

Erschütterungstechnische Untersuchung

Bebauungsplan Nr. 1956c

Haidenauplatz, München

Bericht Nr. 700-00275-Ersch

im Auftrag der

Omnia Grundstücks-GmbH & Co

Objekt Haidenauplatz KG

81925 München

München, im Dezember 2023

Erschütterungstechnische Untersuchung

**Bebauungsplan Nr. 1956c
Haidenauplatz, München**

Bericht-Nr.: 700-00275-Ersch

Datum: 21.12.2023

Auftraggeber: Omnia Grundstücks-GmbH & Co.
Objekt Haidenauplatz KG
81925 München

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:



Inhaltsverzeichnis:

1. Aufgabenstellung:	8
2. Örtliche Gegebenheiten	8
3. Grundlagen.....	9
3.1 Erschütterung	9
3.2 Sekundärluftschall.....	11
4. Betriebsprogramm.....	13
5. Messungen	13
5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung	13
5.2 Messgeräte.....	15
5.3 Ankopplung der Messpunkte.....	15
6. Messergebnisse	16
7. Berücksichtigung der 2. S-Bahn-Stammstrecke	18
8. Beurteilung	19
8.1 Erschütterungen.....	20
8.2 Sekundärluftschall.....	20
9. Formulierungsvorschlag für die Festsetzungen des Bebauungsplans	21
10. Anlagen.....	22

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:	Belegungsprogramm der Bahnstrecke	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_{FTe} - Wert tags / nachts auf den Geschossdecken des künftigen Gebäudes an den Messpunkten	17
Tabelle 7:	Mittlere prognostizierte Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls in Räumen des zukünftigen Gebäudes an den Messpunkten	17
Tabelle 8:	Belegungsprogramm der 2. S-Bahn-Stammstrecke [15]	18
Tabelle 9:	Höchster prognostizierter KB_{FTm} - Wert bzw. KB_{FTe} - Wert tags / nachts auf den Geschossdecken des künftigen Gebäudes an den Messpunkten mit 2. SBSS	18
Tabelle 10:	Mittlere prognostizierte Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls in Räumen des zukünftigen Gebäudes an den Messpunkten mit 2. SBSS	19

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] Zugzahlen für die Bahnstrecken 5510, 5553, 5600, 5603, Prognose 2030, Deutsche Bahn AG, 09.11.2023
- [11] Ortstermin und Messung am 11.10.2023 durch Möhler + Partner Ingenieure GmbH
- [12] Planunterlagen zum Plangebäude, sauerbruch hutton generalplanungsgesellschaft mbh, Planstand: 18.09.2023
- [13] Digitaler Flächennutzungsplan der Landeshauptstadt München, online verfügbar unter: <https://geoportal.muenchen.de/portal/fnp/#> (letzter Zugriff: 01.12.2023)
- [14] Erläuterungsbericht der 2. S-Bahn-Stammstrecke München – Erschütterungstechnische Untersuchung – Planfeststellung PFA 3neu, 26.02.2010
- [15] Erläuterungsbericht der 2. S-Bahn-Stammstrecke München – Erschütterungstechnische Untersuchung – Planfeststellung PFA 3 Ost, 23.06.2021

- [16] Planfeststellungsbeschluss „231031_PFB_PFA 3 Ost“, Bahn-km 107,853 bis 111,050 der Strecke 5547 Bf München Laim – München Leuchtenberggring Bft, vom 31.10.2023

Zusammenfassung:

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.
- Die Innenraumrichtwerte der TA Lärm (35/25 dB(A) tags/nachts) werden durch den Sekundärluftschall eingehalten. Die Innenraumrichtwerte für kurzzeitige Geräuschspitzen gemäß TA Lärm (45/35 dB(A) Tag/Nacht) werden ebenfalls Tag/Nacht eingehalten.

Für die Begründung des Bebauungsplans wurden Formulierungsvorschläge unterbreitet.

1. Aufgabenstellung:

Die Omnia Grundstücks GmbH & Co. Objekt Haidenauplatz KG plant, das Grundstück an der Bahnlinie zwischen Haidenauplatz und Leuchtenbergringtunnel zu entwickeln. Im Rahmen eines Bauungsplanverfahrens soll das entsprechende Baurecht geschaffen werden.

Im Rahmen einer erschütterungstechnischen Untersuchung sind die auf das Plangebiet einwirkenden Erschütterungen sowie Sekundärluftschall, die durch die Zugvorbeifahrten verursacht werden, anhand einer Messung zu prognostizieren und nach den einschlägigen Richtlinien zu beurteilen.

Mit der Durchführung der Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure GmbH von der Omnia Grundstücks GmbH & Co. Objekt Haidenauplatz KG am 16.05.2022 beauftragt.

2. Örtliche Gegebenheiten

Das Plangebiet befindet sich im Osten von München. Es grenzt an den Leuchtenbergring im Osten und an die Bahnstrecken (u.a. S-Bahn-Stammstrecke) im Süden. Der Leuchtenbergring (Bundesstraße 2R, auch als Mittlerer Ring bekannt) verläuft von Norden nach Süden. Nördlich des Plangebietes liegen der Haidenauplatz und Bestandsgebäude (Baumarkt und Bürogebäude).

In einem Abstand von ca. 60 m befindet sich das MVG Betriebsgelände mit Trambahnfahrten. Die Trambahnlinien 19 und 20 auf der Einsteinstraße befinden sich in ca. 200 m Abstand zum Plangebäude.

Der Umgriff des Bebauungsplans ist im Flächennutzungsplan als Gewerbefläche gekennzeichnet und soll auch entsprechend so zukünftig genutzt werden.

Die genauen örtlichen Gegebenheiten können dem Übersichtslageplan (Anlage 1) entnommen werden.

3. Grundlagen

3.1 Erschütterung

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_{FTT} 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_{FTT} wird nach folgender Gleichung gebildet:

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

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:

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} kleiner als der untere Anhaltswert A_u , dann sind die Anforderungen 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 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.

