

Erschütterungstechnische Untersuchung

Landeshauptstadt München

Vorhabenbezogener Bebauungsplan

mit Grünordnung Nr. 2164 „Hirmerei“

Bericht Nr. 700-6421-ERS-1

im Auftrag der

Hirmer Allach GmbH & Co. KG

82346 Andechs

München, im April 2022

Erschütterungstechnische Untersuchung

Landeshauptstadt München
Vorhabenbezogener Bebauungsplan
mit Grünordnung Nr. 2164 „Hirmerei“

Bericht-Nr.: 700-6421-ERS-1

Datum: 19.04.2022

Ersetzt Bericht-Nr. 700-6421-ERS vom 29.04.2021

mit redaktionellen Änderungen vom 04.02.2022

mit redaktionellen Änderungen vom 13.04.2022

mit redaktionellen Änderungen vom 26.08.2022

Auftraggeber: Hirmer Allach GmbH & Co. KG

[REDACTED]
[REDACTED]

Auftragnehmer: Möhler + Partner Ingenieure AG
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:

[REDACTED]
[REDACTED]

Inhaltsverzeichnis:

| | |
|---|----|
| 1. Aufgabenstellung | 8 |
| 2. Örtliche Gegebenheiten | 8 |
| 3. Grundlagen..... | 9 |
| 3.1 Erschütterungen..... | 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. Auswertung der messtechnischen Untersuchungen | 16 |
| 7. Beurteilung der Erschütterungen und des Sekundärluftschalls..... | 18 |
| 7.1 Erschütterungen..... | 18 |
| 7.2 Sekundärluftschall..... | 19 |
| 8. Formulierungsvorschläge für den Bebauungsplan..... | 19 |
| 8.1 Satzung | 19 |
| 8.2 Begründung..... | 19 |
| 9. Anlagen | 21 |

Tabellenverzeichnis:

| | | |
|-------------------|---|----|
| Tabelle 1: | Anhaltswerte zur Beurteilung der Immissionen von Erschütterungen nach Tabelle 1 der DIN 415-2 [3]..... | 10 |
| Tabelle 2: | Immissionsrichtwerte „Innen“ nach TA Lärm [dB(A)]..... | 11 |
| Tabelle 3: | Belegungsprogramm der Bahnstrecke (Prognose 2030)..... | 13 |
| Tabelle 4: | Dokumentation zur Lage der Messpunkte..... | 14 |
| Tabelle 5: | Messtechnisch erfasste verwertbare Vorbeifahrten während der Messzeit | 14 |
| Tabelle 6: | Prognostizierte höchste $KB_{F_{Tm}}$ – Werte bzw. $KB_{F_{Tr}}$ – Werte tags / nachts auf den Geschosdecken von künftigen Gebäuden an den Messpunkten..... | 17 |
| Tabelle 7: | Prognostizierte mittlere Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls in Räumen fiktiver Gebäude an den Messpunkten..... | 17 |

Grundlagenverzeichnis:

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 1 vom 09. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873) geändert worden ist
- [2] DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- [3] DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [4] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung, September 2010
- [5] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren, Juni 2005
- [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), geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (Banz AT 06.06.2017 B5)
- [7] Beiblatt 1 zu DIN 45680, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft – Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen, März 1997
- [8] Körperschall: Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, L. Cremer und M. Heckl, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996
- [9] Melke, 1995, Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs, Prognose und Schutzmaßnahmen, Materialien Nr. 22, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
- [10] Handbuch Gleis, Unterbau, Oberbau, Instandhaltung, Wirtschaftlichkeit, Bernhard Lichtberger, Tetzlaff Verlag, 2. Auflage, 2004
- [11] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786)
- [12] Ortsbesichtigung und Messungen, 23. Oktober 2013
- [13] Entwurf Vorhabenbezogener Bebauungsplan mit Grünordnung Nr. 2164 der Landeshauptstadt München, Bereich Eversbuschstraße (östlich), Bahnlinie München-Ingolstadt (westlich), Otto-Warburg-Straße (nördlich), „Hirmerei“, 04.04.2022
- [14] Zusatzinformationen zur geplanten Bauweise der Deckenkonstruktionen der Baukörper, Palais Mai Gesellschaft von Architekten und Stadtplanern mbH

- [15] Flächennutzungsplan München, Link: <http://www.fnp-muenchen.de> (Abfragedatum: 15.04.2021), Version: 1.5.1.1
- [16] Schreiben der DB Bahn AG, Verkehrsdaten München Allach Eversbuschstraße vom 18.03.2021
- [17] Erschütterungstechnische Untersuchung Landeshauptstadt München Bebauungsplan Eversbuschstraße, Möhler + Partner Ingenieure AG, Bericht Nr. 710-4187-ERSCH, 28.11.2013
- [18] Erschütterungstechnische Untersuchung Landeshauptstadt München Vorhabenbezogener Bebauungsplan Eversbuschstraße „Hirmerei“, Möhler + Partner Ingenieure AG, Bericht Nr. 700-6421-ERS, 29.04.2021
- [19] Erschütterungstechnische Untersuchung Landeshauptstadt München Vorhabenbezogener Bebauungsplan Eversbuschstraße „Hirmerei“, Möhler + Partner Ingenieure AG, Bericht Nr. 700-6421-ERS-1, 04.02.2022
- [20] Baudynamische FEM-Simulationen Landeshauptstadt München, Vorhabenbezogener Bebauungsplan mit Grünordnung Nr. 2164 „Hirmerei“, Möhler + Partner Ingenieure AG, Bericht Nr. 720-6840, 13.10.2022

Zusammenfassung:

Die Hirmer Allach GmbH & Co. KG plant die städtebauliche Entwicklung einer bisher unbebauten Fläche als Wohnstandort zwischen Eversbuschstraße und Otto-Warburg-Straße in München Allach. Das Planvorhaben befindet sich im Einwirkungsbereich der Bahnstrecken 5501, 5544 und 5563 im Bereich der S-Bahnhaltestelle München Karlsfeld, sodass eine Untersuchung zu Erschütterungen und Sekundärluftschall durchgeführt wurde. Die Untersuchung kommt zu folgenden Ergebnissen.

- Die Untersuchungen auf Basis von Erschütterungsmessungen sowie Prognosen zu Sekundärluftschall haben gezeigt, dass im Falle der vorgesehenen konventionellen Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) die Anforderungen der DIN 4150-2 an Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden im Plangebiet zuverlässig eingehalten werden können. Hinsichtlich der Einwirkungen durch Sekundärluftschall werden die Anforderungen der TA Lärm bzw. DIN 45680 an Innenraumpegel im Plangebiet zuverlässig eingehalten.
- Die messtechnisch bzw. prognostisch ermittelten Mindestabstände betragen für Einwirkungen aus Erschütterungen bis zu 20 m und für Einwirkungen durch Sekundärluftschall bis zu 33 m zum nächstgelegenen Gleis.
- Das Plangebiet befindet sich in einem Abstand von bis zu 43 m (Baugrenzen befinden sich in einem Abstand von bis zu 45 m) zum nächstgelegenen Gleis. Zur Vermeidung von erheblichen Einwirkungen durch Erschütterungen und Sekundärluftschall ist im Zuge der Bauausführung darauf zu achten, dass baulich and die Plangebäude gekoppelte Bauteile im Erdreich (bspw. Tiefgaragen etc.) die genannten Mindestabstände einhalten oder durch technische bzw. konstruktive Maßnahmen (z. B. durch eine Trennfuge) baulich von den Plangebäuden getrennt oder entkoppelt werden bzw. durch geeignete Maßnahmen (z. B. (teil-) elastische Gebäudelagerung) vom umgebenden Erdreich entkoppelt werden.

