

Erschütterungstechnische Untersuchung

Bebauungsplan Nr. 71b / 18

Gemeinde Unterföhring

Bericht Nr. 700-6184

im Auftrag der

Gemeinde Unterföhring

85774 Unterföhring

München, im Juni 2021

## Erschütterungstechnische Untersuchung

Bebauungsplan Nr. 71b / 18  
Gemeinde Unterföhring

**Bericht-Nr.:** 700-6184-1

**Datum:** 28.06.2021  
ersetzt den Bericht 700-6184 vom 27.05.2020

**Auftraggeber:** Gemeinde Unterföhring  
Münchner Straße 70  
85774 Unterföhring

**Auftragnehmer:** Möhler + Partner Ingenieure AG  
Landaubogen 10  
D-81373 München  
T + 49 89 544 217 - 0  
F + 49 89 544 217 - 99  
[www.mopa.de](http://www.mopa.de)  
[info@mopa.de](mailto:info@mopa.de)

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. (FH) Manuel Rasch  
M.Sc. Christian Bews  
Dipl.-Ing. Hans Högg

## Inhaltsverzeichnis:

1. Aufgabenstellung .....	7
2. Örtliche Gegebenheiten .....	7
3. Grundlagen.....	8
3.1 Erschütterungen.....	8
3.1.1 Beurteilungsgrößen.....	8
3.1.2 Anhaltswerte zur Beurteilung .....	10
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 .....	17
7.1 Erschütterungen.....	17
7.2 Sekundärluftschall.....	17
8. Mögliche Schutzmaßnahmen .....	18
9. Formulierungsvorschlag für die Festsetzungen des Bebauungsplans .....	19
10. Anlagen.....	20

## Abbildungsverzeichnis:

<b>Abbildung 1:</b> Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren nach DIN 4150-2 für häufige Einwirkungen.....	9
---	---

## Tabellenverzeichnis:

<b>Tabelle 1:</b> Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach Tab. 1 der DIN 4150-2 (Auszug) .....	10
<b>Tabelle 2:</b> Immissionsrichtwerte „Innen“ nach TA Lärm [dB(A)].....	11
<b>Tabelle 3:</b> Belegungsprogramm der Bahnstrecke (Prognose 2030).....	12
<b>Tabelle 4:</b> Dokumentation zur Lage der Messpunkte.....	13
<b>Tabelle 5:</b> Messtechnisch erfasste verwertbare Vorbeifahrten während der Messzeit .....	13
<b>Tabelle 6:</b> Prognostizierte maximale $\overline{KB_{FTm,j}}$ – Werte bzw. $KB_{Fr}$ - Werte tags / nachts auf den Geschossdecken eines fiktiven Gebäudes an den Messpunkten.....	16
<b>Tabelle 7:</b> Mittlere prognostizierte Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls in Räumen eines fiktiven Gebäudes an den Messpunkten.....	16

## Grundlagenverzeichnis:

- [1] Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2019 (BGBl. I S. 432) 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 2019
- [5] 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
- [6] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren, Juni 2005
- [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] Vorabzug Planzeichnung zum Bebauungsplan Nr. 71b / 18, Goergens Mikloutz Partner GmbH, Planstand: 26.05.2020
- [10] Zugzahlen Prognose 2030, Bahn-Strecke 5556 (München-Ost – Flughafen München), Deutsche Bahn AG
- [11] Internetauftritt zur netzergänzenden Maßnahme NeM 23 <https://www.2.stammstrecke-muenchen.de/netzergaenzende-massnahmen.html>, aufgerufen am 28.06.2021
- [12] Einheimischen-Baugebiet, Gemeinde Unterföhring, Erschütterungstechnische Untersuchung, Möhler + Partner, Bericht-Nr. 800-1277, September 2002
- [13] Einheimischen-Baugebiet, Gemeinde Unterföhring, Erschütterungstechnische Untersuchung, Möhler + Partner, Bericht-Nr. 800-1277-1, November 2003
- [14] Melke, 1995, Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs, Prognose und Schutzmaßnahmen, Materialien Nr. 22, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
- [15] Erschütterungstechnische Untersuchung zum Bebauungsplan Nr. 71b / 18, Gemeinde Unterföhring, M+ P Bericht Nr. 700-6184 vom 27.05.2020

### Zusammenfassung:

Die Gemeinde Unterföhring plant die 2. Änderung des Bebauungsplans Nr. 71b/18 mit einer geänderten Lage der Baukörper.

In der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung wurde geklärt, ob sich aufgrund zwischenzeitlich fertig gestellten „Tunnel Unterföhring“ eine geänderte Immissionssituation gegenüber den ursprünglichen Untersuchungen ergibt.

Die Untersuchungen basieren auf Messungen im Plangebiet. Anhand dieser Messungen wurden die auf die Baukörper einwirkenden Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen prognostiziert und beurteilt.

Die Untersuchungen zeigen, dass bei den geplanten Abständen der Baukörper von mindestens 28 m zur nächstgelegenen Gleisachse die entsprechenden Anforderungen gerade noch eingehalten werden.

Unabhängig davon wurden mögliche *verhältnismäßige* Schutzmaßnahmen in Form einer Anordnung eines Isolierschlitzes unmittelbar vor allen aufsteigenden Kelleraußenwänden zur S-Bahnlinie aufgezeigt, um die entsprechenden Immissionen und hier insbesondere des Sekundärluftschalls zumindest zu reduzieren.

