

Erschütterungstechnische Untersuchung

Bebauungsplan „Raubling Rathaus“

Gemeinde Raubling

Landkreis Rosenheim

Bericht Nr. 700-6729-ER

im Auftrag der

Gemeinde Raubling

83064 Raubling

München, im Juli 2023

Erschütterungstechnische Untersuchung

Bebauungsplan „Raubling Rathaus“
Gemeinde Raubling
Landkreis Rosenheim

Bericht-Nr.: 700-6729-ER

Datum: 19.07.2023

Auftraggeber: Gemeinde Raubling
Postfach 13 54
83064 Raubling

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: M. Eng. M. Walz.
B. Eng. M. Mühlbacher

Inhaltsverzeichnis:

1. Aufgabenstellung	8
2. Örtliche Gegebenheiten	8
3. Grundlagen.....	9
3.1 Erschütterungen.....	9
3.2 Sekundärluftschall.....	11
4. Betriebsprogramm.....	13
5. Messungen.....	14
5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung.....	14
5.2 Messgeräte.....	16
5.3 Ankopplung der Messpunkte.....	16
5.4 Auswertung der messtechnischen Untersuchungen.....	17
6. Beurteilung der Erschütterungsmessungen	20
6.1 Erschütterungen.....	21
6.2 Sekundärluftschall.....	22
6.3 Fazit und Lösungsmöglichkeiten	22
7. Formulierungsvorschläge für den Bebauungsplan.....	24
7.1 Satzung	24
7.2 Begründung.....	24
8. Anlagen	26

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1:	Mindestabstände Erschütterungsschutz in Bezug auf Entwurf B-Plan [15]	23
---------------------	---	----

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1:	Anhaltswerte zur Beurteilung der Immissionen von Erschütterungen nach Tabelle 1 der DIN 415-2 [3].....	10
Tabelle 2:	Immissionsrichtwerte „Innen“ nach TA Lärm [dB(A)].....	11
Tabelle 3:	Belegungsprogramm der Bahnstrecke 5702 (Prognose 2030 DT).....	13
Tabelle 4:	Dokumentation zur Lage der Messpunkte.....	14
Tabelle 5:	Messtechnisch erfasste, verwertbare Vorbeifahren während der Messzeit	15
Tabelle 6:	Prognostizierte höchste KB_{FTm} - Werte bzw. KB_{FTr} - Werte tags / nachts verursacht durch die Bahnstrecke 5702 auf den Geschossdecken von künftigen Gebäuden an den Messpunkten.....	18
Tabelle 7:	Prognostizierte mittlere Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls verursacht durch die Bahnstrecke 5702 in Räumen fiktiver Gebäude an den Messpunkten.....	19
Tabelle 8:	Gemessene höchste KB_{FTm} - Werte bzw. KB_{FTr} - Werte tags / nachts verursacht durch die Bahnstrecke 5702 auf den Geschossdecken von künftigen Gebäuden an den Messpunkten.....	20

Grundlagenverzeichnis:

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 3 des Gesetzes vom 19. Oktober 2022 (BGBl. S. 1792) geändert worden ist
- [2] DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Dezember 2022
- [3] DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [4] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung, September 2010
- [5] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren, Juni 2005
- [6] VDI 3837, Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen, Januar 2013
- [7] DB-Richtlinie 820.2050 „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“, DB Netz AG, 15.09.2017
- [8] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503), geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (Banz AT 06.06.2017 B5)
- [9] Beiblatt 1 zu DIN 45680, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft – Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen, März 1997
- [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] Handbuch Gleis, Unterbau, Oberbau, Instandhaltung, Wirtschaftlichkeit, Bernhard Lichtberger, Tetzlaff Verlag, 2. Auflage, 2004
- [13] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786)
- [14] Ortsbesichtigung und Messung, 23.05.2023
- [15] Diskussionsplan Vorabzug Bebauungsplan „Raubling Rathaus“, Gemeinde Raubling, Wüstinger Rickert Architekten und Stadtplaner PartGmbB, 01.10.2022

- [16] Verkehrsdaten Bahnstrecke 5702 Rosenheim – Kiefersfelden, Abschnitt Raubling – Brannenburg, Prognose 2030 DT, Verkehrsdatenmanagement der Deutschen Bahn, E-Mail vom 28.11.2022
- [17] Brenner-Nordzulauf, Abschnitt Schafteu – Ostermünchen, Trassenentwicklung und Trassenauswahl Phase 4: Trassenentwicklung, ÖBB Infrastruktur AG, DB Netz AG, 31.03.2021 <https://www.brennernordzulauf.eu/planungsunterlagen-tav-gpr-epr.html> (letzte Abfrage: 08.07.2021)

Zusammenfassung:

In der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung wurden die Einwirkungen durch Erschütterungen, bedingt durch die an das Plangebiet angrenzende Bahnstrecke 5702 Rosenheim – Kiefersfelden, messtechnisch erfasst. Anhand der durchgeführten Messungen wurden die künftig zu erwartenden Einwirkungen durch Erschütterungen und Sekundärluftschall prognostiziert und beurteilt. Die erschütterungstechnische Untersuchung kommt zu folgenden Ergebnissen.

Erschütterungen:

- Die Anforderungen an den Schutz vor Erschütterungen (Einwirkungen auf den Menschen nach DIN 4150-2) werden im Fall von künftigen Gebäuden entlang der Bahnstrecke 5702 zum Teil in einem Abstand von bis zu 45 m überschritten.
- Auch im Bereich von bereits bestehenden Baukörpern zwischen der Bahnhofstraße und der Bahnstrecke 5702 können durch den bereits bestehenden Bahnverkehr (Ist-Zustand) Überschreitungen der unteren Anhaltswerte (sog. A_v – Kriterium) für Misch- bzw. Kerngebiete nicht ausgeschlossen werden. Überschreitungen der Fühlbarkeitsschwelle mit $KB \geq 0,1$ können dabei im Bereich der Erdgeschosse sowie der oberen Geschosse zudem nicht ausgeschlossen werden.

Sekundärluftschall:

- Die Anforderungen an den Sekundärluftschall für schutzbedürftige Aufenthaltsräume (Innenpegel nach TA Lärm bzw. DIN 45680) werden im Fall von künftigen Gebäuden, entlang der Bahnstrecke 5702, in einem Abstand von bis zu 45 m überschritten.

