

# Erschütterungstechnische Untersuchung

Integriertes Strukturkonzept für den  
Münchner Nordosten

Bericht Nr. 710-4425-ERSCH-1

im Auftrag der  
Landeshauptstadt München  
Referat für Stadtplanung und Bauordnung  
80331 München

München, im Januar 2016

**MÖHLER+PARTNER**  
 **INGENIEURE AG**

---

BERATUNG IN SCHALLSCHUTZ + BAUPHYSIK  
MÜNCHEN | AUGSBURG | BAMBERG

## Erschütterungstechnische Untersuchung

Integriertes Strukturkonzept für den  
Münchner Nordosten

**Bericht-Nr.:** 710-4425-ERSCH-1

**Datum:** 18.12.2015

**Dieser Bericht ersetzt den** Bericht Nr. 710-4425-ERSCH vom 07.10.2015

**Auftraggeber:** Landeshauptstadt München  
Referat für Stadtplanung und Bauordnung  
Blumenstr. 28 b  
80331 München

**Auftragnehmer:** Möhler + Partner Ingenieure AG  
Beratung in Schallschutz + Bauphysik  
Paul-Heyse-Straße 27  
D-80336 München  
T + 49 89 544 217 – 0  
F + 49 89 544 217 – 99  
www.mopa.de  
info@mopa.de



Die Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025 gilt für den in der Urkundenanlage D-PL-19432-01-00 festgelegtem Umfang.

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. (FH) C. Eulitz  
M.Sc. C. Bews

## Inhaltsverzeichnis:

1. Aufgabenstellung .....	9
2. Örtliche Gegebenheiten.....	9
3. Grundlagen.....	10
3.1 Erschütterungen.....	10
3.2 Sekundärluftschall .....	13
4. Betriebsprogramm.....	14
5. Durchführung der Messungen .....	15
5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung.....	15
5.2 Messgeräte.....	17
5.3 Ankopplung der Messpunkte .....	17
6. Auswertung der messtechnischen Untersuchungen.....	17
6.1 DB-Bahnstrecken 5553, 5600 und 5612 (München – Simbach) .....	19
6.2 DB-Bahnstrecken 5560 und 5554 (München – Flughafen) .....	20
7. Beurteilung der Erschütterungen und des Sekundärluftschalls .....	21
7.1 DB-Bahnstrecken 5554, 5560 und 5560 .....	21
7.2 DB-Bahnstrecken 5560 und 5554 (München – Flughafen) .....	22
7.3 Untertunnelung der Bahnstrecke München – Flughafen und U-Bahnlinie 4.....	24
7.4 Errichtung von Straßenbahnlinien .....	25
8. Anlagen .....	27

## Abbildungsverzeichnis:

<b>Abbildung 1:</b>	Abnahme des mittleren Schalldruckpegels in Abhängigkeit von der Entfernung des Tunnels zum Immissionsort (R) von U- und Stadtbahnfahrzeugen. [34] .....	24
<b>Abbildung 2:</b>	Darstellung der Straßenbahnführung in den Varianten 1 und 3 .....	25

## Tabellenverzeichnis:

<b>Tabelle 1:</b>	Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach Tab. 1 der DIN 4150-2 [3] .....	12
<b>Tabelle 2:</b>	Immissionsrichtwerte „Innen“ nach TA Lärm [dB(A)] .....	13
<b>Tabelle 3:</b>	Belegungsprogramm der Bahnstrecken (Prognose 2025) .....	15
<b>Tabelle 4:</b>	Dokumentation zur Lage der Messpunkte .....	16
<b>Tabelle 5:</b>	Messtechnisch erfasste verwertbare Vorbeifahrten während der Messzeit .....	16
<b>Tabelle 6:</b>	Prognostizierter KBFTm - Wert bzw. KBFT <sub>r</sub> - Werte tags / nachts auf den Geschossdecken von fiktiven künftigen Gebäuden an den Messpunkten .....	19
<b>Tabelle 7:</b>	Prognostizierte mittlere Geräuschspitzen $\overline{L}_{A,max}$ und Mittelungspegel $L_{A,m}$ des sekundären Luftschalls [dB(A)] in Räumen fiktiver Gebäude an den Messpunkten .....	19
<b>Tabelle 8:</b>	Prognostizierter KBFTm - Wert bzw. KBFT <sub>r</sub> - Werte tags / nachts auf den Geschossdecken von fiktiven künftigen Gebäuden an den Messpunkten .....	20
<b>Tabelle 9:</b>	Prognostizierte mittlere Geräuschspitzen $\overline{L}_{A,max}$ und Mittelungspegel $L_{A,m}$ des sekundären Luftschalls [dB(A)] in Räumen fiktiver Gebäude an den Messpunkten .....	20

## Grundlagenverzeichnis:

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), In der aktuellen Fassung
- [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 Schwingungsmissionen, Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung, September 2010
- [5] DIN 45669, Messung von Schwingungsmissionen, Teil 2: Messverfahren, Juni 2005
- [6] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998
- [7] Beiblatt 1 zu DIN 45680, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen 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] Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums des Inneren Nr. II B 8-4641.1-001/87 des Bayerischen Staatsministeriums des Innern, 3. August 1988
- [12] Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG), Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge, vom 26. September 2002
- [13] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO), Januar 1990
- [14] Flächennutzungsplan München, link: <http://www.fnp-muenchen.de> (Abfragedatum: 18.09.2012), Stand: März 2011
- [15] Zugzahlen SEM Nordost München, per E-mail am 18.09.2014 [REDACTED], DB Umweltzentrum,
- [16] Ortsbesichtigungen am 11.8.2014, 02.10.2014 und 16.10.2014

- [17] Besprechungen mit dem Auftraggeber am 17.07.2014, 13.08.2014, 10.09.2014, 22.10.2014, 12.02.2015, 25.02.2015, 18.03.2015, 19.03.2015, 06.05.2015, 17.06.2015, 12.08.2015, 13.08.2015 und 21.09.2015
- [18] Öffentlicher Workshop am 25/26.07.2014 und 18.07.2015
- [19] Bebauungsplan Nr. 1394 der Landeshauptstadt München, Apenrader Straße, Stegmühlstraße, Aaröstraße, Glücksburger Straße und Flensburger Straße, Stand: 17.12.1982
- [20] Bebauungsplan Nr. 1311 der Landeshauptstadt München, Apenrader-, Flensburger-, Glücksburger- und Düppeler Straße, Stand: 23.01.1982
- [21] Bebauungsplan Nr. 160/198 der Landeshauptstadt München, Nußstraße, Johanneskirchner Straße, Bundesbahngelände, Stadtgrenze, Stand: 30.11.1966
- [22] Bebauungsplan Nr. 1137 der Landeshauptstadt München, Nussstraße (westlich) und Mussenbergstraße (östlich), Stand: 17.02.1978
- [23] Bebauungsplan Nr. 85 der Landeshauptstadt München, Max-Nadler-Straße, Savitsstraße und Brodersenstraße, Stand: 16.07.1986
- [24] Bebauungsplan Nr. 1204 der Landeshauptstadt München, Kunihohstraße und Rennbahnstraße (östlich), Stand: 07.12.1978
- [25] Bebauungsplan Nr. 702 der Landeshauptstadt München, Kattowitzer, Burgauer-, Lublinitzer und Gleiwitzer Straße, Stand: 18.01.1972
- [26] Bebauungsplan Nr. 1391 der Landeshauptstadt München, Schichtlstraße nördlich zwischen Rennbahnstraße und Hüllgraben, Stand: 21.01.1983
- [27] Bebauungsplan mit Grünordnung Nr. 1539 der Landeshauptstadt München, Täginger Straße/BAB A94 (südlich), Bahnlinie München-Mühldorf (nördlich), S-Bahnlinie München-Ismaning (östlich) – Hüllgraben –, Stand: 09.12.2012
- [28] Bebauungsplan mit Grünordnung Nr. 1814 der Landeshauptstadt München, Burgauerstraße östlich, Rennbahnstraße westlich und östlich, Salmdorfer Straße westlich, Landshamer- und Riemer Straße nördlich, Stand: 08.09.1999
- [29] Bebauungsplan mit Grünordnung Nr. 1692 der Landeshauptstadt München, Kattowitzer Straße (beiderseits), Schimmelweg (südlich), Burgauerstraße (westlich), Stand: 22.04.1993
- [30] Bebauungsplan mit Grünordnung Nr. 1924 der Landeshauptstadt München, Frobenstraße (östlich), Bahnlinie München-Ostbahnhof-Landesgrenze (nördlich), Burgfriedensgrenze (westlich), Stand: 08.12.2005

- [31] Bebauungsplan mit Grünordnung Nr. 2006 der Landeshauptstadt München, Trabrennbahn Daglfing (südlich), Turfstraße (westlich), Riemer Straße (nördlich), Burgauerstraße (östlich), Stand: 10.03.2009
- [32] Erschütterungstechnische Untersuchung – Bebauungsplan mit Grünordnung Nr. 1539 „Hüllgraben“ München – Daglfing, Bericht-Nr. 213-1334-ER, Möhler + Partner Ingenieure, Stand: Juni, 2002
- [33] Erschütterungstechnische Untersuchung – Bebauungsplan mit Grünordnung Nr. 1932 der LH München Freischützstraße 70-80, München - Johanneskirchen, Bericht-Nr. 800-1273-1, Möhler + Partner Ingenieure, Stand: März, 2004
- [34] Schall- und Erschütterungsschutz im Schienenverkehr, Friedrich Krüger, 2006
- [35] Erschütterungsmessungen am 16.04.2015 und 29.06.2015

## Zusammenfassung:

In der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung wurde für das Strukturkonzept Münchner Nordosten die Erschütterungs- und Sekundärluftschallsituation durch den Bahnverkehr ermittelt und beurteilt. Das Plangebiet grenzt westlich an die Bahnlinie München – Flughafen und südlich an die Bahnlinie München – Simbach. Die Untersuchung kommt zu folgenden Ergebnissen:

Entlang der Bahnlinie München – Simbach liegt der erforderliche Mindestabstand für die Gebäude zur Errichtung von Wohnnutzungen bzw. baulich daran gekoppelten Bauteilen bei ca. 60 m zur nächstgelegenen Gleisachse der Bahnstrecke. Für den Fall, dass ausgeschlossen werden kann, dass auf den südlich gelegenen S-Bahngleise kein Güterzug verkehrt, kann sich der Mindestabstand ggf. nach Süden bzw. nach Südosten um ca. 10 m verringern und beträgt demnach ca. 50 m zur nächstgelegenen Gleisachse.

Entlang der Bahnlinie München – Flughafen liegt der erforderliche Mindestabstand für die Gebäude zur Errichtung von Wohnnutzungen bzw. baulich daran gekoppelten Bauteilen bei ca. 45 m zur nächstgelegenen Gleisachse der Bahnstrecke.

Bei nur tagsüber schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen (z.B. Büroräume, Unterrichtsräume, etc.) verringern sich die Mindestabstände für beide Bahnstrecken um ca. 20-30 m zur nächstgelegenen Gleisachse.

Zusätzlich werden U-Bahn und Straßenbahnlinien errichtet, die voraussichtlich ebenfalls zu Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen führen. Durch bautechnische Maßnahmen am Gleisbett (z.B. Unterschottermatte, Masse-Feder-System) kann die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmission verringert werden.

Bei Unterschreitung der Mindestabstände werden voraussichtlich technische bzw. konstruktive Maßnahmen an den Gebäuden, z.B. (teil-)elastische Gebäudelagerungen, die eine Einhaltung der Anhalts- und Richtwerte für Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen sicherstellen, erforderlich.



## 1. Aufgabenstellung

Die Landeshauptstadt München plant am nordöstlichen Stadtrand die Entstehung eines neuen Stadtteils. Das gesamte Areal erstreckt sich über eine Fläche von ca. 650 ha. Derzeit liegt gemäß Flächennutzungsplan ein Erweiterungspotential von bis zu 10.000 Einwohner mit entsprechenden sozialen und kulturellen Infrastruktureinrichtungen vor. Im Rahmen eines integrierten Strukturkonzeptes soll ermittelt werden, ob weiteres Entwicklungspotential vorhanden ist.

Das Plangebiet wird im Westen durch die DB-Bahnstrecken 5553 (München Leuchtenberg – Laim), 5554 (München Ost – Daglfing), 5560 (München Steinwerk – Waldtrudering) und im Süden durch die Bahnstrecken 5600 (München – Simbach), 5612 (München Ost – Riem) und zukünftig durch die Strecke 7913 (Güterverkehr) begrenzt. Aufgrund der Nähe zu den Bahntrassen sind relevante Einwirkungen aus Erschütterungen und Sekundärluftschall des oberirdischen Schienenverkehrs im Plangebiet möglich.

Darüber hinaus ist auch innerhalb des Plangebietes die Errichtung von U-Bahn oder Tramlinien geplant, die ebenfalls zu Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen an der angrenzenden Nachbarschaft innerhalb und außerhalb des Plangebietes führen können.

Somit sind die auf das Gebiet einwirkenden Erschütterungen und einwirkenden Lärmimmissionen verursacht durch den Sekundärluftschall vor Ort zu messen und nach den einschlägigen Richtlinien zu beurteilen. Als Ergebnis der Untersuchung sollen etwaige Planungsrestriktionen und konzeptionelle erforderliche Maßnahmen aus Sicht des Erschütterungs-Immissionsschutzes für das weitere Verfahren aufgezeigt werden.

Mit der Durchführung der Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure AG mit Schreiben vom 23.06.2014 von der Landeshauptstadt München beauftragt.

## 2. Örtliche Gegebenheiten

Das Untersuchungsgebiet grenzt im Westen an die Bahnlinie München – Flughafen, im Süden an die Bahnlinie München – Simbach und im Norden und Osten an die Nachbargemeinden Unterföhring und Aschheim. Die nordöstliche Plangebietsgrenze stellt der alte Bahndamm, eine ehemalige Bahnstrecke dar. Insgesamt umfasst das Plangebiet 595 ha und liegt im 13. Stadtbezirk Bogenhausen und im 15. Stadtbezirk Zamdorf-Johanneskirchen. Ausgenommen von dem Untersuchungsgebiet sind die historisch geprägten Dorfkern von Johanneskirchen und Daglfing, sowie die Gartenstadt Johanneskirchen, die Zahnbrechersiedlung und Engelschalking.

Die Bebauung innerhalb und in unmittelbarer Nähe des Untersuchungsgebietes ist hauptsächlich von Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern geprägt. Dabei handelt es sich gemäß Flächennutzungsplan und den bestehenden Bebauungsplänen ([19], [20], [23], [24], [25], [28], [30]) hauptsächlich um reine und allgemeine Wohngebiete (WR, WA) mit vereinzelten Mischgebieten

(MI/MK). Gewerbeflächen sind gemäß Flächennutzungsplan und bestehenden Bebauungsplänen ([21], [27], [31]) vor allem entlang der Bahnlinien vorgesehen.

