
<p>Immissionswerte:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anregungsquelle</th> <th colspan="3">Erschütterung</th> <th colspan="3">sek.Luftschall</th> </tr> <tr> <th>KB-Fmax</th> <th>KB-Tr,Tag</th> <th>KB-Tr,Nacht</th> <th>Lmax</th> <th>Leq,Tag</th> <th>Leq,Nacht</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□</td> <td>0.034</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>32.6</td> <td>14.3</td> <td>13.6</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>0.022</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>30.2</td> <td>12.1</td> <td>11.3</td> </tr> <tr> <td>gesamt:</td> <td>0.034</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>32.6</td> <td>16.3</td> <td>15.6</td> </tr> </tbody> </table> <p>Beurteilung:</p> <p><u>Inhaltswerte der DIN 4150 eingehalten:</u> ja ja ja</p> <p><u>74dBmSchV eingehalten:</u> x ja ja</p>	Anregungsquelle	Erschütterung			sek.Luftschall			KB-Fmax	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht	□	0.034	0.000	0.000	32.6	14.3	13.6	○	0.022	0.000	0.000	30.2	12.1	11.3	gesamt:	0.034	0.000	0.000	32.6	16.3	15.6		
Anregungsquelle		Erschütterung			sek.Luftschall																															
	KB-Fmax	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht																														
□	0.034	0.000	0.000	32.6	14.3	13.6																														
○	0.022	0.000	0.000	30.2	12.1	11.3																														
gesamt:	0.034	0.000	0.000	32.6	16.3	15.6																														

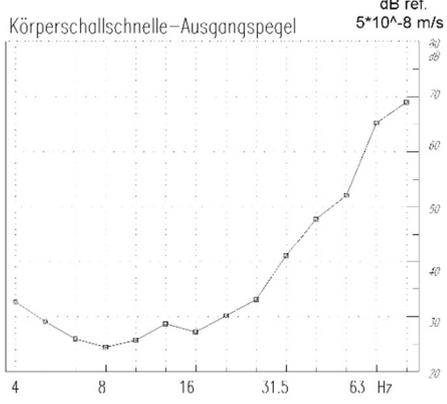
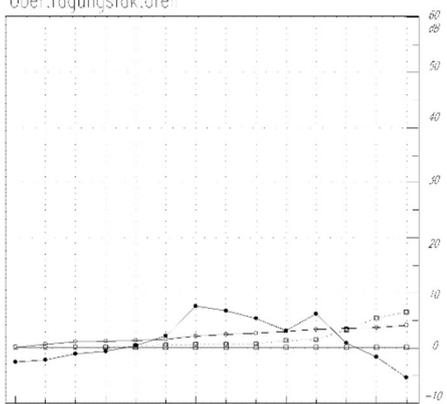
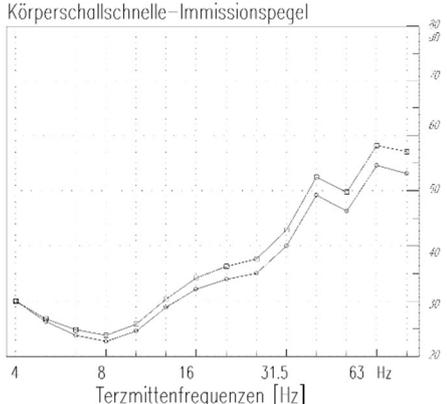
Datum: 02.08.22 Datei: HILSprojekte/21-62_gu01_v02