Vorsorglich kann daher an geplanten Baukörpern in konventioneller Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) oder baulich daran gekoppelten Gebäuden oder Bauteilen etc. erst ab einem Mindestabstand von 45 m zum nächstgelegenen Gleis eine Belästigung ohne Schutz- bzw. Kompensationsmaßnahmen ausgeschlossen werden. Im Falle einer anderweitigen Realisierung der Gebäude als in konventioneller Bauweise (kein Massivbau mit Stahlbetondecken) können erhebliche Belästigungen ohne Schutz- bzw. Kompensationsmaßnahmen in einem Abstand von mindestens 90 m nicht ausgeschlossen werden.

Im Rahmen der textlichen Vorschläge zu Satzung und Begründung des Bebauungsplanes wird daher festgesetzt, dass innerhalb der betroffenen Bereiche des Plangebietes beim Neubau oder der wesentlichen Änderung von schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen in Gebäuden, entlang der Bahnstrecke sowie darüber hinaus in baulich daran gekoppelten Gebäuden und Bauteilen (z. B. Tiefgaragen/-einfahrten, Nebengebäude, Fahrwege usw., die ggfs. auch in anderen Baufeldern liegen), bei Unterschreitung des Mindestabstandes zum nächstgelegenen Durchfahrtsgleis eine Prüfung der zum Genehmigungszeitpunkt vorherrschenden Erschütterungssituation (bauspezifischer Nachweis) vorgenommen werden muss. Erforderlichenfalls sind technische bzw. konstruktive Maßnahmen (z. B. (teil-)elastische Gebäudelagerungen) vorzusehen, die eine Einhaltung der Anhalts- und Richtwerte für Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen sicherstellen.

1. Aufgabenstellung

Die Gemeinde Raubling plant die Neuaufstellung eines Bebauungsplans im Umfeld des Rathauses bzw. des Bahnhofes im Ortskern von Raubling, im Landkreis Rosenheim. Im Zuge der Planungen ist voraussichtlich die Entwicklung eines Mischgebietes bzw. in Teilbereichen einer Gemeinbedarfsfläche vorgesehen. Das Plangebiet umfasst voraussichtlich eine Fläche von bis zu 30.815 m² und beinhaltet bereits bestehende Baukörper (Wohnen, kleinteiliges Gewerbe etc.).

Das Plangebiet befindet sich im Bereich des Bahnhofes Raubling und grenzt an die Gleisanlagen der Bahnstrecke 5702 Rosenheim – Kiefersfelden an. Aufgrund der Nähe des Plangebietes zu den Bahnanlagen können relevante Einwirkungen durch Erschütterungen und damit auch durch Sekundärluftschall innerhalb von bestehenden und künftig geplanten Baukörpern nicht ausgeschlossen werden.

Im Rahmen einer erschütterungstechnischen Untersuchung sind die durch den Bahnbetrieb auf das Plangebiet einwirkenden Erschütterungsimmissionen messtechnisch zu erfassen. Auf Basis der durchgeführten Messungen sind die künftig zu erwartenden Einwirkungen durch Erschütterungen und Sekundärluftschall rechnerisch zu prognostizieren und zu beurteilen. Erforderlichenfalls sind Maßnahmen zum Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall zu erarbeiten.

Für die Satzung und Begründung des Bebauungsplans sind Formulierungsvorschläge auszuarbeiten.

Mit der Durchführung der Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure AG am 09.03.2022 von der Gemeinde Raubling beauftragt.

2. Örtliche Gegebenheiten

Das Plangebiet befindet sich im Ortskern der Gemeinde Raubling, im Landkreis Rosenheim, und umfasst Flächen entlang der Bahnhof-, Post- und Wittelsbacherstraße bzw. entlang des Frankenweges. Im Osten grenzt das Plangebiet an die Bahnstrecke 5702 Rosenheim – Kiefersfelden an.

Im Zuge der Planungen ist die Entwicklung bzw. Nachverdichtung eines Mischgebietes sowie von Gemeinbedarfsflächen vorgesehen. Innerhalb des Plangebietes befinden sich bereits bestehende Baukörper. Es handelt sich dabei um das Rathaus der Gemeinde Raubling sowie um bestehende Mischnutzungen aus Wohnen und kleinteiligem Gewerbe, sodass die vor Ort festgestellte bestehende Nachbarschaftssituation bereits eine einem Mischgebiet bzw. Dorfgebiet ähnliche Charakteristik aufweist.

Das Plangebiet und der weitere Umgriff sind, mit Ausnahme von Eisenbahnüberführungen, im Wesentlichen eben. Entlang der Bahnstrecke 5702 befinden sich bereits aktive Lärmschutzbauwerke (Lärmschutzwände). Die genauen örtlichen Gegebenheiten können den Übersichtslageplänen (Anlage 1) entnommen werden.

3. Grundlagen

3.1 Erschütterungen

Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden werden mittels der bewerteten Schwingstärke $KB_f(t)$ bewertet. Das $KB_f(t)$ -Signal ist das durch Frequenzbewertung und Normierung des unbewerteten Schnellessignals entstandene Signal. Nach DIN 45669 [5] ist das $KB_f(t)$ -Signal als der gleitende Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals durch die Zeitbewertung FAST (0,125 s) definiert.

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

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

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

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

Dabei ist:

T_r Beurteilungszeit (tags 16 h, nachts 8 h)

T_e Summe aller Taktzeiten, während derer Erschütterungen einwirken

KB_{FTm} Taktmaximal-Effektivwert

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

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

Die Beurteilung erfolgt nach folgender Vorgehensweise:

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

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

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen gelten abhängig vom Einwirkungsort folgende Anhaltswerte A nach Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 [3].

