

Erschütterungstechnische Untersuchung

Bebauungsplan Nr. 03-70

der Stadt Landshut

Bericht Nr. 700-5750-Ersch

im Auftrag der

Stadt Landshut

Referat 5

Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung

München, im Dezember 2018

MÖHLER+PARTNER
 **INGENIEURE AG**

BERATUNG IN SCHALLSCHUTZ + BAUPHYSIK
MÜNCHEN | AUGSBURG | BAMBERG

Erschütterungstechnische Untersuchung

Bebauungsplan Nr. 03-70
der Stadt Landshut

Bericht-Nr.: 700-5750-Ersch

Datum: 20.12.2018

Auftraggeber: Stadt Landshut
Referat 5
Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung
Luitpoldstraße 29
84034 Landshut

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

Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) M. Rasch
Dipl.-Ing. (FH) Alexander Martens

Inhaltsverzeichnis:

1. Aufgabenstellung	7
2. Örtliche Gegebenheiten.....	7
3. Grundlagen.....	8
3.1 Erschütterungen.....	8
3.2 Sekundärluftschall	10
4. Betriebsprogramm.....	12
5. Messungen.....	13
5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung.....	13
5.2 Messgeräte.....	14
5.3 Ankopplung der Messpunkte	14
6. Auswertung der messtechnischen Untersuchungen.....	15
7. Beurteilung der Erschütterungen und des Sekundärluftschalls	17
7.1 Erschütterungen.....	17
7.2 Sekundärluftschall	17
7.3 Vergleich der Messergebnisse.....	18
8. Maßnahmen zum Schutz gegen Erschütterungseinwirkungen.....	18
8.1 Maßnahmen im Gleisbereich (Emissionsort).....	18
8.2 Maßnahmen im Erdreich (Transmissionsbereich).....	18
8.3 Maßnahmen am Gebäude (Immissionsort)	19
9. Formulierungsvorschlag für die Festsetzungen des Bebauungsplans.....	19
10. Anlagen	21

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1:	Mindestabstände für erschütterungsmindernde Maßnahmen	19
---------------------	---	----

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1:	Anhaltswerte zur Beurteilung der Immissionen von Erschütterungen nach Tabelle 1 der DIN 4150-2 [4]	9
Tabelle 2:	Immissionsrichtwerte „Innen“ nach TA Lärm [dB(A)]	10
Tabelle 3:	Betriebsprogramm der Bahnstrecke gemäß [12]	12
Tabelle 4:	Dokumentation zur Lage der Messpunkte	13
Tabelle 5:	Messtechnisch erfasste verwertbare Vorbeifahrten während der Messzeit	13
Tabelle 6:	Höchster prognostizierter KB_{FTM} - Wert bzw. KB_{FTT} - Werte tags / nachts auf den Geschossdecken des künftigen Gebäudes an den Messpunkten	16
Tabelle 7:	Mittlere prognostizierte Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls in Räumen des zukünftigen Gebäudes an den Messpunkten ...	16

Grundlagenverzeichnis:

- [1] Baugesetzbuch (BauGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S. 2414), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 20. November 2014 (BGBl. I S. 1748) geändert worden ist
- [2] Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG), Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge, in der aktuellen gültigen Fassung
- [3] DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- [4] DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [5] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung, September 2010
- [6] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren, Juni 2005
- [7] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998
- [8] Beiblatt 1 zu DIN 45680, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft – Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen, März 1997
- [9] DIN EN ISO/IEC 17025 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005), August 2005
- [10] Körperschall: Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, L. Cremer und M. Heckl, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996
- [11] Melke, 1995, Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs, Prognose und Schutzmaßnahmen, Materialien Nr. 22, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
- [12] Zugzahlen für die Bahnstrecken 5500, 5634, 5720, im Bereich westlich des Bahnhofes Landshut, Prognose 2025, Deutsche Bahn AG 21.12.2016
- [13] Erschütterungstechnische Voruntersuchung zum Wettbewerb „Bahnbetriebsgelände“ in der Stadt Landshut, M+P Bericht Nr. 710-5351-Ersch vom 15.03.2017
- [14] Vorabzug des Bebauungsplan Nr. 03-70 der Stadt Landshut, Planstand: 23.10.2018

Zusammenfassung:

In der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung wurde für den Bebauungsplan Nr. 03-70 die Erschütterungssituation ermittelt und beurteilt. Die Untersuchung kommt zu folgenden Ergebnissen:

- Die Untersuchungen basieren auf Messungen im Plangebiet. Anhand dieser Messungen wurden die auf die Planbebauung einwirkenden Erschütterungs- und Sekundärluftschalldimissionen prognostiziert und beurteilt.
- Die Anforderungen an den Schutz vor Erschütterungen werden gemäß der DIN 4150-2 für Wohngebiete bis zu einem Abstand von etwa 27 m zur nächstgelegene Gleisachse überschritten. Im Hinblick auf den Sekundärluftschall werden die Innenraumrichtwerte für kurzzeitige Geräuschspitzen gemäß TA Lärm (45/35 dB(A) Tag/Nacht) im Nachtzeitraum im Plangebiet bis zu einem Abstand von etwa 35 m zur nächstgelegene Gleisachse ebenfalls überschritten.
- An Baukörpern entlang der Bahntrasse sowie in baulich daran gekoppelten Gebäuden kann eine erhebliche Belästigung zukünftiger Bewohner durch Erschütterungen sowie durch den nächtliche Spitzenpegel des Sekundärluftschalls nicht ohne Schutz- bzw. Kompensationsmaßnahmen zuverlässig ausgeschlossen werden.
- Art und Umfang dieser Maßnahmen richtet sich nach der konkreten Gebäudeplanung (Rohdecken-, Estrichdicken, Deckenspannweiten, Lastverteilung, Gebäudemasse, usw.), die auf Ebene der Bauleitplanung nicht festgelegt werden kann. Die Details sind im Bauvollzug zu klären. Unlösbare Immissionskonflikte bestehen nicht.

