

Erschütterungstechnische Untersuchung

PaketPost-Areal

in München

Bericht Nr. 710-6150-2-Ersch

im Auftrag der

PI Nymphenburg Entwicklung GmbH & Co. KG

82031 Grünwald

München, im Mai 2024

Erschütterungstechnische Untersuchung

PaketPost-Areal in München

Bericht-Nr.: 710-6150-2-Ersch

Datum: 07.05.2024

ersetzt den Bericht 710-6150-1-Ersch vom 08.11.2023

Auftraggeber: PI Nymphenburg Entwicklungs GmbH & Co. KG
Nördliche Münchner Straße 16
82031 Grünwald

Auftragnehmer: Möhler + Partner Ingenieure GmbH
Beratung in Schallschutz + Bauphysik
Landaubogen 10
D-81373 München
T + 49 89 544 217 - 0
F + 49 89 544 217 - 99
www.mopa.de
info@mopa.de

Bearbeiter: M. Sc. C. Bews
M.Sc. Peter Patsch

Inhaltsverzeichnis:

1. Aufgabenstellung	8
2. Örtliche Gegebenheiten	8
3. Grundlagen	9
3.1 Erschütterungen	9
3.2 Sekundärluftschall	11
4. Belegungsprogramm	12
5. Messungen	13
5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung	13
5.2 Messgeräte	14
5.3 Ankopplung der Messpunkte	15
6. Messergebnisse	15
7. Beurteilung	18
7.1 Erschütterungen	18
7.2 Sekundärluftschall	18
7.3 Alternative Bauweisen	19
8. Formulierungsvorschlag für die Festsetzungen des Bebauungsplans	19
9. Anlagen	23

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1:	Anhaltswerte zur Beurteilung der Immissionen von Erschütterungen nach Tabelle 1 der DIN 4150-2 [4]	10
Tabelle 2:	Immissionsrichtwerte „Innen“ nach TA Lärm [dB(A)].....	11
Tabelle 3:	Anzahl der Vorbeifahreignisse anhand [10] (gerundet)	13
Tabelle 4:	Dokumentation zur Lage der Messpunkte.....	14
Tabelle 5:	Messtechnisch erfasste verwertbare Vorbeifahrten während der Messzeit	14
Tabelle 6:	Höchster prognostizierter KB_{FTm} - Wert bzw. KB_{FTn} - Wert tags / nachts auf den Geschosdecken des künftigen Gebäudes an den Messpunkten.....	16
Tabelle 7:	Mittlere prognostizierte Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls in Räumen des zukünftigen Gebäudes an den Messpunkten.....	16

Grundlagenverzeichnis:

- [1] Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 11 Absatz 3 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202) geändert worden ist
- [2] Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786), die zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 3. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 176) geändert worden ist
- [3] DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Dezember 2022
- [4] DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [5] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung, Juni 2020
- [6] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503), zuletzt geändert durch Bekanntmachung des BMUB vom 1. Juni 2017 (BANz AT 08.06.2017 B5), in Kraft getreten am 9. Juni 2017
- [7] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren, Juni 2005
- [8] Beiblatt 1 zu DIN 45680, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft – Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen, März 1997
- [9] Körperschall: Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, L. Cremer und M. Heckl, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996
- [10] Verkehrsmengen der Straßenbahn im Bereich der Haltestelle Briefzentrum, übermittelt per Email von [REDACTED] Stadtwerke München GmbH am 15.01.2021
- [11] Bebauungsplan Nr. 272 der Landeshauptstadt München, Arnulf-Wilhelm-Hale-Straße, Postbahnhof, Maßstab 1:1000, Stand: 12.05.1967
- [12] Bebauungsplan Nr. 12926a der Landeshauptstadt München, Bereich Birketweg zwischen Hirschgarten, Arnulf-, Schäringer-, Richelstraße, Donnersbergerbrücke und südlich bis Gleisbereich, Maßstab 1:1000, Stand: 05.03.2007
- [13] Bebauungsplan Nr. 1926b der Landeshauptstadt München, Wilhelm-Hale-Straße (westlich), Schloßschmidstraße (nördlich) und Hirschgarten (östlich), Stand: 01.07.2008
- [14] Bebauungsplan mit Grünordnung Nr. 1902 der Landeshauptstadt München, Arnulf-, Nibelungenstraße bis Ferdinand-Maria-Straße, entlang der nördl. und östl. Grundstücksgrenze des Käthe-Kollwitz-Gymnasiums sowie Steubenplatz, Maßstab 1:1000, Stand: 22.05.2002

-
- [15] Flächennutzungsplan mit integrierter Landschaftsnutzung, Link: <https://geoportal.muenchen.de/portal/fnp/>; zuletzt aufgerufen am 05.06.2023
 - [16] Entwurf des Masterplans zum Paket-Post-Areal, Herzog & De Meuron; Planstand: 14.02.2023
 - [17] Planunterlagen (Grundrisse, Ansichten, etc.) zum Paket-Post-Areal, Herzog & De Meuron; Planstand: 25.05.2023
 - [18] Stellungnahme des Referates für Stadtplanung und Bauordnung zur Bauleitplanung für das PaketPost-Areal Verfahren gem. § 4 Abs. 1 BauGB vom 10.06.2020
 - [19] Erschütterungstechnische Untersuchung PaketPost-Areal in München, M+P Bericht Nr. 710-6150-1-Ersch vom 08.11.2023

Zusammenfassung:

Die Stadt München plant die Aufstellung des Bebauungsplans Nr. 2147 auf dem jetzigen Briefverteilzentrum der Post an der Arnulfstraße in München. Nördlich des Plangebietes verläuft die Arnulfstraße inkl. Trambahnschienenverkehr.

Im Rahmen einer erschütterungstechnischen Untersuchung wurden die Erschütterungen im Erdreich gemessen sowie für das Vorhaben prognostiziert und beurteilt. Die Untersuchung kommt zu folgendem Ergebnis:

- Die Unterschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150-2 lassen keine erheblichen Belästigungen durch Erschütterungen innerhalb des Plangebietes erwarten. Es sind keine erschütterungsmindernden Maßnahmen am geplanten Baukörper notwendig.
- Ab einem Abstand von mindestens 20 m zur Gleisachse werden bei Massivbauweise mit Stahlbetondecken die Innenraumrichtwerte der TA Lärm (35/25 dB(A) tags/nachts) durch den Sekundärluftschall eingehalten. Die Innenraumrichtwerte für kurzzeitige Geräuschspitzen gemäß TA Lärm (45/35 dB(A) Tag/Nacht) werden ab einem Mindestgleisabstand von 10/20 m Tag/Nacht eingehalten. Gemäß der uns vorliegenden Planung ist ein Abstand der nördlichen Gebäudekante zur Gleisachse von 21 m vorgesehen. Somit sind keine Überschreitungen der Innenraumrichtwerte durch den Sekundärluftschall an den Plangebäuden bei der Errichtung in Massivbauweise mit Stahlbetondecken zu erwarten. Bei einer alternativen Bauweise können jedoch Überschreitungen der Innenraumrichtwerte durch den Sekundärluftschall an den Plangebäuden nicht ausgeschlossen werden. Erschütterungsmindernde Maßnahmen an den geplanten oberirdischen und unterirdischen Baukörpern sind dementsprechend voraussichtlich für die Baufelder MU 1 und MU2 notwendig.
- Aufgrund von Erschütterungen durch den Anlieferungsverkehr sind keine erheblichen Belästigungen innerhalb des Plangebietes zu erwarten.

Für die Satzung und Begründung des Bebauungsplans wurden Formulierungsvorschläge unterbreitet.

1. Aufgabenstellung

Die Stadt München plant die Aufstellung des Bebauungsplans Nr. 2147 auf dem jetzigen Briefverteilzentrum der Post an der Arnulfstraße in München. Die Planung sieht auf dem Areal der Paketposthalle eine urbane Quartiersnutzung mit, Büro, Gewerbe (Gastronomie, Hotel, etc.), Soziale Einrichtungen, Wohnen und in der Paketposthalle selbst Veranstaltungen vor.