Der Bebauungsplan Nr. 1956c setzt ein Gewerbegebiet fest. Demnach werden die entsprechenden Anhaltswerte 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 angehobenen 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:

Tabelle 2: Immissionsrichtwerte „Innen“ nach TA Lärm [dB(A)]		
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 Zugvorbeifahrt) 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
$\sigma(f_T)$	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
$\sigma(f_T)$	$= 1$ 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 Zugvorbeifahrten dar. Die Berechnung erfolgt im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz.

4. Betriebsprogramm

Für die Bahnstrecken (DB-Strecke 5510, 5553, 5600, 5603) wurde eine Prognose für das Jahr 2030 der DB Netz AG [10] zugrunde gelegt. Das darin enthaltene Betriebsprogramm entspricht in etwa auch dem vor Ort gemessenen Zugverkehrsverhältnis. Die Zugzahlen sind Prognosezahlen aus dem Bundesverkehrswegeplan.

Die Gleislage im Nahbereich des Planvorhabens ist aus Anlage 1 ersichtlich. Die angesetzten Zugmengen sind in folgender Tabelle zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 3: Belegungsprogramm der Bahnstrecke			
Bahnstrecke	Zugart	Anzahl Vorbeifahrten im Beurteilungszeit- raum	
		Tag	Nacht
DB-Strecke 5553 Gleis 3	S-Bahn	190	22
DB-Strecke 5553 Gleis 3	Güterzug	2	2
DB-Strecke 5603 Gleis 4	S-Bahn	225	77
DB-Strecke 5553 Gleis 6	S-Bahn	190	22
DB-Strecke 5510 Gleis 7	RE	102	14
DB-Strecke 5510 Gleis 7	ICE	48	6
DB-Strecke 5510 Gleis 7	Güterzug	6	5
DB-Strecke 5600 Gleis 9	RE	77	9
DB-Strecke 5600 Gleis 9	Güterzug	24	12

Das dem Plangebiet nächstgelegene Gleis ist das Gleis 3.

Die Erschütterungseinwirkungen der Trambahnlinien 19 und 20 auf der Einsteinstraße sowie die Ein- und Ausrückfahrten auf dem MVG Betriebsgelände können aufgrund des Abstandes vernachlässigt werden.

5. Messungen

5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung

Es wurde an ausgewählten Messpunkten in verschiedenen Abständen zur Bahnstrecke und im Bereich des geplanten Baukörpers gemessen [11]. Die Messung fand am 11.10.2023 in der Zeit von 11:00 bis 14:00 Uhr statt. Für die messtechnische Ermittlung von erforderlichen Abständen zum Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall wurden Messpunktfolgen mit unterschiedlichen orthogonalen Abständen zur Bahntrasse angeordnet.

Die Dokumentation zur Lage der Messpunkte ist in folgender Tabelle 4 sowie in Anlage 1 und in der fotografischen Dokumentation in Anlage 2 dargestellt. Die Auswertung der Messungen erfolgt bezüglich der Gleisachse; die globalen Abstandsangaben beziehen sich auf die Mitte des nächstgelegenen Gleises (Gleisachse von Gleis 3).

Tabelle 4: Dokumentation zur Lage der Messpunkte			
Messpunkt	Lage des Messpunkts	Messrichtung	Abstand zur Gleisachse ca. [m]
MP 1	Geländeoberfläche	vertikal	30
MP 2	Geländeoberfläche	vertikal	58
MP 3	Geländeoberfläche	vertikal	77
MP 4	Geländeoberfläche	vertikal	91
MP 5	Geländeoberfläche	vertikal	30

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

Tabelle 5: Messtechnisch erfasste verwertbare Vorbeifahrten während der Messzeit		
Fahrzeugklasse	Gleis	Anzahl der gemessenen Vorbeifahrten
S-Bahn	3	9
S-Bahn	4	3
S-Bahn	6	7
RE	7	4
ICE	7	2
Güterzug	7	2
RE	9	4
Güterzug	9	3

Auf Gleis 3 wurden keine Güterzüge im Messzeitraum gemessen, sodass anhand des Emissionsspektrums der Güterzüge auf Gleis 7 eine Übertragung auf das Gleis 3 vorgenommen wurde.

Die Geschwindigkeiten der vorbeifahrenden Züge wurden unter Verwendung einer Radarpistole der Firma Bushnell erfasst und protokolliert. Aufgrund des Haltepunktes Leuchtenbergring wurde bedingt durch die Abbrems- und Beschleunigungsvorgänge geringe Geschwindigkeiten von 0 – 30 km/h gemessen.

5.2 Messgeräte

Für die Messungen und Auswertungen wurden folgende Geräte verwendet:

- Geophone ICP Seismometer vertical der Fa. SINUS Messtechnik, Serial-Nr. #0504152; #0504154; #0504155; #0504157; #0504158
- geeichtes Mehrkanalmesssystem „Soundbook“ der Fa. Sinus Messtechnik, Leipzig
- Kalibrator VC21 der Fa. Metra
- Signalanalyse Software SAMURAI Version 2.8 der Fa. SINUS Messtechnik GmbH

Die verwendeten Messgeräte wurden vor und nach der Messung kalibriert und auf ihre einwandfreie Funktion überprüft. Die Messgeräte sind Bestandteil des unter D-PL-19432-01-00 nach DIN EN ISO/EC 17025:2005 von der DAkS akkreditierten Prüflaboratoriums der Möhler + Partner Ingenieure GmbH. In diesem Rahmen werden die Messgeräte regelmäßig überwacht und auf nationale Normale zurückgeführt.