Entlang der Bahnlinie München – Flughafen befinden sich drei S-Bahn Haltestellen in unmittelbarer Nähe des Plangebietes: Daglfing (Süden), Engelschalking (Mitte) und Johanneskirchen (Norden). Das Plangebiet ist für den Individualverkehr über vier Verbindungsstraßen über die Bahnlinie erreichbar. Zwei Verbindungen sind ebenerdig mit Bahnschranken geregelt, die anderen mit Unterführungen.

Die Bahnstrecke München – Flughafen verläuft in Nord-Süd Richtung entlang der Untersuchungsgebietsgrenze. Im südlichen Bereich kommen zwei Gleise (DB-Streckennr. 5553) vom westlich gelegenen Ostbahnhof und werden hauptsächlich von S-Bahnen genutzt. Von der südlich gelegenen Bahnstrecke München – Rosenheim verläuft die Bahnstrecke mit der DB-Streckennr. 5560 eingleisig nach Norden, bis sie auf Höhe des S-Bahnhofs München-Daglfing mit der DB-Strecke 5553 zweigleisig weiter nach Norden verläuft. Die Deutsche Bahn plant zusätzlich eine Verbindung zwischen der Bahnstrecke München – Flughafen und der Bahnstrecke München – Simbach. Das hauptsächlich von Güterzügen genutzte Gleis soll im Bereich des Bebauungsplans Hüllgraben die beiden Bahnstrecken verbinden. Die Bahnstrecke München – Flughafen befindet sich entweder ebenerdig oder in einer Dammlage von maximal 2 m. Die Bahnstrecke wird zweimal durch Bahnübergänge und zweimal durch Tunnel von Straßen in Ost-West Richtung gekreuzt.

Die Bahnstrecke München – Simbach verläuft in Ost-West Richtung südlich des Untersuchungsgebietes und ist im Westen 5-gleisig und wird ab der Überführung der Riemer Straße 2-gleisig. Die Bahnstrecke besteht aus den DB-Strecken mit den Nummern 5600 und 5612 und verläuft zum Großteil ebenerdig oder in leichter Troglage.

Das Plangebiet ist im Wesentlichen eben. Die genauen örtlichen Gegebenheiten sowie die Lage der Bahnstrecken können den Übersichtslageplänen in Anlage 1 entnommen werden.

### 3. Grundlagen

#### 3.1 Erschütterungen

Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden werden mittels der bewerteten Schwingstärke  $KB_f(t)$  bewertet. Das  $KB_f(t)$ -Signal ist das durch Frequenzbewertung und Normierung des unbewerteten 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:

- maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{fmax}$
- Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{fTr}$

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 4150-2<sup>1</sup> [3]:

$$KB_{fTm} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N KB_{fTi}^2}{N}}$$

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 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.

---

<sup>1</sup> 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.

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].

<b>Tabelle 1:</b> Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach Tab. 1 der DIN 4150-2 [3]							
Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		$A_u$	$A_o$	$A_r$	$A_u$	$A_o$	$A_r$
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	<b>Misch-, Kerngebiete</b>	<b>0,2</b>	<b>5</b>	<b>0,10</b>	<b>0,15</b>	<b>0,3</b>	<b>0,07</b>
4	<b>Allgemeine bzw. Reine Wohngebiete</b>	<b>0,15</b>	<b>3</b>	<b>0,07</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,05</b>
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  $KB_{FTr}$  – 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  $KB_{FTr}$  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:

<b>Tabelle 2:</b> Immissionsrichtwerte „Innen“ nach TA Lärm [dB(A)]		
Beurteilungszeitraum	Mittelungspegel $L_m$	Maximalpegel $L_{max}$
Tags (6.00 – 22.00 Uhr)	35	45
Nachts (22.00 – 6.00 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 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.

$S \approx 2 \times \text{Grundrissfläche } G$

$A \approx 0,8 \times \text{Grundrissfläche } G$

$\sigma(f_T) = 1$  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 DB-Bahnstrecken 5553 (München Leuchtenberg – Laim), 5554 (München Ost – Daglfing), 5560 (München Steinwerk – Waldtrudering), 5600 (München – Simbach), 5612 (München Ost – Riem) und zukünftig durch die Strecke 7913 (Güterverkehr) wurde eine aktuelle Prognose für das Jahr 2025 zugrunde gelegt [15]. Die darin enthaltenen Zugmengen gehen deutlich über das vor Ort gemessene Zugaufkommen hinaus. Deshalb müssen die Messwerte auf das zukünftige Zugaufkommen hochgerechnet werden.

Die angesetzten Zugmengen für die maßgebende Strecke sind in folgender Tabelle 3 zusammenfassend dargestellt.

<b>Tabelle 3:</b> Belegungsprogramm der Bahnstrecken (Prognose 2025)		
Bahnstrecken und Zugart	Anzahl Vorbeifahrten im Beurteilungszeitraum	
	Tag	Nacht
<b>München Leuchtenberg – Laim (5553)</b>		
S-Bahn	140	32
<b>München Ost – Daglfing (5554)</b>		
S-Bahn	248	40
<b>München Steinwerk – Waldtrudering (5560) (nördl. Abzweigung 7913)</b>		
Güterzug	147	82
<b>München Steinwerk – Waldtrudering (5560) (südl. Abzweigung 7913)</b>		
Güterzug	94	66
<b>München – Simbach (5600)</b>		
Güterzug	10	8
S-Bahn	140	32
Regionalzug	44	6
Intercityzug	22	2
Autozug	0	2
<b>München Ost – Riem (5612) (westl. Einmündung 7913)</b>		
Güterzug	16	10
<b>München Ost – Riem (5612) (östl. Einmündung 7913)</b>		
Güterzug	69	26
<b>DB-Strecke 7913</b>		
Güterzug	53	16

## 5. Durchführung der Messungen

### 5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung

Bei der Wahl der Messorte wurde darauf geachtet, dass die Gleise ebenerdig und nicht in Kurvenlage verlaufen und Vorbeifahrten der maßgebenden Güterzüge am nächstgelegenen Gleis gemessen werden können. Die Messungen fanden am 16.04.2015, in der Zeit von 11:00 bis 16:00 Uhr für die Bahnstrecke München – Simbach und am 29.06.2015, in der Zeit von 13:00 bis 18:00 für die Bahnstrecke München – Flughafen statt [35]. Die Dokumentation zur Lage der Messpunkte ist in folgender Tabelle 4 und Anlage 1 dargestellt. Die Auswertung der Messungen erfolgt bezüglich der jeweiligen Gleisachsen, die Abstandsangaben beziehen sich auf das nächstgelegene Durchgangsgleis.

<b>Tabelle 4:</b> Dokumentation zur Lage der Messpunkte			
Messpunkt	Lage des Messpunkts	Messrichtung	~ Abstand Gleisachse zur nächstgelegenen gemessenen Durchgangsgleises [m]
<b>Messung entlang der Bahnstrecke München – Simbach</b>			
MP-1	Geländeoberfläche	Vertikal	10
MP-2	Geländeoberfläche	Vertikal	20
MP-3	Geländeoberfläche	Vertikal	50
MP-4	Geländeoberfläche	Vertikal	80
MP-5	Geländeoberfläche	Vertikal	20
MP-6	Geländeoberfläche	Vertikal	50
<b>Messung entlang der Bahnstrecke München – Flughafen</b>			
MP-1	Geländeoberfläche	Vertikal	8
MP-2	Geländeoberfläche	Vertikal	16
MP-3	Geländeoberfläche	Vertikal	32
MP-4	Geländeoberfläche	Vertikal	64

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

<b>Tabelle 5:</b> Messtechnisch erfasste verwertbare Vorbeifahrten während der Messzeit			
Fahrzeugklasse	Gleis	Mittlere gemessene Geschwindigkeit [km/h]	Anzahl der gemessenen Vorbeifahrten
<b>Messung entlang der Bahnstrecke München – Simbach</b>			
S-Bahn	Gleis 3	60	10
S-Bahn	Gleis 2	60	9
RB	Gleis 4	85	2
RB	Gleis 3	70	4
RB	Gleis 2	90	9
GZ	Gleis 3	40	1
GZ	Gleis 2	70	2
<b>Messung entlang der Bahnstrecke München – Flughafen</b>			
S-Bahn	Gleis 1	70	13
S-Bahn	Gleis 2	70	14



Die Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Züge wurde unter Verwendung einer Radarpistole der Firma Bushnell erfasst und protokolliert; diese entsprechen den zu erwartenden Fahrgeschwindigkeiten für Güter-, Fern- und Nahverkehr auf freier Strecke. Dennoch können höhere Fahrgeschwindigkeiten in anderen Abschnitten im Bereich des Untersuchungsgebietes nicht ausgeschlossen werden.

## 5.2 Messgeräte

Für die Messungen und Auswertungen wurden folgende Geräte verwendet:

- 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 werden jährlich in einem Prüflabor kalibriert (Werkskalibrierung). 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 die gemittelten Terzpegelschnellespektren an den Messpunkten, jeweils unterschieden nach Zuggattung und Gleis.

**Ausbreitung der Erschütterungen im Erdreich:**

Die Ausbreitung der Erschütterungen des oberirdischen Schienenverkehrs an der Erdoberfläche (Rayleighwelle) ist in Festkörperstrukturen, wie zum Beispiel bei gebundenen Asphaltdecken, gegenüber dem natürlichen Baugrund (rollige Böden) deutlich erhöht. Die Messungen wurden auf unbefestigten Wiesen durchgeführt (vgl. Anlage 2).

**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 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

$\eta$  = 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 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.

#### 6.1 DB-Bahnstrecken 5553, 5600 und 5612 (München – Simbach)

Die Auswertung der gemessenen Schnellespektren führt zu dem unten aufgelisteten höchsten  $KB_{Ftm}$  - Wert 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 fiktiven Plangebäude.

<b>Tabelle 6:</b> Prognostizierter KBFTm - Wert bzw. KBFTtr - Werte tags / nachts auf den Geschossdecken von fiktiven künftigen Gebäuden an den Messpunkten				
Messpunkt	Abstand zur nächstgelegenen gemessenen Gleisachse (Gleis 1) ca. [m]	$KB_{Ftm}$ – Wert	$KB_{Ftr}$ – Wert	
			tags	nachts
MP 1	10	<b>0,80</b>	<b>0,15</b>	<b>0,12</b>
MP 2	20	<b>0,44</b>	<b>0,10</b>	<b>0,07</b>
MP 3	50	<b>0,23</b>	0,05	0,04
MP 4	80	0,05	0,01	0,01
MP 5	20	<b>0,68</b>	<b>0,15</b>	<b>0,12</b>
MP 6	50	<b>0,15</b>	0,03	0,02

**Fett:** Überschreitung  $A_v$  bzw.  $A_r$ -Kriterium für WA/WR

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

<b>Tabelle 7:</b> Prognostizierte mittlere Geräuschspitzen $\overline{L}_{A,max}$ und Mittelungspegel $L_{A,m}$ des sekundären Luftschalls [dB(A)] in Räumen fiktiver Gebäude an den Messpunkten				
Messpunkt	Abstand zur nächstgelegenen gemessenen Gleisachse (Gleis 1) ca. [m]	Mittlere Geräuschspitzen des sekundären Luftschalls $\overline{L}_{A,max}$ [dB(A)]	Mittelungspegel $L_{A,m}$ [dB(A)]	
			tags	nachts
MP 1	10	<b>55,0</b>	<b>40,4</b>	<b>40,2</b>
MP 2	20	<b>48,5</b>	35,0	<b>34,3</b>
MP 3	50	<b>42,7</b>	28,8	<b>28,4</b>
MP 4	80	26,5	12,7	11,8
MP 5	20	<b>52,2</b>	<b>38,2</b>	<b>37,8</b>
MP 6	50	<b>39,1</b>	23,6	22,7

**Fett:** Überschreitung der Anforderungen für Wohnnutzungen

Bei den prognostizierten Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen wird jeweils von bzgl. der Bahnstrecke ungehinderter Ausbreitung ausgegangen, d. h. die prognostizierten Werte gelten nur bei baulicher Entkopplung.

## 6.2 DB-Bahnstrecken 5560 und 5554 (München – Flughafen)

Die Auswertung der gemessenen Schnellespektren führt zu dem unten aufgelisteten höchsten  $KB_{FTm}$ -Wert 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 fiktiven Plangebäude.

<b>Tabelle 8:</b> Prognostizierter KBFTm - Wert bzw. KBFT <sub>r</sub> - Werte tags / nachts auf den Geschossdecken von fiktiven künftigen Gebäuden an den Messpunkten				
Messpunkt	Abstand zur nächstgelegenen gemessenen Gleisachse (Gleis 1) ca. [m]	$KB_{FTm}$ – Wert	$KB_{FT_r}$ – Wert	
			tags	nachts
MP 1	8	<b>0,47</b>	<b>0,12</b>	<b>0,07</b>
MP 2	16	<b>0,11</b>	0,03	0,02
MP 3	32	0,09	0,02	0,01
MP 4	64	0,03	0,01	0,00

**Fett:** Überschreitung  $A_v$  bzw.  $A_r$ -Kriterium für WA/WR

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

<b>Tabelle 9:</b> Prognostizierte mittlere Geräuschspitzen $\overline{L}_{A,max}$ und Mittelungspegel $L_{A,m}$ des sekundären Luftschalls [dB(A)] in Räumen fiktiver Gebäude an den Messpunkten				
Messpunkt	Abstand zur nächstgelegenen gemessenen Gleisachse (Gleis 1) ca. [m]	Mittlere Geräuschspitzen des sekundären Luftschalls $\overline{L}_{A,max}$ [dB(A)]	Mittelungspegel $L_{A,m}$ [dB(A)]	
			tags	nachts
MP 1	8	<b>50,0</b>	32,0	<b>27,1</b>
MP 2	16	<b>43,3</b>	26,3	21,4
MP 3	32	34,5	17,3	12,3
MP 4	64	24,7	7,4	2,5

**Fett:** Überschreitung der Anforderungen für Wohnnutzungen

Bei den prognostizierten Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen wird jeweils von bzgl. der Bahnstrecke ungehinderter Ausbreitung ausgegangen, d. h. die prognostizierten Werte gelten nur bei baulicher Entkopplung.

## 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. Aufgrund der Größe des Plangebietes entlang den untersuchten Zugstrecken können die Immissionen einzelner Zugvorbeifahrten in anderen Bereichen des Plangebietes (z.B. aufgrund des Bodenuntergrundes, der variierenden Geschwindigkeiten und der sich ändernden Gleislage) von den gemessenen Mittelwerten abweichen.