Tabelle 1: Anhaltswerte zur Beurteilung der Immissionen von Erschütterungen nach Tabelle 1 der DIN 415-2 [3]							
Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		Au	Ao	Ar	Au	Ao	Ar
1	Industriegebiete	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Gewerbegebiete	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Misch-, Kerngebiete	0,2	5	0,10	0,15	0,3	0,07
4	Allgemeine bzw. Reine Wohngebiete	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

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

- Bei der Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{Ftr} wird der Faktor 2 zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten nicht angewendet.
- Für den Schienenverkehr hat der (obere) Anhaltswert nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne KB_{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 Föhlschwelle 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 zurückzuföhrende 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 [8] bzw. der DIN 45680 [9] 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:

Beurteilungszeitraum	Mittelungspegel L_m	Maximalpegel L_{max}
Tags (06.00 – 22.00 Uhr)	35	45
Nachts (22.00 – 06.00 Uhr)	25	35

Die Anforderungen der Richtlinie gelten demnach als erfüllt, wenn der Mittelungspegel des sekundären Luftschalls im Zeitraum Tag (6.00 – 22.00 Uhr) 35 dB(A) und im Zeitraum Nacht (22.00 – 6.00 Uhr) 25 dB(A) nicht überschreitet. Es soll zudem vermieden werden, dass kurzzeitige Geräuschspitzen (hier der mittlere Maximalpegel bei der Zugvorbeifahrt) den Richtwert um mehr als 10 dB(A) überschreiten.

Durch die Schwingungsanregung der Wände und vor allem der 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 Wirkungsfüges 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.

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 Bahnstrecke Rosenheim – Kiefersfelden (DB-Strecke 5702) wurde eine Prognose für das Jahr 2030, im Rahmen des Deutschlandtaktes (DT), im Abschnitt Raubling - Brannenburg der DB (vgl. [16]) zugrunde gelegt. Die Zugzahlen sind Prognosezahlen für das Jahr 2030 und berücksichtigen bereits mögliche zukünftige Taktverdichtungen. Eine bauliche Änderung der Bahnstrecke im Bereich des Plangebietes ist derzeit nicht absehbar.

Die Lage der einzelnen Bahnstrecken und Gleisanlagen im Bereich des Plangebietes ist aus den Abbildungen in Anlage 1 ersichtlich. Eine Zusammenfassung der gemäß [16], für den Bereich des Plangebietes, prognostizierten Verkehrsmengen der Deutschen Bahn ist in nachfolgender Tabelle enthalten.

Tabelle 3: Belegungsprogramm der Bahnstrecke 5702 (Prognose 2030 DT)		
Zugart	Anzahl Vorbeifahrten im Beurteilungszeitraum	
	Tag	Nacht
Regionalverkehr (RE, RB)	64	8
Fernverkehr (IC)	22	2
Fernverkehr (RJ)	54	6
Güterverkehr (GZ)	5	2

Die Streckenhöchstgeschwindigkeit wurde den vorliegenden Informationen aus dem VzG (vgl. [16]) entnommen und beträgt 140 km/h.

Hinweis:

Im Zuge eines Neubauprojektes der Deutschen Bahn, dem sog. „Brenner-Nordzulauf“ ist der Neubau einer Bahnstrecke als Umfahrung des Stadtgebietes Rosenheim vorgesehen. Die derzeitige Trassenführung (vgl. Variante-Violett gem. [17]) sieht dabei eine Querung der Gemeinden Stephanskirchen, Rohrdorf, Nußdorf und die Verbindung mit der gegenständlichen Bahnstrecke 5702 südlich der Gemeinde Brannenburg vor. Dieses Planvorhaben befindet sich derzeit im Stadium eines Raumordnungsverfahrens und ist somit nicht hinreichend konkretisiert, um im Rahmen des gegenständlichen Bebauungsplans berücksichtigt werden zu können. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens zum Brenner-Nordzulauf Lärmschutzmaßnahmen vorgesehen werden, sodass für das gegenständliche Plangebiet keine relevanten Einwirkungen entstehen.

5. Messungen

5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung

Es wurde an ausgewählten Messpunkten in verschiedenen Abständen zu den DB-Gleisanlagen gemessen. Bei der Wahl der Messorte wurde darauf geachtet, dass die Gleise ebenerdig und nicht in Kurvenlage verlaufen und Vorbeifahrten des maßgebenden Bahnverkehrs am nächstgelegenen Gleis gemessen werden können. Die Messungen fanden am 23.05.2023 in der Zeit von 09:00 bis 15:00 Uhr statt [14].

Für die messtechnische Ermittlung von erforderlichen Abständen zum Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall der Gleisanlagen wurde eine Messpunktreihe mit unterschiedlichen orthogonalen Abständen zu den Gleisen im nordöstlichen Bereich des Plangebietes angeordnet, sog. Messquerschnitt. Innerhalb des Messquerschnittes 1 wurde eine sog. Ausbreitungsmessung mit 3 Messpunkten im Ausbreitungsweg durchgeführt. Zudem wurden die Erschütterungseinwirkungen innerhalb des Anwesens Bahnhofstraße 10 als Referenz (Messquerschnitt 2) erfasst.

Anhand der Messergebnisse am Messquerschnitt wurde anschließend eine Verlaufsfunktion der Erschütterungs- und Sekundärluftschalleinwirkungen durch eine Regressionsfunktion ermittelt, sog. Abklingfunktion. Auf Basis der gemessenen Abklingfunktion können Zahlenwerte an zusätzlichen Einzelmesspunkten (Verdichtungsstützpunkte) abgeglichen und die erforderlichen Abstände bestimmt werden.

Die Dokumentation zur Lage der Messpunkte und des Messquerschnittes ist in folgender Tabelle sowie im Lageplan in Anlage 1 bzw. der fotografischen Dokumentation in Anlage 2 enthalten. Die Auswertung der Messung erfolgte bezüglich der Gleisachse; die globalen Abstandsangaben beziehen sich auf die Mitte des zum Messquerschnitt nächstgelegenen Gleises (Gleisachse Gleis 1).