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, Störsignal 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 Zugvorbeifahrt 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

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

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_{Fmax} -Werte (KB_{FTm} -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_{FTm} -Werten für ein zwei stöckiges Gebäude. Ausgehend von den Terzschnellespektren (Anlage 3) ergeben sich bei den Prognoseabschätzungen folgende Beurteilungsgrößen:

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

Messpunkt	Abstand zur Gleisachse ca. [m]	KB_{FTmax} - Wert	KB_{FTr} - Wert	
			tags	nachts
MP 1	30	0,1	$\leq 0,05$	0,02
MP 2	58	0,03	$\leq 0,05$	$\leq 0,01$
MP 3	77	0,01	$\leq 0,05$	$\leq 0,01$
MP 4	91	0,01	$\leq 0,05$	$\leq 0,01$
MP 5	30	0,11	$\leq 0,05$	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	30	36	23	19
MP 2	58	21	≤ 20	≤ 15
MP 3	77	≤ 15	≤ 20	≤ 15
MP 4	91	≤ 15	≤ 20	≤ 15
MP 5	30	36	23	18

7. Berücksichtigung der 2. S-Bahn-Stammstrecke

Der Geltungsbereich des Bebauungsplans liegt im Nahbereich der Tunnelausfahrt der 2. S-Bahn-Stammstrecke (2. SBSS), welche sich derzeit im Bau befindet. Im Zuge der Realisierung werden die derzeit durch den Nah-/Fernverkehr nicht genutzten Gleise 1 und 2 aktiviert, d.h. der Abstand zwischen den Plangebäuden und dem emittierenden Gleis verringert sich. Gemäß dem Erläuterungsbericht der 2. Stammstrecke [14] liegt das Plangebiet in einem Abschnitt, indem die Erschütterungen der 2. Stammstrecke keinen relevanten Einfluss haben. Anhand der erschütterungstechnischen Untersuchung zum Erläuterungsbericht des Planfeststellungsabschnitt PFA3Ost [15] sind im Einwirkungsbe-
reich der Tunnel Schutzmaßnahmen zur Minderung der Erschütterungen sowie des sekundären Luftschalls zu prüfen. Demnach ist davon auszugehen, dass die erschütterungstechnischen Einwirkungen aufgrund der 2. Stammstrecke zu keinen negativen Auswirkungen auf das Plangebiet führen (vgl. [16]).

Um die zukünftige Erschütterungssituation dennoch zu bewerten, wurde anhand des gemessenen Emissionsspektrums der S-Bahn auf Gleis 3 eine Übertragung auf das Gleis 1 bzw. Gleis 2 vorgenommen. Die entsprechenden Zugmengen wurden der erschütterungstechnischen Untersuchung zum Erläuterungsbericht des Planfeststellungsabschnitt PFA3Ost [15] entnommen. An den Gleisen 1 bzw. 2 ist ebenfalls ein Bahnsteig vorgesehen, sodass durch die Abbrems- und Beschleunigungsvorgänge eine Verringerung der Geschwindigkeit anzunehmen ist. Auf der sicheren Seite liegend, wurde dennoch eine Geschwindigkeitsanpassung von 30 km/h auf 80 km/h vorgenommen (worst-case). In nachfolgender Tabelle sind die jeweiligen berücksichtigten Zugmengen aufgetragen.

Tabelle 8: Belegungsprogramm der 2. S-Bahn-Stammstrecke [15]			
Bahnstrecke	Zugart	Anzahl Vorbeifahrten im Beurteilungszeit- raum	
		Tag	Nacht
Gleis 100	S-Bahn	245	48
Gleis 200	S-Bahn	245	48

Unter Berücksichtigung der 2. S-Bahn-Stammstrecke ergeben sich folgende Ergebnisse bzgl. der Erschütterungsimmission:

Tabelle 9: Höchster prognostizierter KB_{FTm} - Wert bzw. KB_{FTr} - Wert tags / nachts auf den Geschossdecken des künftigen Gebäudes an den Messpunkten mit 2. SBSS				
Messpunkt	Abstand zur Gleisachse ca. [m]	KB_{FTmax} - Wert	KB_{FTr} - Wert	
			tags	nachts
MP 1	6	0,36	0,19	0,12
MP 2	34	0,09	≤ 0,05	0,03
MP 3	53	0,05	≤ 0,05	0,02
MP 4	67	0,04	≤ 0,05	≤ 0,01
MP 5	0	0,40	0,21	0,13

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

Tabelle 10: Mittlere prognostizierte Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls in Räumen des zukünftigen Gebäudes an den Messpunkten mit 2. SBSS				
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	6	47	36	32
MP 2	34	32	21	17
MP 3	53	25	≤ 20	≤ 15
MP 4	67	20	≤ 20	≤ 15
MP 5	0	47	37	33

Es zeigt sich, dass unter Berücksichtigung der Schienenführung nach Realisierung der 2. S-Bahnstammstrecke es zu einer Erhöhung der Erschütterungssituation kommt.

8. Beurteilung

Die Beurteilung der auf Erschütterungen und Sekundärluftschall zurückzuführenden Immissions-Situation erfolgte auf Grundlage der aus den Messdaten berechneten Mittelwerte. Die Immissionen einzelner Zugvorbeifahrten 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 Zugzahlen 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 [12] wird das Plangebäude mit den entsprechenden Untergeschossen in einem Abstand von 58 m zur Gleisachse des Gleis 3 errichtet, somit liegt der Messpunkt MP 1 und MP 5 (Abstand zu Gleis 3 30m) außerhalb des Einwirkungsbereich und kann vernachlässigt werden.

8.1 Erschütterungen

Ein Vergleich der ermittelten KB_{FTm} – Werte von 0,03 (MP 2) bis 0,01 (MP 4) mit dem Anhaltswert A_v (0,3/0,2 tags/nachts) für Gewerbegebiete zeigt, dass das A_v – Kriterium im Tag- und Nachtzeitraum eingehalten wird.

Nach Realisierung der 2. S-Bahnstammstrecke sind KB_{FTm} – Werte von 0,09 (MP 2) bis 0,04 (MP 4) zu erwarten. Demnach werden die Anhaltswert A_v (0,3/0,2 tags/nachts) für Gewerbegebiete ebenfalls eingehalten.