Die Aussagen beziehen sich auf die vorliegenden Unterlagen, die vorliegenden Zugzahlen und -gattungen, Geschwindigkeiten und pauschale Ansätze für die Reaktion eines Gebäudes in konventioneller Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) auf eine Schwingungsanregung.

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 1-stöckige Häuser mit Dachgeschoss 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 einen Worst-Case dar.

Für die Beurteilung der Gesamtsituation müssen sowohl die Erschütterungen als auch der sekundäre Luftschall die entsprechenden Anhalts- und Richtwerte einhalten.

### 7.1 DB-Bahnstrecken 5553, 5600 und 5612

#### 7.1.1 Erschütterungen

Ein Vergleich der ermittelten  $KB_{FTr}$  –Werte von 0,05 (MP 4) bis 0,80 (MP 1) mit dem unteren Anhaltswert  $A_u$  (0,15/0,1 tags/nachts) zeigt, dass an nahezu allen Messpunkten das  $A_u$  – Kriterium überschritten wird, wobei auch die Fühlbarkeitsschwelle von  $KB \geq 0,1$  ebenfalls z.T. deutlich überschritten wurde. Deshalb wird zur Beurteilung der Situation die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTr}$  herangezogen: Die Bewertung der prognostizierten Beurteilungs-Schwingstärken ( $KB_{FTr} = 0,01/0,01$  bis  $0,15/0,12$  Tag/Nacht gem. Tabelle 6) zeigt, dass die Anhaltswerte  $A_r$  für Wohngebiete (0,07/0,05 tags/nachts) an den Messpunkten MP 1, MP 2 und MP 5 überschritten werden und an den anderen Messpunkten zuverlässig eingehalten werden.

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 Wohnnutzung bzw. baulich daran gekoppelten Gebäuden/Bauteilen zur Einhaltung der Erschütterungsimmersionen ca. 30 m zur nächstgelegenen Gleisachse.

### 7.1.2 Sekundärluftschall

Die prognostizierten mittleren Maximalpegel betragen an den Messpunkten bis zu  $L_{Amax} = 55$  dB(A) (MP-1) und die Mittelungspegel des Sekundärluftschalls betragen bis zu  $L_{A,m}$  bis 41 dB(A) tags/nachts (ebenfalls MP 1).

Somit überschreiten an den gleisnahen Messpunkten (MP 1, MP 2 und MP 5) die prognostizierten Mittelungspegel des Sekundärluftschalls die Innenraumrichtwerte gemäß TA Lärm von 35/25 dB(A) tags/nachts. Die prognostizierten Maximalpegel des Sekundärluftschalls überschreiten die Innenraumrichtwerte für kurzzeitige Geräuschspitzen gemäß TA Lärm (45/35 dB(A) Tag/Nacht) an allen Messpunkten außer an Messpunkt MP 4, wobei an den Messpunkten MP 3 und MP 6 die Innenraumrichtwerte für kurzzeitige Geräuschspitzen im Tagzeitraum eingehalten werden. Diese Messpunkte befinden sich in einem Abstand von 50 m zur nächstgelegenen Gleisachse. An Messpunkt MP 4, an dem alle Innenraumrichtwerte (Maximal- und Mittelungspegel) eingehalten werden befindet sich in einem Abstand von 80 m zur nächstgelegenen Gleisachse.

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. 60 m zur nächstgelegenen Gleisachse der Bahnstrecke. Für den Fall, dass ausgeschlossen werden kann, dass auf den südlich gelegenen S-Bahngleise kein Güterzug verkehrt kann sich der Mindestabstand ggf. nach Süden bzw. nach Südosten um ca. 10 m verringern und beträgt demnach ca. 50 m zur nächstgelegenen Gleisachse.

Bei Unterschreitung der Mindestabstände werden voraussichtlich technische bzw. konstruktive Maßnahmen, z.B. (teil-)elastische Gebäudelagerungen, die eine Einhaltung der Anhalts- und Richtwerte für Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen sicherstellen, erforderlich.

## 7.2 DB-Bahnstrecken 5560 und 5554 (München – Flughafen)

Während der Messung (Messung Englschalking) entlang der Bahnlinie München – Flughafen fanden keine Güterzugvorbeifahrten statt. Erfahrungsgemäß führen Vorbeifahrten von Güterzügen zu hohen Erschütterungen und Sekundärluftschallemissionen. Daher wird bei der Beurteilung der Bahnstrecken 5560 und 5554 auf hausinterne Messungen die im Bereich des Bahnhofs Daglfing (Messung Hüllgraben, vgl. Anlage 1) und im Bereich des Bahnhofs Johanneskirchen (Messung Johanneskirchen, vgl. Anlage 1) durchgeführt wurden, zurückgegriffen ([32], [33]). Bei diesen Messungen wurden Güterzugvorbeifahrten messtechnisch erfasst und bewertet.

Die Messwerte aus den hausinternen Messungen, die auf die aktuellen Zugzahlen abgestimmt wurden, sind in Anlage 5 aufgeführt. Die genaue Lage der Messpunkte aus den hausinternen Messungen ist in Anlage 1 zu finden.

### 7.2.1 Erschütterungen

Ein Vergleich der ermittelten  $KB_{F_{tm}}$  –Werte von 0,03 (MP 4, Messung Englschalking) bis 0,47 (MP 1, Messung Englschalking) mit dem unteren Anhaltswert  $A_u$  (0,15/0,1 tags/nachts) zeigt, dass an

nahezu allen Messpunkten das  $A_u$  – Kriterium (vor allem nachts) überschritten wird, wobei auch die Fühlbarkeitsschwelle von  $KB \geq 0,1$  ebenfalls z.T. deutlich überschritten wurde. Deshalb wird zur Beurteilung der Situation die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTr}$  herangezogen: Die Bewertung der prognostizierten Beurteilungs-Schwingstärken ( $KB_{FTr} = 0,01/0,01$  bis  $0,12/0,08$  Tag/Nacht) zeigt, dass die Anhaltswerte  $A_r$  für Wohngebiete ( $0,07/0,05$  tags/nachts) an den gleisnahen Messpunkten (MP 1, Messung Englschalking; MP 1, Messung Hüllgraben) überschritten werden und an den anderen Messpunkten zuverlässig eingehalten werden.

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 Wohnnutzung bzw. baulich daran gekoppelten Gebäuden/Bauteilen zur Einhaltung der Erschütterungsimmisionen ca. 20 m zur nächstgelegenen Gleisachse.

### 7.2.2 Sekundärluftschall

Die prognostizierten mittleren Maximalpegel betragen an den Messpunkten bis zu  $L_{Amax} = 50$  dB(A) (MP 1, Messung Hüllgraben) und die Mittelungspegel des Sekundärluftschalls betragen bis zu  $L_{A,m}$  bis  $38,7/39,1$  dB(A) tags/nachts (ebenfalls MP 1, Messung Hüllgraben).

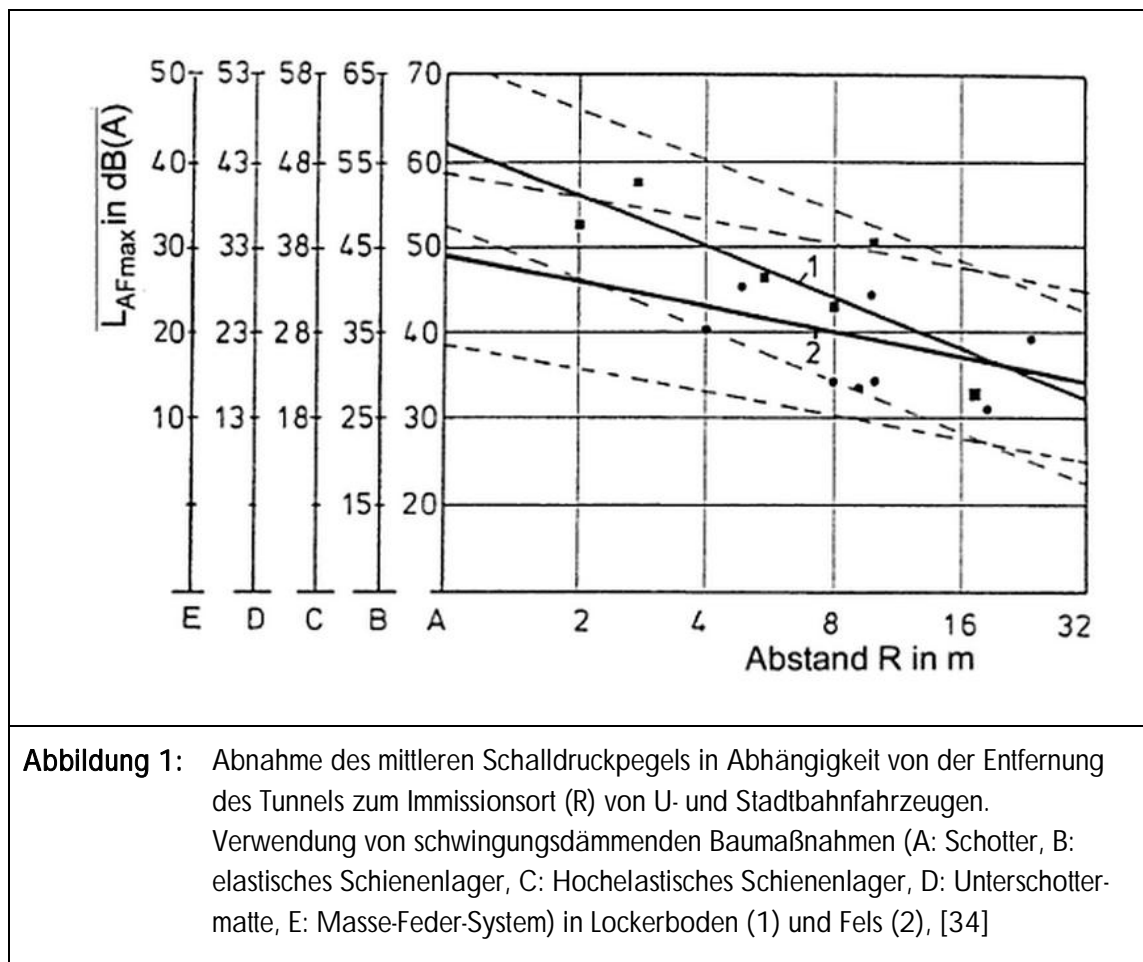
Somit überschreiten an den gleisnahen Messpunkten (MP 1, Messung Hüllgraben; MP 5, Messung Johanneskirchen) die prognostizierten Mittelungspegel des Sekundärluftschalls die Innenraumrichtwerte gemäß TA Lärm von 35 dB(A) tags. Die Innenraumrichtwerte gemäß TA Lärm nachts von 25 dB(A) werden zusätzlich an Messpunkten in größeren Entfernungen zur nächstgelegenen Gleisachse überschritten (MP 1, Messung Englschalking; MP1-4 und MP 6, Messung Hüllgraben; MP1,2,5 und 6, Messung Johanneskirchen). Die prognostizierten Maximalpegel des Sekundärluftschalls überschreiten die Innenraumrichtwerte für kurzzeitige Geräuschspitzen gemäß TA Lärm ( $45/35$  dB(A) Tag/Nacht) an nahezu allen Messpunkten außer an den Messpunkte MP 3, MP4 (Messung Englschalking), MP 5 (Messung Hüllgraben) und MP 4 (Messung Englschalking). Diese Messpunkte befinden sich in einem Abstand von mehr als 30 m (Messung Englschalking) und 40 m (Messungen Hüllgraben und Johanneskirchen) zur nächstgelegenen Gleisachse. Die Ergebnisse verdeutlichen noch einmal, dass die Erschütterungen und die Sekundärluftschallemissionen verursacht durch S-Bahn Vorbeifahrten (Messung Englschalking) zu niedrigeren Immissionen, wie Güterzugvorbeifahrten (Messung Hüllgraben und Johanneskirchen) führen.

Die Ermittlung des erforderlichen Mindestabstands erfolgte auf Basis einer Regressionsfunktion über die verschiedenen Messpunktabstände der jeweiligen Messungen. Demnach beträgt der erforderliche Mindestabstand für die Gebäude zur Errichtung von Wohnnutzungen bzw. baulich daran gekoppelten Bauteilen zur Einhaltung der Sekundärluftschallimmissionen ca. 45 m zur nächstgelegenen Gleisachse der Bahnstrecke.

Bei Unterschreitung der Mindestabstände werden voraussichtlich technische bzw. konstruktive Maßnahmen, z.B. (teil-)elastische Gebäudelagerungen, die eine Einhaltung der Anhalts- und Richtwerte für Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen sicherstellen, erforderlich.

### 7.3 Untertunnelung der Bahnstrecke München – Flughafen und U-Bahnlinie 4

Im Zuge der baulichen Entwicklung des Plangebietes ist beabsichtigt die Bahnstrecke München – Flughafen zu untunneln und die Verlängerung der U-Bahnlinie 4 evtl. bis zur Messestadt Riem durchzuführen. Bei einer Untertunnelung erfolgt die Übertragungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall über die Oberbauform auf die Tunnelsohle des Tunnelbauwerks und wird anschließend durch den umgebenden Boden an die nächstgelegenen Gebäude übertragen. Wesentliche Parameter des Tunnels, wie Querschnittsform (Rechteck, Kreis, Hufeisen), Querschnittsabmessung (eingleisig, mehrgleisig), Auskleidung (Beton, Spritzbeton, Gusseisen, einschalig/zweischalig), Trassierung (Gerade, Kurve) und Bauweise (geschlossen, offen) und Tiefenlage beeinflussen die Ausbreitung von Schwingungen [34]. Schwingungsdämmende Maßnahmen behalten beispielsweise die Verwendung von Unterschottermatten oder Masse-Feder-Systeme. In folgender Abbildung ist, basierend auf Messergebnissen von U- und Stadtbahnfahrzeugen, eine Abschätzung des mittleren sekundären Schalldruckpegels in Abhängigkeit vom horizontalen Abstand zwischen Tunnel und Gebäude dargestellt:



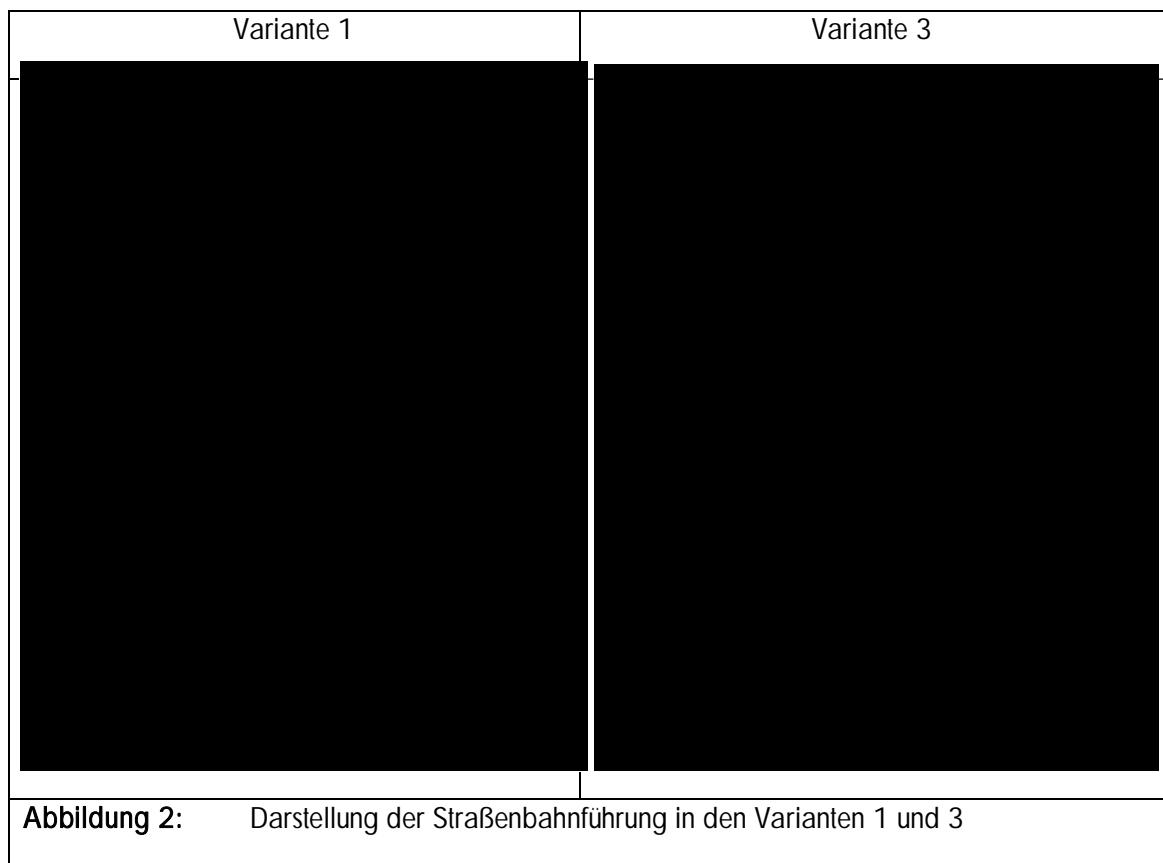
Die Abbildung verdeutlicht, dass bei der Verwendung eines Masse-Feder-Systems im Vergleich zu einem Schotterbett am Immissionsort der mittlere Schalldruckpegel um ca. 20 dB(A) reduziert werden kann. Hausinterne Messungen in Tunnelbauwerken und daran anschließenden Immissionsor-



ten führten zu ähnlichen Ergebnissen. Insgesamt kann durch die Verwendung von bautechnischen Maßnahmen in Tunnelbauwerken der Betroffenheitsbereich wesentlich verringert werden. Die Verwendung von Unterschottermatten führt erfahrungsgemäß ab einem Abstand von ca. 20 m von der Gleismitte zur Einhaltung der Richt- und Grenzwerte. Bei Masse-Feder-Systemen können ab einem Abstand von ca. 10 m bereits beurteilungsrelevante Richt- und Grenzwerte eingehalten werden. Bei der Untertunnelung der Bahnstrecke München – Flughafen werden vor allem die Güterzugvorbeifahrten maßgebend zu Erschütterungen führen. Somit können sich die genannten Abstände – die sich hier nur auf U- und S-Bahn Vorbeifahrten beziehen – noch erhöhen.

#### 7.4 Errichtung von Straßenbahnlinien

In den Varianten 1 und 3 ist die Verlängerung der Trambahnlinie 25 geplant. Straßenbahnvorbeifahrten verursachen ebenfalls Erschütterungen und Sekundärluftschallimmissionen im Nahbereich der Strecke. Folgende Abbildung zeigt die vorgesehene Streckenführung der Straßenbahn.



Die Immissionen von Erschütterungen und Sekundärluftschall sind abhängig von der Straßenbahnführung (gerade, kurvig), der zulässigen Geschwindigkeit in dem zu untersuchenden Bereich, dem Straßenbahntyp und der Art des Gleisbetts (feste Fahrbahn, Unterschottermatte, Masse-Feder-System, etc.). Erfahrungsgemäß werden in einem Abstand von ca. 20 m zur Straßenbahnstrecke erschütterungsmindernde Maßnahmen notwendig. Diese können entweder an den betroffenen Gebäuden in Form von (seitlicher) elastischer Lagerung oder an dem Gleisbett in Form von Unter-

schottermatte oder Masse-Feder-Systeme umgesetzt werden. Der Mindestabstand ist in Anlage 5 dargestellt.

Dieses Gutachten umfasst 27 Seiten und 5 Anlagen. Die auszugsweise Vervielfältigung des Gutachtens ist nur mit Zustimmung der Möhler + Partner Ingenieure AG gestattet.

München, den 18.12.2015

Möhler + Partner  
Ingenieure AG



Dipl.-Ing. (FH) C. Eulitz



i. A. M.Sc. C. Bews

## 8. Anlagen

Anlage 1: Lageplan mit Messpunkten

Anlage 2: Fotographische Dokumentation

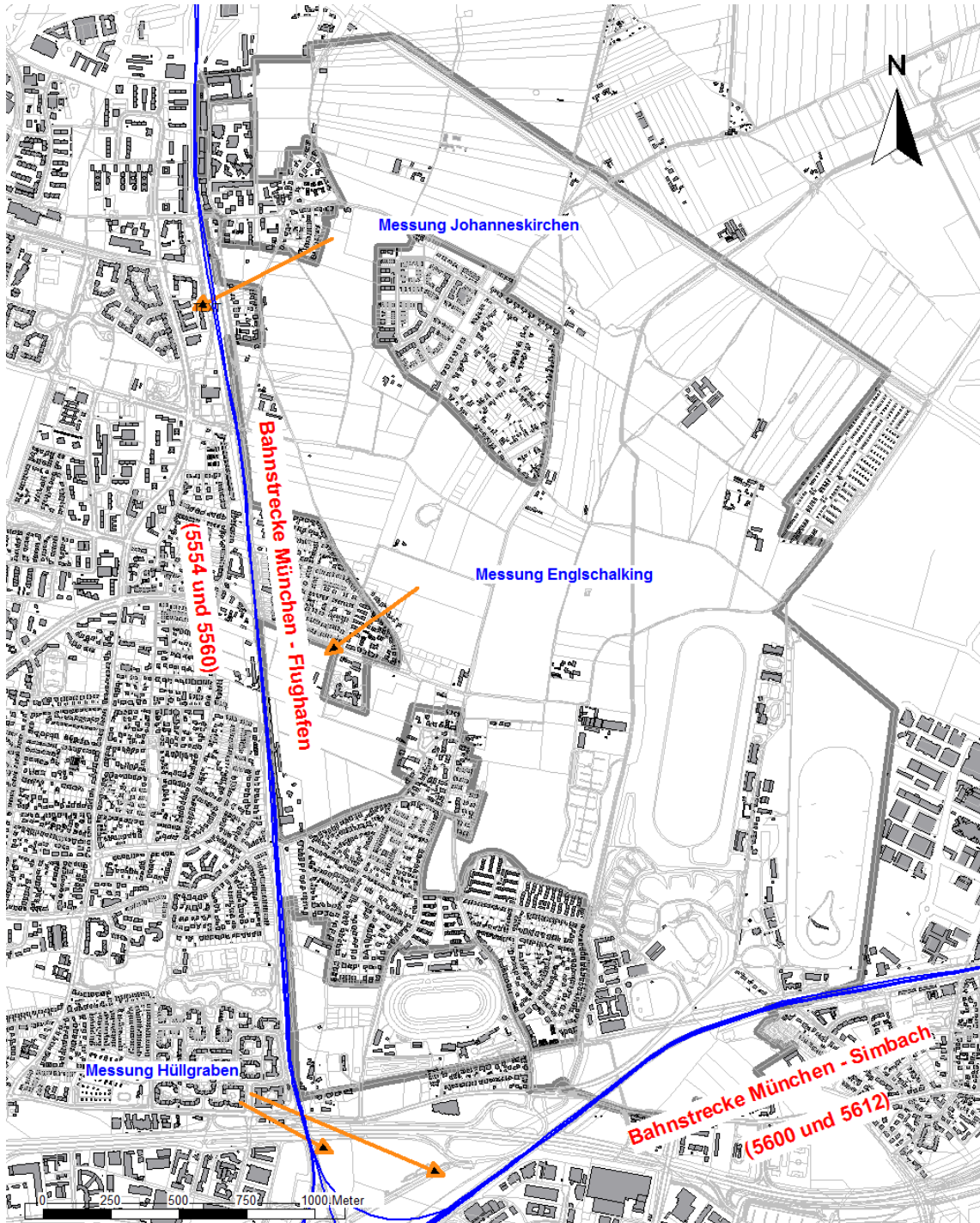
Anlage 3: Maßgebende mittlere Max-Hold-Terzschnellespektren an den Durchgangsgleisen

Anlage 4: Hausinterne Messungen entlang Bahnstrecke 5560 und 5554 (München – Flughafen), ([32], [33])

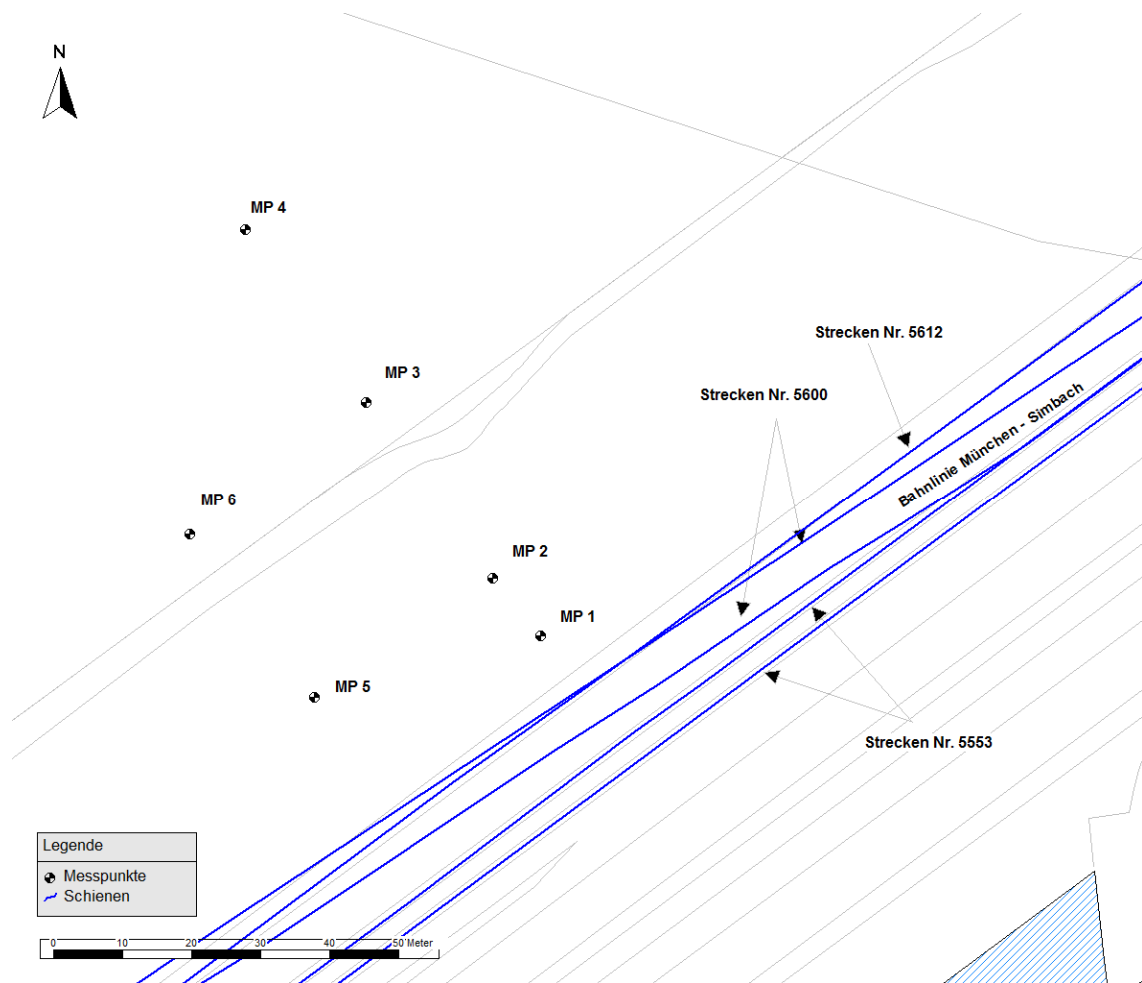
Anlage 5: Darstellung der Mindestabstände

## Anlage 1: Übersichtslagepläne

## Übersichtslageplan



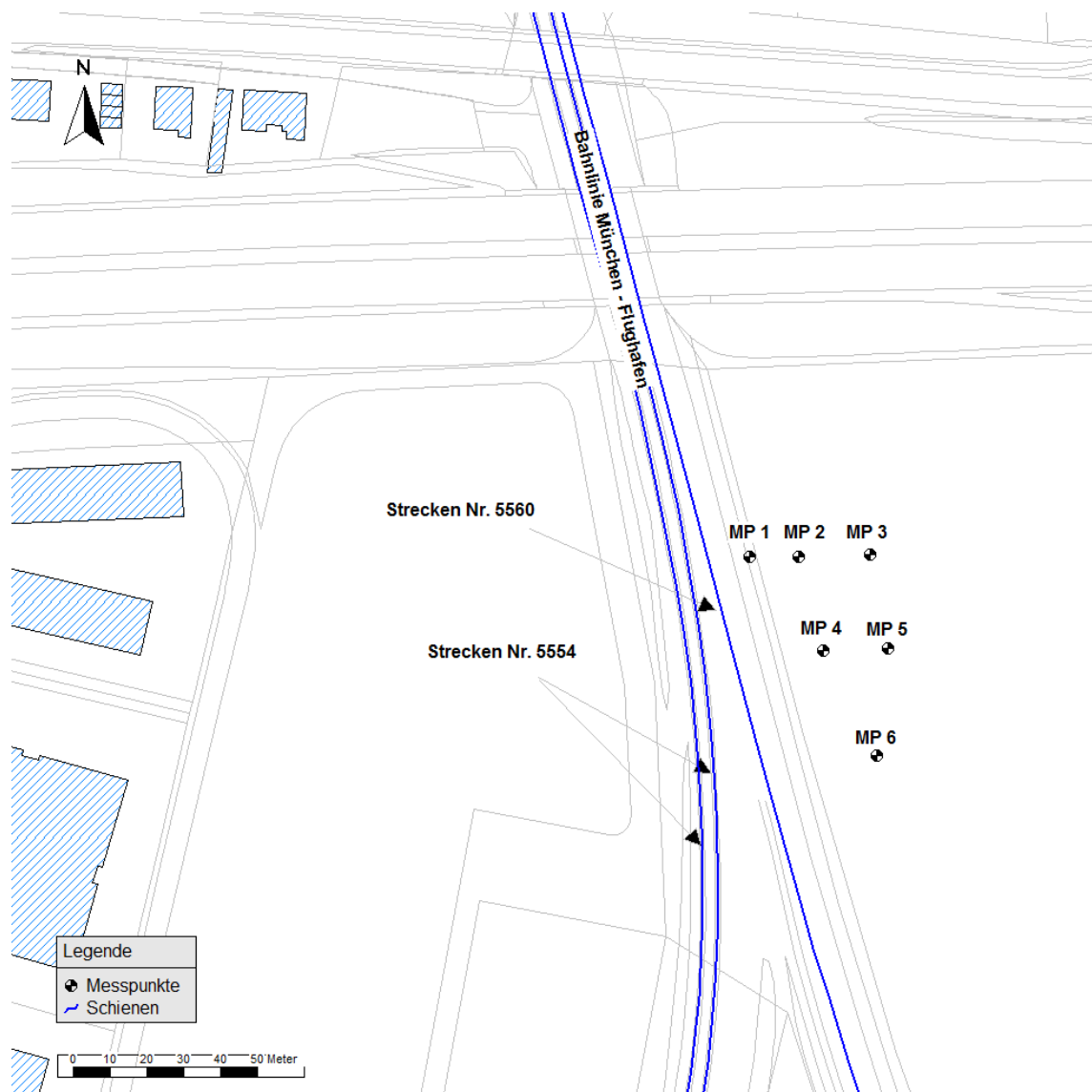
## Übersichtslageplan: Messung Hüllgraben (München – Simbach)