Für die Begründung des Bebauungsplans wurden Vorschläge für die textliche Formulierung ausgearbeitet.

1. Aufgabenstellung

Die Hirmer Allach GmbH & Co. KG plant die städtebauliche Entwicklung einer bisher unbebauten Fläche als Wohnstandort zwischen Eversbuschstraße und Otto-Warburg-Straße in München Allach.

Das Plangebiet befindet sich unmittelbar westlich der Bahnlinie München – Dachau (DB-Strecken 5501, 5544 und 5563) im Bereich der S-Bahnhaltestelle Karlsfeld, sodass relevante Immissionen aus Erschütterungen und Sekundärluftschall nicht ausgeschlossen werden können.

Im Rahmen vorhergehender Untersuchungen (vgl. [17]) wurden die Erschütterungen innerhalb des Plangebietes bereits messtechnisch erfasst, ausgewertet und Prognosen zu den zu erwartenden Einwirkungen durch Erschütterungen und Sekundärluftschall im Plangebiet erstellt. Die Ergebnisse der Prognosen wurden anhand der einschlägigen Regelwerke beurteilt. Die bisher erstellte Untersuchung zu Erschütterungen und Sekundärluftschall wurde im Zuge des gegenständlichen Bebauungsplans fortzuschreiben (vgl. [18]). Im Zuge der weitergehenden Planungen wurden Veränderungen an der geplanten Gebäudekubatur vorgenommen, sodass der Abstand zwischen den östlichen Außenfassaden des Plangebäudes zu den Bahnstrecken vergrößert werden konnte. Die mit [18] erstellte erschütterungstechnische Untersuchung ist daher fortzuschreiben. Erforderlichenfalls sind für die geänderten Planungen Maßnahmen zum Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall zu erarbeiten. Auf Basis der Untersuchungsergebnisse sind notwendige textliche Formulierungen zum Immissionsschutz für den Bebauungsplan (Satzung und Begründung) auszuarbeiten.

Mit der Durchführung der Fortschreibung der erschütterungstechnischen Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure AG am 12.11.2021 von der Hirmer Allach GmbH & Co. KG beauftragt.

2. Örtliche Gegebenheiten

Das Plangebiet befindet sich im 23. Stadtbezirk Allach – Untermenzing, der Landeshauptstadt München. Im Westen verläuft die Eversbuschstraße und im Süden verläuft die Otto-Warburg-Straße. Östlich des Plangebietes verlaufen die Bahnstrecken München Hbf. – Treuchtlingen (5501), München Laim – Obermenzing (5544) und München Nord – Karlsfeld (5563).

Die Gleisanlagen verlaufen in Nord-Süd-Richtung (Richtung Nord stadtauswärts nach Dachau, Richtung Süd stadteinwärts nach München) und sind auf Höhe des Plangebietes 6-gleisig ausgebaut. Die beiden dem Plangebiet nächstgelegenen Gleise (Gleisnummer 1 und 2) werden im Regelbetrieb durch den Personen-Nahverkehr (S-Bahn), die beiden mittleren Gleise (Gleisnummer 3 und 4) durch den Personen-Fernverkehr und die dem Plangebiet am weitest entfernten Gleise (Gleisnummer 5 und 6) werden durch den Güterverkehr genutzt. Die S-Bahnlinie mit dem Bahnhof Karlsfeld sowie der Fernverkehr verlaufen in leichter Dammlage ca. 1,75 m über dem Höhenniveau des Plangebietes. Der Güterverkehr verläuft gegenüber der S-Bahn nochmals um etwa 1,75 m erhöht.

Das Plangebiet wird derzeit landwirtschaftlich genutzt; entlang der Bahn befindet sich eine asphaltierte Straße. Die Planungen sehen die Errichtung von überwiegend Wohnnutzungen mit IV- bis VI-geschossiger Bebauung und kleineren Teilbereichen mit I- bis III-geschossiger Bebauung vor. Zusätzlich zur geplanten Wohnnutzung sind kleinere Gewerbeeinheiten sowie eine KiTa im Südwesten der

geplanten Bebauung vorgesehen. Die östliche Baugrenze des Vorhabens weist einen Abstand von bis zu 45 m Entfernung zum nächstgelegenen Gleis auf.

Das Plangebiet und der weitere Umgriff sind im Wesentlichen eben. Die genauen örtlichen Gegebenheiten können den Übersichtslageplänen (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 Schnellessignals entstandene Signal. Nach DIN 45669 [5] 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 [3] 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_{fTr} 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_{fTr} wird nach folgender Gleichung gebildet:

$$KB_{fTr} = KB_{fTm} * (T_e/T_r)^{0,5}$$

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 [3]:

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.

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

Die Beurteilung erfolgt nach folgender Vorgehensweise:

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

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 [3].

| Tabelle 1: Anhaltswerte zur Beurteilung der Immissionen von Erschütterungen nach Tabelle 1 der DIN 415-2 [3] | | | | | | | |
|---|--|-------------|----------|-------------|------------|------------|-------------|
| Zeile | Einwirkungsort | Tags | | | Nachts | | |
| | | Au | Ao | Ar | Au | Ao | Ar |
| 1 | Industriegebiete | 0,4 | 6 | 0,2 | 0,3 | 0,6 | 0,15 |
| 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 |
| 5 | Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte | 0,1 | 3 | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,05 |

Bei der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen aus oberirdischen 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. Liegen jedoch nachts einzelne KB_{FTI} – Werte bei oberirdischen Strecken gebietsunabhängig über $A_o = 0,6$, so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z.B. Flachstellen an Rädern) und diese möglichst rasch zu beheben. Diese hohen Werte sind bei der Berechnung von KB_{FTI} zu berücksichtigen.

Einen Hinweis auf die Fühlbarkeit der Erschütterungseinwirkung gibt nach DIN 4150-2 [3] 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 ist es in Bayern gängige Praxis, die Beurteilung der Einwirkungen durch sekundären Luftschall nach der TA Lärm [6] bzw. der DIN 45680 [7] durchzuführen (diese Richtlinien regeln generell die Geräuschübertragung innerhalb von Gebäuden bzw. tieffrequente Geräusche durch gewerbliche Anlagen). Im vorliegenden Fall werden für das geplante Bauvorhaben ebenfalls diese Werte angesetzt. 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 (6.00 – 22.00 Uhr) 35 dB(A) und im Zeitraum Nacht (22.00 – 6.00 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 Geschosdecken 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 [8]:

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

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 16 Hz bis 315 Hz.

Durch den Ansatz der oben genannten Parameter ergeben sich in der Regel etwas zu hohe Pegel, die somit aber auf der „sicheren Seite“ liegen. Für die Detailschärfe eines Bebauungsplans stellt dieser Ansatz erfahrungsgemäß eine praktikable Voreinschätzung dar.

4. Betriebsprogramm

Für die Bahnstrecken München – Treuchtlingen (DB-Strecken 5501), München Laim – Obermenzing (DB-Strecke 5544) und München Nord Rbf – Karlsfeld (DB-Strecke 5563) wurden eine Prognose für das Jahr 2030 im Bereich des Bahnhofs München-Karlsfeld der DB Netz AG [16] zugrunde gelegt. Die Zugzahlen sind Prognosezahlen für das Jahr 2030 und berücksichtigen bereits mögliche zukünftige Taktverdichtungen. Eine bauliche Änderung der Bahnstrecke im Bereich des Plangebietes ist derzeit nicht absehbar.