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

8.2 Sekundärluftschall

Die prognostizierten mittleren Maximalpegel betragen an dem Messpunkt MP 2 bis zu $L_{Amax} = 21$ dB(A) und die Mittelungspegel des Sekundärluftschalls betragen $L_{A,m} \leq 20/\leq 15$ dB(A) tags/nachts.

Nach Realisierung der 2. S-Bahnstammstrecke betragen die prognostizierten mittleren Maximalpegel an dem Messpunkt MP 2 bis zu $L_{Amax} = 32$ dB(A) und die Mittelungspegel des Sekundärluftschalls betragen $L_{A,m} \leq 20/\leq 15$ 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 somit bereits ohne weitergehende Schutzmaßnahmen am oberirdischen und unterirdischen Baukörper keine erheblichen Belästigungen durch Sekundärluftschall innerhalb des Bauvorhabens erwarten.

9. Formulierungsvorschlag für die Festsetzungen des Bebauungsplans

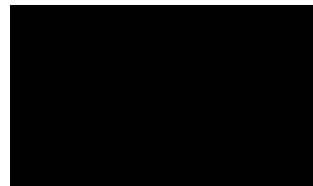
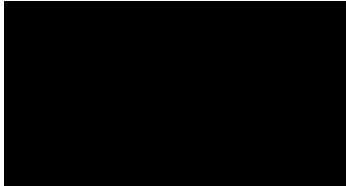
Begründung

Aufgrund der Nähe des Plangebietes zur südlichen Bahnstrecke wurde der Einfluss der schienenbedingten Erschütterungen und des Sekundärluftschalls untersucht und beurteilt. Bedingt durch den Abstand, der geringen Vorbeifahrtgeschwindigkeit und der Gebietsnutzung eines Gewerbegebietes sind aufgrund der Erschütterung und der sekundären Luftschallimmissionen des Bahnbetriebs bei der Errichtung von Gebäuden mit schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen keine Maßnahmen notwendig.

Dieses Gutachten umfasst 22 Seiten und 3 Anlagen. Die auszugsweise Vervielfältigung des Gutachtens ist nur mit Zustimmung der Möhler + Partner Ingenieure GmbH gestattet.