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

<p>hils consult gmbh</p>	<p>Ermittlung von Erschütterungs- Immissionen in Gebäuden</p>	<p>Projekt Nr.: 21123 Anlage</p>																																		
<p>TJO-1509, PP 2035</p> <p>Anregungsquellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> □ Ri. Ost, 21/23, Msg. 20/21.07.'22 ○ Ri. West, 21/23, Msg. 20/21.07.'22 																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anregungsquelle</th> <th colspan="2">Häufigkeit</th> <th rowspan="2">Dauer mittlere Verweildauer</th> <th colspan="2">Abstände vom Anregungsort zum Messort</th> </tr> <tr> <th>Anzahl Tag</th> <th>davon in Ruhezellen</th> <th>Anzahl Nacht</th> <th>Messort</th> <th>Immissionsort</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□</td> <td>192</td> <td>0</td> <td>80</td> <td>4,5 s</td> <td>11,0 m 16,0 m</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>192</td> <td>0</td> <td>80</td> <td>4,5 s</td> <td>11,0 m 16,0 m</td> </tr> </tbody> </table>	Anregungsquelle	Häufigkeit		Dauer mittlere Verweildauer	Abstände vom Anregungsort zum Messort		Anzahl Tag	davon in Ruhezellen	Anzahl Nacht	Messort	Immissionsort	□	192	0	80	4,5 s	11,0 m 16,0 m	○	192	0	80	4,5 s	11,0 m 16,0 m	<p style="text-align: right;">dB ref. 5*10⁻⁸ m/s</p> <p>Körperschallschnelle-Ausgangspegel</p>												
Anregungsquelle		Häufigkeit			Dauer mittlere Verweildauer	Abstände vom Anregungsort zum Messort																														
	Anzahl Tag	davon in Ruhezellen	Anzahl Nacht	Messort		Immissionsort																														
□	192	0	80	4,5 s	11,0 m 16,0 m																															
○	192	0	80	4,5 s	11,0 m 16,0 m																															
<p>Übertragungsfaktoren:</p> <p>Pegeänderung durch Abstandsdifferenz Messpunkt-Immissionsort: — Pegelabnahme 11m-16m</p> <p>Dämpfungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg:</p> <ul style="list-style-type: none"> □ keine ○ Dämpfung zw. Geis 1 u. 2 <p>Maßnahme am Gebäudefundament: — keine</p> <p>Übertragungsfaktoren des Gebäudes: ● Leitfacen</p> <p>Beschreibung des Gebäudes: Gebietnutzung: allgemeines Wohngebiet</p> <p>Immissionsort-Bezeichnung (Adresse): Johanneskirchner Str. 72</p> <p>Deckenbauweise, Stockwerk: Betondecke, 1. OG</p>	<p>Übertragungsfaktoren</p>																																			
<p>Immissionswerte:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anregungsquelle</th> <th colspan="3">Erschütterung</th> <th colspan="3">sek. Luftschall</th> </tr> <tr> <th>KB-Fmax</th> <th>KB-Tr,Tag</th> <th>KB-Tr,Nacht</th> <th>Lmax</th> <th>Leq,Tag</th> <th>Leq,Nacht</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□</td> <td>0.112</td> <td>0.035</td> <td>0.032</td> <td>37.8</td> <td>19.6</td> <td>18.8</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>0.073</td> <td>0.030</td> <td>0.030</td> <td>35.4</td> <td>17.2</td> <td>18.4</td> </tr> <tr> <td>gesamt:</td> <td>0.112</td> <td>0.035</td> <td>0.032</td> <td>37.8</td> <td>21.5</td> <td>20.7</td> </tr> </tbody> </table> <p>Beurteilung:</p> <p>Anhaltswerte der DIN 4150 eingehalten: ja ja ja</p> <p>74dBmSchV eingehalten: x ja ja</p>	Anregungsquelle	Erschütterung			sek. Luftschall			KB-Fmax	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht	□	0.112	0.035	0.032	37.8	19.6	18.8	○	0.073	0.030	0.030	35.4	17.2	18.4	gesamt:	0.112	0.035	0.032	37.8	21.5	20.7	<p>Körperschallschnelle-Immissionspegel</p>	
Anregungsquelle		Erschütterung			sek. Luftschall																															
	KB-Fmax	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht																														
□	0.112	0.035	0.032	37.8	19.6	18.8																														
○	0.073	0.030	0.030	35.4	17.2	18.4																														
gesamt:	0.112	0.035	0.032	37.8	21.5	20.7																														