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

1. Aufgabenstellung

Die Stadt Landshut plant im Stadtteil St. Wolfgang ein Gebiet an der Bahnhofstraße städtebaulich zu entwickeln und dies wird durch die Aufstellung eines Bebauungsplans realisiert. In einem städtebaulichen Wettbewerb wurden verschiedene Planentwürfe vorgestellt und durch das Preisgericht bewertet. Der Sieger-Entwurf aus diesem Wettbewerb wird nun im Rahmen eines Bebauungsplanes realisiert. Der Geltungsbereich befindet sich südlich der Bahnstrecke Landshut – München und Landshut – Neumarkt – St. Veit sowie südwestlich des Bahnhofs der Stadt Landshut. Dementsprechend sind relevante erschütterungstechnische Immissionen nicht auszuschließen.

Anhand eines erschütterungstechnischen Gutachtens sollen die auf das Plangebiet einwirkenden Erschütterungen und der daraus entstehende Sekundärluftschall prognostiziert und beurteilt werden. Sofern Überschreitungen der Anhalts- oder Richtwerte prognostiziert werden, sind Planungsrestriktionen (z.B. Mindestabstände), bautechnische Maßnahmen sowie sonstige grundsätzlich mögliche erschütterungsmindernde Maßnahmen aufzuzeigen.

Mit der Durchführung der Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure AG am 08.05.2018 von der Stadt Landshut beauftragt.

2. Örtliche Gegebenheiten

Das Plangebiet umfasst die Flurstücke mit den Nrn. 1580/117, 1580/296, 1580/320, 1580/306, 1580/299, 1580/109, 1580/182, 1580/374, 1580/375, 1580/183, 1580/7, 1580/331, 1580/28, 1580/318, 1580/317, 1580/109, 1580/325 und liegt südlich der Bahnstrecken Landshut – München und Landshut – Neumarkt – St. Veit sowie südwestlich des Bahnhofs der Stadt Landshut. Östlich wird das Plangebiet durch die vorhandene Wohnbebauung an der Bahnhofsstraße und südlich durch einen Fuß- und Radweg begrenzt. Entlang der westlichen Plangebietsgrenze verläuft die Bahnstrecke 5720 nach Landshut Süd.

Das Plangebiet und der weitere Umgriff sind im Wesentlichen eben. Die detaillierten örtlichen Gegebenheiten sind aus dem Übersichtslageplan in Anlage 1 ersichtlich.

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 Schnellesignals entstandene Signal. Nach DIN 45669-2 [6] ist das $KB_f(t)$ -Signal als der gleitende Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals durch die Zeitbewertung FAST (0,125 s) definiert.

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

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

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

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

Dabei ist:

T_r Beurteilungszeit (tags 16 h, nachts 8 h)

T_e Summe aller Taktzeiten, während derer Erschütterungen einwirken

KB_{fTm} Taktmaximal-Effektivwert

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

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

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

Die Beurteilung erfolgt nach folgender Vorgehensweise:

- Ist KB_{Fmax} kleiner als der untere Anhaltswert A_u , dann sind die Anforderungen der Norm eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der untere Anhaltswert A_u und kleiner als der obere Anhaltswert A_o , gilt die Anforderung der Norm als eingehalten, wenn der KB_{FTr} kleiner als der Anhaltswert A_r ist.
- Ist der KB_{Fmax} größer als der obere Anhaltswert A_o bzw. der KB_{FTr} größer als der Anhaltswert A_r , dann sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten.

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen gelten abhängig vom Einwirkungsort folgende Anhaltswerte A nach Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 [4].

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

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

- Bei der Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} wird der Faktor 2 zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten nicht angewendet.
- Für den Schienenverkehr hat der (obere) Anhaltswert nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten.

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

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

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

3.2 Sekundärluftschall

Der innerhalb eines Gebäudes auf Körperschallimmissionen zurückzuführende Luftschall durch Bauwerksschwingungen von Raumbegrenzungsflächen (Wände und vor allem Geschossdecken) wird als sekundärer Luftschall bezeichnet und als tieffrequenter Lärm 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 [7] bzw. der DIN 45680 [8] durchzuführen (diese Richtlinien regeln generell die Geräuschübertragung innerhalb von Gebäuden bzw. tieffrequente Geräusche durch gewerbliche Anlagen). Im vorliegenden Fall werden für das Plangebiet ebenfalls diese Werte angesetzt. Die genannten Immissionsrichtwerte gelten gebietsunabhängig für schutzbedürftige Räume:

Tabelle 2: Immissionsrichtwerte „Innen“ nach TA Lärm [dB(A)]		
Beurteilungszeitraum	Mittelungspegel L_m	Maximalpegel L_{max}
Tags (06.00 – 22.00 Uhr)	35	45
Nachts (22.00 – 06.00 Uhr)	25	35

Die Anforderungen der Richtlinie gelten demnach als erfüllt, wenn der Mittelungspegel des sekundären Luftschalls im Zeitraum Tag (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 Geschosdecken wird sekundärer Luftschall durch die Raumbegrenzungsflächen abgestrahlt. Zwischen der Schwingschnelle in den Raumbegrenzungsflächen, den jeweiligen Abstrahl- und Absorptionsverhältnissen im Raum und den daraus resultierenden Schalldruckpegeln im Raum besteht ein direkter Zusammenhang.

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

Aufgrund von Erfahrungen kann der sekundäre Luftschall in guter Näherung nach folgender Formel abgeschätzt werden [10]:

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

Dabei bedeuten:

$L_{pA}(f_T)$	Terzpegel des A-bewerteten Schalldrucks im Raum
$L_{vA}(f_T)$	Terzpegel der A-bewerteten Schwingschnelle der Raumbegrenzungsflächen, bezogen auf $5 \cdot 10^{-8}$ m/s
S	Größe der schwingerregten Fläche in m^2
$A(f_T)$	äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m^2
$\sigma(f_T)$	Abstrahlgrad
f_T	Terzmittenfrequenz

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

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

Diese Korrektur wird terzweise zu den Prognosespektren der Erschütterungsimmissionen addiert. Die so ermittelten sekundären Luftschallpegel stellen mittlere Maximalpegel L_{max} während der Zugvorbeifahrten dar. Die Berechnung erfolgt im Frequenzbereich von 16 Hz bis 315 Hz.