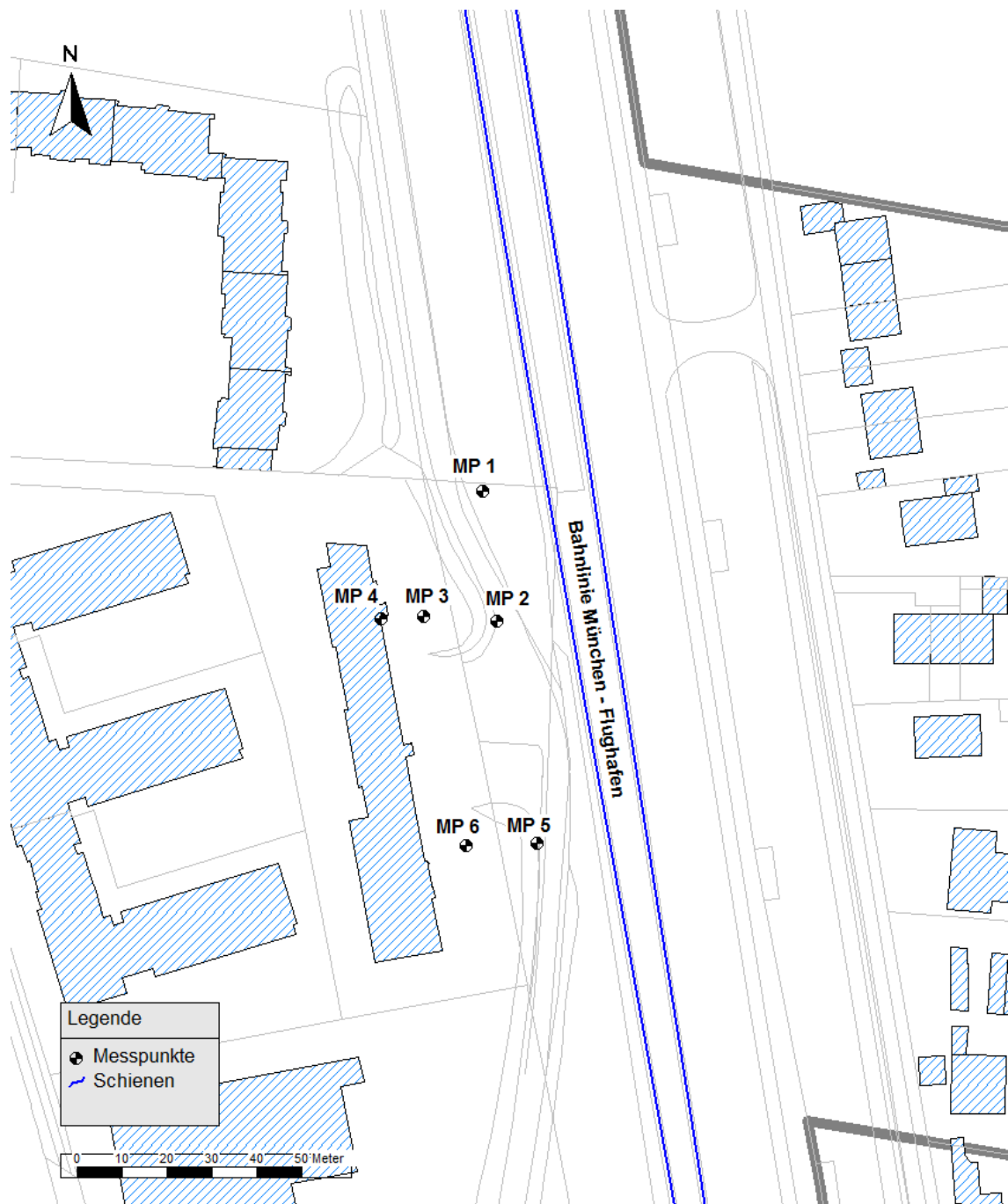
## Übersichtslageplan: Messung Engelschalking (München – Flughafen)



## Übersichtslageplan: Messung Hüllgraben (bei Bf Daglfing, München – Flughafen) [32]



## Übersichtslageplan: Messung Bf Johanneskirchen (München – Flughafen) [33]



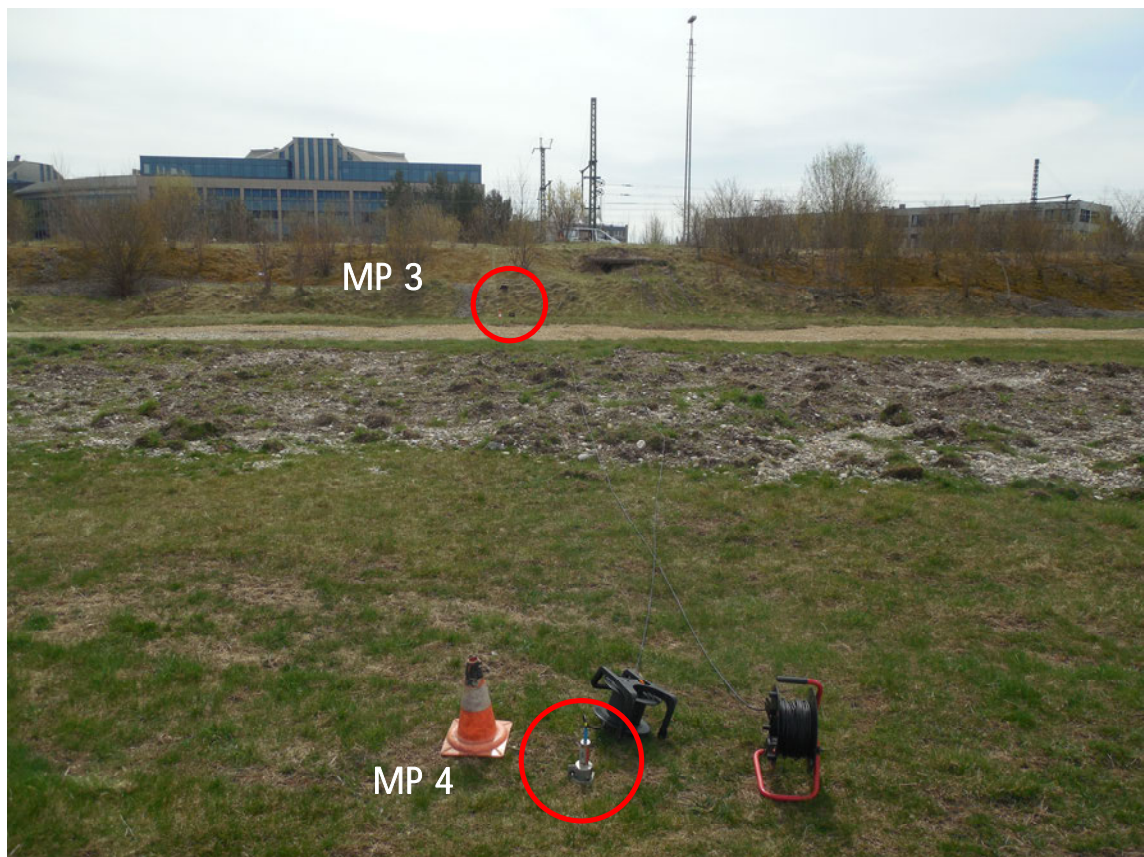


## Anlage 2:      Fotographische Dokumentation

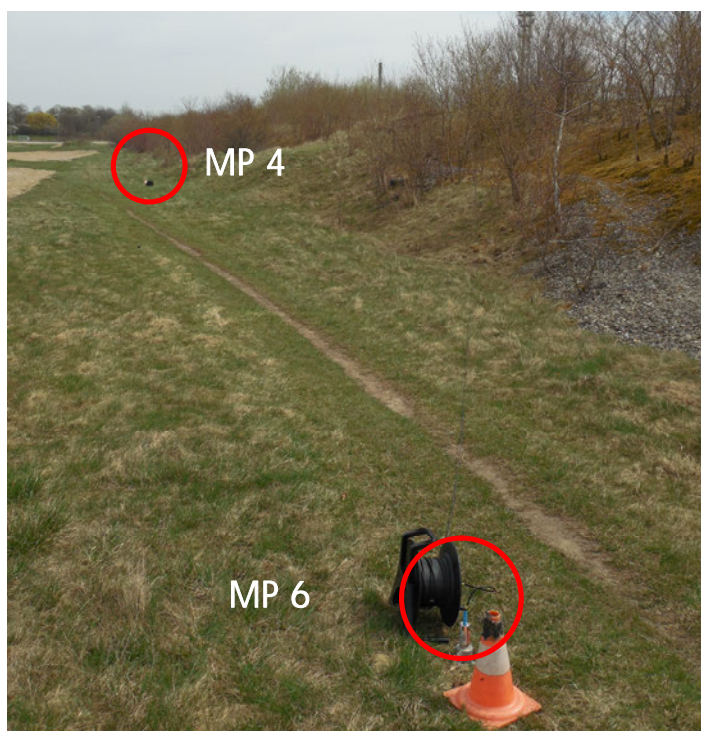
Messung: Bahnstrecke München – Simbach (MP 1 und MP 2)



Messung: Bahnstrecke München – Simbach (MP 3 und MP 4)



Messung: Bahnstrecke München – Simbach (MP 4 und MP 6)





## Messung: Bahnstrecke München – Simbach (MP 5)

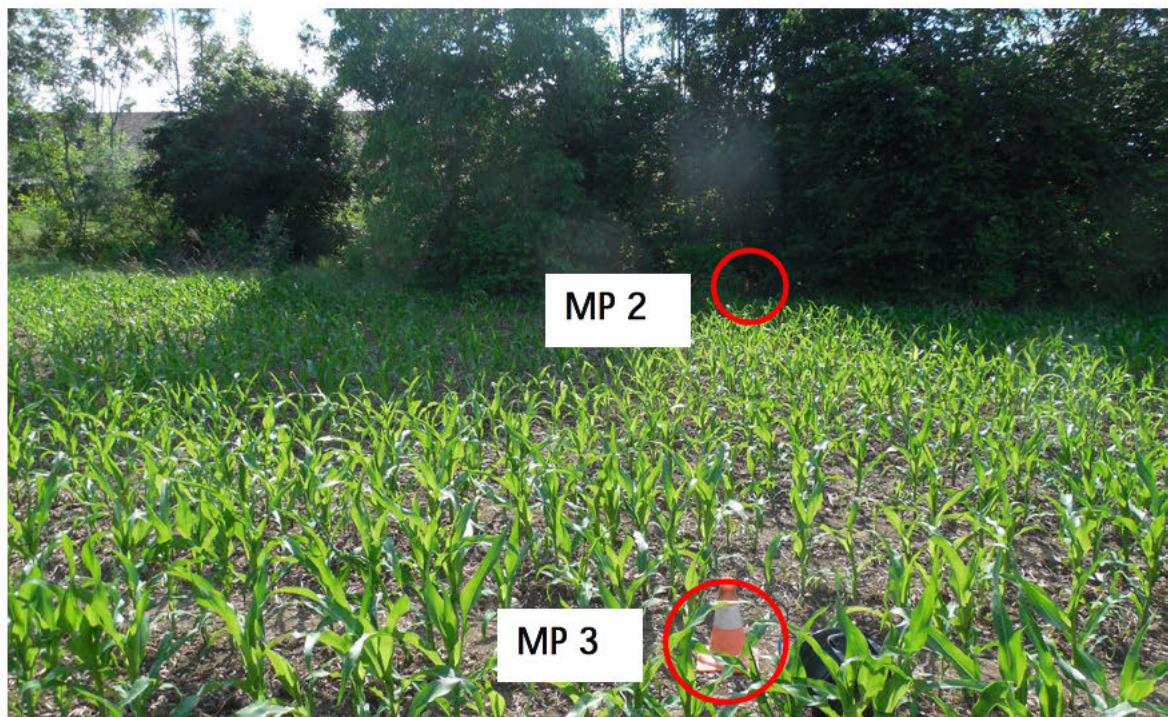


Messung: Bahnstrecke München – Flughafen (Englschalking, MP 1)