Tabelle 4: Dokumentation zur Lage der Messpunkte			
Messpunkt	Lage des Messpunktes	Messrichtung	~ Abstand Gleisachse zum nächstgelegenen Durchgangsgleis (Gleis 1)
MP 1	Keller	Horizontal	14
MP 2	Keller	Horizontal	14
MP 3	Keller	Vertikal	14
MP 4	Erdgeschoss	Vertikal	15
MP 5	1. Obergeschoss	Vertikal	15
MP 6	Geländeoberfläche	Vertikal	8
MP 7	Geländeoberfläche	Vertikal	16
MP 8	Geländeoberfläche	Vertikal	32

In der nachfolgenden Tabelle ist die Anzahl der messtechnisch erfassten verwertbaren Vorbeifahrten während der Messzeit am Messquerschnitt aufgelistet. Zum Messzeitpunkt war das Plangebiet weitestgehend frei von Störeinwirkungen (Fremdbelastung, meteorologische Einflüsse, kein Bodenfrost etc.).

Fahrzeugklasse	Zugart	Mittlere gemessene Geschwindigkeit ca. [km/h]	Anzahl der gemessenen Vorbeifahrten
Regionalverkehr	RE, RB	60	7
Fernverkehr	IC	110	6
Fernverkehr	RJ	130	9
Güterverkehr	GZ	90	8

Die Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Züge wurden unter Verwendung einer Radarpistole der Firma Bushnell erfasst bzw. protokolliert und weichen teils deutlich von den zulässigen Geschwindigkeiten im Untersuchungsbereich ab (nahgelegener Haltepunkt → Beschleunigungs- bzw. Bremsbereich), sodass eine Geschwindigkeitskorrektur für die Prognose auf dem Ausbreitungsweg (Messpunkte MP 6 bis MP 8) vorgenommen wurde. Nach DB-Richtlinie 820.2050 (vgl. [7]) kann eine Näherung zur Korrektur unterschiedlicher gemessener Fahrgeschwindigkeiten, in Relation zur höchstzulässigen Fahrgeschwindigkeit der Strecke wie folgt vorgenommen werden.

$$L_{v2} = L_{v1} + 20 * \log \left(\frac{v_2}{v_1} \right)$$

L_{v2} Schwinggeschwindigkeitspegel für die gesuchte Fahrgeschwindigkeit

L_{v1} Schwinggeschwindigkeitspegel für die Bezugsgeschwindigkeit

v_2 neue Fahrgeschwindigkeit in km/h

v_1 Ausgangsgeschwindigkeit in km/h

Nach DB-Richtlinie 820.2050 [7] kann diese Näherung nur bis zu einer Abweichung von höchstens 30% zwischen der gesuchten Fahrgeschwindigkeit und der Bezugsgeschwindigkeit Anwendung finden, da anderenfalls mit erheblichen Unsicherheiten in der Erschütterungsprognose zu rechnen ist.

Die gemessenen Güterzüge sowie Railjet-Züge auf den Gleisen 1 und 2 weisen eine Abweichung zwischen gemessener und höchstzulässiger Geschwindigkeit von weniger als 30 % auf, sodass eine Hochrechnung anhand o. g. Zusammenhang durchgeführt wurde. Gleiches gilt für Intercity-Züge auf Gleis 1. Intercity-Züge auf Gleis 2 konnten im Rahmen der Messung nicht mit ausreichend hohen Vorbeifahrtgeschwindigkeiten gemessen werden. Zur Abbildung der Vorbeifahrten der Intercity-Züge auf Gleis 2 wurde anhand des Abstandes zwischen den Gleisen 1 und 2 eine genäherte geometrische Korrektur (genäherte Abnahmefunktion) ermittelt. Die Max-Hold-Spektren der Intercity-Züge auf

Gleis 1 wurden dann um den Korrekturfaktor gemindert, um so annähernd repräsentative Spektren für IC-Fahrten auf Gleis 2 zu erhalten.

Die Vorbeifahrten der Regionalzüge (Meridian) auf Gleis 1 und 2 wiesen während der Messungen deutlich niedrigere Geschwindigkeiten auf als im Untersuchungsbereich zulässig. Dies lässt sich auf die Nähe zum Haltepunkt Raubling zurückführen. Aufgrund von Beschleunigungs- und Bremsvorgängen am Haltepunkt Raubling, können die Fahrgeschwindigkeiten im Bereich des Plangebietes nicht höher liegen, als messtechnisch festgestellt. Eine Geschwindigkeitskorrektur wurde daher für Regionalzüge (Meridian) auf Gleis 1 und Gleis 2 nicht durchgeführt.

An den Messpunkten MP 1 bis MP 5, innerhalb des bestehenden Baukörpers wurde keine Geschwindigkeitskorrektur vorgenommen.

5.2 Messgeräte

Für die Messungen und Auswertungen wurden folgende Geräte verwendet:

- Geeichtes Mehrkanal-Messsystem Soundbook der Fa. Sinus Messtechnik GmbH
- Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer der Fa. Sinus Messtechnik GmbH, Typ ICP Seismometer-V_315
- Signalanalyse Software Samurai
- Kalibrator, VC 10 der Fa. Metra

Das Gerät zur Messdatenerfassung und –konditionierung sowie die Geschwindigkeitsaufnehmer werden zu den vorgeschriebenen Zeitintervallen in einem Prüflabor kalibriert. Vor der Messdurchführung wurden die Geschwindigkeitssaufnehmer 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 Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer (MP 1 bis MP 5) erfolgte innerhalb des bestehenden Gebäudes mittels Ankopplungsvorrichtung (Metallteller mit abgerundeten Füßen) nach DIN 45669-2 [5] lose mit dem vorwiegend harten Untergrund. Dabei wurden die Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer jeweils über Schraubverbindungen kraftschlüssig mit der Ankopplungsvorrichtung verbunden. Im Bereich des Untergeschosses wurde der 3-dimensionale Messpunkt (sog. Triaxial Mess-

punkt), bestehend aus den Messpunkten MP 1 bis MP 3, im Bereich der zur Bahn orientierten Außenfassade platziert. Im Erdgeschoss sowie im 1. Obergeschoss wurde jeweils in Deckenfeldmitte gemessen.

Die Ankopplung der Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer (MP 6 bis MP 8) 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.

Hinweis:

Die Messung der Erschütterungseinwirkungen in der horizontalen Ebene im Untergeschoss (MP 1 und MP 2) erfolgte im vorliegenden Fall rein informativ und wird für die weitere Auswertung zur Einwirkung auf Menschen in Gebäuden nicht weiterverwendet.