Datum: 02.08.22 Datei: HILSPROJEKTJOH72.ged

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

<p>hils consult gmbh</p>	<p>Ermittlung von Erschütterungs- Immissionen in Gebäuden</p>	<p>Projekt Nr.: 21123 Anlage</p>																																														
<p>TJO-1509, PP 2035</p> <p>Anregungsquellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> □ Ri. Ost, 21/23, Msg. 20/21.07.'22 ○ Ri. West, 21/23, Msg. 20/21.07.'22 																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anregungsquelle</th> <th colspan="2">Häufigkeit</th> <th rowspan="2">Dauer mittlere Vorbeifahrtzeit</th> <th colspan="2">Abstände vom Anregungsort zum Messort</th> </tr> <tr> <th>Anzahl Tag</th> <th>davon in Ruhezellen Anzahl Nacht</th> <th>11.0 m</th> <th>16.0 m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□</td> <td>192</td> <td>0</td> <td>4,5 s</td> <td>11.0 m</td> <td>16.0 m</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>192</td> <td>0</td> <td>4,5 s</td> <td>11.0 m</td> <td>16.0 m</td> </tr> </tbody> </table>	Anregungsquelle	Häufigkeit		Dauer mittlere Vorbeifahrtzeit	Abstände vom Anregungsort zum Messort		Anzahl Tag	davon in Ruhezellen Anzahl Nacht	11.0 m	16.0 m	□	192	0	4,5 s	11.0 m	16.0 m	○	192	0	4,5 s	11.0 m	16.0 m	<p style="text-align: right;">dB ref. 5*10⁻⁸ m/s</p> <p>Körperschallschnelle-Ausgangspegel</p> 																									
Anregungsquelle		Häufigkeit			Dauer mittlere Vorbeifahrtzeit	Abstände vom Anregungsort zum Messort																																										
	Anzahl Tag	davon in Ruhezellen Anzahl Nacht	11.0 m	16.0 m																																												
□	192	0	4,5 s	11.0 m	16.0 m																																											
○	192	0	4,5 s	11.0 m	16.0 m																																											
<p>Übertragungsfaktoren:</p> <p>Pegeänderung durch Abstandsdifferenz Messpunkt-Immissionsort: — Pegelabnahme 11m-16m (hier:-19m)</p> <p>Dämpfungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg:</p> <ul style="list-style-type: none"> □ keine ○ Dämpfung zw. Geis 1 u. 2 <p>Maßnahme am Gebäudefundament: — keine</p> <p>Übertragungsfaktoren des Gebäudes: ● r₁, 3, Fußbodenmitte Z - 1, Im Erdboden</p> <p>Beschreibung des Gebäudes: Gebietnutzung: allgemeines Wohngebiet</p> <p>Immissionsort-Bezeichnung (Adresse): Johanneskirchner Str. 83</p> <p>Deckenbauweise, Stockwerk: Betondecke, EG</p>	<p>Übertragungsfaktoren</p> 																																															
<p>Immissionswerte:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anregungsquelle</th> <th colspan="3">Erschütterung</th> <th colspan="3">sek.Luftschall</th> </tr> <tr> <th>KB-Fmax</th> <th>KB-Tr,Tag</th> <th>KB-Tr,Nacht</th> <th>Lmax</th> <th>Leq,Tag</th> <th>Leq,Nacht</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□</td> <td>0.061</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>34.5</td> <td>16.2</td> <td>15.5</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>0.040</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>32.2</td> <td>13.9</td> <td>13.2</td> </tr> <tr> <td>gesamt:</td> <td>0.061</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>34.5</td> <td>18.3</td> <td>17.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>Beurteilung:</p> <p>Inhaltswerte der DIN 4150 eingehalten:</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>ja</td> <td>ja</td> <td>ja</td> <td>x</td> <td>ja</td> <td>ja</td> </tr> </table> <p>74dBmSchV eingehalten:</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Anregungsquelle	Erschütterung			sek.Luftschall			KB-Fmax	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht	□	0.061	0.000	0.000	34.5	16.2	15.5	○	0.040	0.000	0.000	32.2	13.9	13.2	gesamt:	0.061	0.000	0.000	34.5	18.3	17.5	ja	ja	ja	x	ja	ja							<p>Körperschallschnelle-Immissionspegel</p>  <p style="text-align: center;">Terzmittenfrequenzen [Hz]</p>	
Anregungsquelle		Erschütterung			sek.Luftschall																																											
	KB-Fmax	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht																																										
□	0.061	0.000	0.000	34.5	16.2	15.5																																										
○	0.040	0.000	0.000	32.2	13.9	13.2																																										
gesamt:	0.061	0.000	0.000	34.5	18.3	17.5																																										
ja	ja	ja	x	ja	ja																																											

Datum: 02.08.22 Datei: HILSprojekte\joh-63.guo

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

hils consult gmbh

Ermittlung von Erschütterungs- Immissionen in Gebäuden

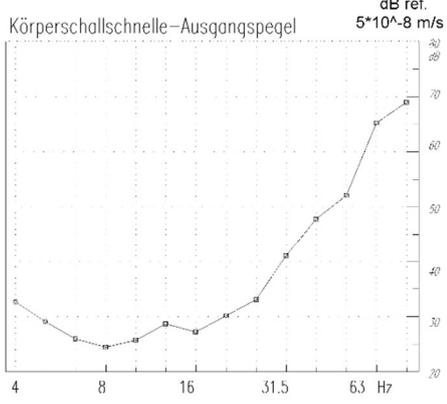
Projekt Nr.: 21123
Anlage

TJO-1509, PP 2035

Anregungsquellen:

- Ri. Ost, 21/23, Msg. 20/21.07.'22
- Ri. West, 21/23, Msg. 20/21.07.'22

dB ref. $5 \cdot 10^{-8}$ m/s



Anregungsquelle	Häufigkeit		Dauer mittlere Verweilzeit	Abstände vom Anregungs- zum Messort	
	Anzahl Tag	davon in Ruhezeiten		Anzahl Nacht	Messort
□	192	0	80	4,5 s	11,0 m 16,0 m
○	192	0	80	4,5 s	11,0 m 16,0 m

Übertragungsfaktoren:

Peqänderung durch Abstandsdifferenz Messpunkt-Immissionsort:
— Pegelabnahme 11m-16m (hier:-17m)

Dämpfungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg:
□ keine
○ Dämpfung zw. Geis 1 u. 2

Maßnahme am Gebäudefundament:
— keine

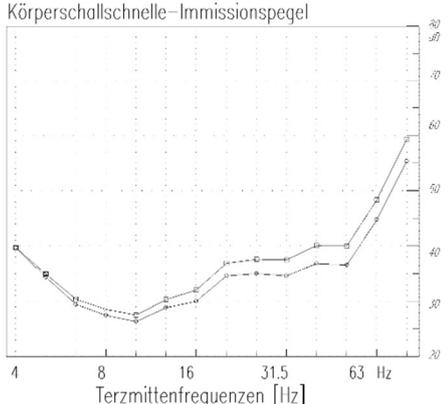
Übertragungsfaktoren des Gebäudes:
● r_1 , Fußbodenmitte $Z = 1,0$ m, im Erdboden

Beschreibung des Gebäudes:
Gebietnutzung:
allgemeines Wohngebiet
Immissionsort-Bezeichnung (Adresse):
Johanneskirchner Str. 88
Deckenbauweise, Stockwerk:
Betondecke, EG

Immissionswerte:

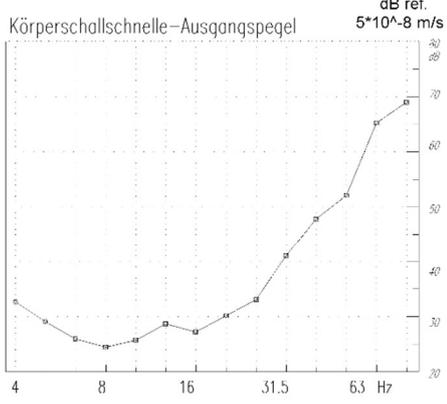
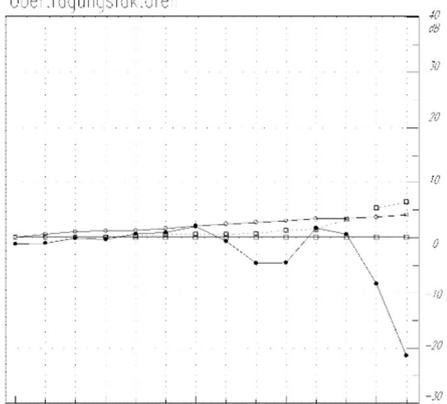
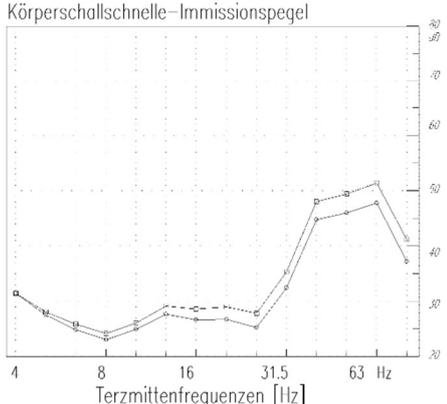
Anregungsquelle	Erschütterung			sek.Luftschall		
	KB-Fmax	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht
□	0.050	0.000	0.000	34.6	16.4	15.6
○	0.032	0.000	0.000	32.3	14.1	13.3
gesamt:	0.050	0.000	0.000	34.6	18.4	17.6

Beurteilung:
Anhaltswerte der DIN 4150 eingehalten: ja ja ja
74dBmSchV eingehalten: x ja ja



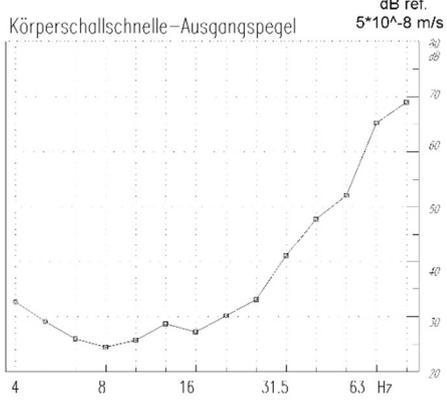
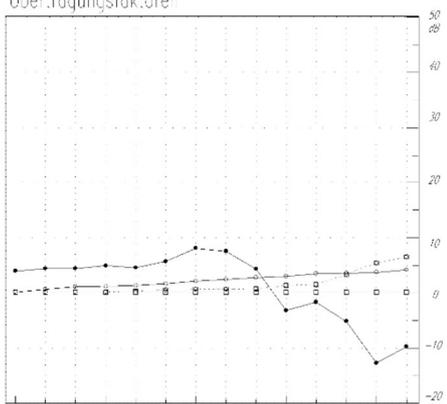
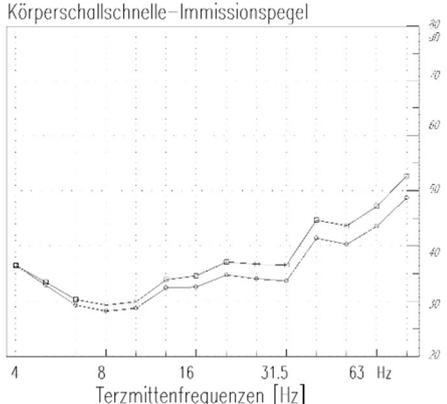
Datum: 02.08.22 Datei: HILSPROJEKTION-68.qxd