Nördlich des Plangebietes verläuft die Arnulfstraße inkl. Trambahnschienenverkehr. Ca. 230 m südlich des Plangebietes befindet sich die Stammstrecke der Deutschen Bahn und der S-Bahnhaltepunkt Hirschgarten. In einem Abstand von ca. 140 m zur Plangebietsgrenze befindet sich die DB-Abstellanlage.

Im Rahmen einer erschütterungstechnischen Untersuchung wurden die auf das Plangebiet einwirkenden Erschütterungen sowie Sekundärluftschall, die durch die Zugvorbeifahrten verursacht werden, anhand einer Messung prognostiziert und nach den einschlägigen Richtlinien beurteilt [19]. Aufgrund der Planänderungen im Masterplan ist eine Aktualisierung bzw. Überarbeitung der Untersuchung notwendig.

Mit der Durchführung der Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure GmbH am 12.11.2019 von der PI Nymphenburg Entwicklungs GmbH & Co. KG beauftragt.

2. Örtliche Gegebenheiten

Der Geltungsbereich des geplanten Bebauungsplans Nr. 2147 – im weiteren Verlauf als Plangebiet bezeichnet – befindet sich im Geltungsbereich des bestehenden Bebauungsplans Nr. 1926a [12] und ist als SO Gebiet für postalische Nutzung und südlich der Arnulfstraße und östlich der Wilhelm-Hale-Straße als Kerngebiet ausgewiesen. Das Plangebiet wird nördlich durch die Arnulfstraße, westlich durch die Wilhelm-Hale-Straße und südlich durch den Birketweg und die Reitknechtstraße begrenzt. Östlich des Plangebiets befinden sich gemäß dem Bebauungsplan Nr. 1926a [12] Allgemeine Wohngebiete. Im südlichen Anschluss an die Reitknechtstraße liegen gemäß des Bebauungsplans Nr. 1926a [12] Sondergebietsflächen (Citylogistikzentrum) und Gewerbegebiete vor. Südwestlich des Plangebiets – eingeschlossen durch den Birketweg und südlich des Birketwegs – befinden sich entsprechend [12] Kerngebiete. Daran westlich angrenzend setzt der Bebauungsplan Nr. 1926a [12] ein Allgemeines Wohngebiet fest. Der Bebauungsplan Nr. 1926b [13] – westlich der Wilhelm-Hale-Straße – setzt ebenfalls ein Allgemeines Wohngebiet fest. Nordöstlich des Plangebiets – südlich der Arnulfstraße – schließen gemäß dem Bebauungsplan Nr. 272 [11] Gewerbegebiete an. Im nördlichen Anschluss an die Arnulfstraße befinden sich laut dem Flächennutzungsplan [15] Reine Wohngebiete und westlich davon gemäß dem Bebauungsplan Nr. 1902 [14] eine Kleingartensiedlung. Das Plangebiet und der weitere Umgriff sind im Wesentlichen eben.

Nördlich des Plangebietes verläuft die Arnulfstraße. In Straßenmitte befindet sich die Trambahntrasse mit der Haltestelle Briefzentrum. Die aktuelle Schienentrasse verläuft mit Ausnahme der Straßenübergänge in einem Rasengleis. Ca. 230 m südlich des Plangebietes befindet sich die Stammstrecke der Deutschen Bahn und der S-Bahnhaltepunkt Hirschgarten. In einem Abstand von ca. 140 m zur Plangebietsgrenze befindet sich die DB-Abstellanlage. Die genauen örtlichen Gegebenheiten können dem Lageplan in Anlage 1 entnommen werden.

3. Grundlagen

3.1 Erschütterungen

Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden werden mittels der bewerteten Schwingstärke $KB_f(t)$ bewertet. Das $KB_f(t)$ -Signal ist das durch Frequenzbewertung und Normierung des unbewerteten Schnellsignals entstandene Signal. Nach DIN 45669-2 [7] ist das $KB_f(t)$ -Signal als der gleitende Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals durch die Zeitbewertung FAST (0,125 s) definiert.

Hinsichtlich der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden nach DIN 4150, Teil 2 [4] werden zwei Beurteilungsgrößen gebildet:

- Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{fmax} ist der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_f(t)$, der während der jeweiligen Beurteilungszeit (einmalig oder wiederholt) auftritt und der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist.
- Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} berücksichtigt die Dauer und die Häufigkeit des Auftretens von Erschütterungen. Hinsichtlich der Dauer der Erschütterungsereignisse werden jeweils 30-s-Takte (Taktmaximalwertverfahren) gebildet.

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} wird nach folgender Gleichung gebildet:

$$KB_{FT} = KB_{FTm} * (T_e/T_r)^{0,5}$$

Dabei ist:

- T_r Beurteilungszeit (tags 16 h, nachts 8 h)
- T_e Summe aller Taktzeiten, während derer Erschütterungen einwirken
- KB_{FTm} Taktmaximal-Effektivwert

Der Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} ist die Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte KB_{FTi} nach Gleichung (3) der DIN 4150-2¹[4]:

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2}{N}}$$

Die Beurteilung erfolgt nach folgender Vorgehensweise:

- Ist KB_{Fmax} kleiner als der untere Anhaltswert A_u , dann sind die Anforderungen der Norm eingehalten.

¹ Bei der Berechnung der Taktmaximal-Effektivwerte KB_{FTm} werden Werte $KB_{FTi} \leq 0,1$ mit dem Wert 0 angesetzt. Die mit Null belegten Takte gehen jedoch auch in die Anzahl N ein.

- 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 der KB_{Ftr} kleiner als der Anhaltswert A_r ist.
- Ist der KB_{Fmax} größer als der obere Anhaltswert A_o bzw. der KB_{Ftr} größer als der Anhaltswert A_r , dann sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten.

Mit Änderung der BauNVO [2] wurde die Gebietskategorie des Urbanen Gebietes als schutzwürdige Nutzung eingeführt. Die bisher geltenden Verordnungen, Verwaltungsvorschriften und Normen des Immissionsschutzes müssen daher überarbeitet werden. Die 18. BImSchV sowie die TA Lärm wurden bereits hinsichtlich des Urbanen Gebietes überarbeitet und rechtskräftig eingeführt. Über eine mögliche Änderung der DIN 4150 ist von Seiten des Normungsausschusses derzeit nichts bekannt, sodass für das Urbane Gebiet keine Anhaltswerte vorliegen. Aus diesem Grund wurde zur Einstufung des Urbanen Gebietes anhand vergleichbarer Untersuchungen hilfsweise die Einstufung als Mischgebiet nach der DIN 4150-2 mit den entsprechenden Anhaltswerten nach Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 [4] herangezogen.

Tabelle 1: Anhaltswerte zur Beurteilung der Immissionen von Erschütterungen nach Tabelle 1 der DIN 4150-2 [4]							
Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
2	Gewerbegebiete	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Misch-, Kerngebiete	0,2	5	0,10	0,15	0,3	0,07
4	Allgemeine bzw. Reine Wohngebiete	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05

Bei der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen aus oberirdischem Schienenverkehr gelten folgende Besonderheiten:

- Bei der Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{Ftr} wird der Faktor 2 zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten nicht angewendet.
- Für den Schienenverkehr hat der (obere) Anhaltswert nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten.
- Für oberirdische Schienenwege des ÖPNV gelten um den Faktor 1,5 angehobene A_u und A_r Werte nach Tabelle 1

Einen Hinweis auf die Fühlbarkeit der Erschütterungseinwirkung gibt nach DIN 4150-2 [4] die Größe KB_{Fmax} :

„... Die Fühlschwelle liegt bei den meisten Menschen im Bereich zwischen $KB = 0,1$ und $KB = 0,2$. In der Umgebungssituation „Wohnung“ werden auch bereits gerade spürbare Erschütterungen als störend empfunden. Erschütterungseinwirkungen um $KB = 0,3$ werden beim ruhigen Aufenthalt in Wohnungen überwiegend bereits als gut spürbar und entsprechend stark störend wahrgenommen...“

3.2 Sekundärluftschall

Der innerhalb eines Gebäudes auf Körperschallimmissionen zurückzuführende Luftschall durch Bauwerksschwingungen von Raumbegrenzungsflächen (Wände und vor allem Geschossdecken) wird als sekundärer Luftschall bezeichnet und als tieffrequenter Luftschall wahrgenommen.