4. Betriebsprogramm

Das Plangebiet befindet sich im Einwirkungsbereich der Bahnstrecken DB Nrn. 5500, 5634 und 5720. Die Zugmengen der jeweiligen Schienenstrecke wurden bei der Deutschen Bahn AG eingeholt und sind für das Prognosejahr 2025 ausgelegt.

Die Lage der Schienenstrecken ist aus Anlage 1 ersichtlich. Die angesetzten Zugmengen sind in folgender Tabelle zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 3: Betriebsprogramm der Bahnstrecke gemäß [12]			
Bahnstrecke	Zugart	Anzahl Vorbeifahrten im Beurteilungszeitraum	
		Tag	Nacht
Strecke 5500	Nahverkehr / Güterverkehr	181 / 26	31 / 30
Strecke 5634	Nahverkehr / Güterverkehr	64 / 22	11 / 14
Strecke 5720	Nahverkehr / Güterverkehr	64 / 4	8 / 2
Gesamt	Nahverkehr	309	50
Gesamt	Güterverkehr	52	46

Das dem Plangebiet nächstgelegene Gleis ist das Gleis 0, welches für den Nahverkehr in beiden Richtungen (Landshut – München) genutzt wird. Das Gleis 2, 5 und Gleis 6 bzw. 8 wird vom Nahverkehr nach München befahren. Die Gegenrichtung Richtung Landshut fährt auf dem Gleis 3.

Im nordöstlichen Teil des Gleis 1 befindet sich kein Bahnsteig, sodass daher kein planmäßiger Zugverkehr stattfindet. Im südwestlichen Teil (Kurve) fährt der Nahverkehr von und nach Neumarkt-St. Veit (Strecke 5720).

Der Güterzugverkehr fährt sowohl auf Gleis 2 als auf auch Gleis 5 und 6.

Die weiterentfernten Gleise (Gleis 9 -16) sind aus unserer Sicht Abstellgleise, hier wurden während des Messzeitraums Güterzüge verschoben. Die entsprechenden Erschütterungen waren aber signaltechnisch nicht abbildbar, sodass diese aufgrund ihrer nicht wesentlichen Einwirkungen nicht berücksichtigt worden sind.

5. Messungen

5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung

Es wurden in verschiedenen Abständen zur Bahnlinie und im Plangebiet in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten verschiedene Messpunkte an der Geländeoberfläche installiert. Die Messung fand am 12.12.2018 in der Zeit von 21:00 bis 02:00 Uhr statt. Die Messergebnisse von der Messung am 08.02.2017 [13] wurden bei der Beurteilung zudem herangezogen.

Die Dokumentation zur Lage der Messpunkte ist in folgender Tabelle 4 sowie in Anlage 1 dargestellt. Die Auswertung der Messungen erfolgt bezüglich der nächstgelegenen Gleisachse; die Abstandsangaben beziehen sich auf den orthogonalen Abstand zur Mitte des nächstgelegenen Gleises, das im Weiteren als Gleis 0 bezeichnet wird. Maßgebend sind folgende Messpunkte:

Tabelle 4: Dokumentation zur Lage der Messpunkte			
Messpunkt	Lage des Messpunkts	Messrichtung	Abstand zur Gleisachse ca. [m]
MP 1	Geländeoberfläche	vertikal	51
MP 2	Geländeoberfläche	vertikal	40
MP 3	Geländeoberfläche	vertikal	33
MP 4	Geländeoberfläche	vertikal	25

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

Tabelle 5: Messtechnisch erfasste verwertbare Vorbeifahrten während der Messzeit		
Fahrzeugklasse	Zugart	Anzahl der gemessenen Vorbeifahrten
Nahverkehr	Regionalverkehr	20
Güterverkehr	GZ	7

5.2 Messgeräte

Für die Messungen und Auswertungen wurden folgende Geräte verwendet:

- Beschleunigungsaufnehmer der Fa. PCB, Typ 393A09, Empfindlichkeit 1.000 mV/g, Arbeitsfrequenzbereich 0,3 Hz – 4.000 Hz, Messbereich 5g
- Geeichtes Mehrkanal-Messsystem Soundbook der Fa. Sinus Messtechnik GmbH
- Signalanalyse Software Samurai
- Kalibrator, VC 21 der Fa. Metra

Die verwendeten Messgeräte wurden vor und nach der Messung kalibriert und auf ihre einwandfreie Funktion überprüft. Das Messsystem sind Bestandteil des unter D-PL-19432-01-00 nach DIN EN ISO/EC 17025:2005 [9] von der DAkkS akkreditierten Prüflaboratoriums der Möhler + Partner Ingenieure AG. In diesem Rahmen werden die Messgeräte regelmäßig überwacht und auf nationale Normale zurückgeführt.

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 und weitere Besonderheiten (z.B. Flachstellen, wechselnde Fahrgeschwindigkeiten, Überschneidungen usw.) notiert.

Messunsicherheit

Bei der Ermittlung der Schwingungskenngrößen treten nach Nr. 5.4 Absatz 3 der DIN 4150-2 [4] Messunsicherheiten von bis zu 15 % auf. Die gerätebedingten Fehlergrenzen der Komponenten der Messunsicherheit können DIN 45669-1 [5] entnommen werden. Zusätzliche Messunsicherheiten können allgemein durch Übersteuerung der Messgeräte, Störsignale, meteorologische Einflüsse oder Fremdeinwirkungen entstehen. Übersteuerungen sind im vorliegenden Fall ohne Bedeutung. Da das Messpersonal die Geräte während der Messung laufend überprüft hat sind Störsignale nicht relevant. Während der Messung lagen keine ungünstigen meteorologischen Bedingungen vor.

5.3 Ankopplung der Messpunkte

Die Ankopplung der Geschwindigkeitsaufnehmer auf der Geländeoberfläche erfolgte über Erdspieße mit einer Länge von $l = 0,5$ m und X-förmigem Querschnitt entsprechend den Anforderungen der DIN 45669-2 [6]. 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 2 zeigt die maßgebenden mittleren Terzpegelschnellespektren an den einzelnen Messpunkten.