Für die Satzung und Begründung des Bebauungsplans wurde ein Formulierungsvorschlag unterbreitet.

## 1. Aufgabenstellung

Die Gemeinde Unterföhring plant die 2. Änderung des Bebauungsplans Nr. 71b/18. Der Bebauungsplanumgriff grenzt im Osten an die S-Bahnstrecke der S8 (München – Flughafen). Im Zusammenhang mit der Aufstellung des o.g. Bebauungsplans wurden im Jahr 2002 und 2003 erschütterungstechnische Untersuchungen (Bericht Nr. 800-1277 vom 09.09.2002 und Bericht Nr. 800-1277-1 vom 06.11.2003) von Möhler + Partner Ingenieure AG erstellt. Die Grundlage dieser Untersuchungen waren messtechnische Untersuchungen an der damaligen oberirdisch verlaufenden Strecke. In den Untersuchungen wurde die grundsätzliche Notwendigkeit von schwingungsmindernden Maßnahmen an den Baukörpern festgestellt.

In der 2. Änderung des Bebauungsplans ist nun eine geänderte Lage der Baukörper vorgesehen. Zudem wurde in der Zwischenzeit der „Tunnel Unterföhring“ fertig gestellt, so dass sich das Plangebiet im nördlichen Rampenbereich befindet und das Tunnelportal unmittelbar südöstlich angrenzt. Die nunmehr geänderten Emissions- und Transmissionsverhältnisse gegenüber den ursprünglichen Untersuchungen sind auf der Grundlage von Erschütterungsmessungen erneut zu ermitteln und auf dieser Grundlage die sich daraus ergebenden Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen zu beurteilen. Erforderlichenfalls sind Art und Umfang der notwendigen Schutzmaßnahmen dahingehend anzupassen. Die Ergebnisse wurden in der erschütterungstechnischen Untersuchungen (Bericht Nr. 700-6184) vom 27.05.2020 zusammengefasst. Aufgrund des Einwandsschreiben vom 19.05.2021 der DB Immobilien Region Süd ist eine Überarbeitung der Untersuchung notwendig.

Mit der Durchführung der Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure AG am 13.01.2020 von der Gemeinde Unterföhring beauftragt.

## 2. Örtliche Gegebenheiten

Der Geltungsbereich des Bebauungsplan Nr. 71b/18 liegt auf dem Areal zwischen der Aschheimer Straße und dem Mittleren-Isar-Kanal der Gemeinde Unterföhring. Das Gebiet wird östlich von der S-Bahnlinie München-Ost – München-Flughafen (Bahnstrecke 5556) begrenzt.

Die Bahnlinie verläuft von Norden kommend ebenerdig auf zwei durchgängig befahrenen Gleisen und liegt im Bereich des Plangebiets im Einflussbereich des nördlichen Rampenbauwerks für den „Tunnel Unterföhring“. Das eigentliche Tunnelportal liegt unmittelbar südöstlich des Plangebiets.

Gemäß den übermittelten Planunterlagen [9] beträgt der Abstand der geplanten Baukörper von der nächstgelegenen Gleisachse mindestens 28 m. Als bauliche Nutzung ist für das gesamte Plangebiet ein Allgemeines Wohngebiet (WA) vorgesehen.

Das Plangebiet und der weitere Umgriff – abgesehen von der Tunneleinfahrt - sind im Wesentlichen eben. Die genauen örtlichen Gegebenheiten können den Übersichtslageplänen (Anlage 1) entnommen werden.

### 3. Grundlagen

#### 3.1 Erschütterungen

Durch die Körperschallübertragung bzw. -anregung der Geschossdecken können in Gebäuden Erschütterungen fühlbar wahrgenommen werden.

Bei der Beurteilung von Erschütterungen existieren im Gegensatz zur Beurteilung von primärem Luftschall zurzeit keine gesetzlichen Regelungen. Art und Grad der individuellen Beeinträchtigung durch Erschütterungen hängen vom Ausmaß der Erschütterungsbelastung und verschiedenster situativer Faktoren ab.

Beispielhaft seien genannt:

- Stärke der Schwingungen (Schwingstärke, KB-Wert),
- Einwirkungsdauer,
- Häufigkeit des Auftretens,
- Art der Erschütterungsquelle (Sichtkontakt, Hörkontakt, ...),
- Wohlbefinden der Personen,
- Grad der Gewöhnung.

Die in der Norm DIN 4150 festgelegten Beurteilungsverfahren haben den Zweck, die oben genannten Einflüsse bestmöglich zu berücksichtigen. Im vorliegenden Fall erfolgt die Beurteilung der Erschütterungen gemäß dem Teil 2 dieser Normenreihe: „Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ [3]. Die Beurteilungsgröße für Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden ist dabei die bewertete Schwingstärke KB.

Bei der bewerteten Schwingstärke  $KB_e(t)$ -Wert gemäß DIN 4150 Teil 2 handelt es sich um eine der menschlichen Wahrnehmung angepasste Größe für die Erschütterungen. Zur Beurteilung der Erschütterungen wird sowohl die bauliche Nutzung der Umgebung, der so genannte Einwirkungsort, als auch der Tageszeitraum (Tag/Nacht) berücksichtigt. Die Norm trägt damit dem Effekt Rechnung, dass bei gleicher Erschütterungsintensität der Grad der Belästigung z.B. in Wohngebieten oder Krankenhäusern höher eingeschätzt wird als in Gewerbe- oder Industriegebieten.