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

<p>hils consult gmbh</p>	<h3>Ermittlung von Erschütterungs- Immissionen in Gebäuden</h3>	<p>Projekt Nr.: 21123 Anlage</p>																																		
<p>TJO-1509, PP 2035</p> <p>Anregungsquellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> □ Ri. Ost, 21/23, Msg. 20/21.07.'22 ○ Ri. West, 21/23, Msg. 20/21.07.'22 																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Anre-gungs-quelle:</th> <th>Häufigkeit</th> <th>Dauer</th> <th>Abstände</th> </tr> <tr> <td></td> <td>Anzahl Tag; davon in Ruhezeiten;</td> <td>mittlere Vorbeifahrtzeit</td> <td>vom Anregungsort zum Messort; Immissionsort:</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□</td> <td>192 0 80</td> <td>4,5 s</td> <td>11,0 m 16,0 m</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>192 0 80</td> <td>4,5 s</td> <td>11,0 m 16,0 m</td> </tr> </tbody> </table>	Anre-gungs-quelle:	Häufigkeit	Dauer	Abstände		Anzahl Tag; davon in Ruhezeiten;	mittlere Vorbeifahrtzeit	vom Anregungsort zum Messort; Immissionsort:	□	192 0 80	4,5 s	11,0 m 16,0 m	○	192 0 80	4,5 s	11,0 m 16,0 m	<div style="text-align: right; font-size: small;">dB ref. 5*10⁻⁸ m/s</div>  <p style="text-align: center; font-size: small;">Körpererschallschnelle-Ausgangspegel</p>																			
Anre-gungs-quelle:	Häufigkeit	Dauer	Abstände																																	
	Anzahl Tag; davon in Ruhezeiten;	mittlere Vorbeifahrtzeit	vom Anregungsort zum Messort; Immissionsort:																																	
□	192 0 80	4,5 s	11,0 m 16,0 m																																	
○	192 0 80	4,5 s	11,0 m 16,0 m																																	
<p>Übertragungsfaktoren:</p> <p>Pegeänderung durch Abstandsdifferenz Messpunkt-Immissionsort: — Pegelabnahme 11m-16m</p> <p>Dämpfungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg: □ keine ○ Dämpfung zw. Geis 1 u. 2</p> <p>Maßnahme am Gebäudefundament: — keine</p> <p>Übertragungsfaktoren des Gebäudes: ● r*, Fußbodenmitte Z = 1.0 m, im Erdboden</p> <p>Beschreibung des Gebäudes:</p> <p>Gebietnutzung: algemeines Wohngebiet</p> <p>Immissionsort-Bezeichnung (Adresse): Johanneskirchner Str. 90</p> <p>Deckenbauweise, Stockwerk: Betondecke, EG</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">Übertragungsfaktoren</p>																																			
<p>Immissionswerte:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anre-gungs-quelle:</th> <th colspan="3">Erschütterung</th> <th colspan="3">sek.Luftschall</th> </tr> <tr> <th>KB-Fmax;</th> <th>KB-Tr,Tag;</th> <th>KB-Tr,Nacht;</th> <th>Lmax;</th> <th>Leq,Tag;</th> <th>Leq,Nacht;</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□</td> <td>0.028</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>28.1</td> <td>11.4</td> <td>10.6</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>0.019</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>25.9</td> <td>9.2</td> <td>8.4</td> </tr> <tr> <td>gesamt:</td> <td>0.028</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>28.1</td> <td>13.5</td> <td>12.7</td> </tr> </tbody> </table> <p>Beurteilung:</p> <p>Inhaltswerte der DIN 4150 eingehalten: ja ja ja</p> <p>74dBmSchV eingehalten: x ja ja</p>	Anre-gungs-quelle:	Erschütterung			sek.Luftschall			KB-Fmax;	KB-Tr,Tag;	KB-Tr,Nacht;	Lmax;	Leq,Tag;	Leq,Nacht;	□	0.028	0.000	0.000	28.1	11.4	10.6	○	0.019	0.000	0.000	25.9	9.2	8.4	gesamt:	0.028	0.000	0.000	28.1	13.5	12.7	 <p style="text-align: center; font-size: small;">Körpererschallschnelle-Immissionspegel</p>	
Anre-gungs-quelle:		Erschütterung			sek.Luftschall																															
	KB-Fmax;	KB-Tr,Tag;	KB-Tr,Nacht;	Lmax;	Leq,Tag;	Leq,Nacht;																														
□	0.028	0.000	0.000	28.1	11.4	10.6																														
○	0.019	0.000	0.000	25.9	9.2	8.4																														
gesamt:	0.028	0.000	0.000	28.1	13.5	12.7																														

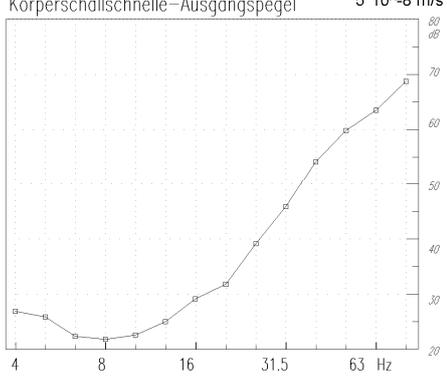
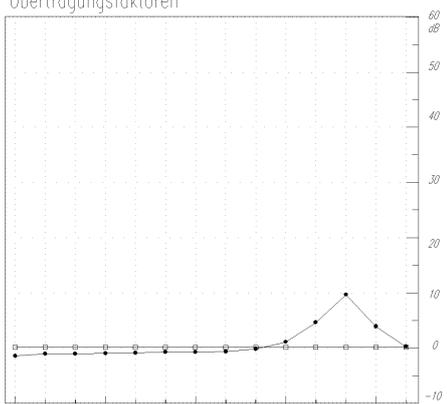
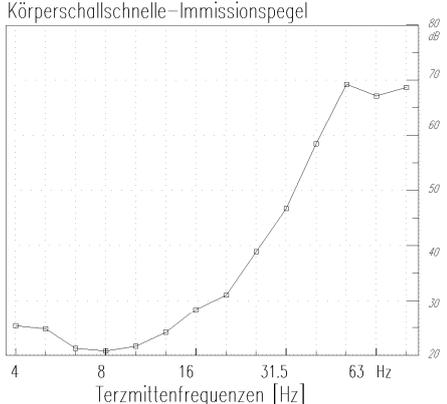
Datum: 02.08.22 Datei: HILSprojekte/21-53_gu01_v02