Bei der Beurteilung der sekundären Luftschallabstrahlung durch verkehrsbedingte Einwirkungen (z.B. Straßen- und Schienenverkehr) existieren keine spezifischen Regelungen mit einer Festlegung von Richtwerten. Es muss demnach auf Richtlinien aus anderen schalltechnischen Bereichen zurückgegriffen werden, die für die Körperschallübertragung innerhalb von Gebäuden oder tieffrequente Schallimmissionen Aussagen treffen.

Im Rahmen der Bauleitplanung sowie bei zivilrechtlichen Auseinandersetzungen ist es in Bayern gängige Praxis, die Beurteilung der Einwirkungen durch sekundären Luftschall nach der TA Lärm [6] bzw. der DIN 45680 [8] durchzuführen (diese Richtlinien regeln generell die Geräuschübertragung innerhalb von Gebäuden bzw. tieffrequente Geräusche durch gewerbliche Anlagen). Die genannten Immissionsrichtwerte gelten gebietsunabhängig für schutzbedürftige Räume:

Beurteilungszeitraum	Mittelungspegel L_m	Maximalpegel L_{max}
Tags (06.00 – 22.00 Uhr)	35	45
Nachts (22.00 – 06.00 Uhr)	25	35

Die Anforderungen der Richtlinie gelten demnach als erfüllt, wenn der Mittelungspegel des sekundären Luftschalls im Zeitraum Tag (06.00 – 22.00 Uhr) 35 dB(A) und im Zeitraum Nacht (22.00 – 06.00 Uhr) 25 dB(A) nicht überschreitet. Es soll zudem vermieden werden, dass kurzzeitige Geräuschspitzen (hier der mittlere Maximalpegel bei der Trambahnvorbeifahrt) den Richtwert um mehr als 10 dB(A) überschreiten.

Durch die Schwingungsanregung der Wände und vor allem der Geschossdecken wird sekundärer Luftschall durch die Raumbegrenzungsflächen abgestrahlt. Zwischen der Schwingschnelle in den Raumbegrenzungsflächen, den jeweiligen Abstrahl- und Absorptionsverhältnissen im Raum und den daraus resultierenden Schalldruckpegeln im Raum besteht ein direkter Zusammenhang.

Ein allgemein gültiges Berechnungsverfahren kann jedoch aufgrund des sehr komplexen Wirkungsgefüges der o.g. Zusammenhänge im hier bestimmenden Frequenzbereich unter 100 Hz nicht angegeben werden.

Aufgrund von Erfahrungen kann der sekundäre Luftschall in guter Näherung nach folgender Formel abgeschätzt werden [9]:

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

Dabei bedeuten:

- $L_{pA}(f_T)$ 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
σ (f_T)	Abstrahlgrad
f_T	Terzmittenfrequenz

Für eine genauere Betrachtung des sekundären Luftschalls müsste die mittlere Schnellepegelverteilung aller abstrahlenden Flächen mit den zugehörigen Abstrahlgraden und den äquivalenten Absorptionsgraden bekannt sein. Aufgrund von Erfahrungswerten für raumakustische Verhältnisse in Wohnräumen und mit Wohnräumen vergleichbar ausgestatteten Räumen können zur Abschätzung folgende Werte für S, A und σ angesetzt werden.

S	$\approx 2 \times$ Grundrissfläche G
A	$\approx 0,8 \times$ Grundrissfläche G
σ (f_T)	= 1 für Frequenzen $> f_g$. Für tiefere Frequenzen als die Grenzfrequenz f_g erfolgt eine Absenkung

Diese Korrektur wird terzweise zu den Prognosespektren der Erschütterungsimmissionen addiert. Die so ermittelten sekundären Luftschallpegel stellen mittlere Maximalpegel L_{max} während der Trambahnvorbeifahrten dar. Die Berechnung erfolgt im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz.

4. Belegungsprogramm

Derzeit verlaufen auf der Arnulfstraße die Trambahnlinien 16, 17 und N16. Um im Bauleitverfahren einen gewissen Planungshorizont zu gewährleisten, wurde bei der SWM um eine Prognose für den Trambahnverkehr im Bereich der Haltestelle Briefzentrum für das Jahr 2035 angefragt.

Nachdem der Fuhrpark der SWM/MVG derzeit zwei-, drei- und vierteilige Fahrzeuge umfasst, die nach Zulassung der Aufsichtsbehörde in absehbarer Zeit teils auch zu fünfteiligen Doppeltraktionen zusammengekoppelt werden können, und mittelfristig bis 2035 auch über die Beschaffung sechsteiliger Züge nachgedacht wird, ist die SWM dazu übergegangen, bei Verkehrslärmprognosen wie in vorliegendem Fall zum Erhalt der fahrplantechnischen Flexibilität im Straßenbahnnetz die notwendige bzw. erwartete benötigte Kapazität in 2-achsigen Wagenteilen á 9 m Länge pro Bemessungszeitraum (Tag/Nacht) anzugeben. Damit sind verschiedenste Fahrplan-, Netz- und Fahrzeugeinsatzkonzepte darstellbar. Die Trambahnbewegungen [10] für den zweigleisigen Abschnitt im Bereich der Haltestelle Briefzentrum betragen:

Tagzeitraum (6-22 Uhr):	2.304 Wagenteile für die Summe beider Fahrtrichtungen
Nachtzeitraum (22-6 Uhr):	598 Wagenteile für die Summe beider Fahrtrichtungen

Aufgrund der Angabe der 2-achsigen Wagenteile á 9 m Länge pro Bemessungszeitraum wäre eine theoretische dritte Linie bereits berücksichtigt.

Für die vorliegende Untersuchung sind jedoch nicht die Anzahl der Wagenteile relevant sondern die Ereignisse der Vorbeifahrten der Tram, die sich aus mehreren Wagenteilen zusammensetzen. In folgender Tabelle ist in Abhängigkeit der Wagenanteile der Fahrzeuge die mögliche Anzahl der Vorbeifahreignisse dargestellt.

Tabelle 3: Anzahl der Vorbeifahreignisse anhand [10] (gerundet)						
Zeitraum	Richtung	Fahrzeuge				
		Zweiteilig	Dreiteilig	Vierteilig	Fünfteilig	Sechsteilig
Tag (6-22 Uhr)	Gleis 1	576	384	288	230	192
	Gleis 2	576	384	288	230	192
Nacht (22-6 Uhr)	Gleis 1	150	100	75	60	50
	Gleis 2	150	100	75	60	50

Um auf der sicheren Seite zu liegen wurde die größte Anzahl an Vorbeifahrten (zweiteilige Fahrzeuge) berücksichtigt, dies wäre ca. ein 2-Minuten-Takt am Tag und ein 3-Minuten-Takt im Nachtzeitraum. Das dem Plangebiet nächstgelegene Gleis ist das Gleis 1 nach Osten (Ri Hackerbrücke). Das Gleis 2 führt nach Westen (Ri Romanplatz). Die Lage der Bahnstrecke und Gleisanlagen im Bereich des Plangebietes sind aus Anlage 1 ersichtlich.

Gemäß der Stellungnahme des Referates für Stadtplanung und Bauordnung [18] ist entlang der Wilhelm-Hale-Straße eine Tramlinie Neuhausen – Sendling – Solln in dem noch vom Stadtrat zu beschließenden Zielnetz Tram 2035 + der LHM in der Kategorie enthalten. Konkrete Planungen liegen dazu nicht vor. Für die Realisierung der Linie muss ein Planfeststellungsverfahren durchgeführt werden, sodass die Belange der bestehenden Nachbarschaft berücksichtigt werden. Aus diesen o.g. Gründen ist eine Berücksichtigung in der vorliegenden Untersuchung derzeit nicht möglich und negative Auswirkungen nicht ableitbar, somit wird diese Linie nicht weitergehend betrachtet.