##### 3.1.1 Beurteilungsgrößen

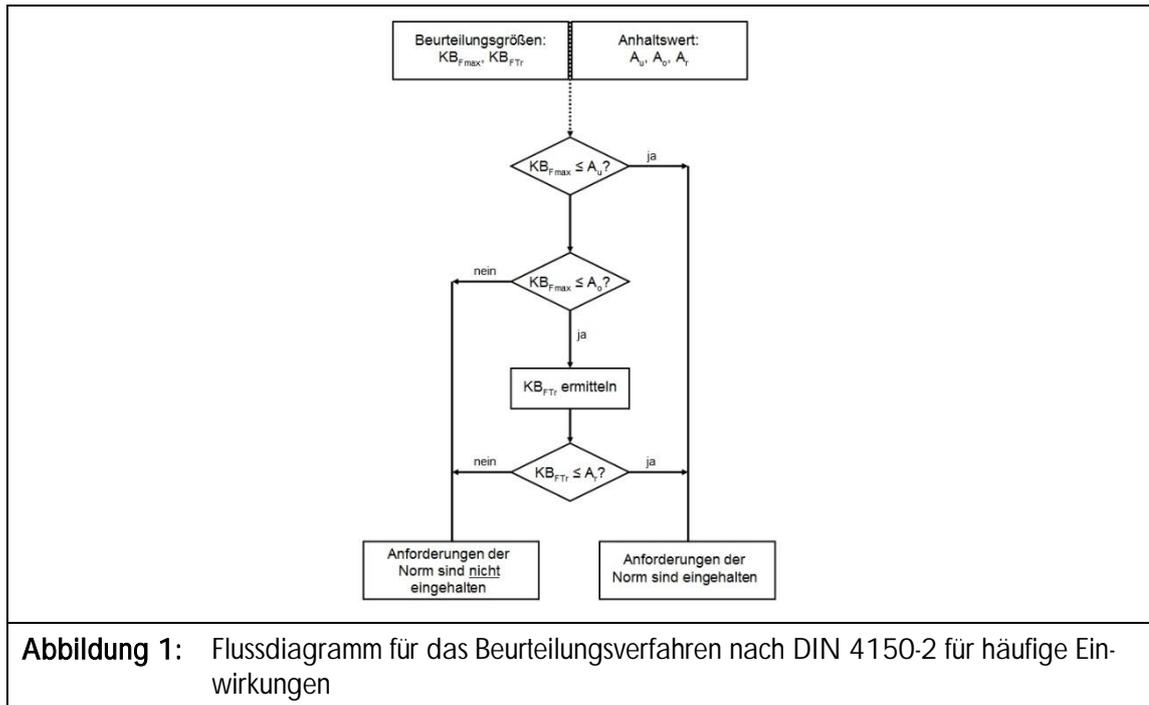
Hinsichtlich der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden nach DIN 4150, Teil 2 [3] werden zwei Beurteilungsgrößen gebildet:

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

## Beurteilungsverfahren

Das Beurteilungsverfahren unterscheidet zwischen selten auftretenden kurzzeitigen bzw. häufigen Einwirkungen, wobei beim Schienenverkehr grundsätzlich von häufigen Einwirkungen auszugehen ist.

Die Beurteilung nach DIN 4150-2 [3] erfolgt für häufige Einwirkungen nach dem im nachfolgenden Flussdiagramm dargestellten Beurteilungsschema:



Demnach ergeben sich folgende Beurteilungsgrundsätze:

- Ist  $KB_{Fmax}$  kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert  $A_u$ , dann sind die Anforderungen der Norm eingehalten.
- Ist der  $KB_{Fmax}$  größer als der (obere) Anhaltswert  $A_o$ , dann sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten.
- Ist  $KB_{Fmax}$  größer als der untere Anhaltswert 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  $KB_{FTr}$  größer als der Anhaltswert  $A_r$ , gilt die Anforderung der Norm als nicht eingehalten.

### 3.1.2 Anhaltswerte zur Beurteilung

Entsprechend des rechtskräftigen Bebauungsplans ist die Schutzbedürftigkeit als allgemeines Wohngebiet (WA) festgesetzt.

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen gelten für allgemeine Wohngebiete die nachfolgend dargestellten Anhaltswerte A nach Tabelle 1 DIN 4150, Teil 2 [3].

Tabelle 1: Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach Tab. 1 der DIN 4150-2 (Auszug)							
Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A <sub>u</sub>	A <sub>o</sub>	A <sub>r</sub>	A <sub>u</sub>	A <sub>o</sub>	A <sub>r</sub>
4	Allgemeines Wohngebiet	0,15	3	0,07	0,10	0,2	0,05

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

- Für oberirdische Schienenwege des ÖPNV gelten die um den Faktor 1,5 angehobenen A<sub>u</sub>- und A<sub>r</sub>-Werte, wobei bei städtebaulichen Planungen von Baugebieten die Anhaltswerte der Tabelle 1 der DIN 4150-2 eingehalten werden sollten.
- Bei der Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke KB<sub>FTr</sub> wird der Faktor 2 zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten nicht angewendet.
- Für den Schienenverkehr hat der (obere) Anhaltswert nachts allerdings nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne KB<sub>FTr</sub> – Werte bei oberirdischen Strecken gebietsunabhängig über A<sub>o</sub> = 0,6 so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Fahrzeugeinheit zu forschen (z.B. Flachstellen an Rädern) und diese möglichst rasch zu beheben. Diese hohen Werte sind bei der Berechnung von KB<sub>FTr</sub> zu berücksichtigen.