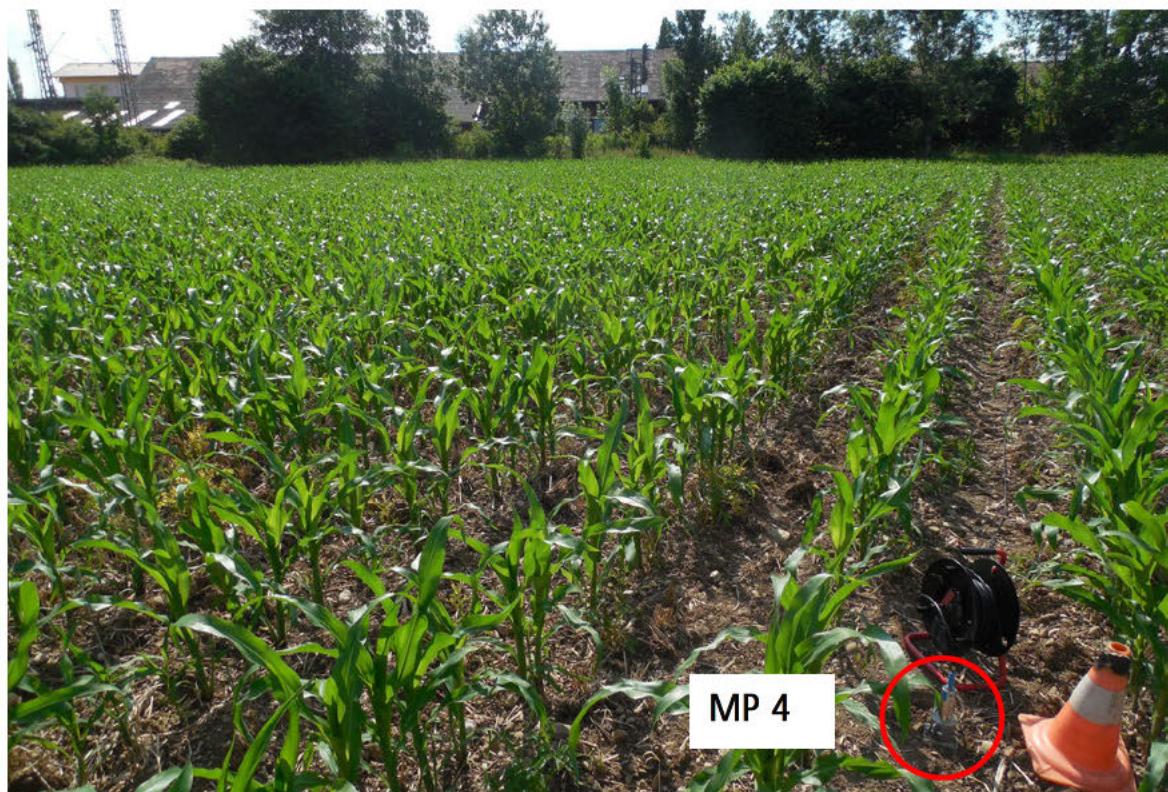




Messung: Bahnstrecke München – Flughafen (Engschalking, MP 2 und MP 3)



Messung: Bahnstrecke München – Flughafen (Engschalking, MP 4)

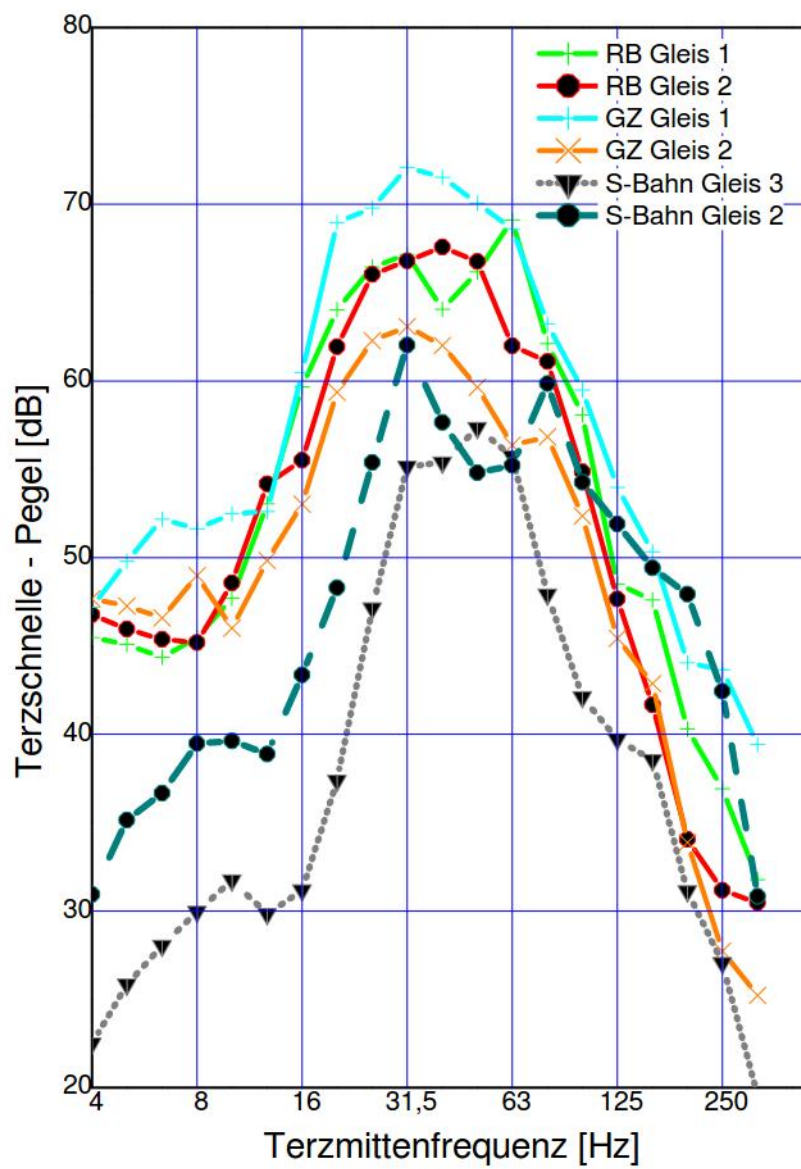




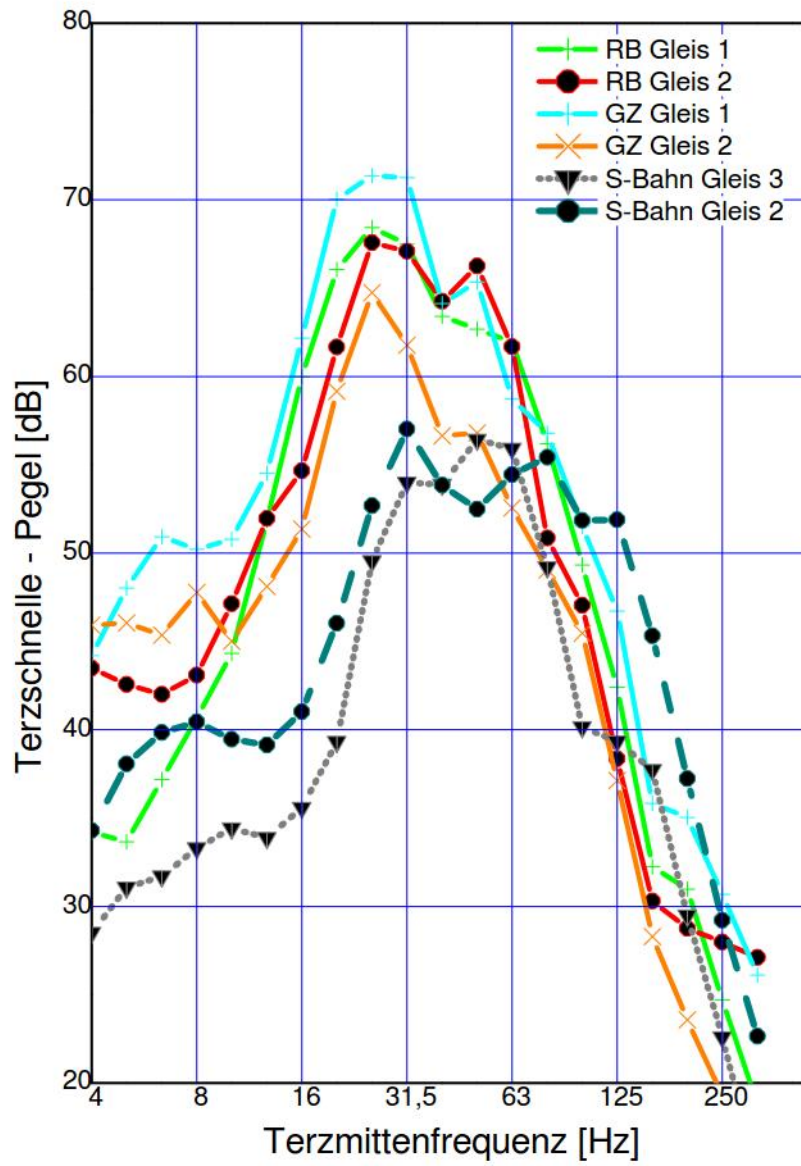
## Anlage 3: Maßgebende mittlere Max-Hold-Terzschnellespektren