Die Lage der einzelnen Bahnstrecken und Gleisanlagen im Bereich des Plangebietes ist aus den Abbildungen in Anlage 1 ersichtlich. Die im Rahmen der erschütterungstechnischen Untersuchung [17] erstellte Prognose wird nachfolgend anhand der vorliegenden Verkehrsmengen für das Jahr 2030 fortgeschrieben. Die angesetzten Zugmengen sind in folgender Tabelle zusammenfassend dargestellt.

| Tabelle 3: Belegungsprogramm der Bahnstrecke (Prognose 2030) | | |
|---|--|-------|
| Fahrtrichtung | Anzahl Vorbeifahrten im Beurteilungszeitraum | |
| | Tag | Nacht |
| Bahnstrecke 5501 | | |
| Regionalverkehr (RE, RB) | 80 | 10 |
| ICE | 84 | 7 |
| IC | -- | -- |
| Güterzüge (GZ) | 4 | 2 |
| Bahnstrecke 5544 | | |
| S-Bahn | 136 | 24 |
| Bahnstrecke 5563 | | |
| Güterzüge (GZ) | 23 | 26 |

Die beiden dem Plangebiet nächstgelegenen Gleise 1 und 2 werden vom S-Bahnverkehr genutzt (DB-Strecke Nr. 5544). Die Gleise 3 und 4 dienen dem Fern- und Güterverkehr der DB-Strecke Nr. 5501. Gleis 5 und 6 werden durch den Güterverkehr der Bahnstrecke 5563 genutzt.

5. Messungen

5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung

Es wurde an ausgewählten Messpunkten in verschiedenen Abständen zur Bahnstrecke gemessen [12]. Die Messungen fanden am 23.10.2013 in der Zeit von 10:00 bis 16:00 Uhr statt. Für die messtechnische Ermittlung von erforderlichen Abständen zum Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall wurden Messpunktfolgen mit unterschiedlichen orthogonalen Abständen zur Bahntrasse

angeordnet, sog. Messquerschnitte (2 Querschnitte mit jeweils 4 Messpunkten). An den Messquerschnitten 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 nachfolgender Tabelle 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 Gleises (Gleisachse von Gleis 1).

| Messpunkt | Lage des Messpunkts | Messrichtung | Abstand zur Gleisachse ca. [m] |
|-----------|---------------------|--------------|--------------------------------|
| MP 1 | Geländeoberfläche | vertikal | 11 |
| MP 2 | Geländeoberfläche | vertikal | 20 |
| MP 3 | Geländeoberfläche | vertikal | 32 |
| MP 4 | Geländeoberfläche | vertikal | 64 |
| MP 5 | Geländeoberfläche | vertikal | 11 |
| MP 6 | Geländeoberfläche | vertikal | 20 |
| MP 7 | Geländeoberfläche | vertikal | 32 |
| MP 8 | Geländeoberfläche | Vertikal | 64 |

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

| Fahrzeugklasse | Zugart | Mittlere gemessene Geschwindigkeit [km/h] | Anzahl der gemessenen Vorbeifahrten |
|----------------|--------|---|-------------------------------------|
| Nahverkehr | S-Bahn | 60 | 26 |
| Nahverkehr | RE, RB | 110 | 7 |
| Fernverkehr | ICE | 135 | 13 |
| Güterverkehr | GZ | 55 | 7 |

Die Geschwindigkeiten der vorbeifahrenden Züge wurden unter Verwendung einer Radarpistole der Firma Bushnell erfasst und protokolliert; diese Geschwindigkeiten entsprechen den zu erwartenden Fahrgeschwindigkeiten für den Nah-, Fern-, Güter- und Regionalverkehr auf der freien Strecke.

5.2 Messgeräte

Für die Messungen und Auswertungen wurden folgende Geräte verwendet:

- Beschleunigungsaufnehmer der Fa. Kistler, Typ 8612B5, Empfindlichkeit 1000 mV/g, Arbeitsfrequenzbereich 0,5 Hz – 5000 Hz, Messbereich 5 g
- Beschleunigungsaufnehmer der Fa. PCB, Typ 393A03, Empfindlichkeit 1000 mV/g, Arbeitsfrequenzbereich 0,3 Hz – 4000 Hz, Messbereich 5 g
- Messdatenerfassung und –konditionierung mit dem 8-kanaligen Messsystem DT-9841E „MEDA“ der Fa. Wölfel
- Signalanalyse Software MEDA, Version 8.1 der Fa. Wölfel
- Kalibrator, VC 10 der Fa. Metra

Das Gerät zur Messdatenerfassung und –konditionierung sowie die Beschleunigungsaufnehmer wurden im Juli 2012 in einem Prüflabor kalibriert. Vor der Messdurchführung wurden die Beschleunigungsaufnehmer nachkalibriert.

Vor jeder Messung wurden die Messkanäle abgeglichen. Das Einlesen der Kanäle erfolgte simultan. Zu Beginn und nach jeder Messreihe wurden Nullmessungen zur Betrachtung des Störeinflusses durchgeführt.

Die Erschütterungssignale wurden über die beschriebene Messkette synchron aufgenommen und auf Datenträger gespeichert. Parallel zur Messwert-Aufzeichnung wurden die Zuggattung, das Gleis, die Geschwindigkeit und weitere Besonderheiten (z.B. Flachstellen, wechselnde Fahrgeschwindigkeiten, Überschneidungen usw.) notiert.

5.3 Ankopplung der Messpunkte

Die Ankopplung der Beschleunigungsaufnehmer 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 [5]. 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. Auswertung der messtechnischen Untersuchungen

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 einige maßgebende gemittelte Terzpegelschnellespektren an den einzelnen Messpunkten.

Einleitung der Erschütterungen vom Erdreich in das Gebäude:

Für die Übertragung der Schwingungen vom Erdreich in das Gebäude sind die dynamischen Eigenschaften der Empfängerstruktur und die Rückwirkung des angrenzenden Bodens bestimmend. Für eine Vorabschätzung ist die Überhöhung der Schwingungen beim Übergang vom Erdreich in das Gebäude abhängig von der Gebäudemasse und der Frequenz [9]. Entsprechend wird die Abnahme der Schnellepegel frequenz- und gebäudemasseabhängig angesetzt.