Einen Hinweis auf die Fühlbarkeit der Erschütterungseinwirkung gibt nach DIN 4150-2 [3] die Größe KB<sub>Fmax</sub>:

„... 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 [5] 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:

<b>Tabelle 2:</b> 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 [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  $\sigma$  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. Belegungsprogramm

Für die Bahnstrecke München-Ost – Flughafen München (DB-Strecke 5556) wurde eine Prognose für das Jahr 2030 der DB Netz AG [10] zugrunde gelegt. Die Zugzahlen sind Prognosezahlen für das Jahr 2030. Eine bauliche Änderung der Bahnstrecke im Bereich des Plangebietes ist derzeit nicht absehbar.

Die Lage der Bahnstrecke und Gleisanlagen im Bereich des Plangebietes sind aus Anlage 1 ersichtlich. Die angesetzten Zugmengen sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 3: Belegungsprogramm der Bahnstrecke (Prognose 2030)		
Bahnstrecke 5556	Anzahl Vorbeifahrten im Beurteilungszeitraum	
	Tag	Nacht
S-Bahn	248	32

Entlang des Plangebietes verläuft die Bahnstrecke zweigleisig. Dem Plangebiet nächstgelegenes Gleis ist das Gleis 1. Die S-Bahnen in Richtung München (Unterföhring) verkehren auf dem Gleis 1 und in Richtung Flughafen (Ismaning) auf Gleis 2.

## 5. Messungen

### 5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung

Zur Ermittlung der Beurteilungsgrößen durch Erschütterungen und Sekundärluftschall aufgrund des oberirdischen Schienenverkehrs wurden verschiedene Messpunkte mit unterschiedlichen orthogonalen Abständen zur Bahntrasse installiert.

Die Messungen fanden am 18.02.2020 in der Zeit von 11:00 bis 14:00 Uhr statt. An dem Messquerschnitt werden anschließend Verlaufsfunktionen der Erschütterungseinwirkungen 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 zusammengefasst. In der Anlage 1 sind die Messpunkte schematisch und in der Anlage 2 fotografisch dokumentiert. Die Auswertung der Messungen erfolgt bezüglich der jeweiligen Gleisachse. Die Abstandsangaben beziehen sich auf die Mitte des nächstgelegenen Durchgangsgleises.

Messpunkt	Lage des Messpunkts	Messrichtung	Abstand zur Gleisachse ca. [m]
MP 1	Geländeoberfläche	vertikal	10
MP 2	Geländeoberfläche	vertikal	28
MP 3	Geländeoberfläche	vertikal	35

In der nachfolgenden Tabelle 5 ist die Anzahl der messtechnisch erfassten verwertbaren Vorbeifahrten der S-Bahn 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 Gl. 1	S-Bahn	97	7
Nahverkehr Gl. 2	S-Bahn	106	8

Die Geschwindigkeiten der vorbeifahrenden Züge wurden unter Verwendung einer Radarpistole der Firma Bushnell erfasst und protokolliert. Die Geschwindigkeit der S-Bahnen betrug im Mittel 97 km/h auf Gleis 1 und im Mittel 106 km/h auf Gleis 2. Aufgrund der geplanten netzergänzenden Maßnahme (NeM23) [11] zur Fahrzeitenverkürzung zum Flughafen wird die ursprüngliche maximale

Streckengeschwindigkeit von 120 km/h auf 140 km/h erhöht. Eine entsprechende Anpassung wurde vorgenommen.

## 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
- 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 DAkKS akkreditierten Prüflaboratoriums der Möhler + Partner Ingenieure AG. In diesem Rahmen werden die Messgeräte regelmäßig überwacht und auf nationale Normale zurückgeführt.

Vor der Messung wurden die Messkanäle abgeglichen und die Messkette durch Abklopfen der Messaufnehmer für den Messeinsatz auf eine Funktionskontrolle überprüft. Das Einlesen der Kanäle erfolgte simultan. Zu Beginn und nach der 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 und weitere Besonderheiten (z. B. Flachstellen, Fahrgeschwindigkeiten usw.) notiert.

### *Messunsicherheit*

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

Zusätzliche Messunsicherheiten können allgemein durch Übersteuerung der Messgeräte, Störsignale, meteorologische Einflüsse oder Fremdeinwirkungen, schwankende Betriebszustände entstehen.

Schwingungen, die nicht Gegenstand der Mess- und Beurteilungsaufgabe waren, wurden anhand des Messprotokolls bei der Auswertung ausgeblendet und somit nicht berücksichtigt. Anhand der durchgeführten Nullmessungen wurde festgestellt, dass etwaige Störeinflüsse durch elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder soweit vermindert werden konnten, dass sie auf das Messergebnis keinen relevanten Einfluss hatten. Rückwirkungen des Schwingungsmessers auf das Messobjekt konnten aufgrund der geringen Masse des Messaufnehmers gegenüber der Masse des Messobjekts ausgeschlossen werden.