5.4 Auswertung der messtechnischen Untersuchungen

Prognoseuntersuchung auf dem Ausbreitungsweg

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 einzelnen Messpunkten. Innerhalb des Messquerschnittes wurde eine sog. Ausbreitungsmessung mit 3 Messpunkten im Ausbreitungsweg durchgeführt.

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. Zum Zeitpunkt der Messungen wies das Plangebiet zum Teil verdichtetes Erdreich (teilverdichteter Bauschutt) auf (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 [11]. Entsprechend wird die Abnahme der Schnellepegel frequenz- und gebäudemasseabhängig angesetzt. Im vorliegenden Fall wird auf-

grund der bestehenden Situation und den vorliegenden Planunterlagen, auf der sicheren Seite liegend, von Einfamilienhäusern in konventioneller Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) ausgegangen (vgl. [14], [15]).

Erschütterungsausbreitung innerhalb des Gebäudes:

Die Anregung des Gebäudefundaments wird i. d. R. mit überhöhten Schwingschnellen in den Geschossdecken beantwortet. Die durch Resonanz bei den Eigenfrequenzen der Decken auftretenden Vergrößerungsfaktoren erreichen erfahrungsgemäß Werte von 3 bis 8, entsprechend einer Erhöhung der Schnellepegel um 10 bis 18 dB. Die Eigenfrequenzen von Beton-Rohdecken können i. d. R. im Bereich von 15 bis 40 Hz liegen. Die jeweiligen Berechnungen wurden für Rohdecken-Eigenfrequenzen bis ca. 40 Hz durchgeführt, wobei jeweils die Decken-Eigenfrequenz auf die Bodenresonanz gelegt wurde. Es ergeben sich somit über den oben dargestellten Frequenzbereich die höchsten Immissionen. Als Verstärkungsfaktor wurde 8 (= 18 dB) gewählt. Die Vergrößerungs-Faktoren für die anderen Frequenzen können aus dem Zusammenhang für die Vergrößerungsfunktion eines Ein-Massen-Schwingers

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

mit D = Dämpfungsmaß und η = Erregerfrequenz / Eigenfrequenz

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

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

Die Auswertung der gemessenen Schnellespektren führt zu den unten aufgelisteten höchsten $KB_{F_{\text{Tr}}}$ -Wert für Rohdecken mit Eigenfrequenzen von bis zu 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. Bei den prognostizierten Erschütterungs- und Sekundärluftschalimmissionen wird jeweils von bzgl. der Bahnstrecke ungehinderter Ausbreitung ausgegangen, d. h. die prognostizierten Werte gelten nur bei baulicher Entkopplung.

Tabelle 6: Prognostizierte höchste $KB_{F_{\text{Tr}}}$ -Werte bzw. $KB_{F_{\text{Tr}}}$ -Werte tags / nachts verursacht durch die Bahnstrecke 5702 auf den Geschossdecken von künftigen Gebäuden an den Messpunkten					
Messpunkt	Messquer-schnitt	Abstand zur nächstgelegenen gemessenen Gleisachse (Gleis 1) ca. [m]	$KB_{F_{\text{Tr}}}$ – Wert	$KB_{F_{\text{Tr}}}$ – Wert	
				tags	nachts
MP 6	1	8	1,13	0,15	0,07
MP 7		16	0,62	0,09	≤ 0,05
MP 8		32	0,23	≤ 0,05	≤ 0,05

Fett: Überschreitung Anhaltswerte nach DIN 4150-2 für Misch- bzw. Kerngebiete

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

Tabelle 7: Prognostizierte mittlere Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls verursacht durch die Bahnstrecke 5702 in Räumen fiktiver Gebäude an den Messpunkten					
Messpunkt	Messquerschnitt	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 6	1	8	58,0	36,6	30,9
MP 7		16	49,2	28,4	23,4
MP 8		32	36,2	16,2	11,2

Hinweis:

Im Zuge der Auswertung der Ausbreitungsmessung zeigt sich, dass die dominierenden Frequenzen der Erschütterungsanregung an den Messpunkten MP 6 und MP 7 bei Frequenzen > 40 Hz durch das vorbeifahrende Zugmaterial in das Erdreich eingeleitet und übertragen werden. Am Messpunkt MP 8, also in 32 m Entfernung zum nächstgelegenen Gleis, wird die maßgebliche Erschütterungsenergie im Bereich von Frequenzen mit 16 Hz übertragen. Die Terzfrequenzen > 40 Hz weisen ab diesem Abstand, je Zugvorbeifahrt, geringere Schnellepegel als bei 16 Hz auf. Die in Anlage 3 dokumentierten Max-Hold-Spektren stellen diesen Zusammenhang dar.

Im vorliegenden Fall werden am Messpunkt MP 8 bei 16 Hz die höchsten maximalen Schwingstärken $KB_{f,max}$ bei gleichzeitig geringstem maximalen Sekundärluftschall $L_{A,max}$ in fiktiven Gebäuden prognostiziert. Dies lässt sich auf den A-Bewertungsfilter (zur Nachbildung des menschlichen Gehörs) zurückführen. Dieser Filter weist bei einer Frequenz von 16 Hz um bis zu 30 dB höhere Dämpfungen auf, als bei einer Frequenz > 40 Hz, sodass die höchste Schwingungsenergie durch den Filter nicht mehr relevant zum Sekundärluftschallpegel $L_{A,max}$ beiträgt. Für den Fall von fiktiven Gebäuden mit einer Rohdeckeneigenfrequenz > 40 Hz, ergeben sich umgekehrt die höchsten Sekundärluftschallpegel, bei niedrigerer Schwingstärke. Am Messpunkt MP 8 wurde daher jeweils das Maximum aus höchster Schwingstärke (bei 16 Hz Rohdeckeneigenfrequenz) und des höchsten Sekundärluftschalls (bei 40 Hz Rohdeckeneigenfrequenz) in die Beurteilung aufgenommen.

Referenzmessung in bestehendem Gebäude

Im Gegensatz zu den beschriebenen Prognoseuntersuchungen auf dem Ausbreitungsweg, wurden die Erschütterungen innerhalb eines bestehenden Gebäudes gemessen und können direkt ausgewertet werden. Maßgeblich sind dabei die im Untergeschoss, Erdgeschoss sowie im 1. Obergeschoss gemessenen höchsten KB_{FTm} – Werte auf den Deckenebenen (siehe nachfolgende Tabelle).