Einleitung der Erschütterungen vom Erdreich in das Gebäude

Für die Übertragung der Schwingungen vom Erdreich in das Gebäude sind die dynamischen Eigenschaften der Empfängerstruktur und die Rückwirkung des angrenzenden Bodens bestimmend. Für eine Vorabschätzung ist die Überhöhung der Schwingungen beim Übergang vom Erdreich in das Gebäude abhängig von der Gebäudemasse und der Frequenz [11]. 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 und η = Erregerfrequenz / Eigenfrequenz

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

Die Schwingungen des schwimmenden Estrichs bzw. des Gesamtdeckenaufbaus werden ebenfalls durch ein Massen-Schwinger-Modell angenähert. Typische Estrich-Eigenfrequenzen liegen im Bereich 50 bis 80 Hz. Die resultierenden Deckenschwingungen werden einer Frequenzbewertung (KB-Filterung) unterzogen und energetisch summiert. Die ermittelten KB-Werte sind aufgrund der Auswertung von Max-Hold-Spektren in Näherung als je Fahrtrichtung gemittelte KB_{rmax} - Werte (KB_{rTm} - Werte je Fahrtrichtung nach DIN 4150, Teil 2) anzusehen.

Die Auswertung der gemessenen Schnellespektren führt zu den unten aufgelisteten höchsten $KB_{F_{Tr}}$ - Werten für Rohdecken mit Eigenfrequenzen bis 40 Hz bzw. unter der Annahme des Einbaus eines schwimmenden Estrichs für Rohdecken mit Estrich und Estrich Eigenfrequenzen von $f_0 \approx 50 - 80$ Hz für das Plangebäude. Ausgehend von den Terzschnellespektren (Anlage 2) ergeben sich bei den Prognoseabschätzungen folgende Beurteilungsgrößen:

Tabelle 6: Höchster prognostizierter $KB_{F_{Tr}}$ - Wert bzw. $KB_{F_{Tr}}$ - Werte tags / nachts auf den Geschossdecken des künftigen Gebäudes an den Messpunkten				
Messpunkt	Abstand zur Gleisachse ca. [m]	$KB_{F_{Tr}}$ – Wert	$KB_{F_{Tr}}$ – Wert	
			tags	nachts
MP 1	53	0,04	0,01	0,01
MP 2	42	0,07	0,01	0,01
MP 3	35	0,12	0,02	0,02
MP 4	27	0,20	0,04	0,04

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

Ebenfalls wurden aus den gemessenen Schnellespektren unter den o.g. Parametern der sekundäre Luftschall (SKL) ermittelt und ist in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 7: Mittlere prognostizierte Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundär-luftschalls in Räumen des zukünftigen Gebäudes an den Messpunkten				
Messpunkt	Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse ca. [m]	Mittlere Geräuschspitzen des sekundären Luftschalls $\overline{L_{A,max}}$ [dB(A)]	Mittelungspegel $L_{A,m}$ [dB(A)]	
			tags	nachts
MP 1	53	22	< 10	< 5
MP 2	42	27	< 10	< 10
MP 3	35	33	< 15	< 15
MP 4	27	40	19	21

Fett: Überschreitung der Immissionsrichtwerte „Innen“ der TA Lärm

7. Beurteilung der Erschütterungen und des Sekundärluftschalls

Die Beurteilung der auf Erschütterungen und Sekundärluftschall zurückzuführenden Immissions-Situation erfolgte auf Grundlage der aus den Messdaten berechneten Mittelwerte. Die Immissionen einzelner Zugvorbeifahrten können jedoch deutlich (z.B. bei 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 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 Bauvorhaben werden die Anhaltswerte der DIN 4150-2 [4] für ein Allgemeines Wohngebiet (WA) bzw. die gebietsunabhängigen Immissionsrichtwerte „Innen“ der TA Lärm [7] herangezogen.

7.1 Erschütterungen

Ein Vergleich der höchsten ermittelten mittleren $KB_{F_{Tm}}$ –Werte von bis zu 0,20 (MP 4) mit dem unteren Anhaltswert A_u (0,15/0,1 tags/nachts) zeigt, dass an den Messpunkt MP 4 das A_u – Kriterium tags und an dem Messpunkt MP 4 und MP 3 nachts überschritten wird. Demnach wurden die ermittelten $KB_{F_{Tm}}$ –Werte mit dem oberen Anhaltswert A_o (3/0,2 tags/nachts) verglichen. Es zeigt sich, dass an allen Messpunkten das A_o – Kriterium nachts eingehalten wird.

Somit wird zur Beurteilung der Situation die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ herangezogen. Die Bewertung der prognostizierten Beurteilungs-Schwingstärken ($KB_{F_{Tr}}$ gem. Tabelle 6) zeigt, dass die Anhaltswerte A_r für Wohngebiete (0,07/0,05 tags/nachts) an dem Messpunkt MP 4 ($KB_{F_{Tr}}$ von 0,04/0,04 tags/nachts), MP 3 ($KB_{F_{Tr}}$ von 0,02/0,02 tags/nachts) und an MP 2 und MP 1 ($KB_{F_{Tr}}$ von 0,01/0,01 tags/nachts) im Tag- und Nachtzeitraum eingehalten werden.

Die erschütterungstechnische Untersuchung hat gezeigt, dass die Anforderungen gem. DIN 4150-2 innerhalb des Plangebietes, ab einem Abstand zum nächstgelegenen Gleis von mind. 27 m eingehalten werden können.

7.2 Sekundärluftschall

Die höchsten prognostizierten mittleren Maximalpegel betragen an den Messpunkten bis zu $L_{A,max} = 40$ dB(A) (MP 4) und die Mittelungspegel des Sekundärluftschalls betragen bis zu $L_{A,m} 19/21$ dB(A) tags/nachts (ebenfalls MP 4).

Die Beurteilung des Sekundärluftschalls erfolgt anhand der Immissionsrichtwerte „Innen“ der TA Lärm, die in der Tabelle 2 dargestellt sind. Die prognostizierten Mittelungspegel des sekundären Luftschalls überschreiten die Immissionsrichtwerte von 35/25 dB(A) tags/nachts nicht.