### 5.3 Ankopplung der Messpunkte

Die Ankopplung der Geschwindigkeitsaufnehmer auf der Geländeoberfläche erfolgte über Erdspeie mit einer Länge von  $l = 0,5$  m und X-förmigen Querschnitt entsprechend den Anforderungen der DIN 45669-2 [6]. Die Aufnehmer wurden mit dem Erdspeie mittels eines Adapters verschraubt. Die Erdspeie wurden in ebenen Untergrund geschlagen. Ein Verprellen der Speie beim Einschlagen wurde weitestgehend vermieden. Der feste Sitz der Erdspeie wurde überprüft. Zudem wurde auf eine zur Ebene möglichst lotrechte Erdspeie-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:**

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 [14]. Entsprechend wird die Abnahme der Schnellepegel frequenz- und gebäudemasseabhängig angesetzt.

#### **Erschütterungsausbreitung innerhalb des Gebäudes:**

Die Anregung des Gebäudefundaments 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  $\eta$  = 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  $KB_{F_{\text{max}}}$ -Werte ( $KB_{F_{\text{Tr}}}$ -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  $KB_{F_{\text{Tr}}}$ -Werten für ein zwei stöckiges Gebäude. Ausgehend von den Terzschnellespektren (Anlage 3) ergeben sich bei den Prognoseabschätzungen folgende Beurteilungsgrößen:

<b>Tabelle 6:</b> Prognostizierte maximale $\overline{KB_{F_{\text{Tr},j}}}$ – Werte bzw. $KB_{F_{\text{Tr}}}$ - Werte tags / nachts auf den Geschossdecken eines fiktiven Gebäudes an den Messpunkten				
Messpunkt	Abstand zur Gleisachse ca. [m]	maximaler $\overline{KB_{F_{\text{Tr},j}}}$ – Wert	$KB_{F_{\text{Tr}}}$ – Wert	
			tags	nachts
MP 1	10	0,44	0,14	0,07
MP 2	28	0,08	≤ 0,05	0,01
MP 3	35	0,05	≤ 0,05	≤ 0,01

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

Die Berechnungen des sekundären Luftschalls führen zu den unten aufgelisteten maximalen Geräuschspitzen  $\overline{L_{A,\text{max}}}$  an den jeweiligen Messpunkten:

<b>Tabelle 7:</b> Mittlere prognostizierte Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls in Räumen eines fiktiven Gebäudes an den Messpunkten				
Messpunkt	Abstand zur Gleisachse ca. [m]	Mittlere Geräuschspitzen des sekundären Luftschalls $\overline{L_{A,\text{max}}}$ [dB(A)]	Mittelungspegel $L_{A,m}$ [dB(A)]	
			tags	nachts
MP 1	10	50	35	29
MP 2	28	35	≤ 20	≤ 15
MP 3	35	31	≤ 20	≤ 15

## 7. 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.

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 Plangebiet werden die Anhaltswerte der DIN 4150-2 [3] für Allgemeine Wohngebiete (WA) bzw. die gebietsunabhängigen Immissionsrichtwerte „Innen“ der TA Lärm [5] herangezogen.

### 7.1 Erschütterungen

Ein Vergleich prognostizierten  $KB_{\text{Ftm,j}}$  – Werte mit den unteren Anhaltswerten  $A_u$  (0,15/0,10 tags/nachts) zeigt, dass das  $A_u$  - Kriterium sowohl tags als auch nachts ab einem Abstand von  $d = 28$  m zur nächstgelegenen Gleisachse eingehalten wird.

Ebenfalls halten bei einem Abstand von  $d = 28$  m die ermittelten Beurteilungs-Schwingstärken  $KB_{\text{Ftr}}$  verlässlich die Anhaltswerte  $A_r$  (0,07/0,05 tags/nachts) ein.

Gemäß den Planunterlagen [9] werden die Plangebäude in einem Abstand von  $d \geq 30$  m zur nächstgelegenen Gleisachse errichtet. Die Außenkante der Tiefgarage liegt laut [9] bei einem Abstand von  $d \geq 28$  m zur nächstgelegenen Gleisachse.

Die Anforderungen der DIN 4150-2 an den Erschütterungsschutz durch den oberirdischen Schienenverkehr werden somit für die geplanten Baukörper eingehalten.

Hinsichtlich der subjektiven Wahrnehmung ist davon auszugehen, dass die jeweiligen Vorbeifahrten unterhalb der Fühlbarkeitsschwelle liegen.

### 7.2 Sekundärluftschall

Ausgehend von den prognostizierten mittleren Maximal- und Mittelungspegeln des Sekundärluftschalls werden ab einem Abstand von  $d \geq 28$  m zur nächstgelegenen Gleisachse die Anforderungen der TA Lärm eingehalten.

Gemäß den Planunterlagen [9] werden die Plangebäude in einem Abstand von  $d \geq 30$  m zur nächstgelegenen Gleisachse errichtet. Die Außenkante der Tiefgarage liegt laut [9] bei einem Abstand von  $d \geq 28$  m zur nächstgelegenen Gleisachse.

Die Anforderungen der TA Lärm an den Sekundärluftschallschutz durch den oberirdischen Schienenverkehr werden somit für die geplanten Baukörper gerade noch eingehalten.