Tabelle 8: Gemessene höchste KB_{FTm} - Werte bzw. KB_{FTf} - Werte tags / nachts verursacht durch die Bahnstrecke 5702 auf den Geschosdecken von künftigen Gebäuden an den Messpunkten						
Messpunkt	Messquer-schnitt	Geschoss	Abstand zur nächstgelegenen gemessenen Gleisachse (Gleis 1) ca. [m]	KB_{FTm} – Wert	KB_{FTf} – Wert	
					tags	nachts
MP 3	2	KG	14	$\leq 0,05$	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$
MP 4		EG	15	0,18	$\leq 0,05$	$\leq 0,01$
MP 5		OG1	15	0,15	$\leq 0,05$	$\leq 0,01$

6. Beurteilung der Erschütterungsmessungen

Die Beurteilung der auf Erschütterungen und Sekundärluftschall zurückzuführenden Immissions-Situation erfolgte auf Grundlage der aus den Messungen berechneten Mittelwerte. Aufgrund der Größe des Plangebietes entlang der untersuchten Zugstrecke können die Immissionen einzelner Zugvorbeifahrten in anderen Bereichen des Plangebietes (z. B. aufgrund des Bodenergrundes und der variierenden Geschwindigkeiten) von den gemessenen Mittelwerten abweichen. Zudem können die Immissionen einzelner Zugvorbeifahrten (bspw. bei schadhaftem Zugmaterial) deutlich von den Mittelwerten abweichen. Diese Effekte wurden in Bezug auf die unterschiedlichen Geschwindigkeiten mit Hilfe der durchgeführten Geschwindigkeitskorrektur teilweise kompensiert.

Die Aussagen beziehen sich auf die vorliegenden Unterlagen, die im Lageplan angegebene Lage der geplanten Baukörper zu den oberirdischen Schienenwegen, die vorliegenden Zugzahlen und -gattungen, Geschwindigkeiten und pauschale Ansätze für die Reaktion eines Gebäudes in konventioneller Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) auf eine Schwingungsanregung.

Bei anderweitigen Bauweisen (z. B. Leicht- bzw. Holzbauweise) können höhere Erschütterungseinwirkungen nicht ausgeschlossen werden. Auf Ebene des gegenständlichen Bebauungsplans liegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Informationen zu künftigen Bauweisen der Baukörper vor, sodass nachfolgend von einer konventionellen Bauweise (Massivbau mit Stahlbeton) ausgegangen wird. Auf Leicht- bzw. Holzbauweise wird nachfolgend nur hinweislich eingegangen.

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 ausgeschlossen werden können. Als Plan-

gebäude wurden Einfamilienhäuser angenommen. Für den Fall der Errichtung von größeren Gebäuden (2-stöckig oder 4-stöckig) ist von einer verbesserten Erschütterungs- bzw. Sekundärluftschallsituation auszugehen. Die Ermittlung und Beurteilung stellt somit für Gebäude in konventioneller Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) einen Worst-Case dar.

Für die Beurteilung der Gesamtsituation müssen sowohl die Erschütterungen, als auch der sekundäre Luftschall die entsprechenden Anhalts- und Richtwerte einhalten. Bei der Beurteilung des Plangebietes wird von einem Mischgebiet (MI) gemäß § 6 BauNVO ausgegangen.

6.1 Erschütterungen

Prognoseuntersuchung auf dem Ausbreitungsweg

Ein Vergleich der ermittelten $KB_{F_{Tm}}$ – Werte von 1,13 (MP 6) bis 0,23 (MP 8) mit dem unteren Anhaltswert A_u (0,20/0,15 tags/nachts) zeigt, dass das A_u – Kriterium auf dem Ausbreitungsweg überschritten wird, wobei auch die Fühlbarkeitsschwelle von $KB \geq 0,1$ überschritten wird.

Aus diesem Grunde wird zur Beurteilung der Situation die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ herangezogen. Die Bewertung zeigt, dass prognostizierte Beurteilungs-Schwingstärken von $KB_{F_{Tr}} = 0,15/0,07$ bis $\leq 0,05 / \leq 0,05$ tags/nachts nicht ausgeschlossen werden können. Die Anhaltswerte A_r für Misch- bzw. Kerngebiete (0,10/0,07 tags/nachts) werden damit auf dem Ausbreitungsweg am Messpunkten MP 6 am Tag überschritten und in der Nacht ausgeschöpft. Gemäß der DIN 4150-2 [3] kann der $KB_{F_{Tm}}$ – Wert den A_o – Wert nachts in seltenen Fällen überschreiten, sofern der $KB_{F_{Tr}}$ – Wert eingehalten wird.

Die Ermittlung des erforderlichen Mindestabstandes 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 Anforderungen ca. 45 m zur nächstgelegenen Gleisachse.

Referenzmessung in bestehendem Gebäude

Ein Vergleich der gemessenen $KB_{F_{Tm}}$ – Werte von $\leq 0,05$ (MP 3), von bis zu 0,18 (MP 4) bzw. von bis zu 0,15 (MP 5) mit den unteren Anhaltswerten A_u für Misch- bzw. Kerngebiete (0,20/0,15 tags/nachts) zeigt, dass an den Messpunkten MP 4 und MP 5 das A_u – Kriterium überschritten wird, wobei auch die Fühlbarkeitsschwelle von $KB \geq 0,1$ überschritten wird. Daher wird zur Beurteilung der Situation die Beurteilungsschwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ herangezogen. Die Bewertung der gemessenen Beurteilungs-Schwingstärken ($KB_{F_{Tr}} = \leq 0,05 / \leq 0,01$ Tag/Nacht) zeigt, dass die Anhaltswerte A_r für Misch- bzw. Kerngebiete (0,10/0,07 tags/nachts) eingehalten werden können.

Dies lässt sich auf die (aus Vergleichsgründen) angesetzten Verkehrsmengen gemäß der vorliegenden Verkehrsprognose 2030 DT (vgl. Abschnitt 4) zurückführen. Mit Hinblick auf die durchgeführte Messung an der Bahnstrecke 5702 kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Verkehrsmengen im bestehenden Ist-Zustand nahezu verdoppeln und in diesem Falle das A_r -Kriterium nahezu ausgeschöpft wird.