Möhler + Partner Ingenieure GmbH

München, den 21. Dezember 2023



10. Anlagen

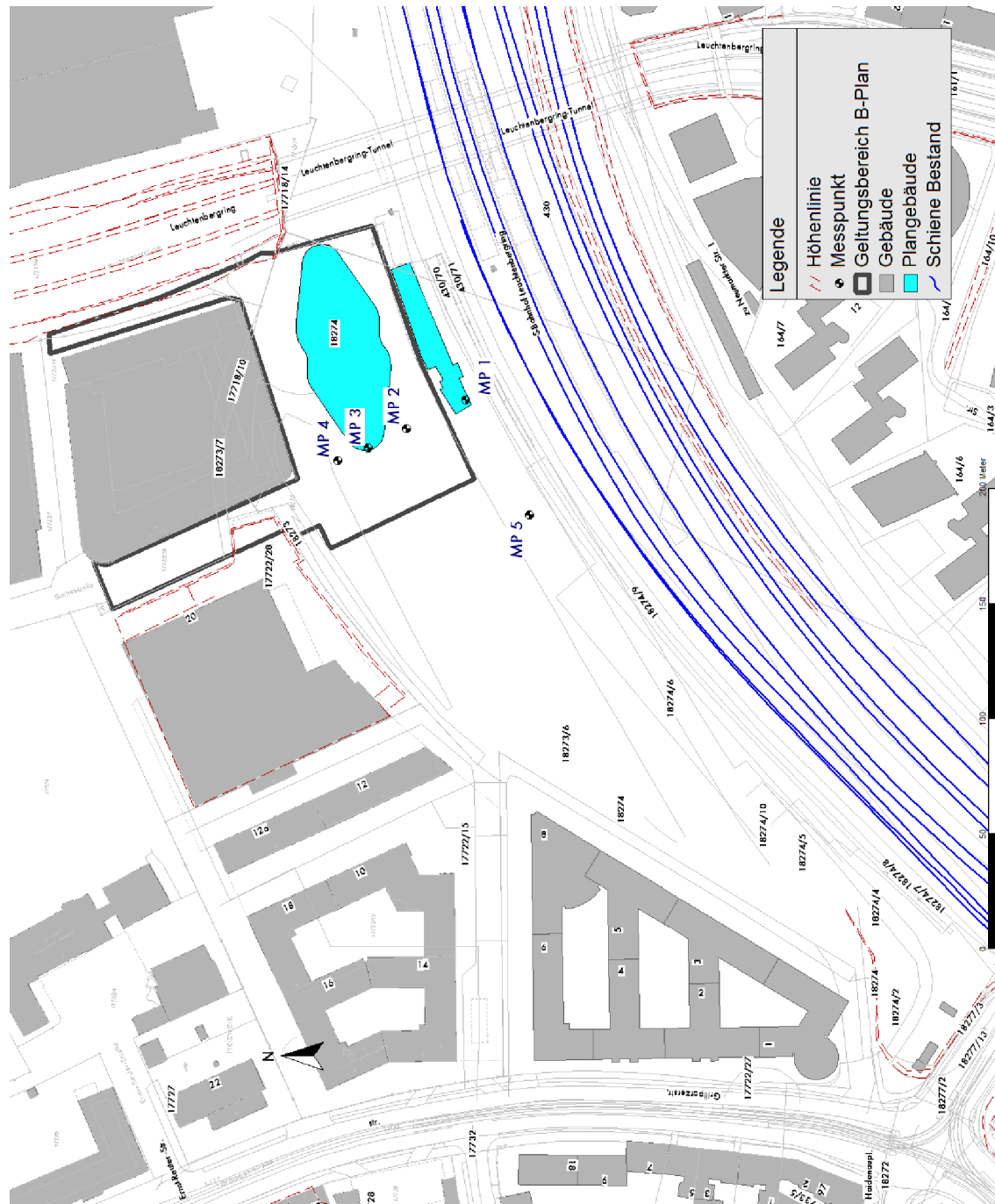
Anlage 1: Lagepläne

Anlage 2: Fotographische Dokumentation

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

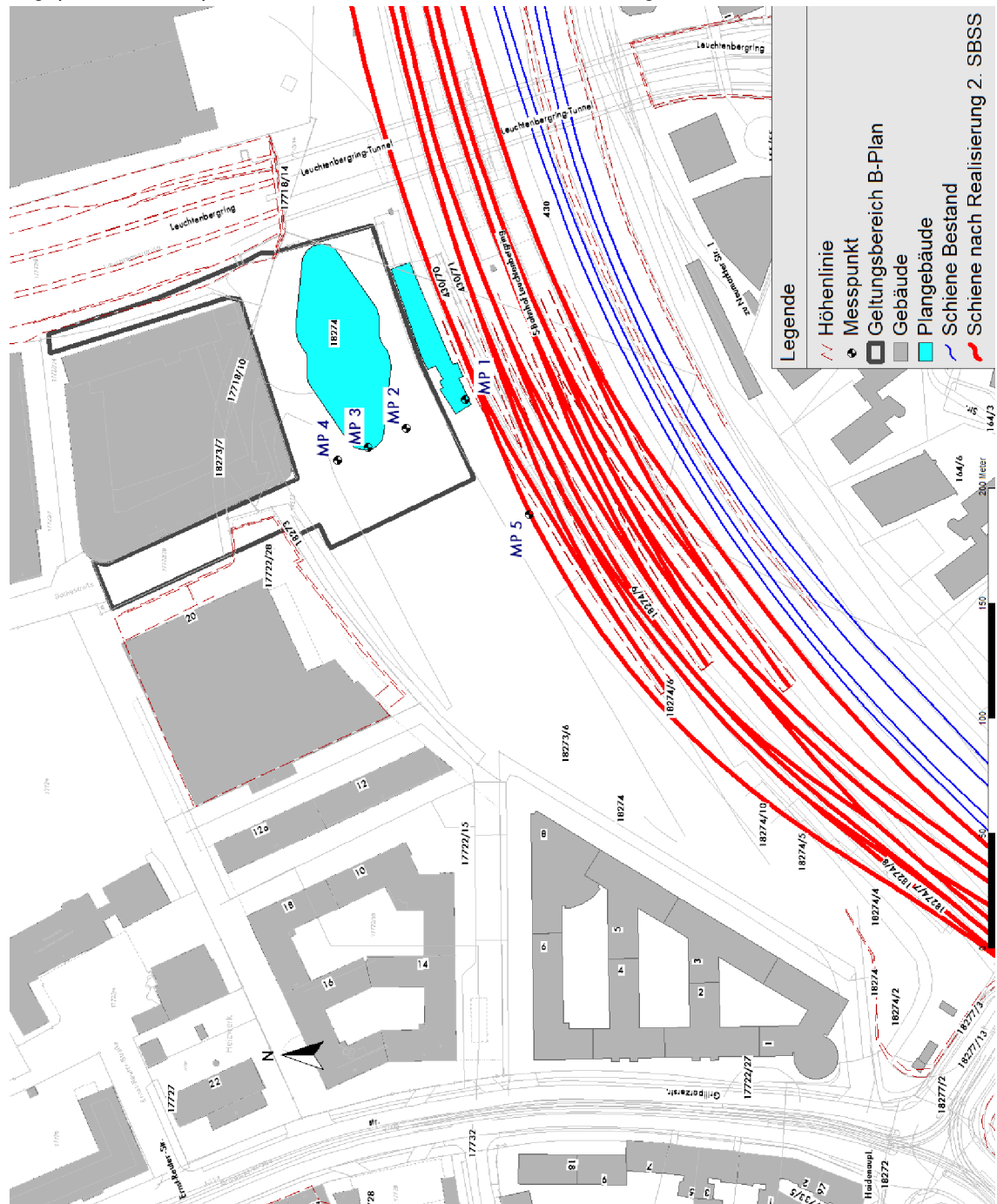
Anlage 1: Lagepläne

Lageplan der Messpunkte und Schienenstrecke ohne 2. S-Bahnstammstrecke



© eigene Darstellung mit Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung

Lageplan der Messpunkte und Schienenstrecke nach Realisierung der 2. S-Bahnstammstrecke