Die prognostizierten Maximalpegel des Sekundärluftschalls überschreiten die Innenraumrichtwerte für kurzzeitige Geräuschspitzen (gemäß TA Lärm 45/35 dB(A) Tag/Nacht) am Messpunkt 4 um bis zu 5 dB(A) nachts.

Die Überschreitung der Richtwerte lässt Belästigungen durch Sekundärluftschall innerhalb des Plangebietes bis zu einem Abstand von ca. 35 m, zum nächstgelegenen Gleis, erwarten.

7.3 Vergleich der Messergebnisse

Im Rahmen des Wettbewerbs zum Bebauungsplan Nr. 03-70 wurde eine erschütterungstechnische Untersuchung im Jahre 2017 durchgeführt [13]. Ein Vergleich mit den Messergebnissen von der Messung am 12.12.2018 zeigt einen ähnlichen Betroffenheitskorridor.

8. Maßnahmen zum Schutz gegen Erschütterungseinwirkungen

Aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse ist im Plangebiet eine Belästigung zukünftiger Bewohner und Nutzer durch Erschütterungen und den Sekundärluftschall des Schienenverkehrs der Bahnstrecken 5503, 5581 und 5543 ohne Schutz- bzw. Kompensationsmaßnahmen im Nachtzeitraum bis zu einem Abstand von 35 m zur Schienentrasse zu erwarten. Folgende grundsätzlich mögliche Maßnahmen zum Erschütterungsschutz kommen in Betracht:

8.1 Maßnahmen im Gleisbereich (Emissionsort)

Wirksame Maßnahmen zum Erschütterungsschutz (z.B. Einbau einer Unterschottermatte, Schwellenbesohlung o. ä.) sind im vorliegenden Fall an der bestehenden oberirdischen Strecke im Rahmen des städtebaulichen Wettbewerbes nicht möglich.

8.2 Maßnahmen im Erdreich (Transmissionsbereich)

Prinzipiell wäre die Herstellung eines Isolierschlitzes zwischen Schienentrasse und Baukörper denkbar. Bei dieser Option wären zunächst genauere Lagepläne erforderlich.

Generell gilt, dass die Wirksamkeit eines Isolierschlitzes mit Unsicherheiten verbunden ist, die auch bei sorgfältiger Planung nicht ausreichend begrenzt werden können. Insbesondere ist nicht auszuschließen, dass ein möglicher Isolierschlitz auch in das Grundwasser einbinden müsste und somit dessen Wirksamkeit verringert wäre, als auch im Weiteren die technische Durchführbarkeit aufgrund der örtlichen Gegebenheiten geprüft werden müsste. Zudem ist zu erwarten, dass mit dieser Maßnahme keine hinreichende Reduzierung der Erschütterungsimmissionen möglich erscheint, um die entsprechenden Anforderungen der TA Lärm bzw. DIN 4150 einzuhalten. Insofern sind Maßnahmen im Erdreich im vorliegenden Fall nicht empfehlenswert.

8.3 Maßnahmen am Gebäude (Immissionsort)

An dem Baukörper sind prinzipiell technische und konstruktive Maßnahmen denkbar. Konstruktive Maßnahmen am Gebäude (teilelastische Gebäudelagerung, etc.) lassen eine notwendige Reduzierung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen erwarten.

Die erschütterungstechnische Untersuchung hat gezeigt, dass die Anforderungen an den Schutz vor Sekundärluftschall ab einem Abstand von ca. 35 m und die Anforderungen an den Erschütterungsschutz ab einem Abstand von ca. 27 m zum nächstgelegenen Gleis eingehalten werden.

Gemäß dem Vorabzug zum Bebauungsplan Nr. 03-70 [14] werden in diesem o.g. Korridor Baukörper errichtet. Somit sind erschütterungsmindernde Maßnahmen an geplanten Bauten zu ergreifen. Nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick welche Plangebäude betroffen sind.

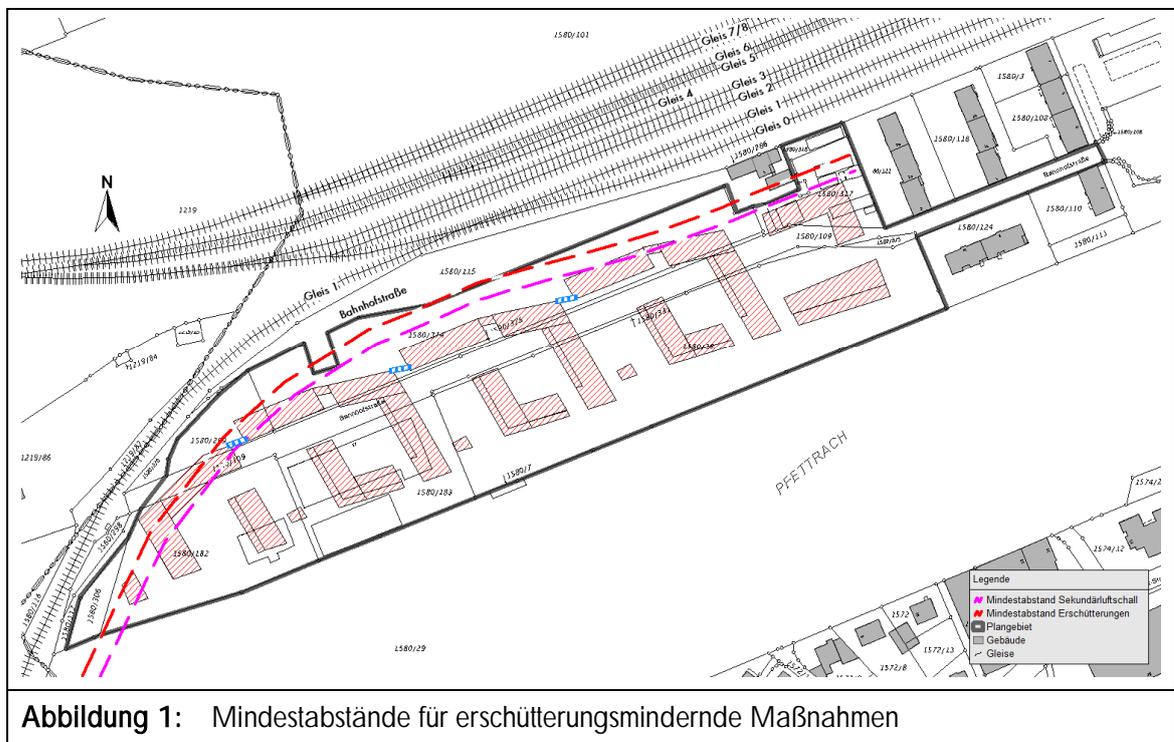


Abbildung 1: Mindestabstände für erschütterungsmindernde Maßnahmen

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 35 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 August 1998 eingehalten werden.