Erschütterungsausbreitung innerhalb des Gebäudes:

Die Anregung des Gebäudefundaments wird i.d.R. 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. Die Vergrößerungs-Faktoren 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 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 zu den unten aufgelisteten höchsten $KB_{F_{Tm}}$ - Werten für Rohdecken mit Eigenfrequenzen bis 40 Hz bzw. unter der Annahme des Einbaus eines schwimmenden Estrichs für Rohdecken mit Estrich und Estrich Eigenfrequenzen von $f_0 \approx 50 - 80$ Hz für die Plangebäude. Ausgehend von den Terzschnellespektren (Anlage 3) ergeben sich bei der Prognoseabschätzung als Erschütterungsimmissionen des Durchgangsverkehrs:

| Tabelle 6: Prognostizierte höchste $KB_{F_{Tm}}$ – Werte bzw. $KB_{F_{Tr}}$ – Werte tags / nachts auf den Geschossdecken von künftigen Gebäuden an den Messpunkten | | | | |
|---|--------------------------------|----------------------|----------------------|--------|
| Messpunkt | Abstand zur Gleisachse ca. [m] | $KB_{F_{Tm}}$ – Wert | $KB_{F_{Tr}}$ – Wert | |
| | | | tags | nachts |
| MP 1 | 11 | 0,64 | 0,14 | 0,08 |
| MP 2 | 20 | 0,22 | 0,05 | 0,03 |
| MP 3 | 32 | 0,11 | 0,03 | 0,02 |
| MP 4 | 64 | 0,03 | 0,01 | 0,00 |
| MP 5 | 11 | 0,54 | 0,12 | 0,07 |
| MP 6 | 20 | 0,15 | 0,04 | 0,02 |
| MP 7 | 32 | 0,13 | 0,03 | 0,02 |
| MP 8 | 64 | 0,06 | 0,01 | 0,01 |

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

| Tabelle 7: Prognostizierte mittlere Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls in Räumen fiktiver Gebäude 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 | 11 | 53,4 | 35,0 | 30,5 |
| MP 2 | 20 | 43,7 | 26,3 | 22,2 |
| MP 3 | 32 | 35,7 | 18,6 | 14,4 |
| MP 4 | 64 | 28,2 | 9,3 | 8,3 |
| MP 5 | 11 | 48,6 | 31,2 | 27,3 |
| MP 6 | 20 | 39,3 | 22,9 | 19,7 |
| MP 7 | 32 | 35,0 | 17,3 | 13,0 |
| MP 8 | 64 | 28,3 | 10,3 | 6,1 |

7. Beurteilung der Erschütterungen und des Sekundärluftschalls

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 schadhafte Zugmaterial) von diesen Mittelwerten abweichen.

Die Aussagen beziehen sich auf die vorliegenden Unterlagen, die derzeitige Höhenentwicklung und Untergrundsituation im Plangebiet 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.

Bei anderweitigen Bauweisen (z. B. Leicht- bzw. Holzbauweise) können höhere Erschütterungseinwirkungen nicht ausgeschlossen werden. Da das geplante Vorhaben im Rahmen eines vorhabenbezogenen Bebauungsplans realisiert wird und die Planungen eine konventionelle Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) vorsehen (vgl. [14]), wird nachfolgend nicht näher auf bspw. Leicht- bzw. Holzbauweisen eingegangen. Hierzu liegt eine separate bauldynamische FEM-Simulation vor. [20]

Die Messungen enthalten erhöhte Prognoseunsicherheiten durch die Ankopplung auf dem zum Teil befestigten Gelände sowie die bisher nicht absehbare Bauausführung der Gebäude, so dass im Einzelfall auch deutlich günstigere Erschütterungswerte nicht auszuschließen sind. Als Plangebäude wurden Einfamilienhäuser angenommen. Für den Fall der Errichtung von größeren Gebäuden (2-stöckig oder 4-stöckig) ist von einer verbesserten Erschütterungs- bzw. sekundärer Luftschallsituation auszugehen. Die Ermittlung und Beurteilung stellt somit für Gebäude in konventioneller Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) einen Worst-Case dar.

Für die Beurteilung der Gesamtsituation müssen sowohl die Erschütterungen als auch der sekundäre Luftschall die entsprechenden Anhalts- und Richtwerte einhalten. Bei der Beurteilung des Plangebietes wird von einem Allgemeinen Wohngebiet (WA) gemäß §4 BauNVO ausgegangen.

7.1 Erschütterungen

Ein Vergleich der ermittelten KB_{Fm} -Werte von 0,03 (MP 4) bis 0,64 (MP 1) mit dem unteren Anhaltswert A_u (0,15/0,1 tags/nachts) zeigt, dass an den Messpunkten MP 1, 2, 3, 5, 6 und 7 das A_u -Kriterium überschritten wird, wobei auch die Fühlbarkeitsschwelle von $KB \geq 0,1$ zum Teil erheblich überschritten wird.

Deshalb wird zur Beurteilung der Situation die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{Fr} herangezogen: Die Bewertung der prognostizierten Beurteilungs-Schwingstärken ($KB_{Fr} = 0,01/0,00$ bis $0,14/0,08$ Tag/Nacht gem. Tab. 6) zeigt, dass die Anhaltswerte A_r für Wohngebiete (0,07/0,05 tags/nachts) an den Messpunkten MP 1 und MP 5, d.h. im Nahbereich der Bahnstrecken überschritten werden. An den Messpunkten MP 4 und MP 8 (d. h. innerhalb des Plangebietes) werden die Anhaltswerte A_r für WA zuverlässig eingehalten.

Die Ermittlung des erforderlichen Mindestabstands erfolgte auf Basis einer Regressionsfunktion über die verschiedenen Messpunktabstände. Demnach beträgt der erforderliche Mindestabstand für die

Gebäude zur Errichtung von Wohnnutzungen bzw. baulich daran gekoppelten Gebäuden/Bauteilen zur Einhaltung der Erschütterungsimmissionen ca. 20 m zur nächstgelegenen Gleisachse.

7.2 Sekundärluftschall

Die prognostizierten mittleren Maximalpegel betragen an den Messpunkten bis zu $L_{Amax} = 54$ dB(A) (MP-1) und die Mittelungspegel des Sekundärluftschalls betragen bis zu $L_{A,m}$ bis 36/31 dB(A) tags/nachts (ebenfalls MP 1).

Somit überschreiten die prognostizierten Mittelungspegel des Sekundärluftschalls die Innenraumrichtwerte gemäß TA Lärm von 35/25 dB(A) tags/nachts. Die Innenraumrichtwerte werden an den Messpunkten MP 1 und MP 5 um bis zu ein dB(A) tags und um bis zu 6 dB(A) nachts überschritten. Die prognostizierten Maximalpegel des Sekundärluftschalls überschreiten die Innenraumrichtwerte gemäß TA Lärm (45/35 dB(A) Tag/Nacht) an den Messpunkten MP 1, 2, 3, 5 und 6 zum Teil deutlich.

Die Ermittlung des erforderlichen Mindestabstands erfolgte auf Basis einer Regressionsfunktion über die verschiedenen Messpunktabstände. Demnach beträgt der erforderliche Mindestabstand für die Gebäude zur Errichtung von Wohnnutzungen bzw. baulich daran gekoppelten Bauteilen zur Einhaltung der Sekundärluftschallimmissionen ca. 33 m zur nächstgelegenen Gleisachse der Bahnstrecke. Die östliche Plangebietsgrenze bzw. Baugrenze des Planvorhabens befindet sich in einem Abstand von bis zu 43 m Entfernung zum nächstgelegenen Gleis 1 der Bahnstrecken, sodass die Anforderungen an den Sekundärluftschall eingehalten werden können.

Es ist jedoch im Rahmen der Bauausführung darauf zu achten, dass auch baulich an die Plangebäude gekoppelte Bauteile im Erdreich (bspw. Tiefgaragen etc.) die vorgeschlagenen Mindestabstände einhalten oder durch technische bzw. konstruktive Maßnahmen (z. B. durch eine Trennfuge) baulich von den Plangebäuden getrennt oder entkoppelt werden bzw. durch geeignete Maßnahmen (z. B. (teil-)elastische Gebäudelagerung) vom umgebenden Erdreich entkoppelt werden.