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

<p>hils consult gmbh</p>	<h3>Ermittlung von Erschütterungs- Immissionen in Gebäuden</h3>	<p>Projekt Nr.: 21123 Anlage</p>																																		
<p>TJO-1509, PP 2035</p> <p>Anregungsquellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> □ Ri. West, 21/23, Msg. 20/21.07.'22 ○ Ri. Ost, 21/23, Msg. 20/21.07.'22 																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anregungsquelle</th> <th colspan="2">Häufigkeit</th> <th rowspan="2">Dauer mittlere Verweilzeit</th> <th colspan="2">Abstände vom Anregungsort zum Messort</th> </tr> <tr> <th>Anzahl Tag</th> <th>davon in Ruhezellen</th> <th>Anzahl Nacht</th> <th>Messort</th> <th>Immissionsort</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□</td> <td>192</td> <td>0</td> <td>4,5 s</td> <td>11,0 m</td> <td>16,0 m</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>192</td> <td>0</td> <td>4,5 s</td> <td>11,0 m</td> <td>16,0 m</td> </tr> </tbody> </table>	Anregungsquelle	Häufigkeit		Dauer mittlere Verweilzeit	Abstände vom Anregungsort zum Messort		Anzahl Tag	davon in Ruhezellen	Anzahl Nacht	Messort	Immissionsort	□	192	0	4,5 s	11,0 m	16,0 m	○	192	0	4,5 s	11,0 m	16,0 m	<div style="text-align: right; font-size: small;">dB ref. 5*10⁻⁸ m/s</div> <p>Körperschallschnelle-Ausgangspegel</p> 												
Anregungsquelle		Häufigkeit			Dauer mittlere Verweilzeit	Abstände vom Anregungsort zum Messort																														
	Anzahl Tag	davon in Ruhezellen	Anzahl Nacht	Messort		Immissionsort																														
□	192	0	4,5 s	11,0 m	16,0 m																															
○	192	0	4,5 s	11,0 m	16,0 m																															
<p>Übertragungsfaktoren:</p> <p><u>Peqänderung durch Abstandsdifferenz Messpunkt-Immissionsort:</u> — Pegelabnahme 11m-16m (hier:-17m)</p> <p><u>Dämpfungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> □ keine ○ Dämpfung zw. Geis 1 u. 2 <p><u>Maßnahme am Gebäudefundament:</u> — keine</p> <p><u>Übertragungsfaktoren des Gebäudes:</u> • r2, r3, Fußbodenmitte Z - 1,0 m</p> <p><u>Beschreibung des Gebäudes:</u> Gebietnutzung: algemeines Wohngebiet Immissionsort-Bezeichnung (Adresse): Johanneskirchner Str. 1&7 Deckenbauweise, Stockwerk: Betondecke, 2. OG</p>	<p>Übertragungsfaktoren</p> 																																			
<p><u>Immissionswerte:</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anregungsquelle</th> <th colspan="3">Erschütterung</th> <th colspan="3">sek.Luftschall</th> </tr> <tr> <th>KB-Fmax</th> <th>KB-Tr,Tag</th> <th>KB-Tr,Nacht</th> <th>Lmax</th> <th>Leq,Tag</th> <th>Leq,Nacht</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□</td> <td>0.028</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>31.1</td> <td>12.8</td> <td>12.1</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>0.018</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>28.8</td> <td>10.6</td> <td>9.8</td> </tr> <tr> <td>gesamt:</td> <td>0.028</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>31.1</td> <td>14.9</td> <td>14.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Beurteilung:</p> <p>Anhaltswerte der DIN 4150 eingehalten: ja ja ja</p> <p>74dBmSchV eingehalten: x ja ja</p>	Anregungsquelle	Erschütterung			sek.Luftschall			KB-Fmax	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht	□	0.028	0.000	0.000	31.1	12.8	12.1	○	0.018	0.000	0.000	28.8	10.6	9.8	gesamt:	0.028	0.000	0.000	31.1	14.9	14.2	<p>Körperschallschnelle-Immissionspegel</p>  <p style="text-align: center;">Terzmittenfrequenzen [Hz]</p>	
Anregungsquelle		Erschütterung			sek.Luftschall																															
	KB-Fmax	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht																														
□	0.028	0.000	0.000	31.1	12.8	12.1																														
○	0.018	0.000	0.000	28.8	10.6	9.8																														
gesamt:	0.028	0.000	0.000	31.1	14.9	14.2																														