## 8. Mögliche Schutzmaßnahmen

Auf Basis der durchgeführten Messungen zeigt sich zwar, dass die Anforderungen an den Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall noch eingehalten werden.

Unabhängig davon werden im Folgenden mögliche *verhältnismäßige* Schutzmaßnahmen aufgezeigt, um die entsprechenden Immissionen und hier insbesondere des Sekundärluftschalls zumindest zu reduzieren.

- Anordnung eines Isolierschlitzes unmittelbar vor allen aufsteigenden Kelleraußenwänden zur S-Bahnlinie

Die Wirksamkeit dieses Schutzmaßnahmenkonzeptes beruht dabei auf theoretischen Überlegungen aus der einschlägigen Literatur sowie messtechnischen Untersuchungen an vergleichbaren Bauvorhaben.

Der Isolierschlitz ist folgendermaßen (von innen nach außen) aufzubauen:

- Kelleraußenwand mit Perimeterdämmung etc.
- ggf. Elastomermatte ( $d \geq 20 \text{ mm}$ )
- Mechanischer Schutz (z.B. Noppenschutzfolie o. ä.)
- Isolierschicht ( $d \geq 30 \text{ cm}$ )
- anstehendes Erdreich

Die Auswahl der Elastomermatte erfolgt in Abhängigkeit von den auftretenden Lasten (Erddruck o. ä.) vom jeweiligen Lagerhersteller. Als Anhaltswert ist für die Elastomermatten von einer dynamischen Steifigkeit  $c_{\text{dyn}} \leq 55 \text{ MN/m}^3$  bei der im Mittel zu erwartenden Vorlast und einer Anregungsfrequenz von 12 Hz auszugehen.

Die Isolierschicht ist durch ein formstabiles Material mit möglichst hohem Luftvolumenanteil auszuführen. Als Füllmaterial kann hier beispielsweise grobkörniger Drainageschotter, Blähtongranulat o. ä. in Betracht gezogen werden.

Ferner ist darauf zu achten, dass sowohl auf als auch unterhalb der Geländeoberkante bautechnische Schwingungsbrücken (z.B. vorgelagerte Lichtschächte, asphaltierte Laufwege, etc.) gründlich vom Hauptbauwerk entkoppelt werden.

## 9. Formulierungsvorschlag für die Festsetzungen des Bebauungsplans

### Satzung

- [1] Bei der Errichtung von Gebäuden mit schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen von Wohnungen, entlang der Bahn in einem Bereich von bis zu 28 m zur nächstgelegenen Gleisachse sowie in baulich daran gekoppelten Gebäuden, sind technische und konstruktive Maßnahmen hinsichtlich der sekundären Luftschallimmissionen und der Erschütterungsimmissionen des Bahnbetriebes vorzusehen, sodass die vorgegebenen Anforderungen an den Erschütterungs- bzw. Sekundärluftschallschutz gem. DIN 4150-2 bzw. TA Lärm, Abschnitt 6.2 i.d.F. vom 9. Juni 2017 eingehalten werden.

### Begründung

Aufgrund der Nähe des Plangebietes zur östlichen Zugstrecke München-Ost – München-Flughafen (Strecken 5556) 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 Gebäuden technische bzw. konstruktive Maßnahmen in einem Bereich von bis zu 28 m von der nächstgelegenen Gleisachse vorzusehen, so dass die gemäß DIN 4150-2 und TA Lärm, Abschnitt 6.2 i.d.F. vom 9. Juni 2017 vorgegebenen Anforderungen für Erschütterungen und Körperschallübertragungen eingehalten werden.

Diese erschütterungstechnische Untersuchung umfasst 20 Seiten und 3 Anlagen. Die auszugsweise Vervielfältigung ist nur mit Zustimmung der Möhler + Partner Ingenieure AG gestattet.