8. Formulierungsvorschläge für den Bebauungsplan

8.1 Satzung

- keine -

8.2 Begründung

Aufgrund der räumlichen Nähe des Vorhabens zu den oberirdischen Bahnanlagen im Osten des Bebauungsplans wurden die Einwirkungen durch Erschütterungen sowie Sekundärluftschall untersucht (Möhler + Partner Ingenieure AG, Bericht Nr. 700-6421-ERS-1, November 2021). Dabei wurden die bestehenden Erschütterungsimmissionen messtechnisch erfasst und die künftig zu erwartenden Einwirkungen prognostiziert und anhand der Vorgaben der DIN 4150 sowie der TA Lärm beurteilt.

Bezüglich der Erschütterungseinwirkungen wurde die höchste maximal bewertete Schwingstärke mit bis zu $KB_{F_{Tm}} = 0,64$ im Nahbereich der Bahnstrecken (ca. 11 m Entfernung) gemessen. Die höchsten

Beurteilungsschwingstärken wurden mit bis zu $KB_{Fr} = 0,14/0,08$ im Nahbereich der Bahnstrecken (ca. 11 m) gemessen. Auf Basis einer Regression über alle Messergebnisse wurde ein Mindestabstand für relevante Erschütterungseinwirkungen ermittelt. Demnach beträgt der erforderliche Mindestabstand, zu Einhaltung der Anforderungen gem. DIN 4150-2, für die Gebäude zur Errichtung von Wohnnutzungen bzw. baulich daran gekoppelten Gebäuden/Bauteilen zur Einhaltung der Erschütterungsimmissionen ca. 20 m zur nächstgelegenen Gleisachse.

Hinsichtlich der Einwirkungen durch Sekundärluftschall wurden die höchsten Maximalpegel mit bis zu $L_{max} = 54$ dB(A) im Nahbereich der Bahnstrecken (ca. 11 m Entfernung) prognostiziert. Die höchsten Beurteilungspegel konnten mit bis zu $L_r = 36/31$ dB(A) tags/nachts im Nahbereich der Bahnstrecken (ca. 11 m Entfernung) festgestellt werden. Anhand der vorliegenden Prognoseergebnisse wurde mit Hilfe einer Regression ein Mindestabstand zu Einhaltung der Anforderungen an Innenpegel gemäß TA Lärm ermittelt. Der aus den Prognoseergebnissen ermittelte Mindestabstand beträgt im vorliegenden Fall bis zu 33 m zum nächstgelegenen Gleis der Bahnstrecken.

Das gegenständliche Plangebiet befindet sich in einem Abstand von bis zu 43 m (Abstand Baugrenzen bis zu 45 m) zum nächstgelegenen Gleis der Bahnstrecken, sodass im Falle der vorgesehenen konventionellen Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) relevante Einwirkungen durch Erschütterungen und Sekundärluftschall ausgeschlossen werden können. Es ist jedoch im Rahmen der Bauausführung darauf zu achten, dass auch baulich an die Plangebäude gekoppelte Bauteile im Erdreich (bspw. Tiefgaragen etc.) die vorgeschlagenen Mindestabstände einhalten oder durch technische bzw. konstruktive Maßnahmen (z. B. durch eine Trennfuge) baulich von den Plangebäuden getrennt oder entkoppelt werden bzw. durch geeignete Maßnahmen (z. B. (teil-) elastische Gebäudelagerung) vom umgebenden Erdreich entkoppelt werden.

Dieses Gutachten umfasst 21 Seiten und 3 Anlagen. Die auszugsweise Vervielfältigung des Gutachtens ist nur mit Zustimmung der Möhler + Partner Ingenieure AG gestattet.

München, den 19. April 2022

Möhler + Partner
Ingenieure AG



i. V. Dipl.-Ing. 



i. V. 