Begründung

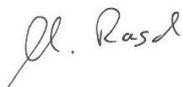
Aufgrund der Nähe des Plangebietes zur nördlichen Zugstrecke Landshut – München und Landshut – Neumarkt – St. Veit (Strecken 5500, 5634 und 5720) wurde der Einfluss der schienenbedingten Erschütterungen und des Sekundärluftschalls untersucht und beurteilt. Bedingt durch die Höhe der Erschütterung und 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 35 m von der nächstgelegenen Gleisachse vorzusehen, so dass die gemäß DIN 4150-2 und TA Lärm, Abschnitt 6.2 i.d.F. vom August 1998 vorgegebenen Anforderungen für Erschütterungen und Körperschallübertragungen eingehalten werden. In diesem Bereich befindet sich das Baufeld „Gemeinbedarfsfläche Jugendtreff“, „WA 1“, „WA 2“ und „WA 4“. Von daher wird bei der Realisierung des Vorhabens voraussichtlich eine elastische Gebäudelagerung mit entsprechenden Trennfugen zu anderen Bauteilen bzw. der Tiefgarage erforderlich. Weitergehende Details sind im Bauvollzug auf Grundlage der konkreten Gebäudeplanung bzw. Statik zu klären.

Dabei müssen die Anhaltswerte der DIN 4150-2 für Wohngebiete und der Sekundärluftschall mit einem Beurteilungspegel von nachts $L_{Afm} \leq 25$ dB und einen mittleren Maximalpegel von nachts $L_{Afm} \leq 35$ dB einhalten werden.

Dieses Gutachten umfasst 21 Seiten und 2 Anlagen. Die auszugsweise Vervielfältigung des Gutachtens ist nur mit Zustimmung der Möhler + Partner Ingenieure AG gestattet.