Messung: Bahnstrecke München – Simbach

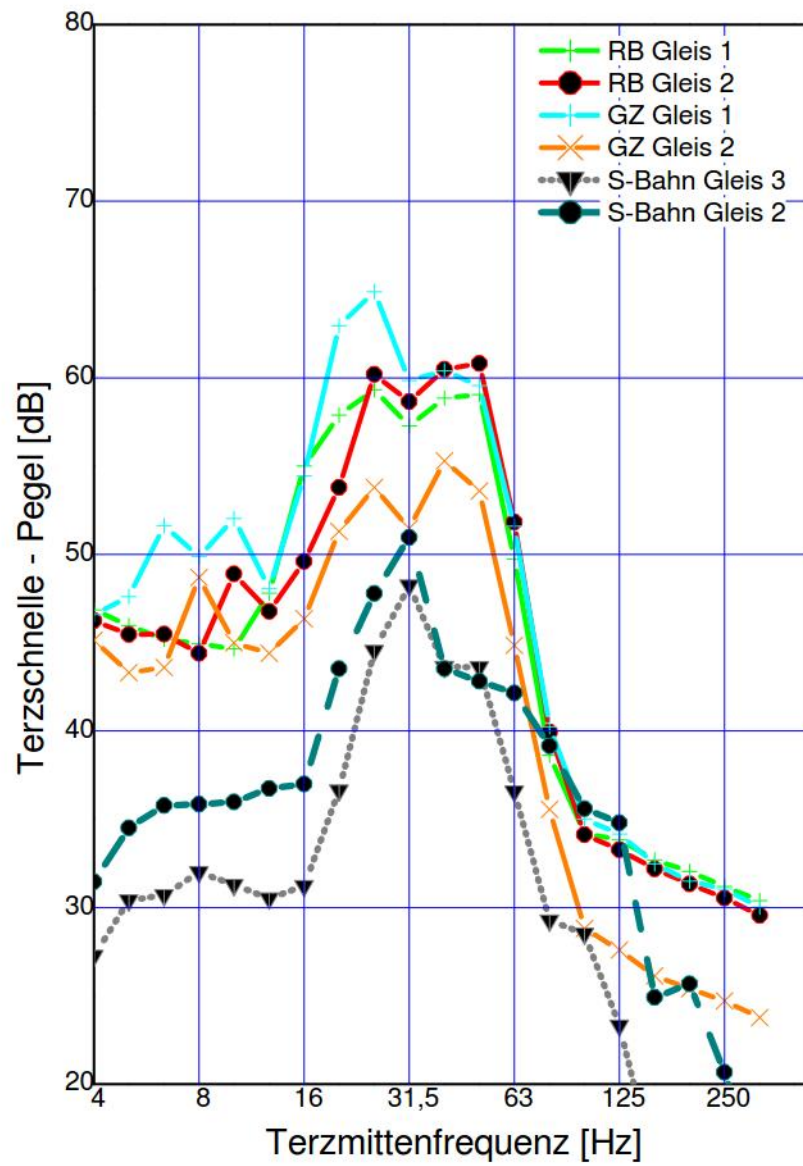
Messpunkt MP 1



## Messpunkt MP 2

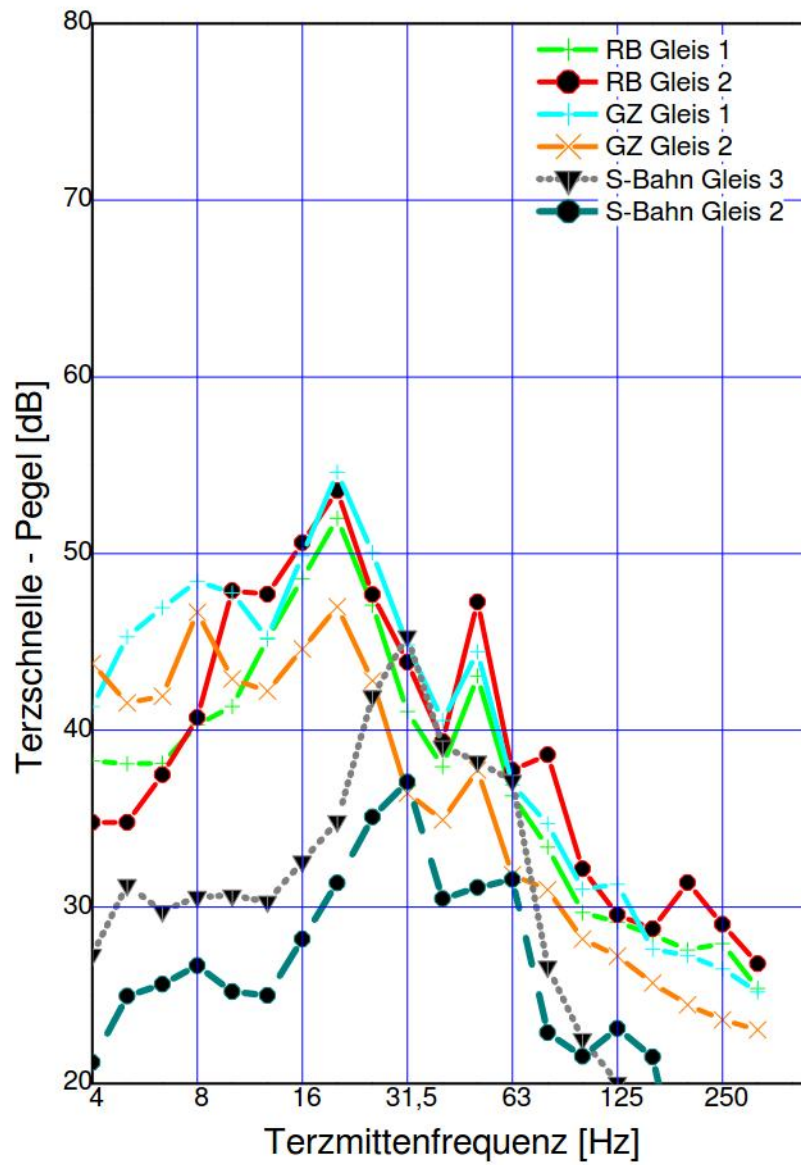


## Messpunkt MP 3

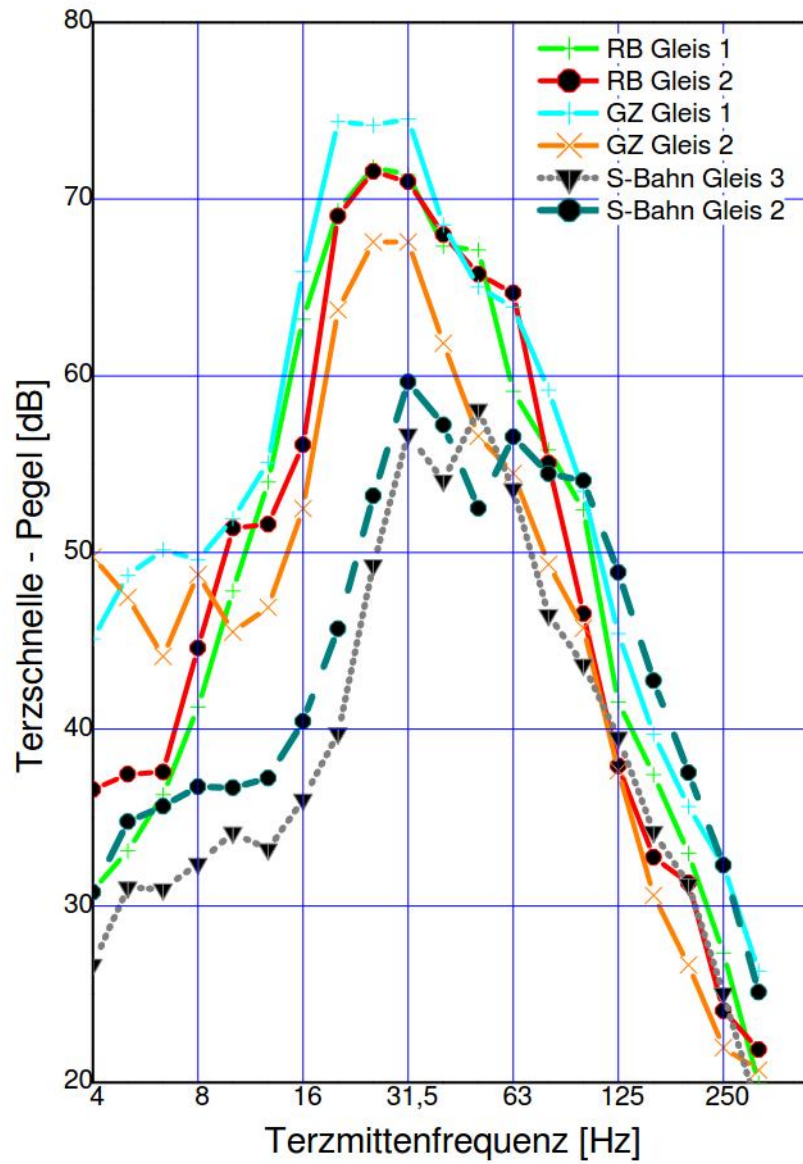




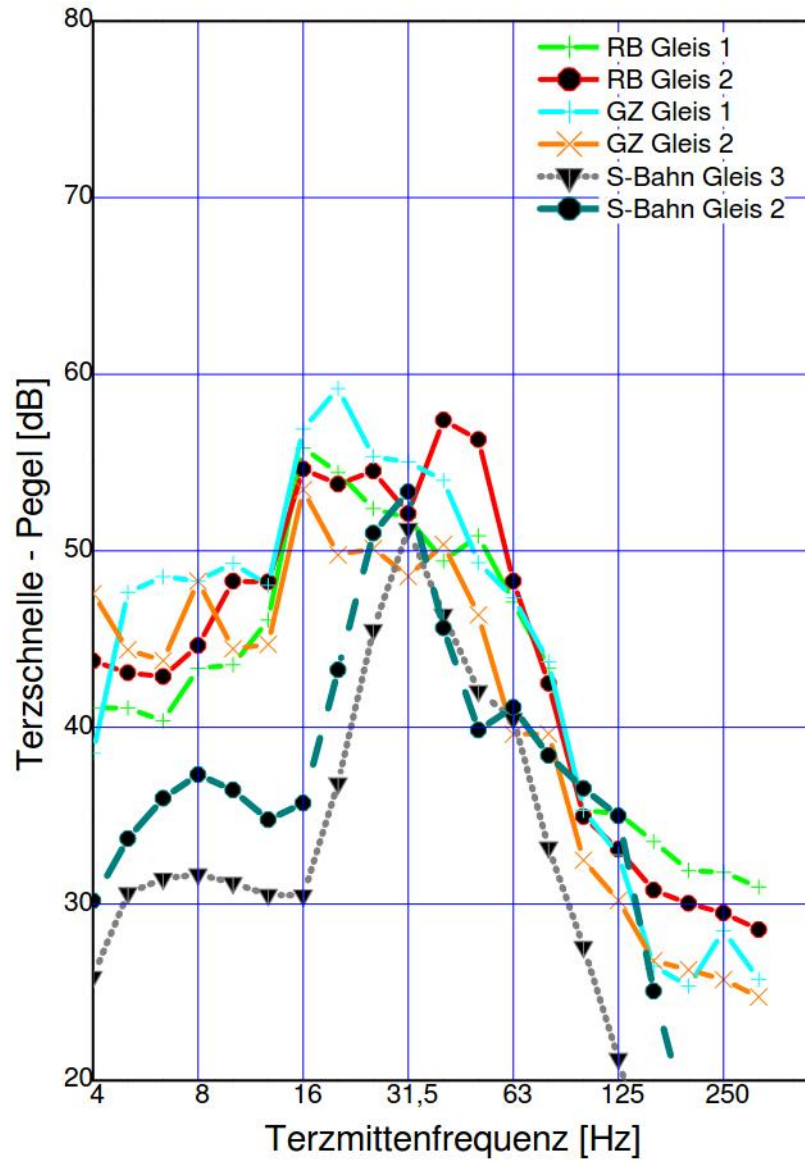
Messpunkt MP 4



Messpunkt MP 5

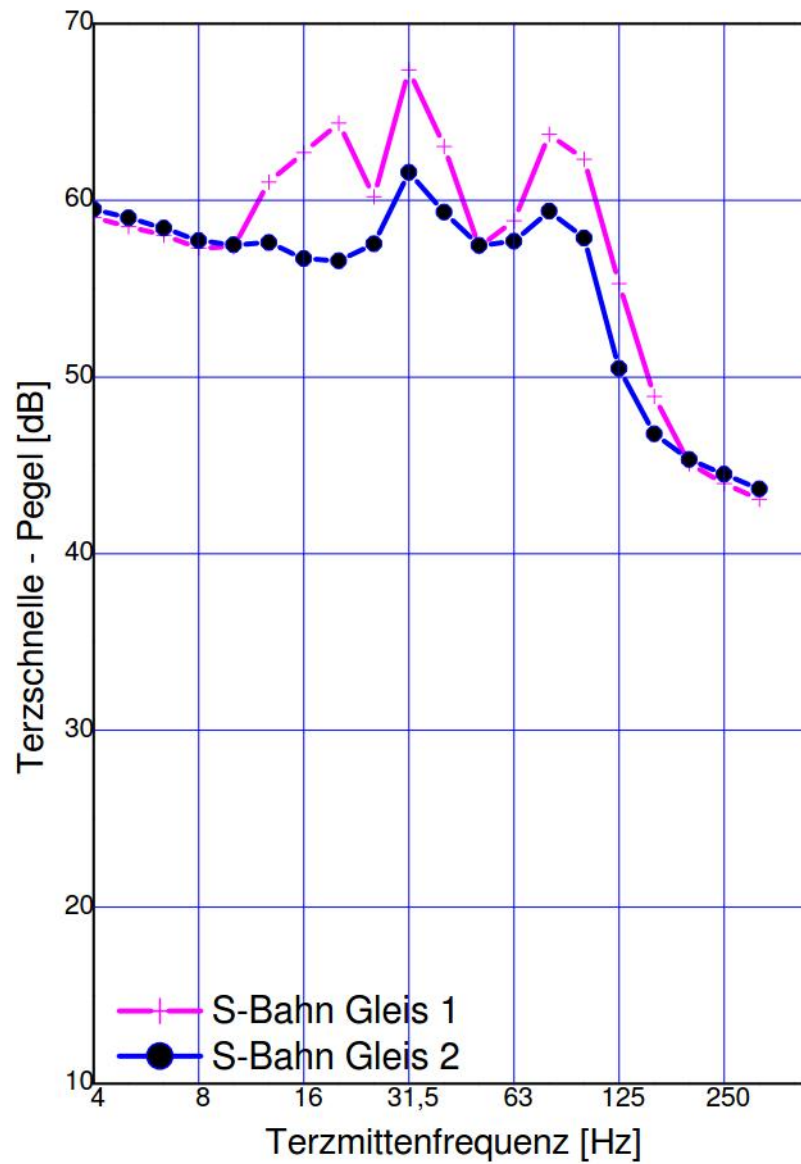


## Messpunkt MP 6

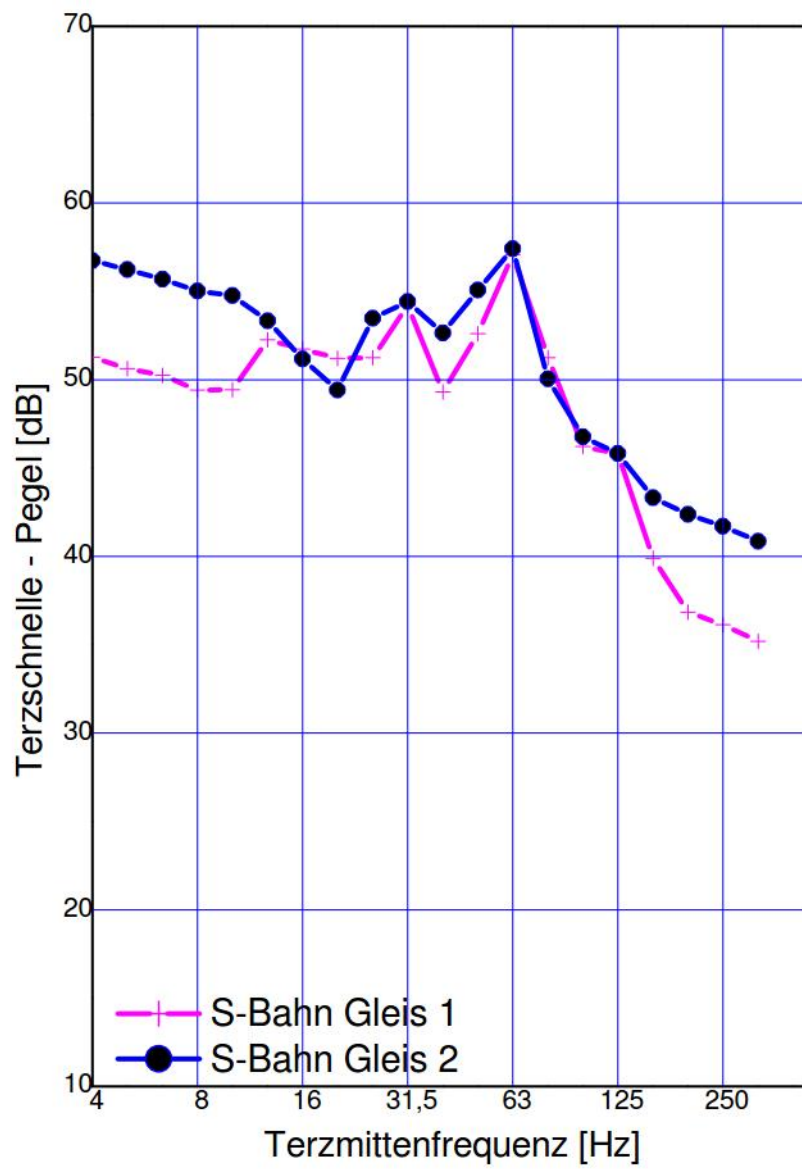


Messung: Bahnstrecke München – Flughafen (Englschalking)