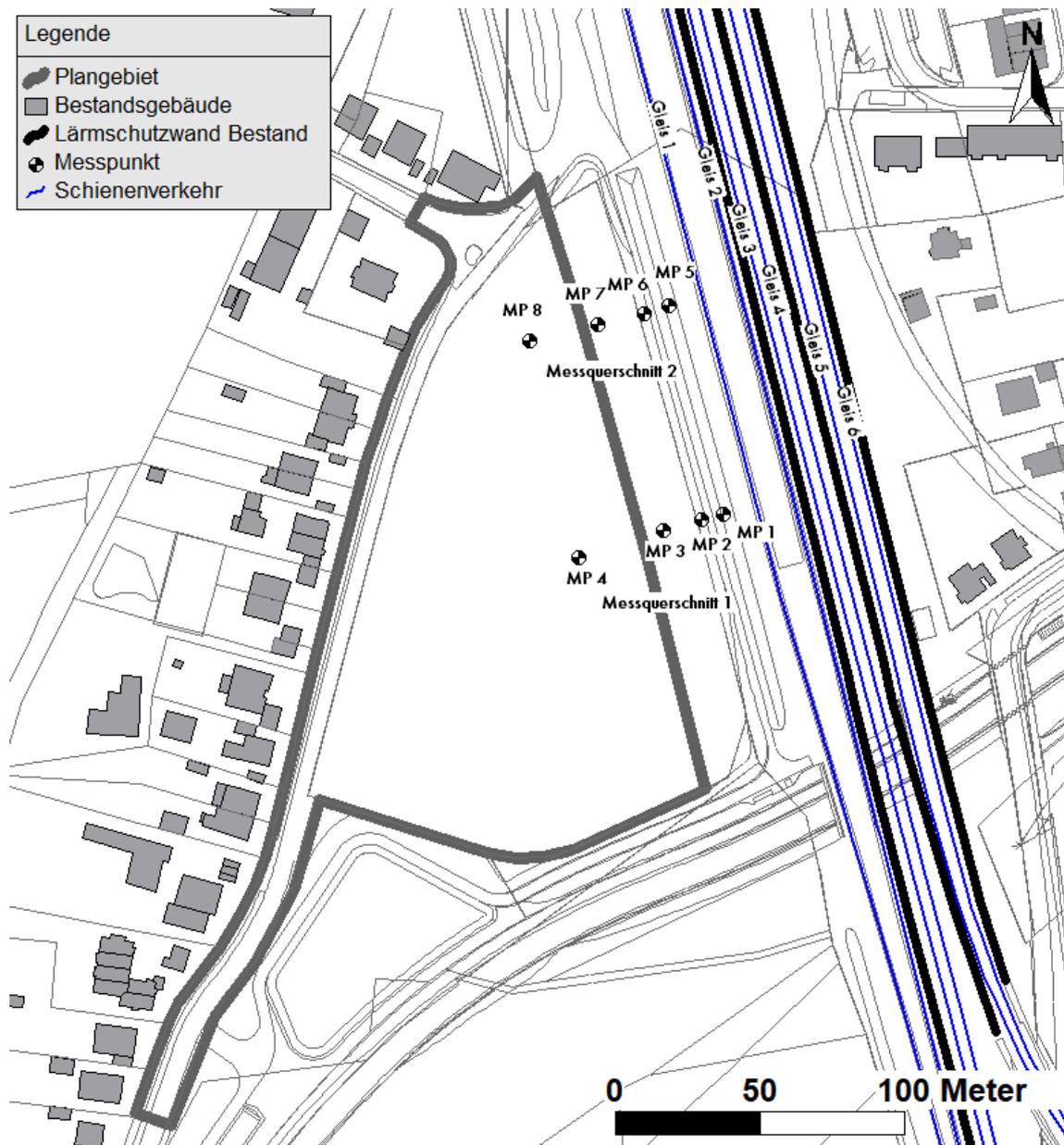
9. Anlagen

Anlage 1: Lageplan

Anlage 2: Fotografische Dokumentation

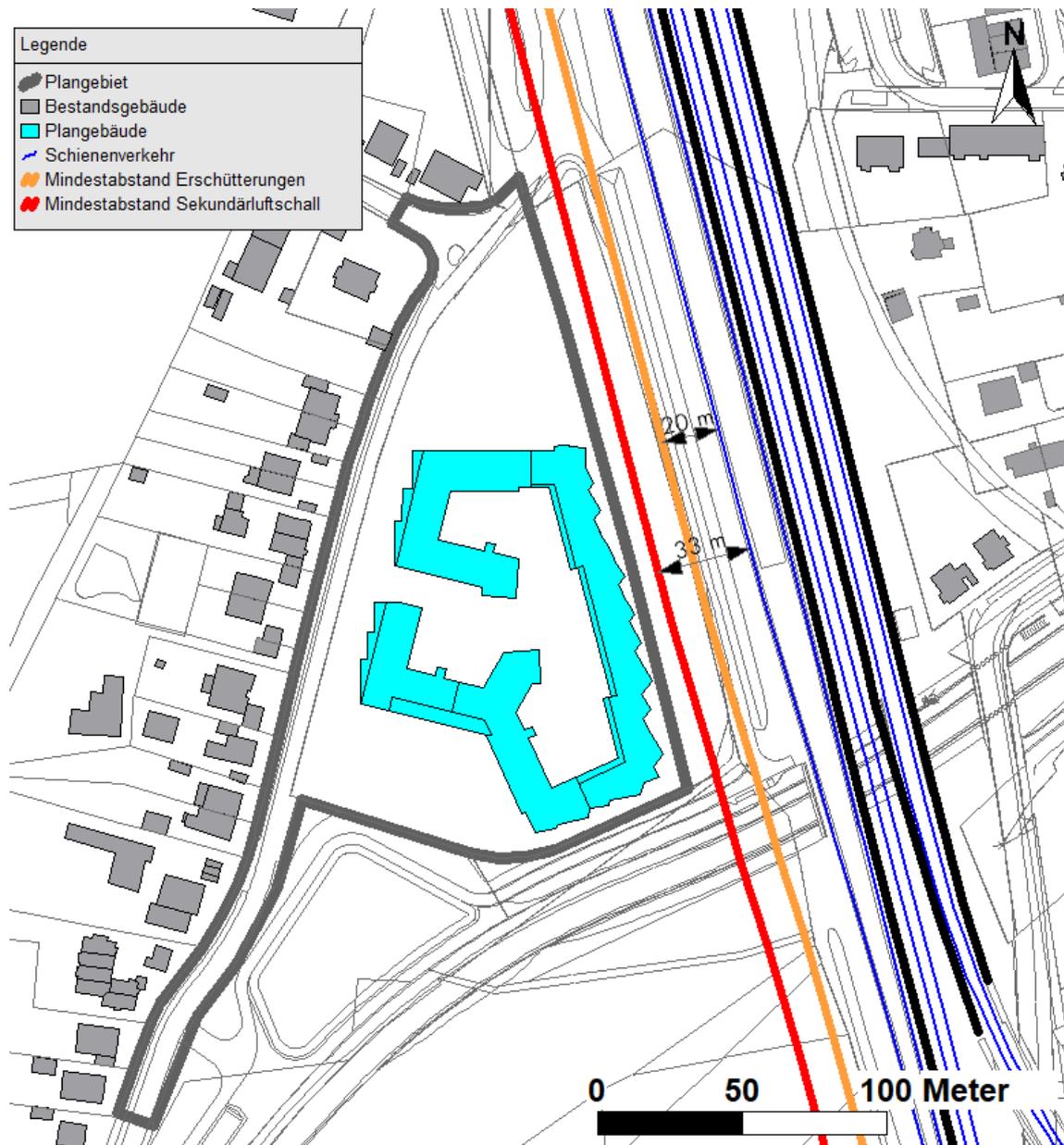
Anlage 3: Mittlere Max-Hold-Terzspektren an den Messpunkten