München, den 28. Juni 2021

Möhler + Partner  
Ingenieure AG



i.V. Dipl.-Ing.(FH) M. Rasch



i. V. M.Sc. C. Bews

## 10. Anlagen

Anlage 1: Lageplan

Anlage 2: Fotographische Dokumentation

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

## Anlage 1: Lageplan

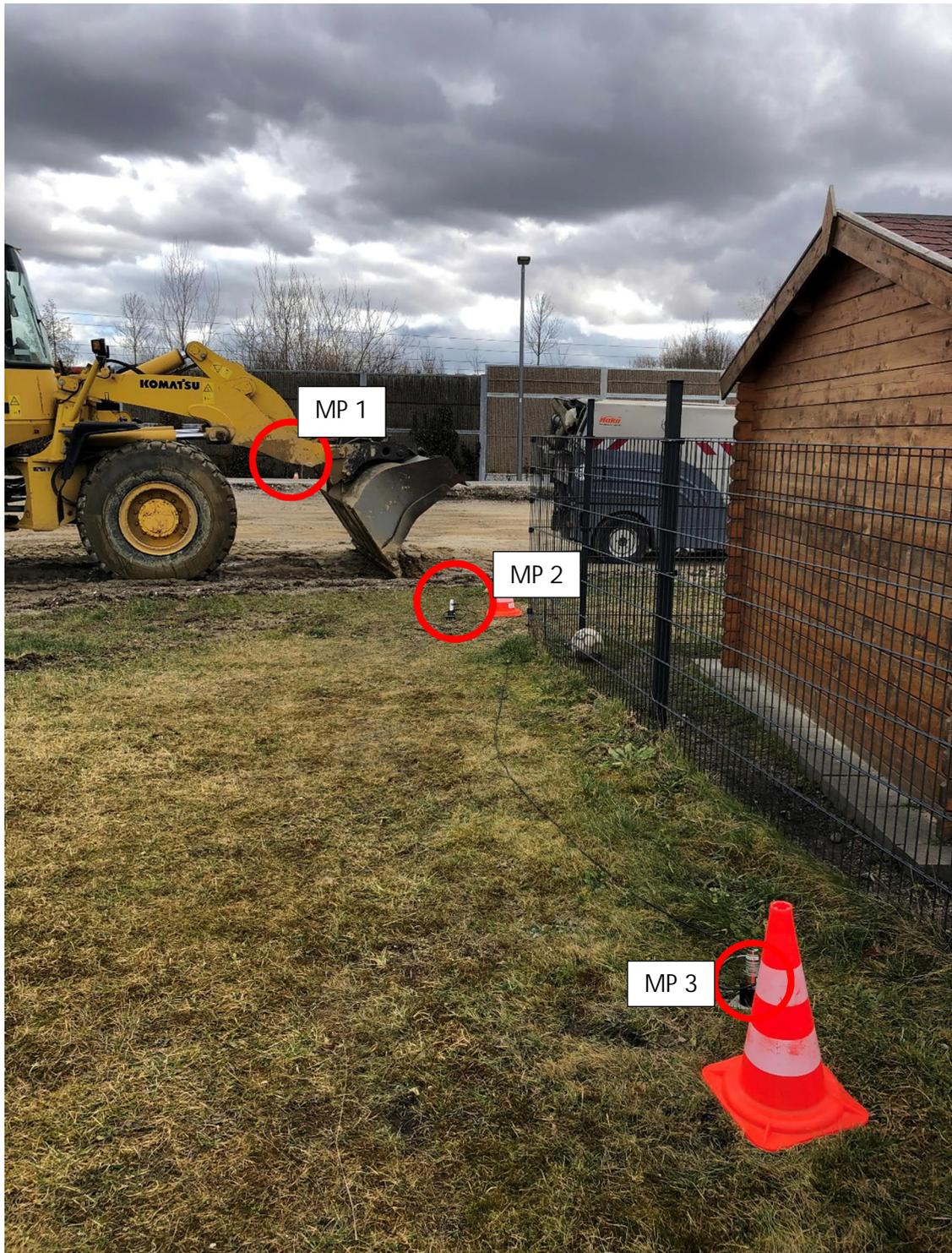