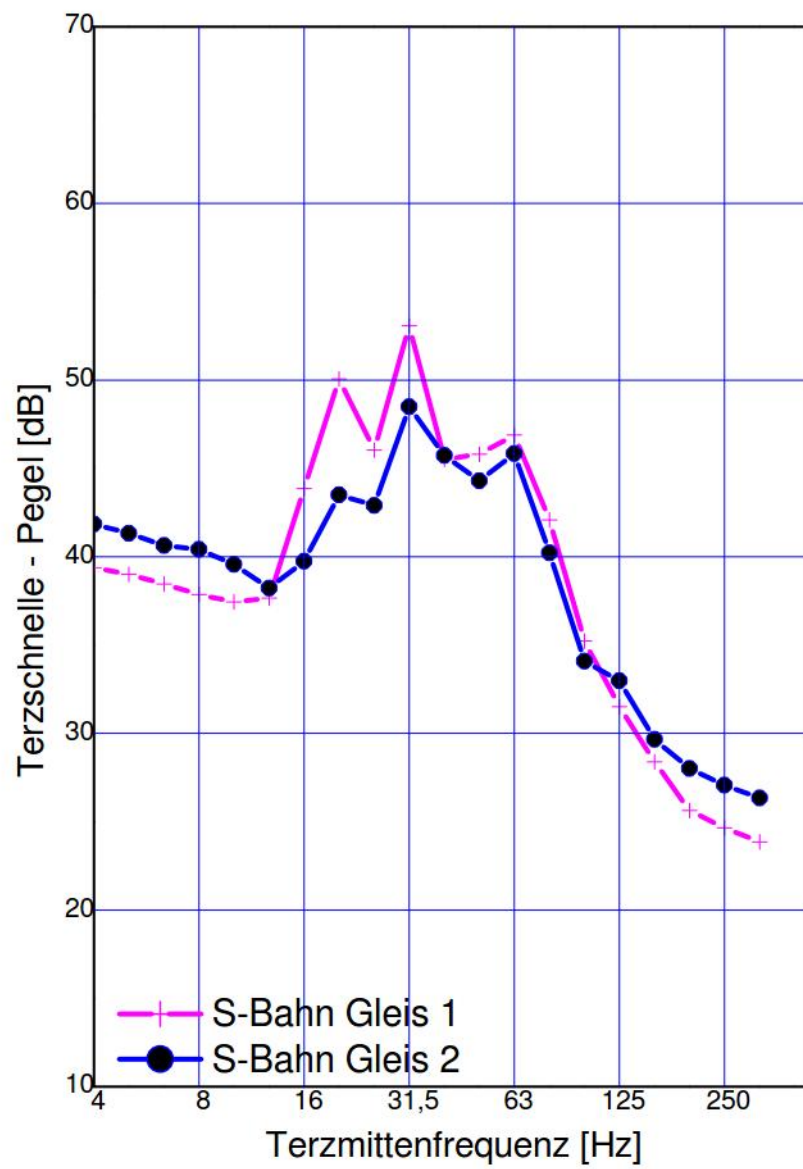
Messpunkt MP 1



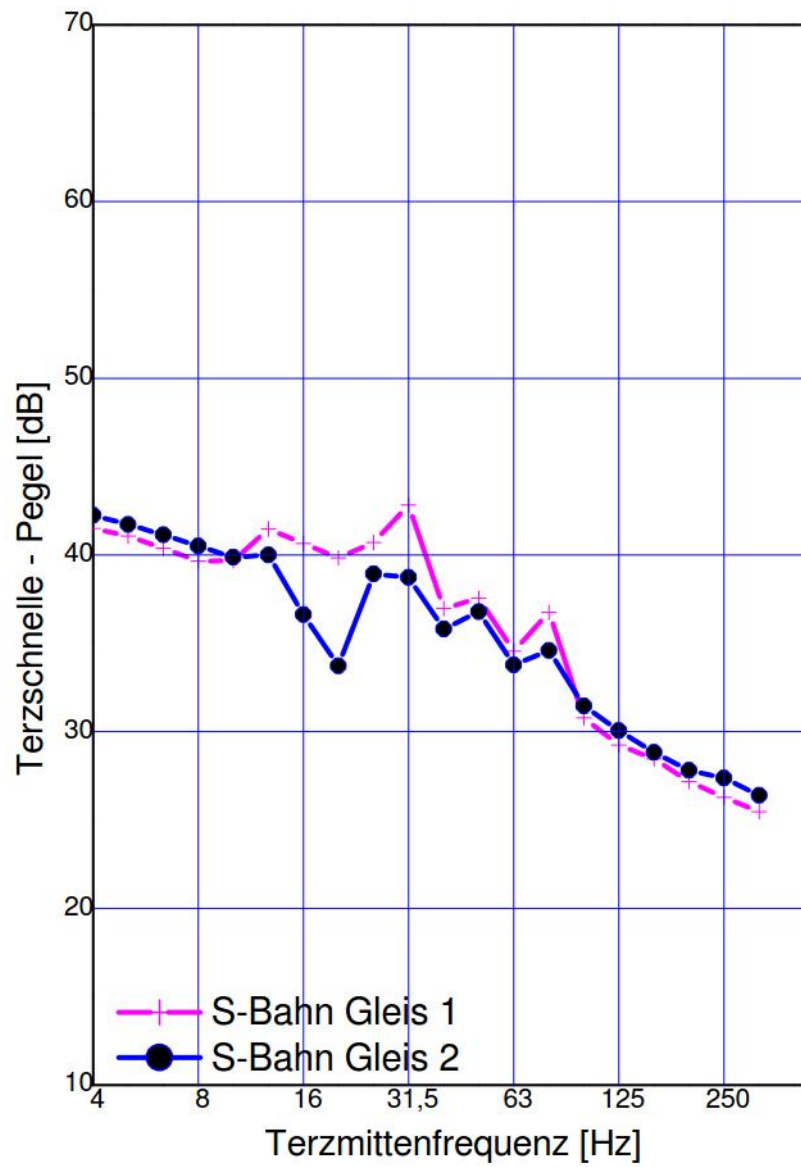
## Messpunkt MP 2



## Messpunkt MP 3



## Messpunkt MP 4



Anlage 4: Hausinterne Messungen entlang Bahnstrecke 5560 und 5554 (München – Flughafen), ([32], [33])

Erschütterungen

Tabelle: Prognostizierter KBFTm - Wert bzw. KBFT <sub>r</sub> - Werte tags / nachts auf den Geschossdecken von fiktiven künftigen Gebäuden an den Messpunkten				
Messpunkt	Abstand zur nächstgelegenen gemessenen Gleisachse (Gleis 1) ca. [m]	KB <sub>FTm</sub> – Wert	KB <sub>FT<sub>r</sub></sub> – Wert	
			tags	nachts
Messung am Hüllgraben (nähe Bf Daglfing) [32]				
MP 1	12	<b>0,30</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>
MP 2	25	0,09	0,03	0,03
MP 3	40	0,06	0,02	0,02
MP 4	25	<b>0,15</b>	0,04	0,04
MP 5	40	0,06	0,02	0,02
MP 6	30	<b>0,15</b>	0,05	<b>0,05</b>
Messung in der Nähe des Bahnhofs Johanneskirchen [33]				
MP 1	15	<b>0,11</b>	0,04	0,04
MP 2	15	<b>0,13</b>	0,04	0,04
MP 3	30	0,06	0,02	0,02
MP 4	40	0,06	0,02	0,02
MP 5	15	<b>0,19</b>	0,05	<b>0,05</b>
MP 6	30	0,08	0,03	0,03

**Fett:** Überschreitung A<sub>u</sub> bzw. A<sub>r</sub>-Kriterium für WA/WR



### Sekundärluftschall

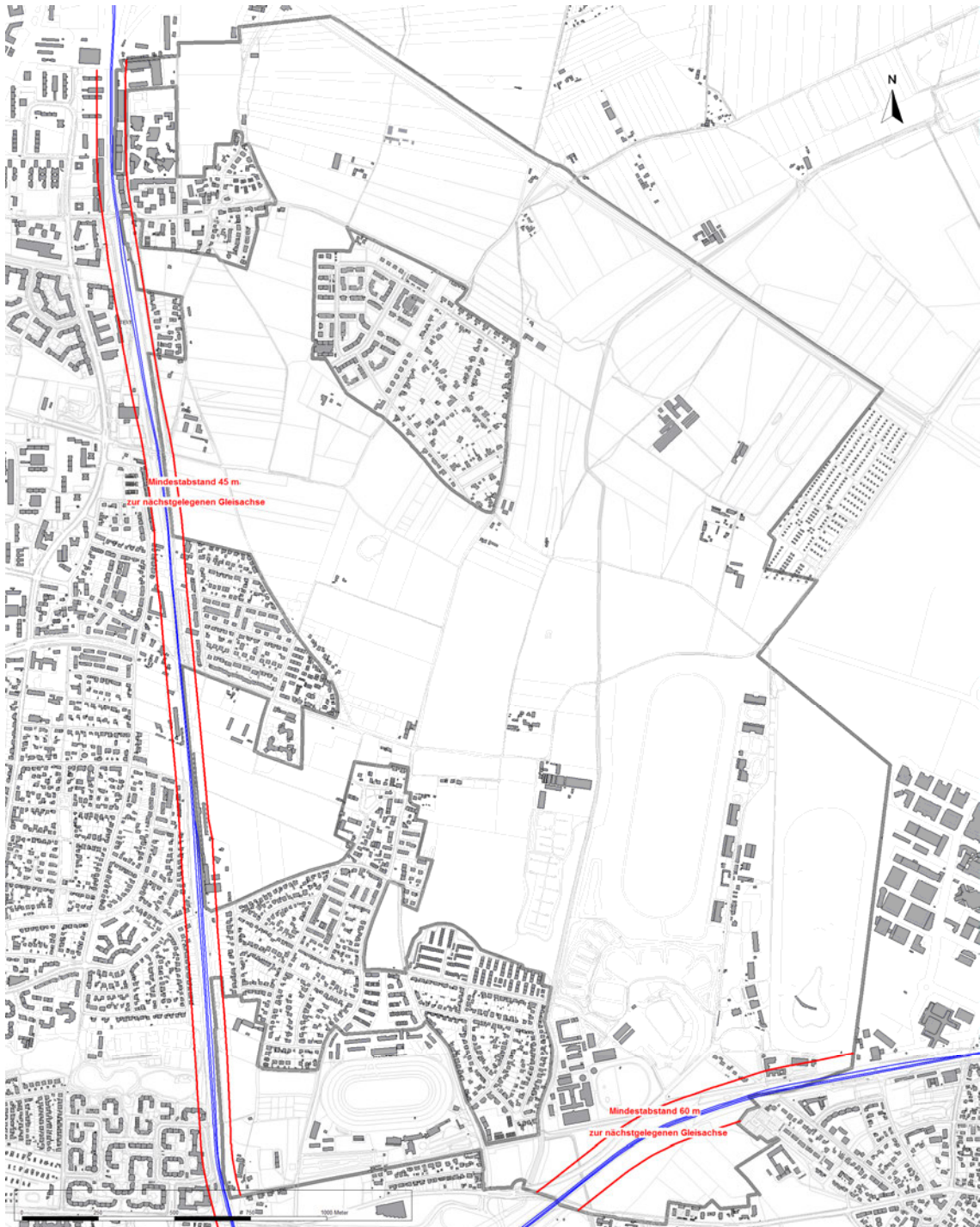
Anm.: Die Tabellenwerte gelten für Rohdecken mit schwimmenden Estrich, ohne schwimmenden Estrich sind ca. 20 % geringere Werte zu erwarten.

Tabelle: Prognostizierte mittlere Geräuschspitzen $\overline{L}_{A,max}$ und Mittelungspegel $L_{A,m}$ des sekundären Luftschalls [dB(A)] in Räumen fiktiver Gebäude an den Messpunkten				
Messpunkt	Abstand zur nächstgelegenen gemessenen Gleisachse (Gleis 1) ca. [m]	Mittlere Geräuschspitzen des sekundären Luftschalls $\overline{L}_{A,max}$ [dB(A)]	Mittelungspegel $L_{A,m}$ [dB(A)]	
			tags	nachts
Messung am Hüllgraben (nähe Bf Daglfing) [32]				
MP 1	12	50,5	38,7	39,1
MP 2	25	40,5	28,9	29,3
MP 3	40	37,8	25,0	25,4
MP 4	25	38,5	26,9	27,3
MP 5	40	33,8	22,1	22,5
MP 6	30	41,9	30,0	30,5
Messung in der Nähe des Bahnhofs Johanneskirchen [33]				
MP 1	15	49,3	33,3	33,5
MP 2	15	46,0	31,1	31,0
MP 3	30	37,2	23,4	23,2
MP 4	40	34,0	20,4	20,2
MP 5	15	50,2	35,6	35,0
MP 6	30	39,7	25,8	25,2

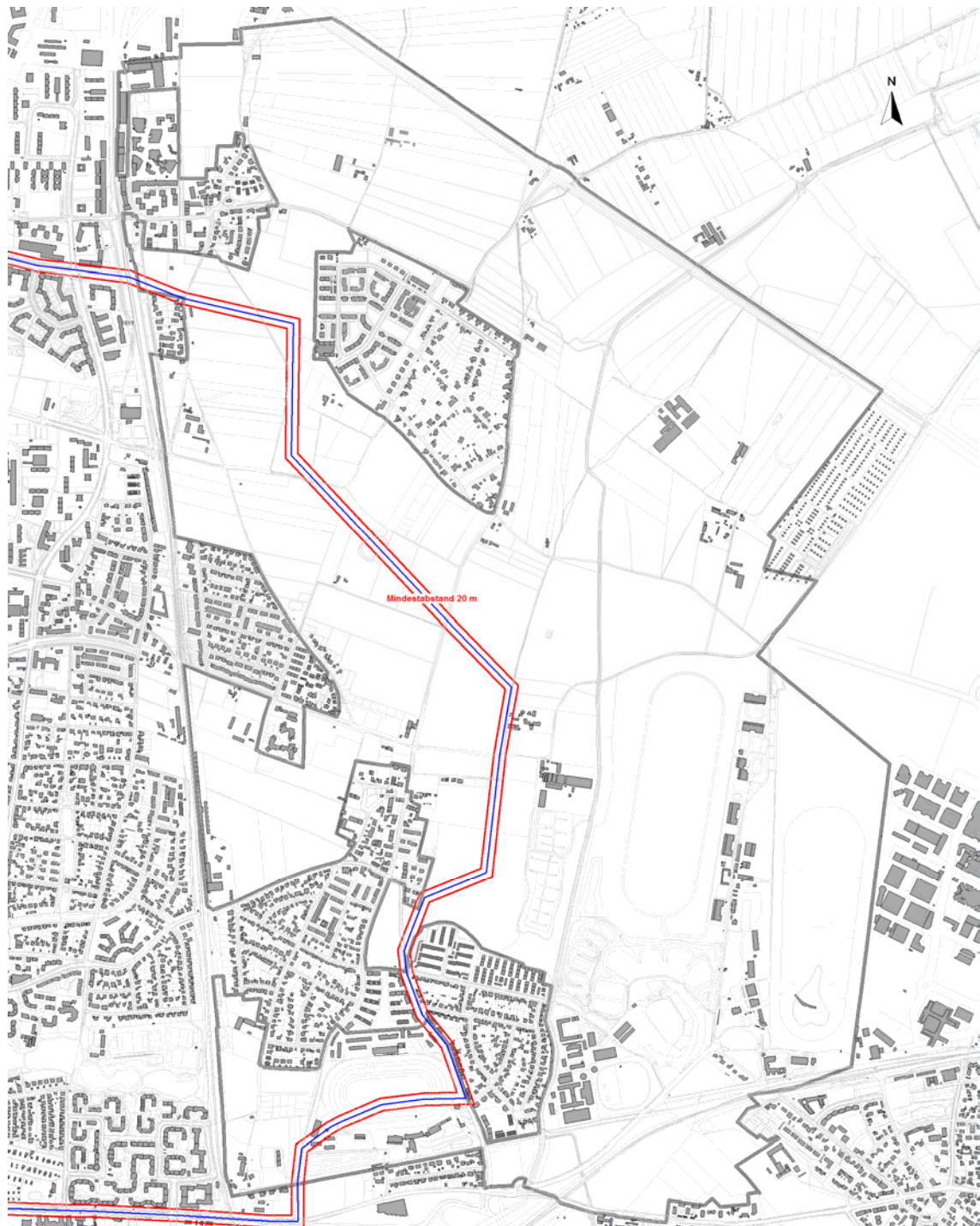
**Fett:** Überschreitung der Anforderungen für Wohnnutzungen

## Anlage 5: Grenzwerte für Erschütterungen und Sekundärluftschall

Bahnlinie München – Simbach und Bahnlinie München – Flughafen (rot: Mindestabstand zur nächstgelegenen Gleisachse für Wohnnutzung)



Straßenbahn Variante 1 (rot: Mindestabstand zur nächstgelegenen Gleisachse für Wohnnutzung)





Straßenbahn Variante 2 (rot: Mindestabstand zur nächstgelegenen Gleisachse für Wohnnutzung)



## **Anlage 6 zu Bericht Nr. 710-4425-ERSCH-1**

Integriertes Strukturkonzept für den Münchner Nordosten  
Erschütterungstechnische Untersuchung

Nachtrag Quelleverzeichnis

Anlage 1.1 – 1.5: Lageplan

Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Landeshauptstadt München 2014, Flurstücke  
und Gebäude: Bayerische Vermessungsverwaltung 2014

Anlage 5.1 – 5.3: Lageplan

Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Landeshauptstadt München 2014, Flurstücke  
und Gebäude: Bayerische Vermessungsverwaltung 2014

München, den 27.02.2025

Gez. Siebert