München, den 20. Dezember 2018

Möhler + Partner
Ingenieure AG



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



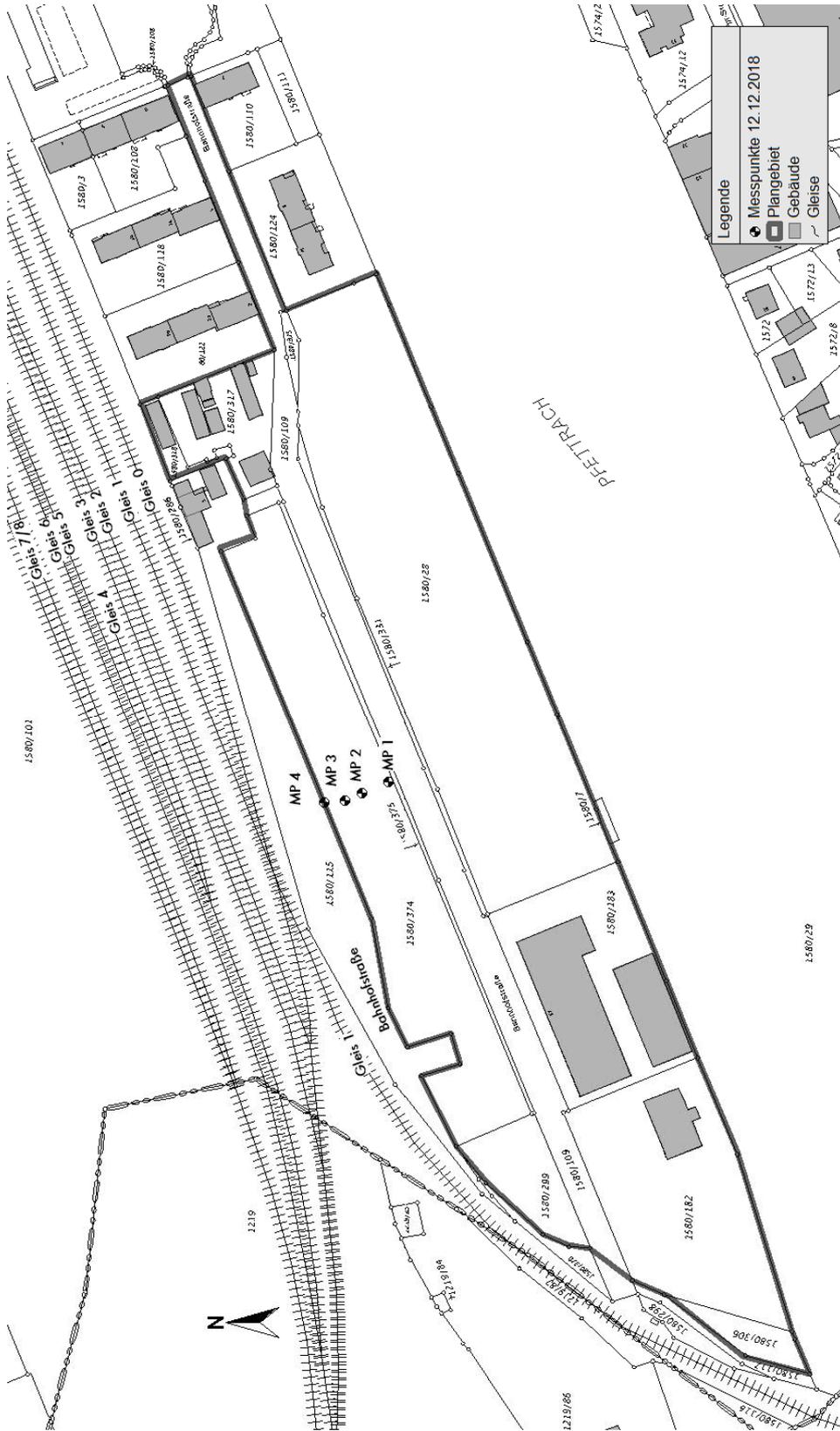
i. V. Dipl.-Ing. (FH) A. Martens

10. Anlagen

Anlage 1: Lageplan

Anlage 2: Mittlere Max-Hold-Terzschnellespektren an den Messpunkten

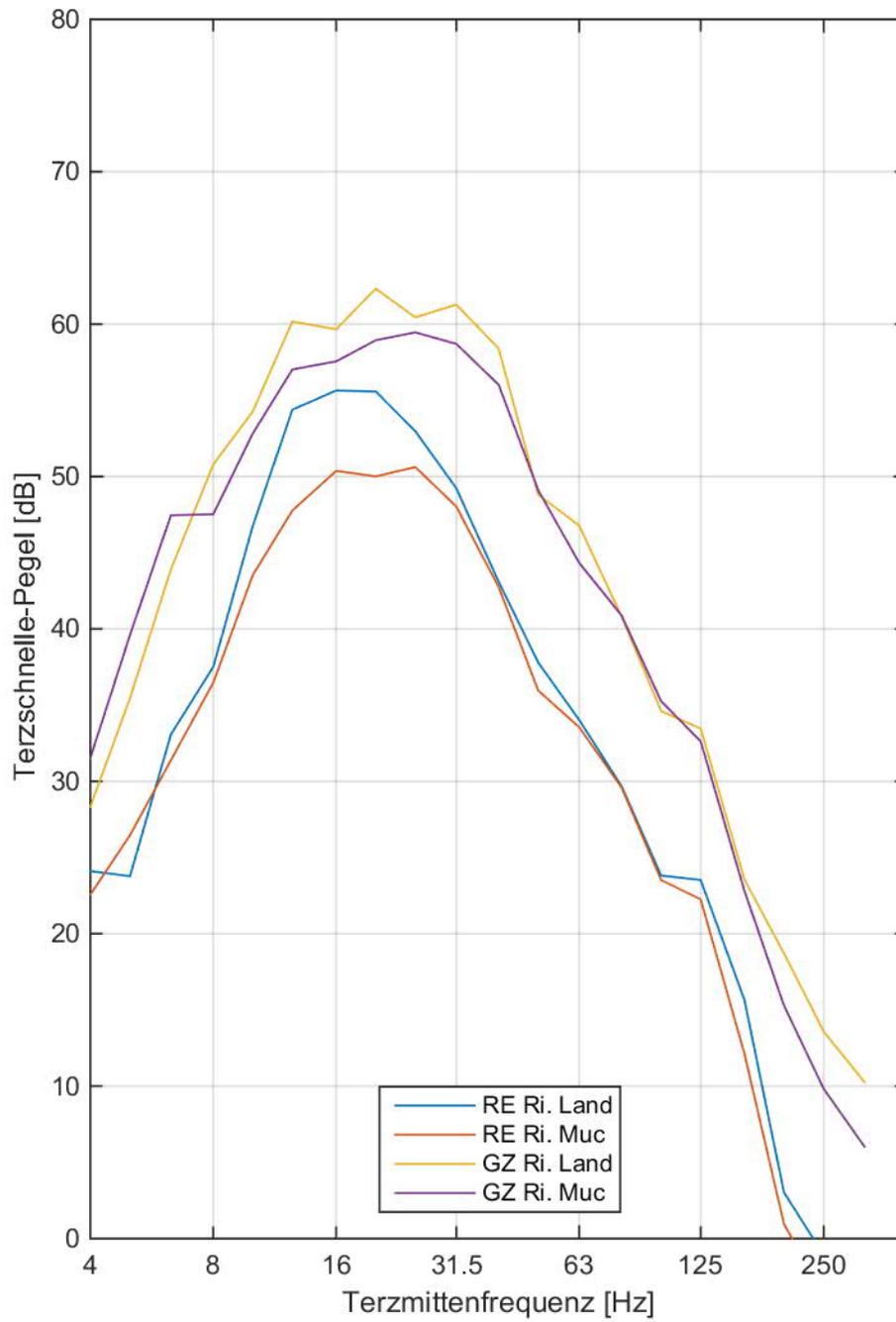