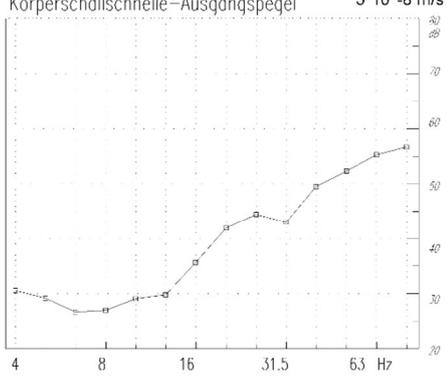
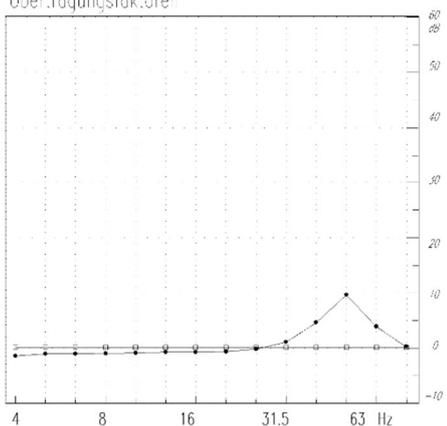
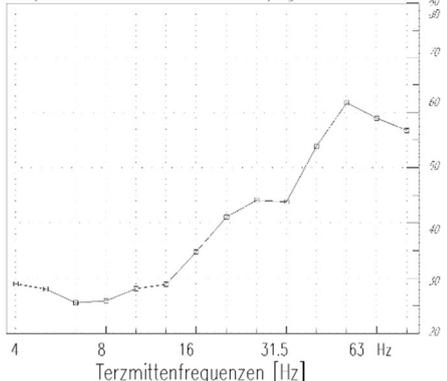
Datum: 02.08.22 Datei: HILSprojekte\joh167.qxd

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

hils consult gmbh	Ermittlung von Erschütterungs- Immissionen in Gebäuden	Projekt Nr.: 21123 Anlage																											
TJO-1509 PP 2035 Wendeschleife Anregungsquellen: <input type="checkbox"/> Wendeschleife, wie Großhesseloher Brücke																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: left;">Anre-gungs-quelle:</th> <th>Häufigkeit</th> <th>Dauer</th> <th>Abstände</th> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">Anzahl Tag: davon in Ruhezeiten: Anzahl Nacht:</td> <td>96 0 40</td> <td>mittlere Vorbeifahrtzeit: 9.0 s</td> <td>vom Anregungsort zum Messort: 8.5 m Immissionsort: 0.0 m</td> </tr> </table>	Anre-gungs-quelle:	Häufigkeit	Dauer	Abstände	Anzahl Tag: davon in Ruhezeiten: Anzahl Nacht:	96 0 40	mittlere Vorbeifahrtzeit: 9.0 s	vom Anregungsort zum Messort: 8.5 m Immissionsort: 0.0 m	Körperschallschnelle-Ausgangspegel dB ref. $5 \cdot 10^{-8}$ m/s 																				
Anre-gungs-quelle:	Häufigkeit	Dauer	Abstände																										
Anzahl Tag: davon in Ruhezeiten: Anzahl Nacht:	96 0 40	mittlere Vorbeifahrtzeit: 9.0 s	vom Anregungsort zum Messort: 8.5 m Immissionsort: 0.0 m																										
Übertragungsfaktoren: Pegeländerung durch Abstandsdifferenz Messpunkt-Immissionsort: <input type="checkbox"/> keine Dämpfungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg: <input type="checkbox"/> keine Maßnahme am Gebäudefundament: <input type="checkbox"/> keine Übertragungsfaktoren des Gebäudes: <input checked="" type="checkbox"/> Leitfaden Beschreibung des Gebäudes: Gebietsnutzung: allgemeines Wohngebiet Immissionsort-Bezeichnung (Adresse): Freischützstr. 84 Deckenbauweise, Stockwerk: Betondecke, 1. OG	Übertragungsfaktoren 																												
Immissionswerte: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2" style="font-size: small;">Anre-gungs-quelle:</th> <th colspan="3">Erschütterung</th> <th colspan="3">sek. Luftschall</th> </tr> <tr> <th style="font-size: small;">KB-fmax:</th> <th style="font-size: small;">KB-Tr,Tag:</th> <th style="font-size: small;">KB-Tr,Nacht:</th> <th style="font-size: small;">Lmax:</th> <th style="font-size: small;">Leq,Tag:</th> <th style="font-size: small;">Leq,Nacht:</th> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">□</td> <td>0.236</td> <td>0.053</td> <td>0.048</td> <td>39.0</td> <td>21.0</td> <td>20.2</td> </tr> <tr> <td>gesamt:</td> <td>0.236</td> <td>0.053</td> <td>0.048</td> <td>39.0</td> <td>21.0</td> <td>20.2</td> </tr> </table>	Anre-gungs-quelle:	Erschütterung			sek. Luftschall			KB-fmax:	KB-Tr,Tag:	KB-Tr,Nacht:	Lmax:	Leq,Tag:	Leq,Nacht:	□	0.236	0.053	0.048	39.0	21.0	20.2	gesamt:	0.236	0.053	0.048	39.0	21.0	20.2	Körperschallschnelle-Immissionspegel 	
Anre-gungs-quelle:		Erschütterung			sek. Luftschall																								
	KB-fmax:	KB-Tr,Tag:	KB-Tr,Nacht:	Lmax:	Leq,Tag:	Leq,Nacht:																							
□	0.236	0.053	0.048	39.0	21.0	20.2																							
gesamt:	0.236	0.053	0.048	39.0	21.0	20.2																							
Beurteilung: Anhaltswerte der DIN 4150 eingehalten: ja ja ja	24.BimSchV eingehalten: x ja ja																												