Anlage 2:                    Fotografische Dokumentation

MP 1

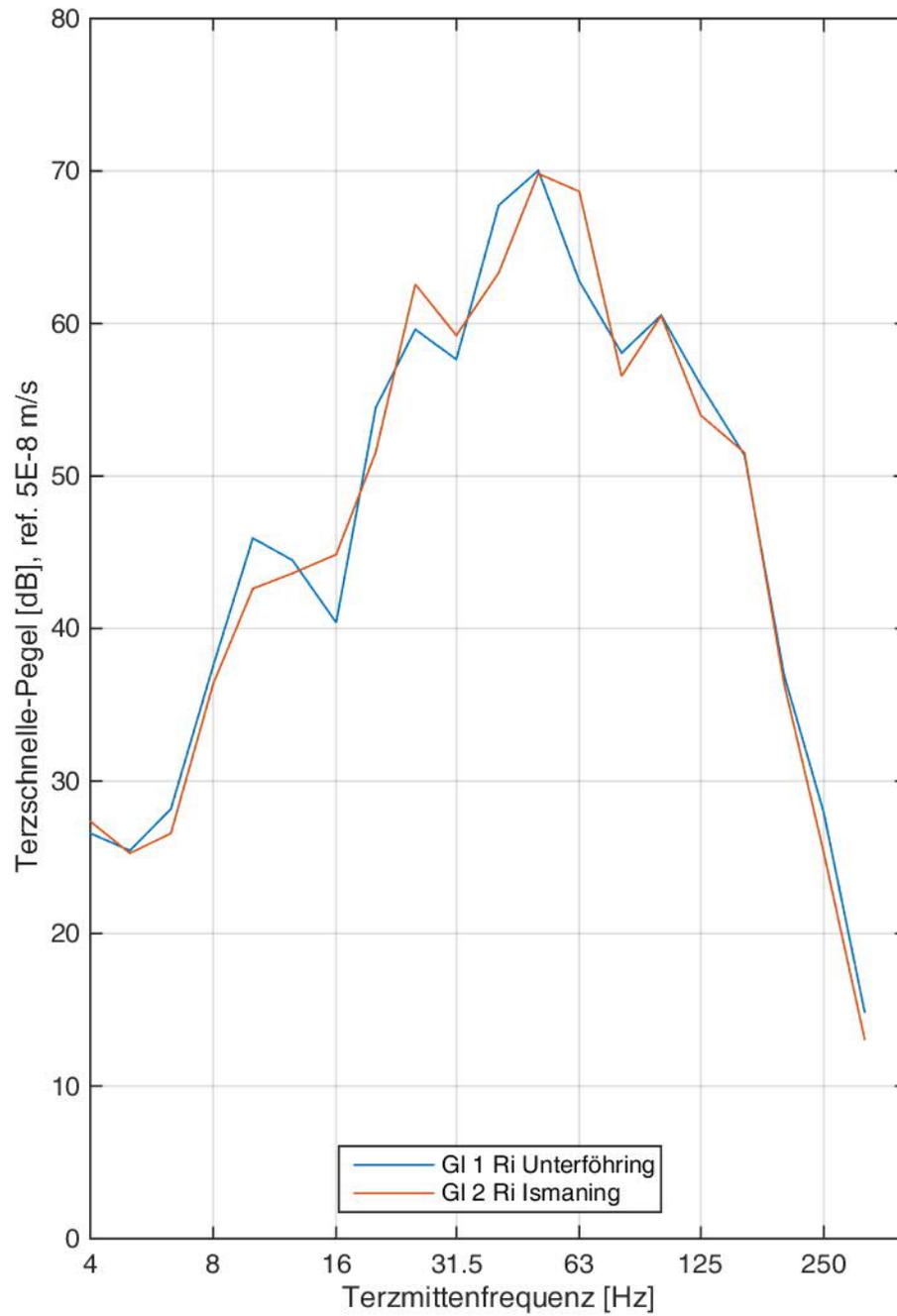


MP 1, MP 2, MP 3

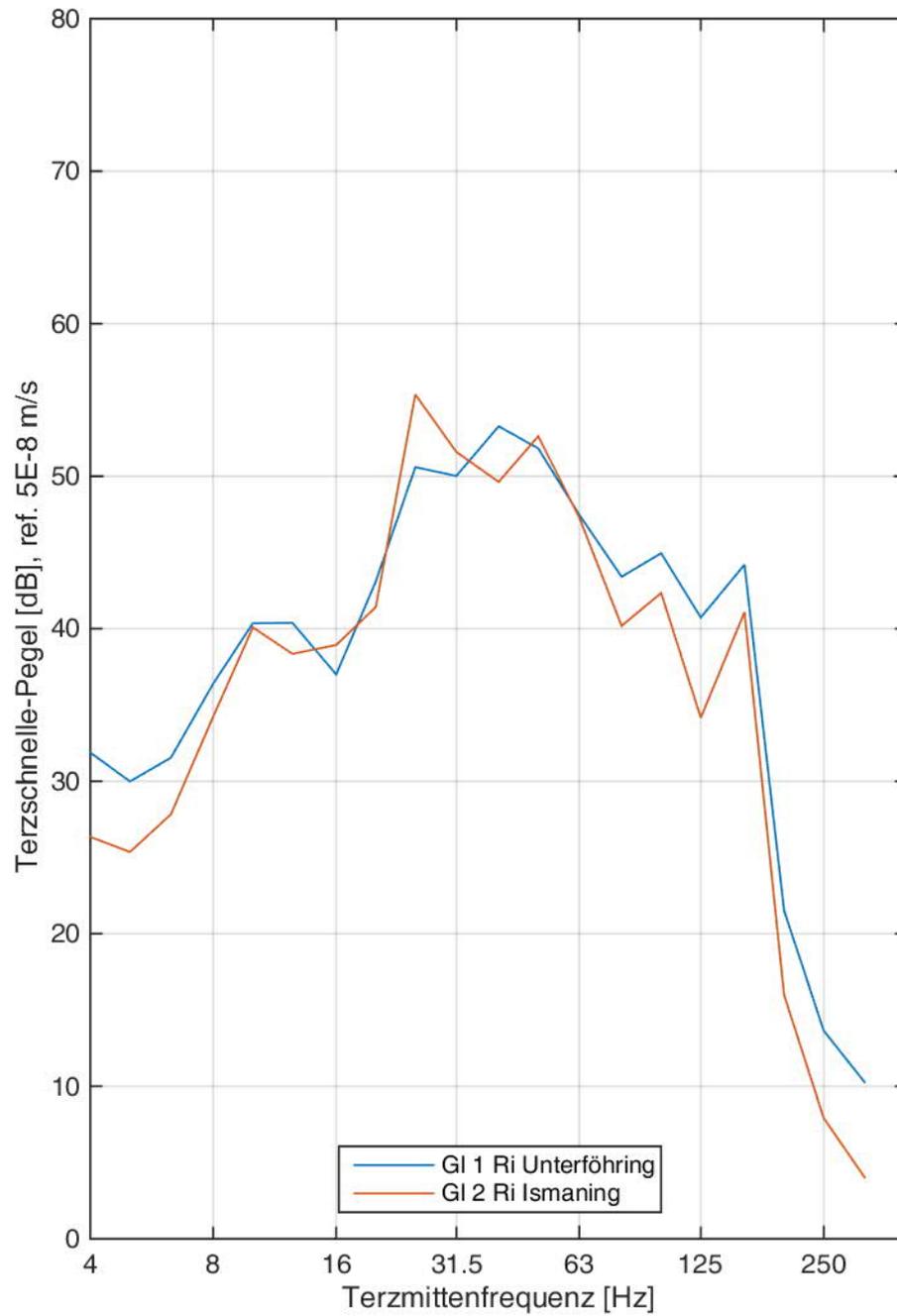


## Anlage 3: Mittlere Max-Hold-Terzspektren an den Messpunkten

MP 1



MP 2



## MP 3