5. Messungen

5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung

Es wurde an ausgewählten Messpunkten in verschiedenen Abständen zur Bahnstrecke gemessen. Die Messungen fanden am 08.12.2020 in der Zeit von 10:00 bis 11:00 Uhr statt. Für die messtechnische Ermittlung von erforderlichen Abständen zum Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall wurden Messpunktzeilen mit unterschiedlichen orthogonalen Abständen zur Bahntrasse angeordnet. An dem Messquerschnitt werden anschließend Verlaufsfunktionen der Erschütterungs- und Sekundärluftschalleinwirkungen durch Regressionsfunktionen ermittelt, sog. Abklingfunktionen. Auf Basis der gemessenen Abklingfunktionen können die Zahlenwerte an zusätzlichen Einzelmesspunkten (Verdichtungsstützpunkte) abgeglichen und die erforderlichen Abstände bestimmt werden.

Die Dokumentation zur Lage der Messpunkte ist in folgender Tabelle 4 sowie in Anlage 1 und in der photographischen Dokumentation in Anlage 2 dargestellt. Die Auswertung der Messungen erfolgt bezüglich der Gleisachse; die globalen Abstandsangaben beziehen sich auf die Mitte des Gleises.

Messpunkt	Lage des Messpunkts	Messrichtung	Abstand zur Gleisachse ca. [m]
MP 1	Geländeoberfläche	vertikal	13
MP 2	Geländeoberfläche	vertikal	20
MP 3	Geländeoberfläche	vertikal	27
MP 4	Geländeoberfläche	vertikal	20

In der nachfolgenden Tabelle 5 ist die Anzahl der messtechnisch erfassten verwertbaren Vorbeifahrten der Trambahnen während der Messzeit an den Messquerschnitten aufgelistet. Zum Messzeitpunkt war das Planungsgebiet weitestgehend frei von Störeinflüssen (Fremdbelastung, meteorologische Einflüsse, kein Bodenfrost usw.).

Fahrzeugklasse	Gleis	Mittlere gemessene Geschwindigkeit [km / h]	Anzahl der gemessenen Vorbeifahrten
Trambahn	1	20	9
Trambahn	2	30	10

Die Geschwindigkeiten der vorbeifahrenden Züge wurden unter Verwendung einer Radarpistole der Firma Bushnell erfasst und protokolliert. Da sich der Untersuchungsbereich ca. 35 m vor der Haltestelle Briefzentrum befindet, wurde eine Verringerung bzw. Beschleunigung der Fahrgeschwindigkeit aufgezeichnet.

5.2 Messgeräte

Für die Messungen und Auswertungen wurden folgende Geräte verwendet:

- Geophone ICP Seismometer vertical der Fa. SINUS Messtechnik, Serial-Nr. #0504152; #0504153; #0504154; #0504155
- geeichtes Mehrkanalmesssystem „Soundbook“ der Fa. Sinus Messtechnik, Leipzig
- Kalibrator VC21 der Fa. Metra
- Signalanalyse Software SAMURAI Version 2.8 der Fa. SINUS Messtechnik GmbH

Messunsicherheit

Bei der Ermittlung der Schwingungskenngrößen treten nach Nr. 5.4 Absatz 3 der DIN 4150-2 [4] Messunsicherheiten von bis zu 15 % auf. Die gerätebedingten Fehlergrenzen der Komponenten der Messunsicherheit können DIN 45669-1 [5] entnommen werden.

Zusätzliche Messunsicherheiten können allgemein durch Übersteuerung der Messgeräte, Störsignale, meteorologische Einflüsse oder Fremdeinwirkungen, schwankende Betriebszustände entstehen. Übersteuerungen, Störsignale und ungünstige meteorologische Bedingungen sind im vorliegenden Fall ohne Bedeutung.

5.3 Ankopplung der Messpunkte

Die Ankopplung der Geschwindigkeitsaufnehmer auf der Geländeoberfläche erfolgte über Erdspieße mit einer Länge von $l = 0,5$ m und X-förmigen Querschnitt entsprechend den Anforderungen der DIN 45669-2 [7]. Die Aufnehmer wurden mit dem Erdspieß mittels eines Adapters verschraubt. Die Erdspieße wurden in ebenen Untergrund geschlagen. Ein Verprellen der Spieße beim Einschlagen wurde weitestgehend vermieden. Der feste Sitz der Erdspieße wurde überprüft. Zudem wurde auf eine zur Ebene möglichst lotrechte Erdspieß-Achse geachtet.

6. Messergebnisse

Folgende Annahmen werden für eine Abschätzung der zu erwartenden Deckenschwingungen und der daraus resultierenden KB-Werte sowie dem prognostizierten Sekundärluftschall getroffen:

Anregung

An den Messpunkten wurde für jede Trambahnvorbeifahrt das sog. Max-Hold-Terzspektrum mit der Zeitbewertung „FAST“ im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz ausgewertet. In einem weiteren Schritt wurden die Spektren an jedem Messpunkt energetisch gemittelt. Anlage 3 zeigt die maßgebenden mittleren Terzpegelschnellespektren an allen Messpunkten.

Einleitung der Erschütterungen vom Erdreich in das Gebäude

Die Anregung des Gebäudfundaments wird in der Regel mit überhöhten Schwingschnellen in den Geschossdecken beantwortet. Die durch Resonanz bei den Eigenfrequenzen der Decken auftretenden Vergrößerungsfaktoren erreichen erfahrungsgemäß Werte von 3 bis 8, entsprechend einer Erhöhung der Schnellepegel um 10 bis 18 dB. Die Eigenfrequenzen von Beton-Rohdecken können i.d.R. im Bereich von 15 bis 40 Hz liegen. Die jeweiligen Berechnungen wurden für Rohdecken-Eigenfrequenzen bis ca. 40 Hz durchgeführt, wobei jeweils die Decken-Eigenfrequenz auf die Bodenresonanz gelegt wurde. Es ergeben sich somit über den oben dargestellten Frequenzbereich die höchsten Immissionen. Als Verstärkungsfaktor wurde 8 (= 18 dB) gewählt (worst-case). Die Vergrößerungsfaktoren für die anderen Frequenzen können aus dem Zusammenhang für die Vergrößerungsfunktion eines Ein-Massen-Schwingers

$$V = \left[\frac{1 + (2D\eta)^2}{(1 - \eta^2)^2 + (2D\eta)^2} \right]^{0,5}$$

mit D = Dämpfungsmaß und η = Erregerfrequenz / Eigenfrequenz

ermittelt werden. Als Dämpfungsmaß wurde ein Erfahrungswert $D = 0,065$ angesetzt.

Die Schwingungen des schwimmenden Estrichs bzw. des Gesamtdeckenaufbaus werden ebenfalls durch ein Massen-Schwinger-Modell angenähert. Typische Estrich-Eigenfrequenzen liegen im Bereich von 50 bis 80 Hz. Die resultierenden Deckenschwingungen werden einer Frequenzbewertung (KB-

Filterung) unterzogen und energetisch summiert. Die ermittelten KB-Werte sind aufgrund der Auswertung von Max-Hold-Spektren in Näherung als je Richtung gemittelte $KB_{F_{max}}$ -Werte ($KB_{F_{Tr}}$ -Werte je Fahrtrichtung nach DIN 4150, Teil 2) anzusehen.