Anlage 1: Lageplan



Anlage 2: Mittlere Max-Hold-Terzschnellespektren an den Messpunkten

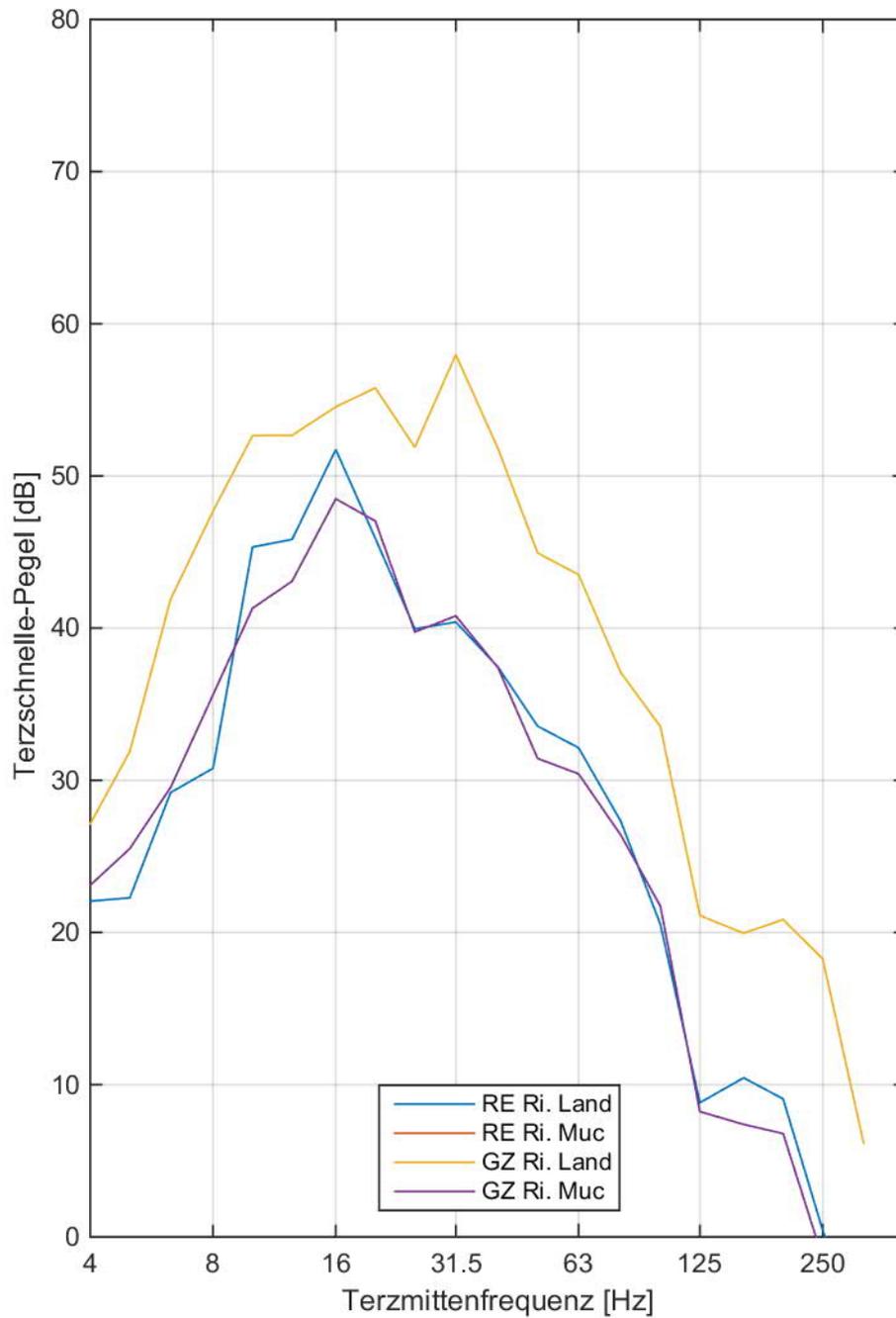
MP 4

Bezugsschnelle, ref 5E-8 m/s



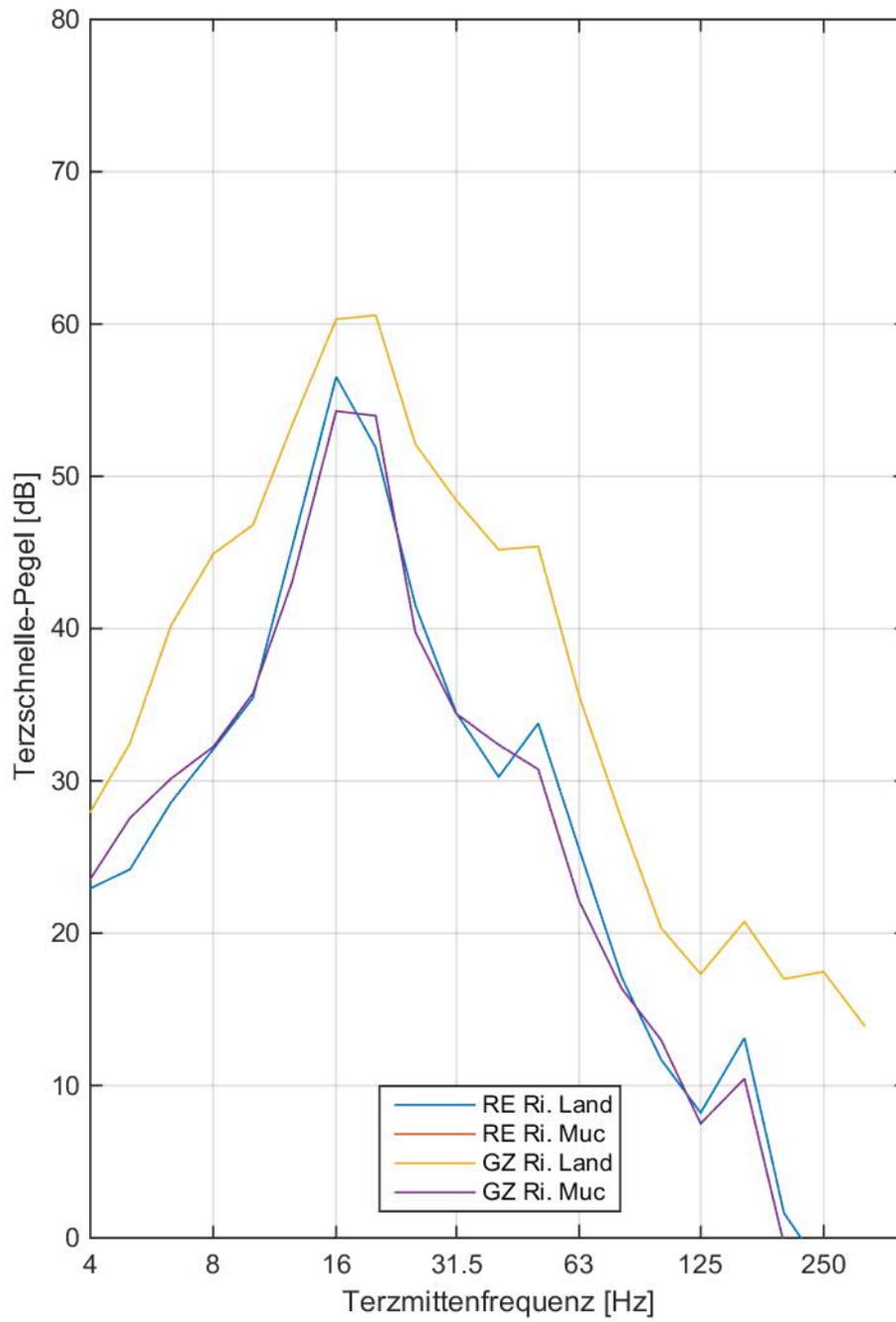
MP 3

Bezugsschnelle, ref 5E-8 m/s



MP 2

Bezugsschnelle, ref 5E-8 m/s



MP 1

Bezugsschnelle, ref 5E-8 m/s