Datei: 02_08_22 Datei: I:\progr\eps\fre84g.ged

TJO-1509: Neubaustrecke „Tram Johanneskirchen“, 81927 München; hier: erschütterungstechnische Einwirkungen aus Straßenbahnverkehr
Beurteilung nach 4150-2 u.a., Projekt-Nr. 21123_ers_gu01_v2

<p>hils consult gmbh</p>	<p>Ermittlung von Erschütterungs- Immissionen in Gebäuden</p>	<p>Projekt Nr.: 21123 Anlage</p>																											
<p>TJO-1509 PP 2035 Wendeschleife</p> <p>Anregungsquellen: <input type="checkbox"/> Wendeschleife, wie Benzlauer Platz</p>																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: left;">Anregungsquelle</th> <th>Häufigkeit</th> <th>Dauer</th> <th>Abstände</th> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">Anzahl Tag; davon in Ruhezeiten; Anzahl Nacht</td> <td style="font-size: small;">Anzahl Tag; davon in Ruhezeiten; Anzahl Nacht</td> <td style="font-size: small;">mittlere Vorbeifahrtzeit</td> <td style="font-size: small;">vom Anregungsort zum Messort; Immissionsort</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 36 0 40</td> <td><input type="checkbox"/> 36 0 40</td> <td>9,0 s</td> <td>8,5 m 0,0 m</td> </tr> </table>	Anregungsquelle	Häufigkeit	Dauer	Abstände	Anzahl Tag; davon in Ruhezeiten; Anzahl Nacht	Anzahl Tag; davon in Ruhezeiten; Anzahl Nacht	mittlere Vorbeifahrtzeit	vom Anregungsort zum Messort; Immissionsort	<input type="checkbox"/> 36 0 40	<input type="checkbox"/> 36 0 40	9,0 s	8,5 m 0,0 m	<p style="text-align: right;">dB ref. 5*10⁻⁸ m/s</p> <p>Körperschallschnelle-Ausgangspegel</p> 																
Anregungsquelle	Häufigkeit	Dauer	Abstände																										
Anzahl Tag; davon in Ruhezeiten; Anzahl Nacht	Anzahl Tag; davon in Ruhezeiten; Anzahl Nacht	mittlere Vorbeifahrtzeit	vom Anregungsort zum Messort; Immissionsort																										
<input type="checkbox"/> 36 0 40	<input type="checkbox"/> 36 0 40	9,0 s	8,5 m 0,0 m																										
<p>Übertragungsfaktoren:</p> <p>Peqänderung durch Abstandsdifferenz Messpunkt-Immissionsort: <input type="checkbox"/> keine</p> <p>Dämpfungsmagnahmen im Ausbreitungsweg: <input type="checkbox"/> keine</p> <p>Maßnahme am Gebäudefundament: <input type="checkbox"/> keine</p> <p>Übertragungsfaktoren des Gebäudes: <input checked="" type="checkbox"/> Leitfacen</p> <p>Beschreibung des Gebäudes: Gebietnutzung: al gemeinsames Wohngebiet Immissionsort-Bezeichnung (Adresse): Freischützstr. 84 Deckenbauweise, Stockwerk: Betondecke, 1. OG</p>	<p>Übertragungsfaktoren</p> 																												
<p>Immissionswerte:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2" style="font-size: small;">Anregungsquelle</th> <th colspan="3" style="text-align: center;">Erschütterung</th> <th colspan="3" style="text-align: center;">sek. Luftschall</th> </tr> <tr> <th style="font-size: small;">KB-Fmax</th> <th style="font-size: small;">KB-Tr,Tag</th> <th style="font-size: small;">KB-Tr,Nacht</th> <th style="font-size: small;">Lmax</th> <th style="font-size: small;">Leq,Tag</th> <th style="font-size: small;">Leq,Nacht</th> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>0.088</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>32.9</td> <td>14.7</td> <td>13.9</td> </tr> <tr> <td>gesamt:</td> <td>0.088</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>32.9</td> <td>14.7</td> <td>13.9</td> </tr> </table> <p>Beurteilung: Anhaltswerte der DIN 4150 eingehalten: ja ja ja 24hMischV eingehalten: x ja ja</p>	Anregungsquelle	Erschütterung			sek. Luftschall			KB-Fmax	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht	<input checked="" type="checkbox"/>	0.088	0.000	0.000	32.9	14.7	13.9	gesamt:	0.088	0.000	0.000	32.9	14.7	13.9	<p>Körperschallschnelle-Immissionspegel</p>  <p style="text-align: center;">Terzmittenfrequenzen [Hz]</p>	
Anregungsquelle		Erschütterung			sek. Luftschall																								
	KB-Fmax	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht																							
<input checked="" type="checkbox"/>	0.088	0.000	0.000	32.9	14.7	13.9																							
gesamt:	0.088	0.000	0.000	32.9	14.7	13.9																							

Datum: 02.08.22 Datei: HILSprojekte\tr84m.ged