Die Auswertung der gemessenen Schnellespektren führt für Rohdecken mit Eigenfrequenzen bis 40 Hz bzw. unter der Annahme des Einbaus eines schwimmenden Estrichs für Rohdecken mit Estrich und Estrich-Eigenfrequenzen von $f_0 = 50$ Hz zu den unten aufgelisteten höchsten $KB_{F_{Tr}}$ -Werten für ein zwei stöckiges Gebäude. Ausgehend von den Terzschnellespektren (Anlage 3) ergeben sich bei den Prognoseabschätzungen folgende Beurteilungsgrößen:

Tabelle 6: Höchster prognostizierter $KB_{F_{Tr}}$ -Wert bzw. $KB_{F_{Tr}}$ -Wert tags / nachts auf den Geschossdecken des künftigen Gebäudes an den Messpunkten

Messpunkt	Abstand zur Gleisachse ca. [m]	$KB_{F_{max}}$ - Wert	$KB_{F_{Tr}}$ - Wert	
			tags	nachts
MP 1	13	0,16	0,1	0,07
MP 2	20	0,03	≤ 0,05	0,02
MP 3	27	0,04	≤ 0,05	0,02
MP 4	20	0,04	≤ 0,05	0,02

Anm.: Die Tabellenwerte gelten für Rohdecken mit schwimmendem Estrich, ohne schwimmenden Estrich sind ca. 20 % geringere Werte zu erwarten.

Tabelle 7: Mittlere prognostizierte Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls in Räumen des zukünftigen Gebäudes an den Messpunkten

Messpunkt	Abstand zur Gleisachse ca. [m]	Mittlere Geräuschspitzen des sekundären Luftschalls $\overline{L_{A,max}}$ [dB(A)]	Mittelungspegel $L_{A,m}$ [dB(A)]	
			tags	nachts
MP 1	13	40	32	29
MP 2	20	28	21	18
MP 3	27	28	≤ 20	16
MP 4	20	29	21	18

Die Erschütterungseinwirkungen der DB-Abstellanlage und der Stammstrecke der Deutschen Bahn sind aufgrund von Abständen von mind. 140 m bzw. 230 m zur Plangebietsgrenze zu vernachlässigen.

Im vorliegenden Fall wird ein Großteil der Lkw-Anlieferung über eine Zufahrt im nordwestlichen Plangebiet abgewickelt. Die Ergebnisse einer umfangreichen Literaturrecherche und Erschütterungsmessungen des Straßenverkehrs am mittleren Ring zeigen, dass keine relevanten Einwirkungen durch Erschütterungen und Sekundärluftschall aus dem Lkw-Anlieferverkehr zu erwarten sind.

7. Beurteilung

Die Beurteilung der auf Erschütterungen und Sekundärluftschall zurückzuführenden Immissions-Situation erfolgte auf Grundlage der aus den Messdaten berechneten Mittelwerte. Die Immissionen einzelner Trambahnvorbeifahrten können jedoch deutlich (z.B. bei schadhaftem Zugmaterial) von diesen Mittelwerten abweichen.

Die Aussagen beziehen sich auf die vorliegenden Unterlagen, die zum Zeitpunkt der Messungen vorhandenen örtlichen Gegebenheiten im Ausbreitungsweg sowie des oberirdischen Schienenweges, die vorliegenden Trambahnzahlen und -gattungen, Geschwindigkeiten und pauschale Ansätze für die Reaktion eines Gebäudes in konventioneller Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) auf eine Schwingungsanregung. Eine anderweitige Bauweise (z.B. Holzbauweise) kann aufgrund der niedrigeren Eigenfrequenz zu möglichen höheren Einwirkungen führen.

Für die Beurteilung der Gesamtsituation müssen sowohl die Erschütterungen als auch der sekundäre Luftschall die entsprechenden Anhalts- und Richtwerte einhalten. Bei der Beurteilung der Einwirkungen auf das Bauvorhaben werden die Anhaltswerte der DIN 4150-2 [4] für Mischgebiete (vgl. Kapitel 3.1) bzw. die gebietsunabhängigen Immissionsrichtwerte „Innen“ der TA Lärm [6] herangezogen.

Gemäß den Planunterlagen [15] werden die mindestens VI-geschossigen Gebäude mit den entsprechenden Untergeschossen in einem Abstand von 21 m zur Gleisachse errichtet, somit kann der Messpunkt MP 1 vernachlässigt werden.

7.1 Erschütterungen

Ein Vergleich der ermittelten $KB_{F_{Tm}}$ -Werte von 0,03 (MP 2) bis 0,04 (MP 4) mit dem Anhaltswert A_v (0,2/0,15 tags/nachts) zeigt, dass das A_v - Kriterium im Tag- und Nachtzeitraum eingehalten wird.

Zusätzlich wird zur Beurteilung der Situation die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ herangezogen. Die Bewertung der prognostizierten Beurteilungs-Schwingstärken ($KB_{F_{Tr}}$ gem. Tabelle 6) zeigt, dass die Anhaltswerte A_v für Kerngebiete (0,10/0,07 tags/nachts) an allen Messpunkten im Tag- und Nachtzeitraum eingehalten werden.

Die Unterschreitungen der Anhaltswerte lässt somit bereits ohne weitergehende Schutzmaßnahmen am oberirdischen und unterirdischen Baukörper keine erheblichen Belästigungen durch Erschütterungen innerhalb des Bauvorhabens erwarten.

7.2 Sekundärluftschall

Die prognostizierten mittleren Maximalpegel betragen an dem Messpunkt MP 4 bis zu $L_{Amax} = 29$ dB(A) und die Mittelungspegel des Sekundärluftschalls betragen $L_{A,m} 21/18$ dB(A) tags/nachts.

Somit unterschreiten an allen maßgebenden Messpunkten (MP 2, 3 und 4) die prognostizierten Mittelungspegel des Sekundärluftschalls die Innenraumrichtwerte gemäß TA Lärm von 35/25 dB(A) tags/nachts. Die prognostizierten Maximalpegel des Sekundärluftschalls unterschreiten ebenfalls die

Innenraumrichtwerte für kurzzeitige Geräuschspitzen gemäß TA Lärm (45/35 dB(A) Tag/Nacht) im Tag- und Nachtzeitraum.

Das Einhalten der Richtwerte lässt bereits somit ohne weitergehende Schutzmaßnahmen am oberirdischen und unterirdischen Baukörper keine erheblichen Belästigungen durch Sekundärluftschall innerhalb des Bauvorhabens erwarten.

7.3 Alternative Bauweisen

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Erschütterungsprognose auf eine konventionelle Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) gestützt. Bei einer anderweitigen Realisierung der Gebäude können aufgrund niedriger Eigenfrequenzen ggf. höhere Einwirkungen auftreten.

Die derzeitige Planung sieht vor die Erdgeschosse sowie die großflächigen Untergeschosse in einer konventionellen Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) auszuführen. Bei einer Realisierung der Obergeschosse in einer alternativen Bauweise (z.B. Holz-Hybrid-Bauweise) ist bedingt durch die erhebliche Gebäudemasse im EG/ UG von keiner höheren Erschütterungseinwirkung auszugehen.. Eine Prognose bzgl. der Erschütterungs- bzw. Sekundärluftschalleinwirkungen bei Holz-Hybrid-Bauweise ist grundsätzlich möglich, setzt aber voraus, dass konkrete Details zu Decken-, Wand- und Fassadenaufbau vorliegen. Dies liegt daran, da es im Gegensatz zum Massivbau mit Stahlbetondecken keine Standard-Holz-Hybrid-Bauweise gibt. Geringfügige Veränderungen der baulichen Ausführung (u.a. bzgl. Raumgröße, Decken- und Wandaufbauten, Fassadenausführung) können einen signifikanten Einfluss auf die auftretenden Erschütterungs- sowie Sekundärluftschallimmissionen im Rauminneren haben. Im Zuge der Bauleitplanung eines Angebotsbebauungsplans liegen derart detaillierte Angaben grundsätzlich nicht vor. Sobald jedoch die konkrete Bauweise bekannt ist und diese von einer konventionellen Massivbauweise abweicht, sollte geprüft werden, welche konkreten Maßnahmen erforderlich werden, um die Anforderungen an den Erschütterungs- bzw. Sekundärluftschallschutz gem. DIN 4150-2 bzw. TA Lärm, Abschnitt 6.2 i.d.F. vom Juni 2017 einzuhalten. Im vorliegenden Fall befinden sich, abgesehen von den Plangebäuden MU 1 und MU 2, die nächstgelegenen Baugrenzen in einem Abstand von mind. 160 m zur nächstgelegenen Tramgleise. Aufgrund dieser Entfernung sind für diese Baufelder auch bei einer Holz-Hybrid-Bauweise keine relevanten Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen zu erwarten.