6.2 Sekundärluftschall

Prognoseuntersuchung auf dem Ausbreitungsweg

Die prognostizierten mittleren Maximalpegel betragen an den Messpunkten bis zu $L_{A,max} = 58$ dB(A) und die Mittelungspegel des Sekundärluftschalls betragen bis zu $L_{A,m} = 37/31$ dB(A) tags/nachts.

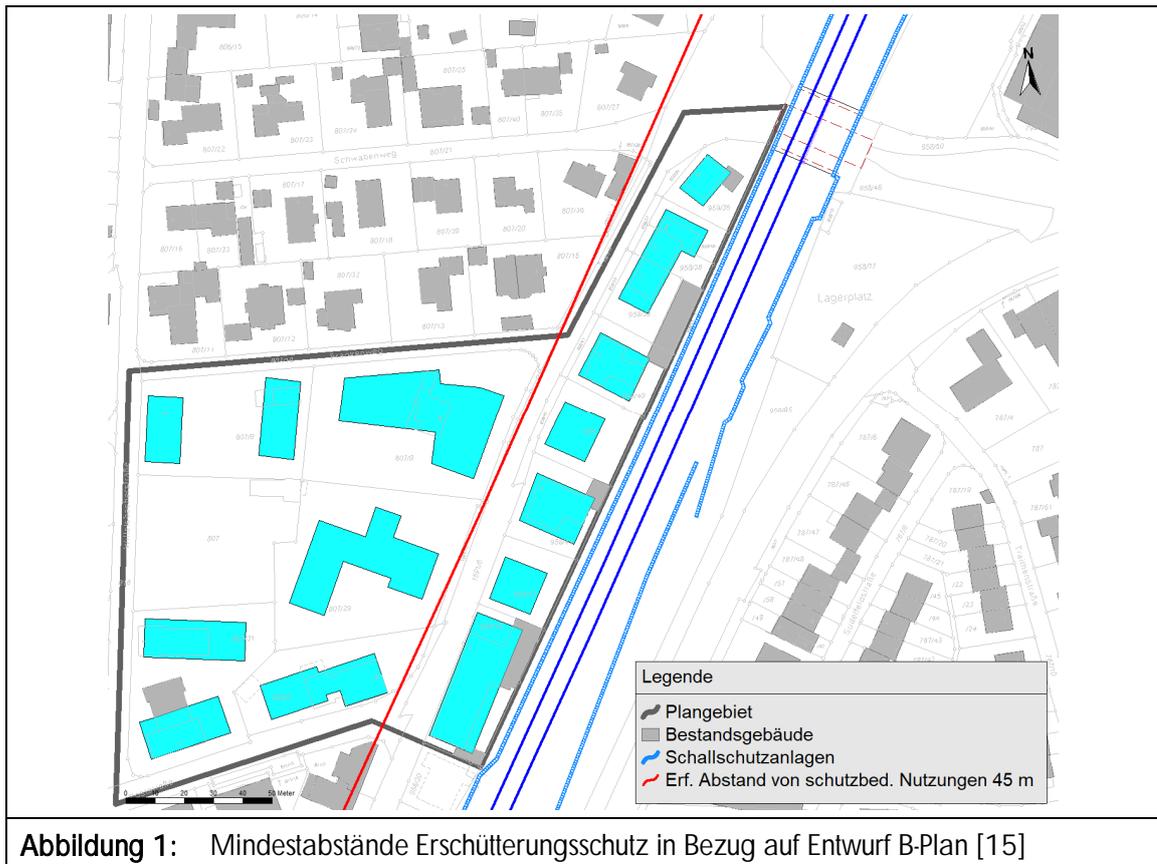
Somit werden die Anforderungen an den Sekundärluftschall gemäß der Innenraumrichtwerte der TA Lärm mit 35/25 dB(A) tags/nachts, mit Ausnahme des MP 6, eingehalten. Die prognostizierten Maximalpegel des Sekundärluftschalls überschreiten die Innenraumrichtwerte der TA Lärm mit 45/35 dB(A) tags/nachts an den Messpunkten MP 6 bis MP 8 zum Teil deutlich.

Die Ermittlung des erforderlichen Mindestabstandes erfolgte auf Basis einer Regressionsfunktion über die verschiedenen Messpunktabstände. Demnach beträgt der erforderliche Mindestabstand für die Gebäude zur Errichtung von nachts schutzbedürftigen Wohnnutzungen bzw. baulich daran gekoppelte Bauteile zur Einhaltung der Anforderungen an den Sekundärluftschall ca. 45 m.

6.3 Fazit und Lösungsmöglichkeiten

Aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse kann an den geplanten Baukörpern eine erhebliche Belästigung zukünftiger Bewohner durch Erschütterungen und Sekundärluftschall ohne Schutz- bzw. Kompensationsmaßnahmen nicht zuverlässig ausgeschlossen werden. Der erforderliche Mindestabstand zur Einhaltung der zulässigen Werte beträgt im vorliegenden Fall mindestens 45 m.

Nachfolgende Abbildung verdeutlicht die erforderlichen Mindestabstände zum Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall. Können die Abstände nicht eingehalten werden, werden vorbehaltlich einer weiteren messtechnischen Prüfung der Erschütterungssituation zum Genehmigungszeitpunkt (bauspezifischer Nachweis) bei der Errichtung von schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen sowie an baulich daran gekoppelten Gebäuden und Bauteilen (wie z. B. auch Tiefgaragen/-einfahrten, Nebengebäude, Fahrwege usw.) technische bzw. konstruktive Maßnahme, z. B. (teil-)elastische Gebäudelagerungen, notwendig, die eine Einhaltung der Anhalts- und Richtwerte für Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen sicherstellen. Diese Maßnahmen führen zu bautechnischen Zwängen, die vorab schwer kalkulierbar und erfahrungsgemäß mit erheblichem wirtschaftlichem Aufwand verbunden sein können.