© eigene Darstellung mit Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung

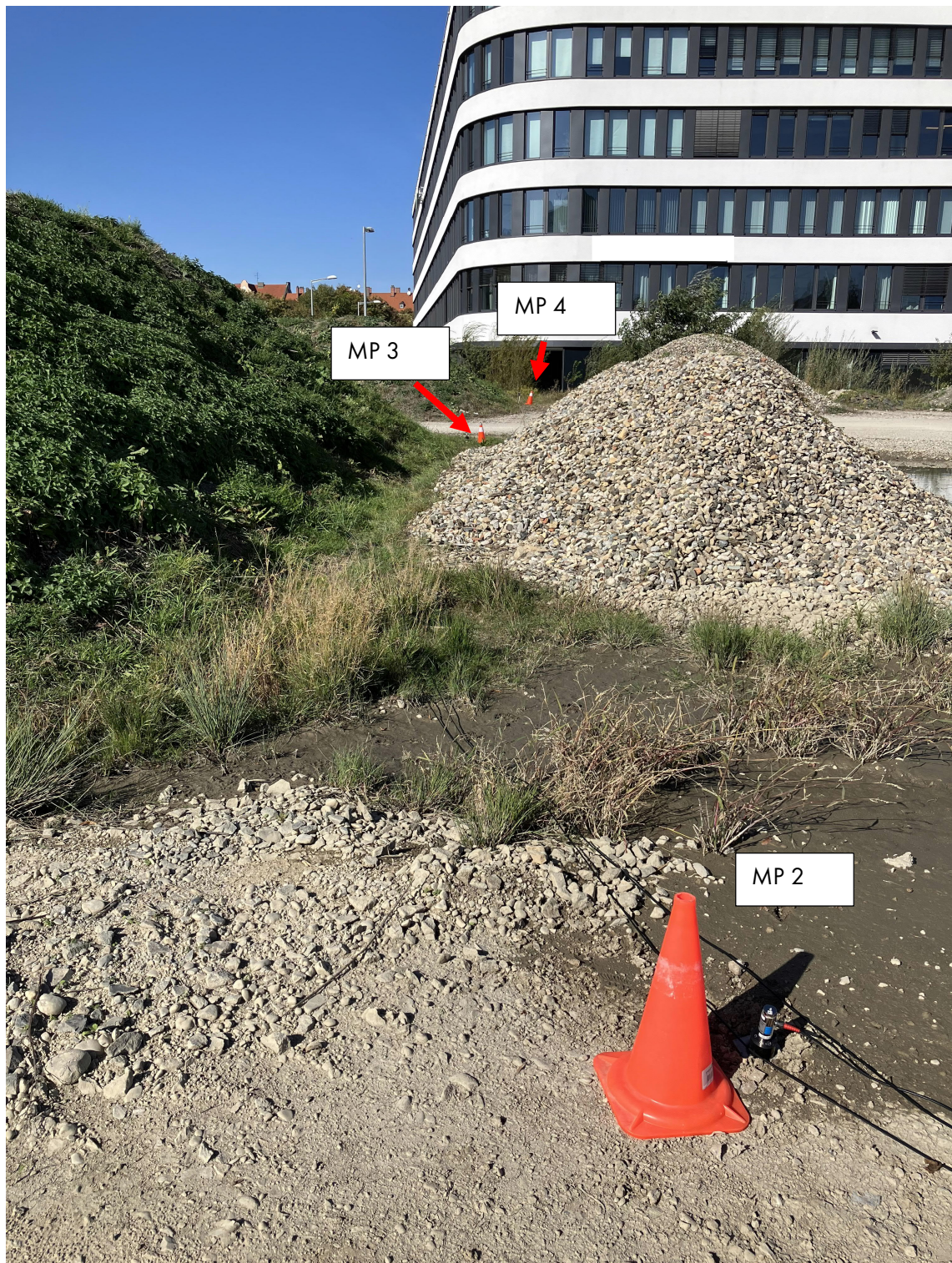
Anlage 2: Fotographische Dokumentation

Messpunkt MP 1 und 5