8. Formulierungsvorschlag für die Festsetzungen des Bebauungsplans

Satzung

- [1] Im Baugebiet MU 1 und MU 2 sind bei der Errichtung von Gebäuden mit schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen und baulich daran gekoppelten Gebäudeteile technische und konstruktive Maßnahmen hinsichtlich der sekundären Luftschallimmissionen und der Erschütterungsmissionen des Trambahnbetriebes vorzusehen, sodass die vorgegebenen Anforderungen an den Erschütterungs- bzw. Sekundärluftschallschutz gem. DIN 4150-2 bzw. TA Lärm, Abschnitt 6.2 i.d.F. vom Juni 2017 eingehalten werden.

- [2] Davon abweichend sind bei Massivbauweise mit Stahlbetondecken keine Maßnahmen hinsichtlich der sekundären Luftschallimmissionen und der Erschütterungsimmissionen des Tram-bahnbetriebes vorzusehen.

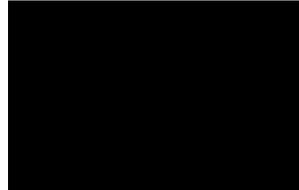
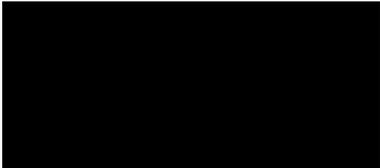
Begründung

Aufgrund der Nähe des Plangebietes zur nördlichen Trambahnstrecke wurde der Einfluss der schienenbedingten Erschütterungen und des Sekundärluftschalls untersucht und beurteilt. Bedingt durch die Höhe der Erschütterung und der sekundären Luftschallimmissionen des Bahnbetriebs sind bei der Errichtung von Gebäuden mit schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen von Wohnungen entlang der Bahntrasse sowie in baulich daran gekoppelten oberirdische und unterirdische Gebäudeteile technische bzw. konstruktive Maßnahmen in einem Bereich von bis zu 20 m von der nächstgelegenen Gleisachse vorzusehen, so dass die gemäß DIN 4150-2 und TA Lärm, Abschnitt 6.2 i.d.F. vom Juni 2017 vorgegebenen Anforderungen für Erschütterungen und Körperschallübertragungen eingehalten werden. Die Erschütterungs- und Sekundärluftschallprognose wurde für Stahlbetonbauweise durchgeführt. Eine anderweitige Bauweise (z.B. Holz-Hybrid-Bauweise) kann aufgrund der niedrigeren Eigenfrequenz zu möglichen höheren Einwirkungen führen. Somit würden sich ggf. größere Mindestabstände ergeben, um die Anforderungen an den Erschütterungs- bzw. Sekundärluftschallschutz gem. DIN 4150-2 bzw. TA Lärm, Abschnitt 6.2 i.d.F. vom Juni 2017 ohne technische und konstruktive Maßnahmen einhalten zu können. Eine Prognose bzgl. der Erschütterungs- bzw. Sekundärluftschalleinwirkungen bei Holz-Hybrid-Bauweise ist grundsätzlich möglich, setzt aber voraus, dass konkrete Details zu Decken-, Wand- und Fassadenaufbau vorliegen. Dies liegt daran, dass es im Gegensatz zum Massivbau mit Stahlbetondecken keine Standard-Holz-Hybrid-Bauweise gibt. Geringfügige Veränderungen der baulichen Ausführung (u.a. die Raumgröße, der Decken- und Wandaufbau, die Fassadenausführung) können einen signifikanten Einfluss auf die auftretenden Erschütterungs- sowie Sekundärluftschallimmissionen im Rauminnen haben. Im Zuge der Bauleitplanung liegen derart detaillierte Angaben grundsätzlich noch nicht vor. Sobald jedoch die konkrete Bauweise bekannt ist, sollte geprüft werden, welche konkreten Maßnahmen erforderlich werden, um die Anforderungen an den Erschütterungs- bzw. Sekundärluftschallschutz gem. DIN 4150-2 bzw. TA Lärm, Abschnitt 6.2 i.d.F. vom Juni 2017 einzuhalten. Im vorliegenden Fall befinden sich, abgesehen von den Plangebäuden MU 1 und MU 2, die nächstgelegenen Baugrenzen in einem Abstand von mind. 160 m zur nächstgelegenen Tramgleise. Aufgrund dieser Entfernung sind für diese Baufelder auch bei einer Holz-Hybrid-Bauweise keine relevanten Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen zu erwarten.

Dieses Gutachten umfasst 23 Seiten und 3 Anlagen. Die auszugsweise Vervielfältigung des Gutachtens ist nur mit Zustimmung der Möhler + Partner Ingenieure GmbH gestattet.