Anlage 1: Lageplan



© eigene Darstellung mit Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung

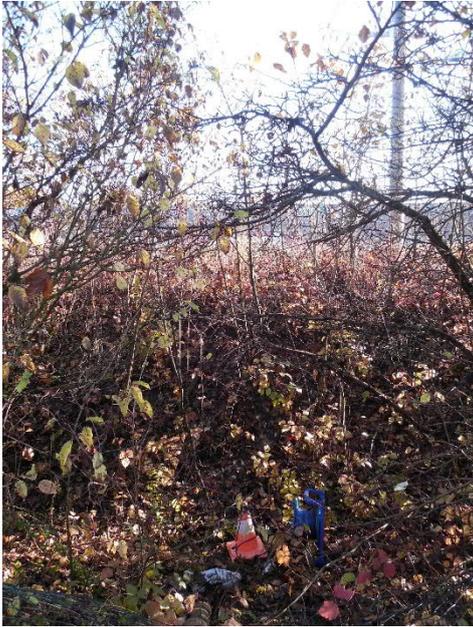
Lageplan zu Mindestabständen



© eigene Darstellung mit Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung

Anlage 2: Fotografische Dokumentation Quelle: eigene Fotos

Messpunkt MP 1



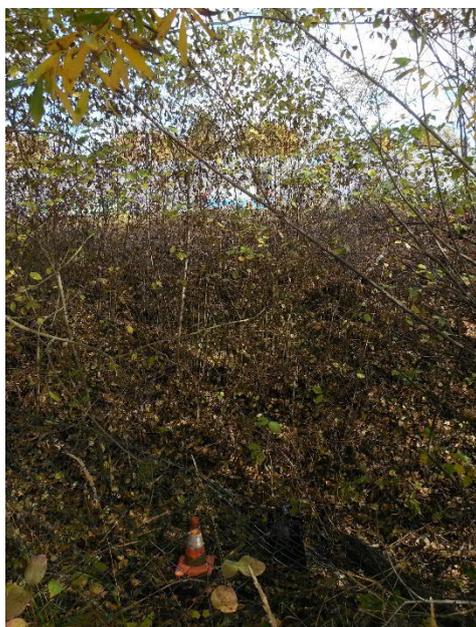
Messpunkte MP 2 und 3



Messpunkt MP 4



Messpunkt MP 5



Messpunkt MP 6 und 7



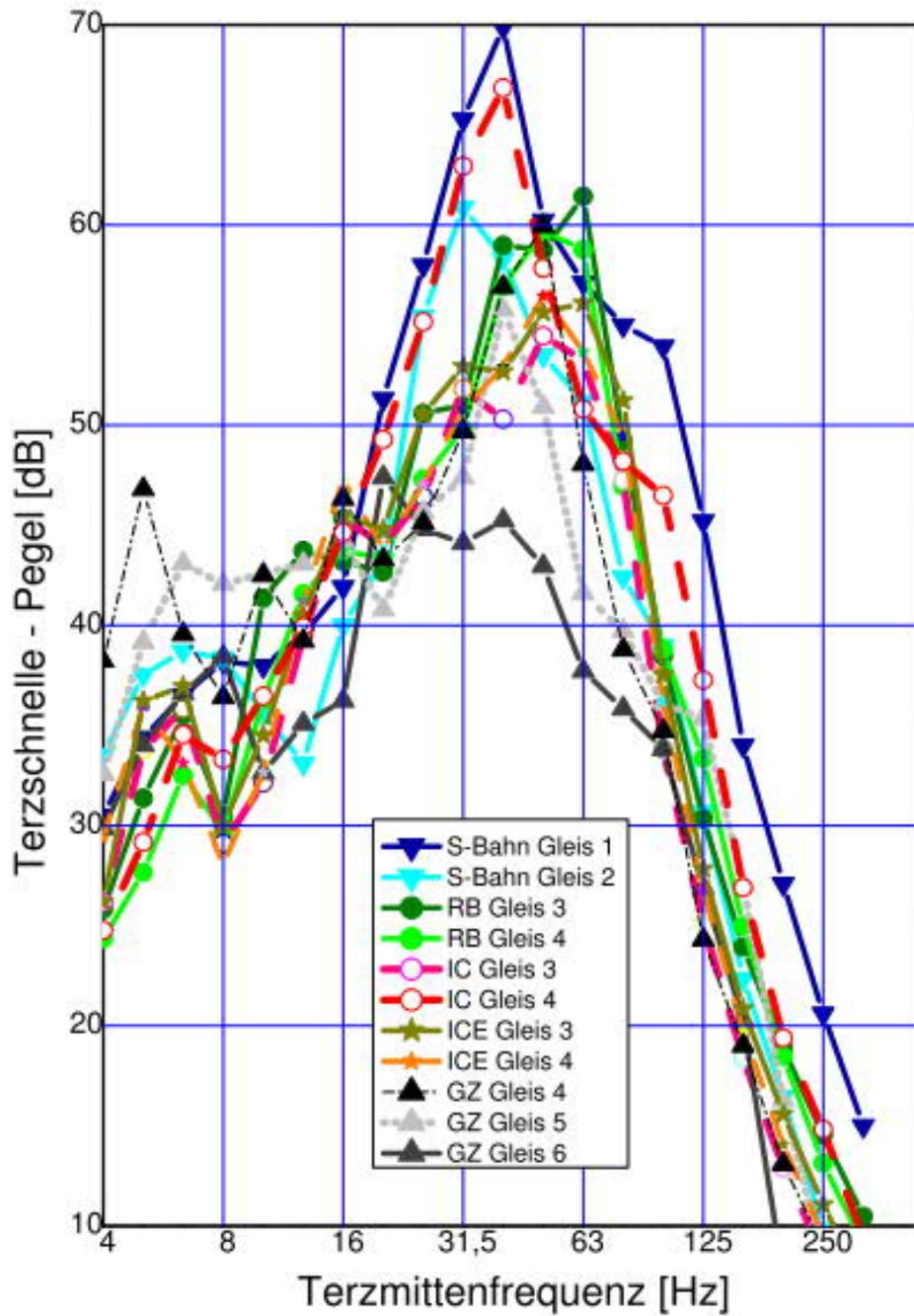
Messpunkt MP 8



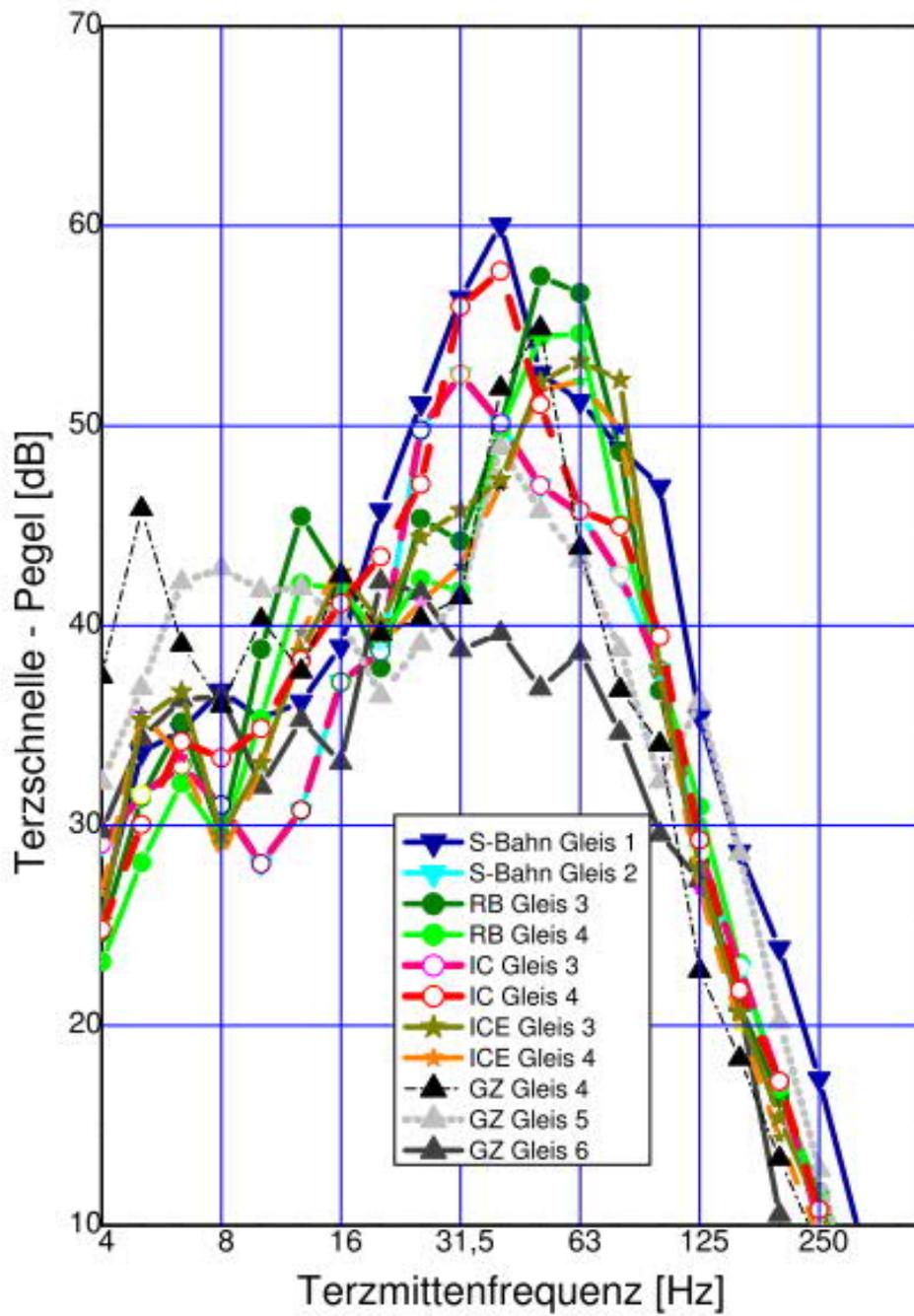
Anlage 3: Mittlere Max-Hold-Terzspektren an den Messpunkten