© eigenes Photo

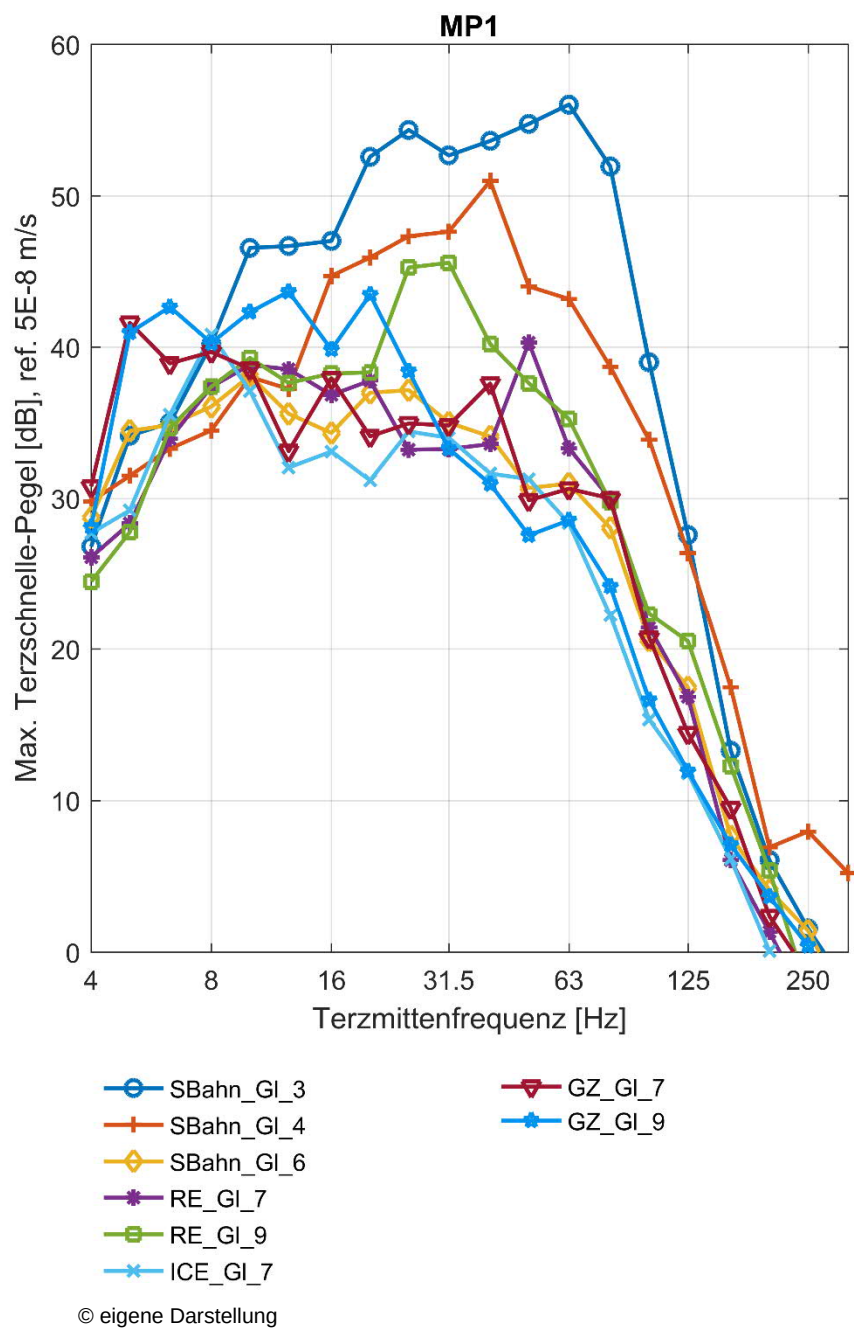
Messpunkt MP 2, 3 und 4



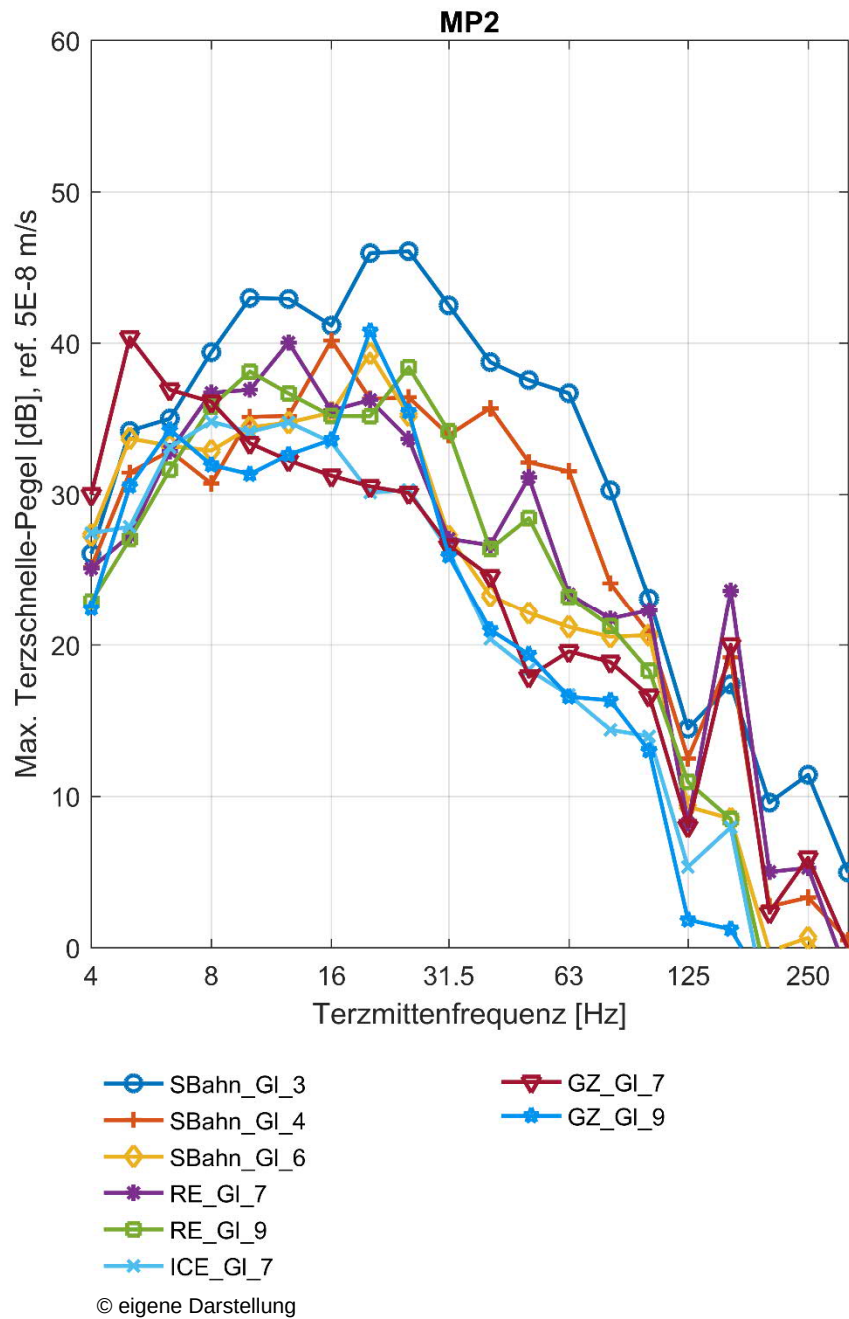
© eigenes Photo

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