München, den 7. Mai 2024

Möhler + Partner
Ingenieure GmbH



9. Anlagen

Anlage 1: Lagepläne

Anlage 2: Fotographische Dokumentation

Anlage 3: Mittlere Max-Hold-Terzspektren an den Messpunkten

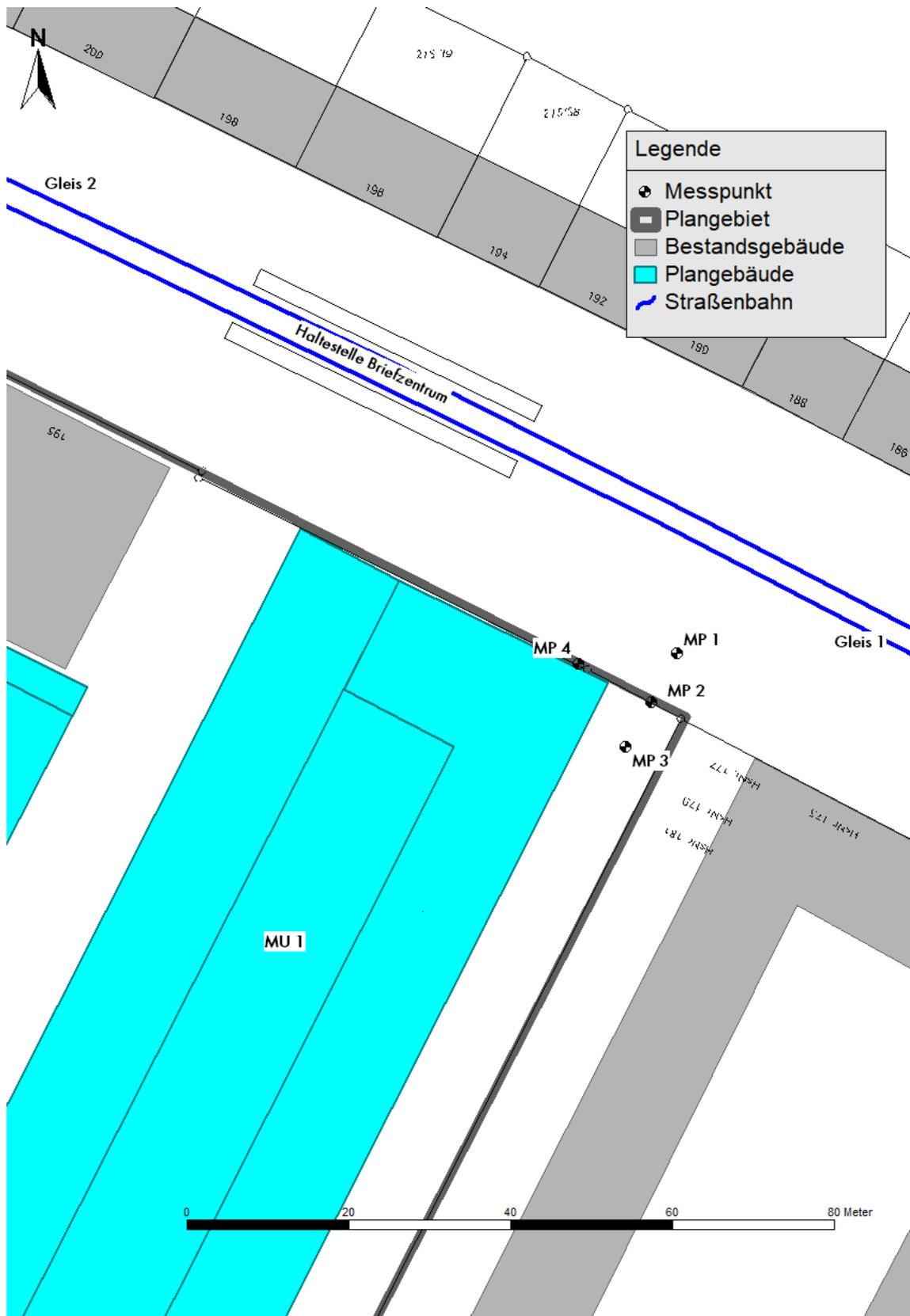
Anlage 1: Lagepläne

Gesamtübersicht



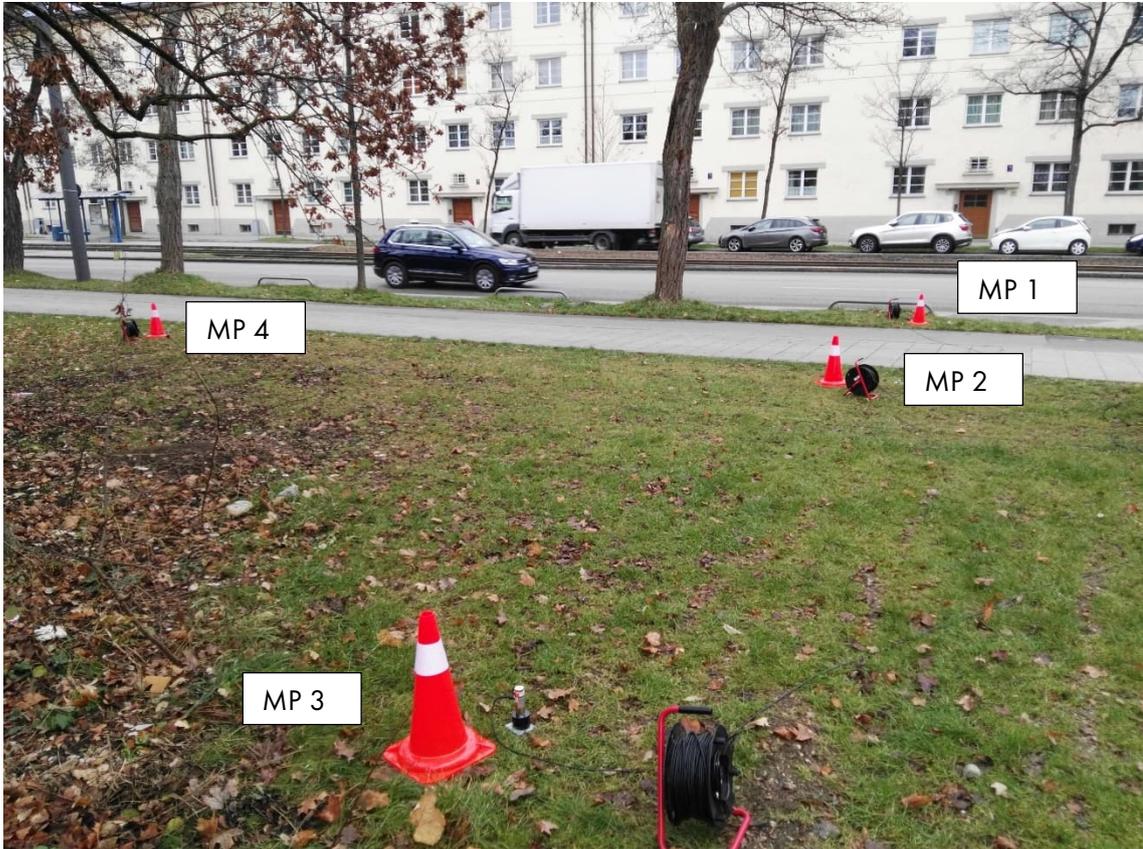
© eigene Darstellung mit Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung

Detailausschnitt mit Darstellung der Messpunkte



Anlage 2: Fotografische Dokumentation

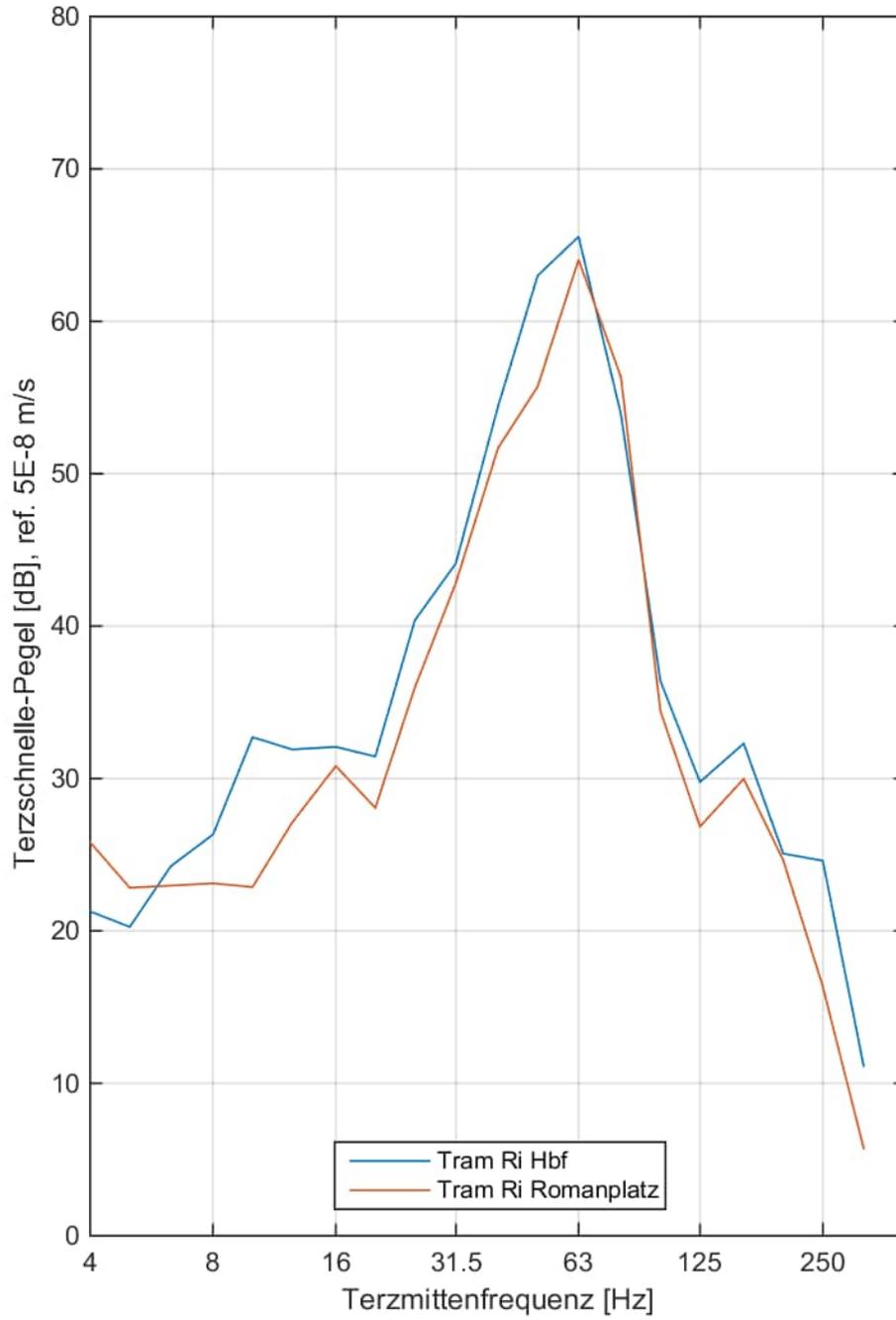
Messpunkt MP 1, MP 2, MP 3 und MP 4



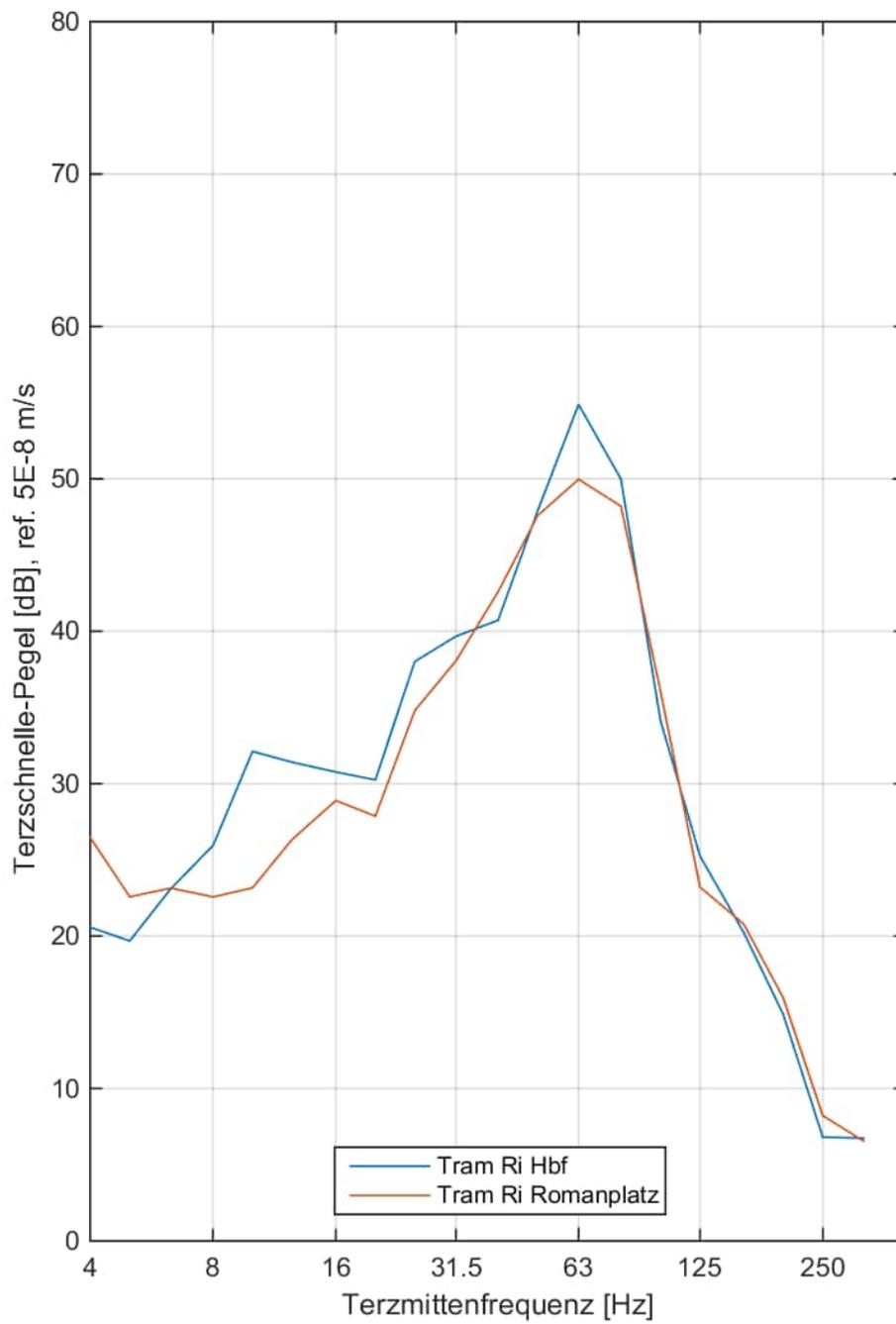
© eigene Aufnahme

Anlage 3: Mittlere Max-Hold-Terzspektren an den Messpunkten

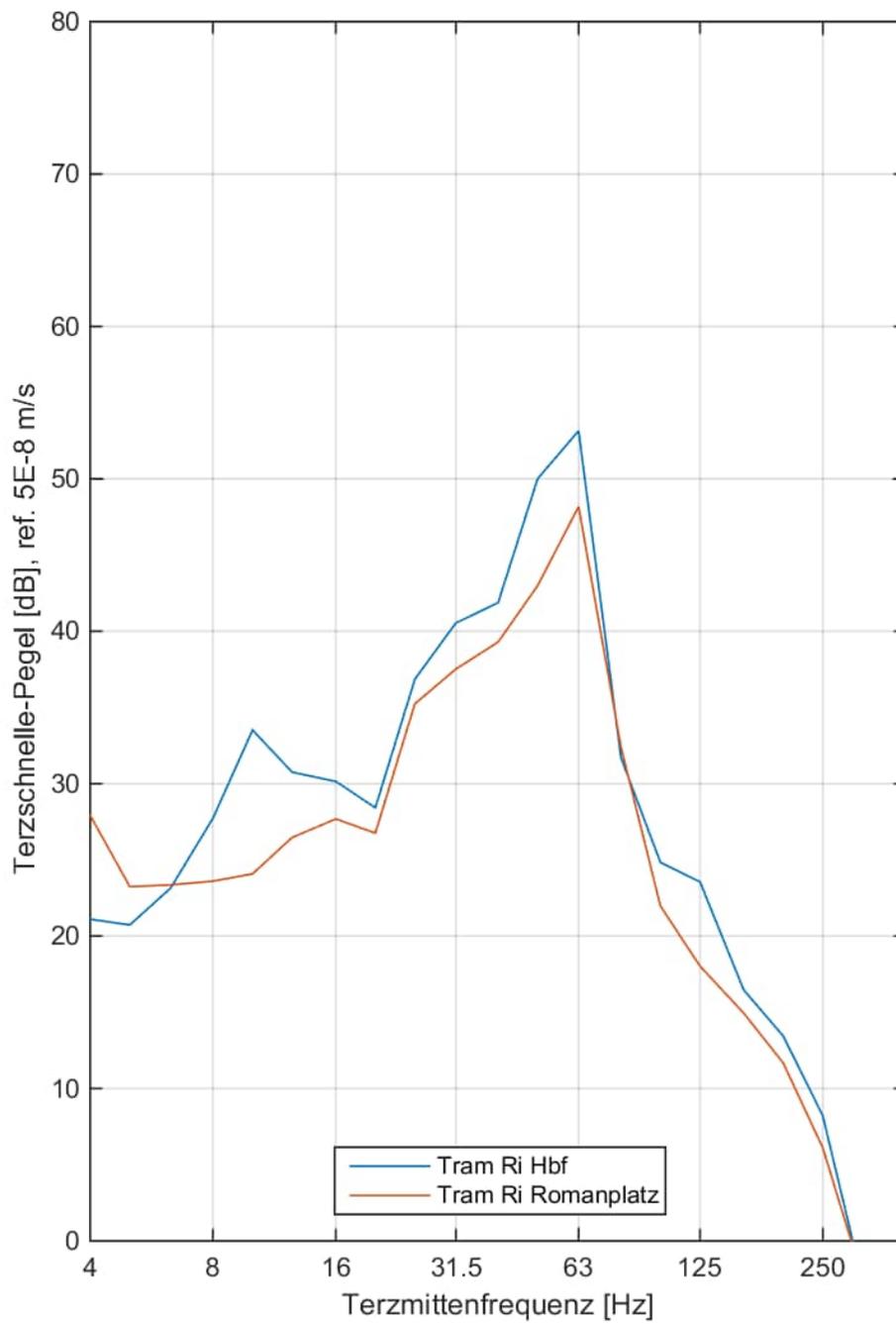
MP 1



MP 2



MP 3



MP 4