Quelle: eigene Darstellungen

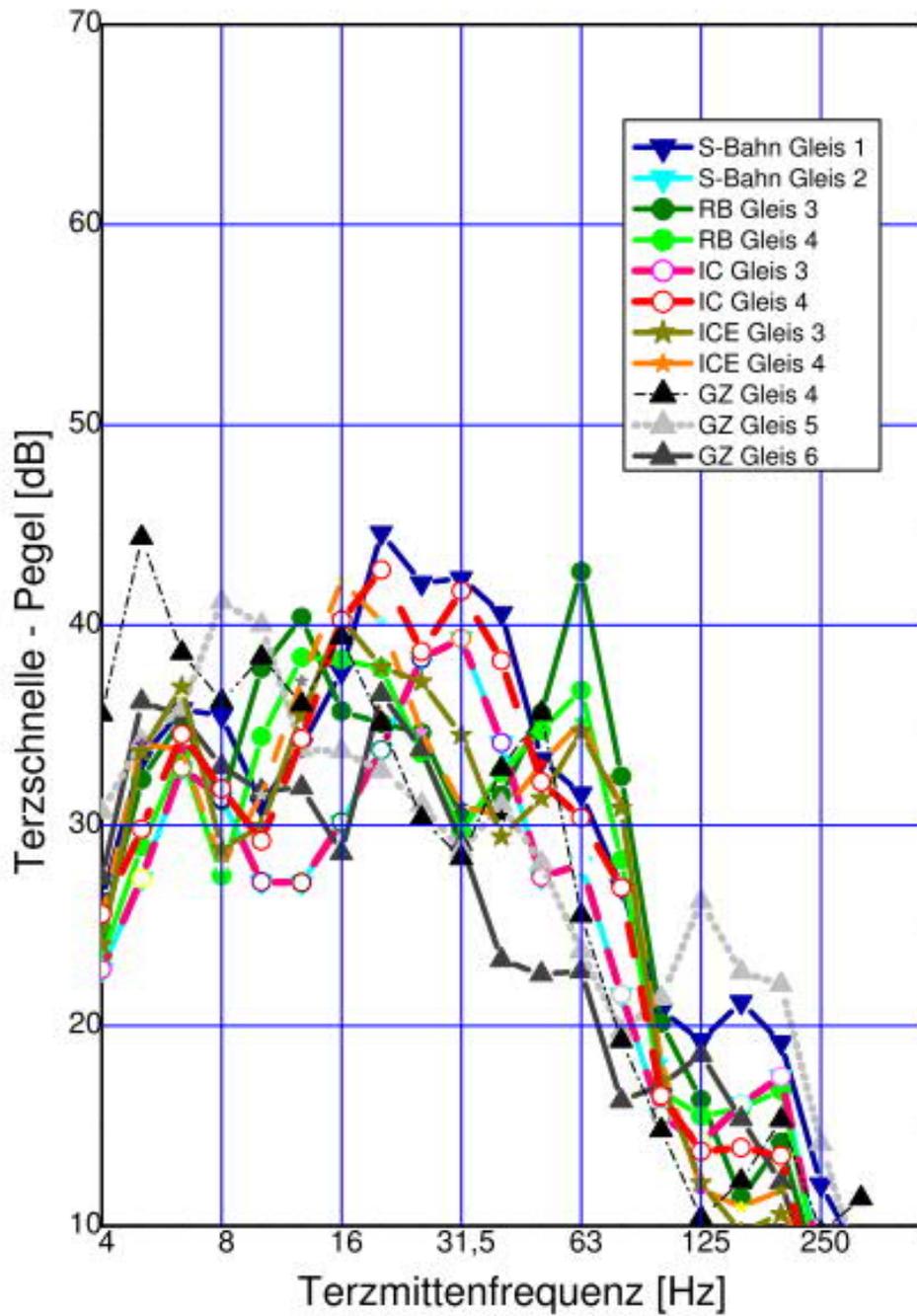
Messpunkt MP 1



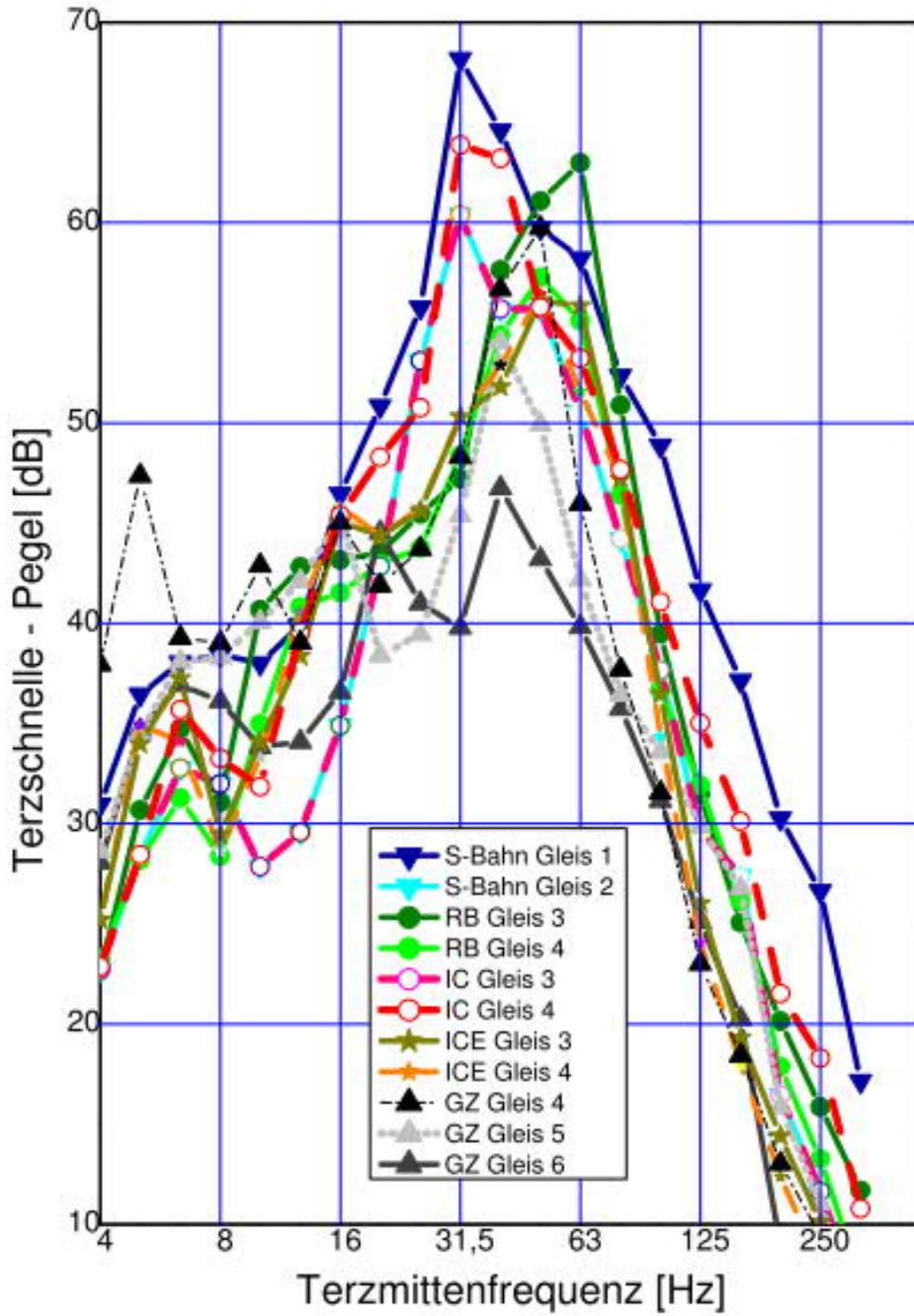
Messpunkt MP 2



Messpunkt MP 4



Messpunkt MP 5



Messpunkt MP 7