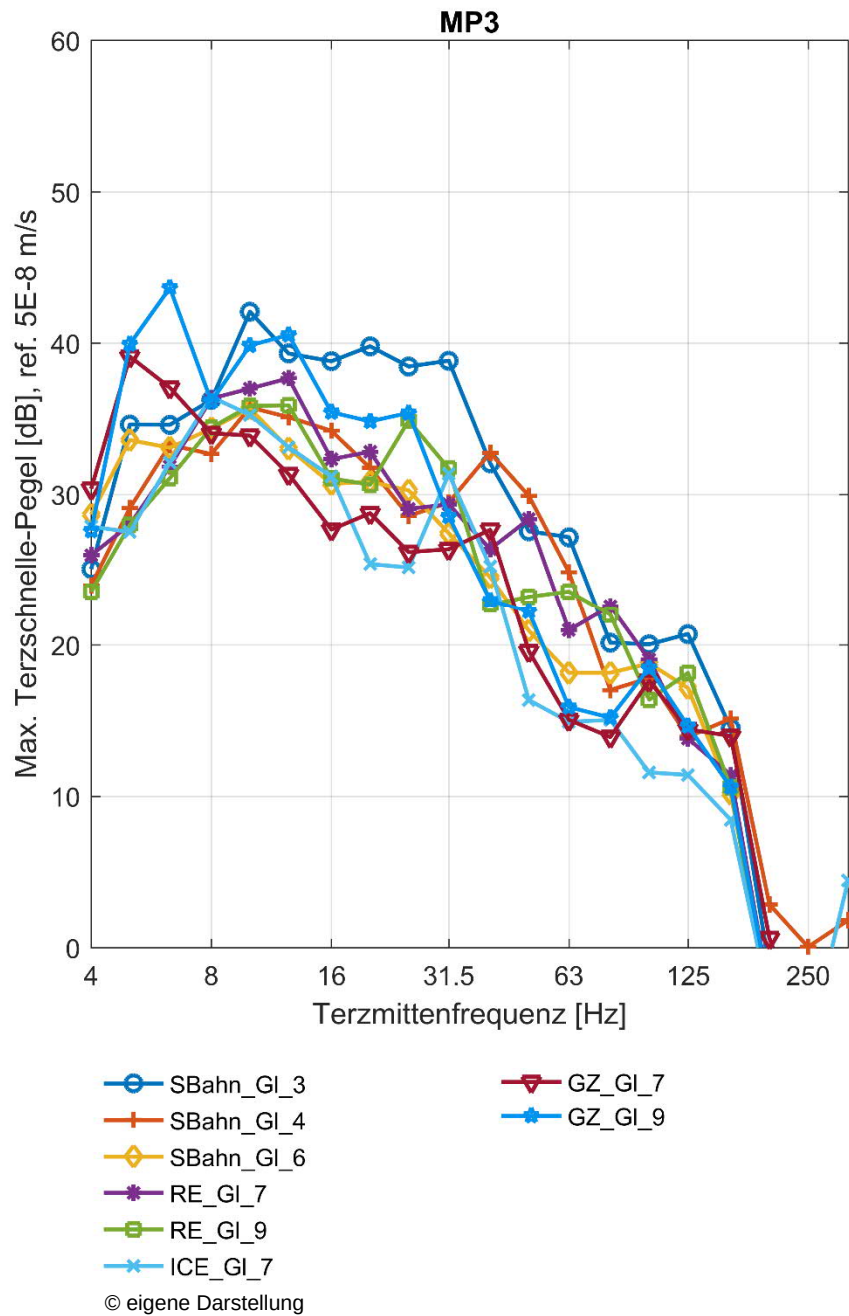
Messpunkt MP 1



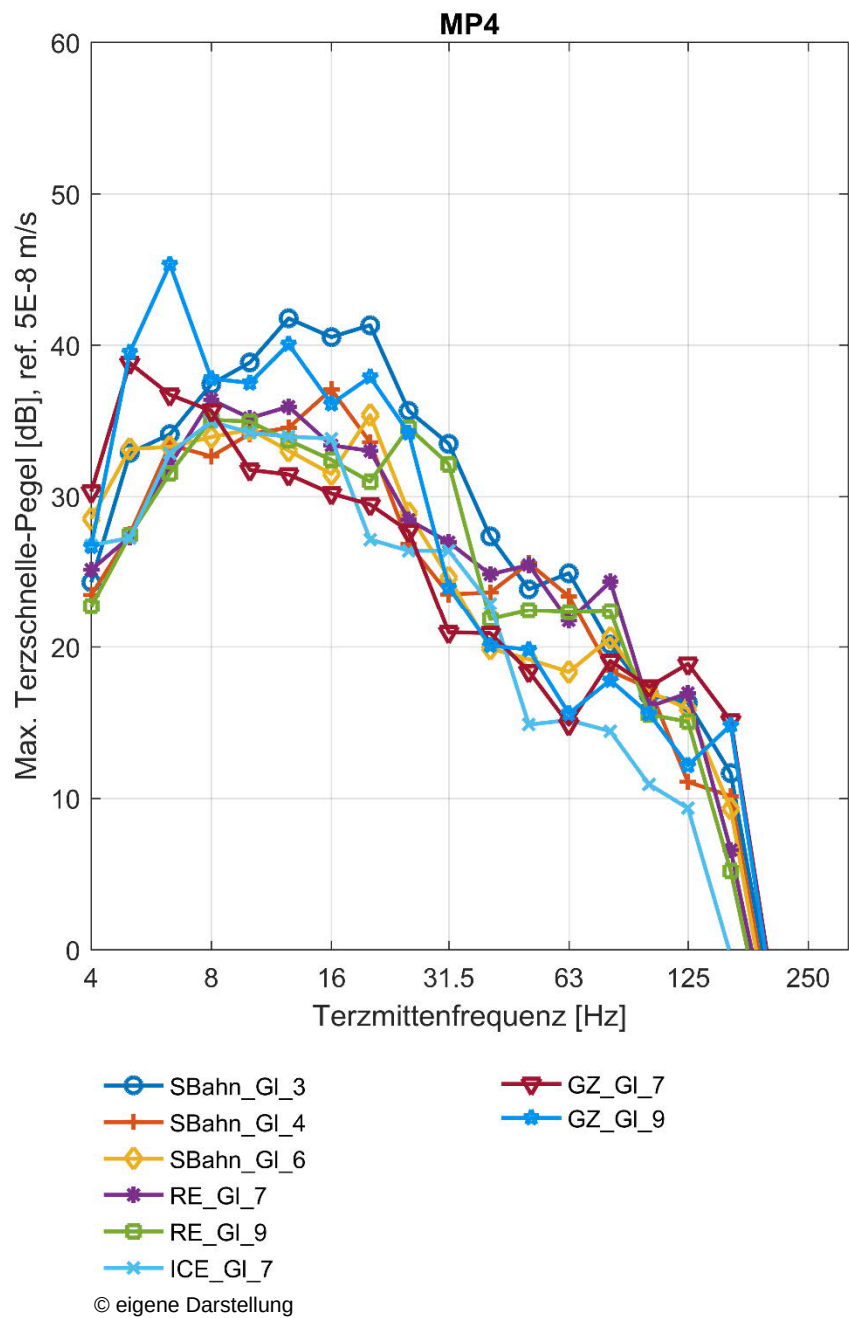
Messpunkt MP 2



Messpunkt MP 3



Messpunkt MP 4



Messpunkt MP 5