© eigene Darstellung mit Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung

Innerhalb des Mischgebietes östlich der Bahnhofstraße (zwischen Bahnhofstraße und Bahnstrecke) sowie zum Teil innerhalb des Mischgebietes und den Gemeinbedarfsflächen westlich der Bahnhofstraße werden die Mindestabstände der Planbebauung zur nächstgelegenen Gleisachse unterschritten, sodass technische bzw. konstruktive Maßnahmen, z. B. (teil-)elastische Gebäudelagerungen, die eine Einhaltung der Anhalts- und Richtwerte für Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen sicherstellen, erforderlich werden.

Die ermittelten Abstände ergeben sich aus pauschalen Ansätzen für die Reaktion eines Gebäudes in konventioneller Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) auf eine Schwingungsanregung. Bei einer anderweitigen Bauweise (z. B. Leicht- oder Holzbauweise) kann es jedoch auch zu höheren Erschütterungseinwirkungen und somit größeren Mindestabständen kommen, die weitergehende technische bzw. konstruktive Maßnahmen erfordern, um die Einhaltung der Anhalts- und Richtwerte für Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen sicherzustellen. Nach DIN 4150-1:2022-12 [2] sind Konflikte im Rahmen der Beurteilung nach DIN 4150-2 [3] ab einem Abstand zur Bahn von 60 m bei Eisenbahnen und 40 m bei S-Bahnen ausgeschlossen. Auch die VDI 3837 [6] nennt einen Abstand von 60 m für Vollbahnen. Diese Abstandsangaben beziehen sich nur auf die Erschütterungen und nicht auf den sekundären Luftschall, der erfahrungsgemäß ca. doppelt so große Abstände zur Einhaltung der Innenraumpegel nach TA Lärm [8] erfordert. Daher sollten im Falle einer Abweichung von der konventionellen Bauweise (kein Massivbau mit Stahlbetondecken) erschütterungsmindernde Maßnahmen bzw. ein erschütterungstechnischer Nachweis für Abstände von, im vorliegenden Fall, bis zu 90 m zur nächstgelegenen Gleisachse vorgesehen werden.

7. Formulierungsvorschläge für den Bebauungsplan

7.1 Satzung

- [1] Schutzbedürftige Aufenthaltsräume sind in den Plangebäuden sowie in baulich daran gekoppelten Gebäuden und Bauteilen durch technische bzw. konstruktive Maßnahmen (z. B. elastische Gebäudelagerung, seitliche Abschirmung etc.) so zu schützen, dass hinsichtlich der sekundären Luftschallimmissionen die gemäß TA Lärm, Abschnitt 6.2 i. d. F. vom Juni 2017 vorgegebenen Anforderungen für Geräuschübertragung innerhalb von Gebäuden sowie hinsichtlich der Erschütterungseinwirkungen die gemäß der DIN 4150 Teil 2, Ausgabe Juni 1999, maßgeblichen Anhaltswerte für Misch- bzw. Kerngebiete eingehalten werden.
- [2] Die Einhaltung der gestellten Anforderungen des Absatzes 1 ist durch erschütterungstechnische Untersuchungen im Rahmen der Baugenehmigungs- bzw. Bauausführungsverfahren nachzuweisen.

7.2 Begründung

Aufgrund der räumlichen Nähe des Plangebietes zu den oberirdischen Bahnanlagen der Bahnstrecke 5702 Rosenheim – Kiefersfelden wurden mögliche schwingungsinduzierte Auswirkungen im Rahmen eines erschütterungstechnischen Gutachtens (Möhler + Partner Ingenieure AG, Bericht Nr. 700-6729-ER, 03.07.2023) untersucht. Hierbei wurden die zukünftigen Einwirkungen durch Erschütterungen und Sekundärluftschall prognostiziert und nach den einschlägigen Richtlinien und Normen beurteilt.

Die Untersuchungen auf Basis von Erschütterungsmessungen im Plangebiet kommen zum Ergebnis, dass die Anforderungen der DIN 4150-2 hinsichtlich der Erschütterungsmissionen zum Teil und die Anforderungen der TA Lärm hinsichtlich des Maximalpegelkriteriums der Sekundärluftschallimmissionen überschritten werden. Dabei können bei konventioneller Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) künftiger Gebäude mit schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen von Wohnungen Einwirkungen bis in einem Abstand von mindestens 45 m zur nächstgelegenen Gleisachse nicht ausgeschlossen werden.

Aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse können innerhalb der geplanten Bauräume erhebliche Belästigungen durch sekundären Luftschall und Erschütterungen ohne Schutz- bzw. Kompensationsmaßnahmen nicht zuverlässig ausgeschlossen werden, wenn ein Mindestabstand von bis zu 45 m zur Gleisachse (des zum Plangebiet nächstgelegenen Gleises) der Bahnstrecke unterschritten wird. Dabei wurden von einer konventionellen Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) künftiger Baukörper ausgegangen. Für den Fall einer anderweitigen Realisierung künftiger Gebäude als in konventioneller Bauweise (kein Massivbau mit Stahlbetondecken), liegt der Mindestabstand bei bis zu 90 m zur nächstgelegenen Gleisachse der Bahnanlagen.

Deshalb wird festgesetzt, dass bei der Errichtung von schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen in den Bauräumen sowie in baulich daran gekoppelten Gebäuden und Bauteilen (z. B. Tiefgaragen/-einfahrten, Nebengebäude, Fahrwege usw., die ggfs. auch in anderen Baufeldern liegen) eine Prüfung der zum Genehmigungszeitpunkt vorherrschenden Erschütterungssituation (bauspezifischer Nachweis) vorgenommen werden muss. Erforderlichenfalls sind technische bzw. konstruktive Maßnahmen

(z. B. (teil-)elastische Gebäudelagerungen) vorzusehen, die eine Einhaltung der Anhalts- und Richtwerte für Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen sicherstellen.

Dieses Gutachten umfasst 26 Seiten und 3 Anlagen. Die auszugsweise Vervielfältigung des Gutachtens ist nur mit Zustimmung der Möhler + Partner Ingenieure AG gestattet.

München, den 19. Juli 2023

Möhler + Partner
Ingenieure AG

Handwritten signature in blue ink, appearing to read "Mühlbacher Max".

i. V. B. Eng. M. Mühlbacher

Handwritten signature in blue ink, appearing to read "M. Walz".

i. V. M. Eng. M. Walz

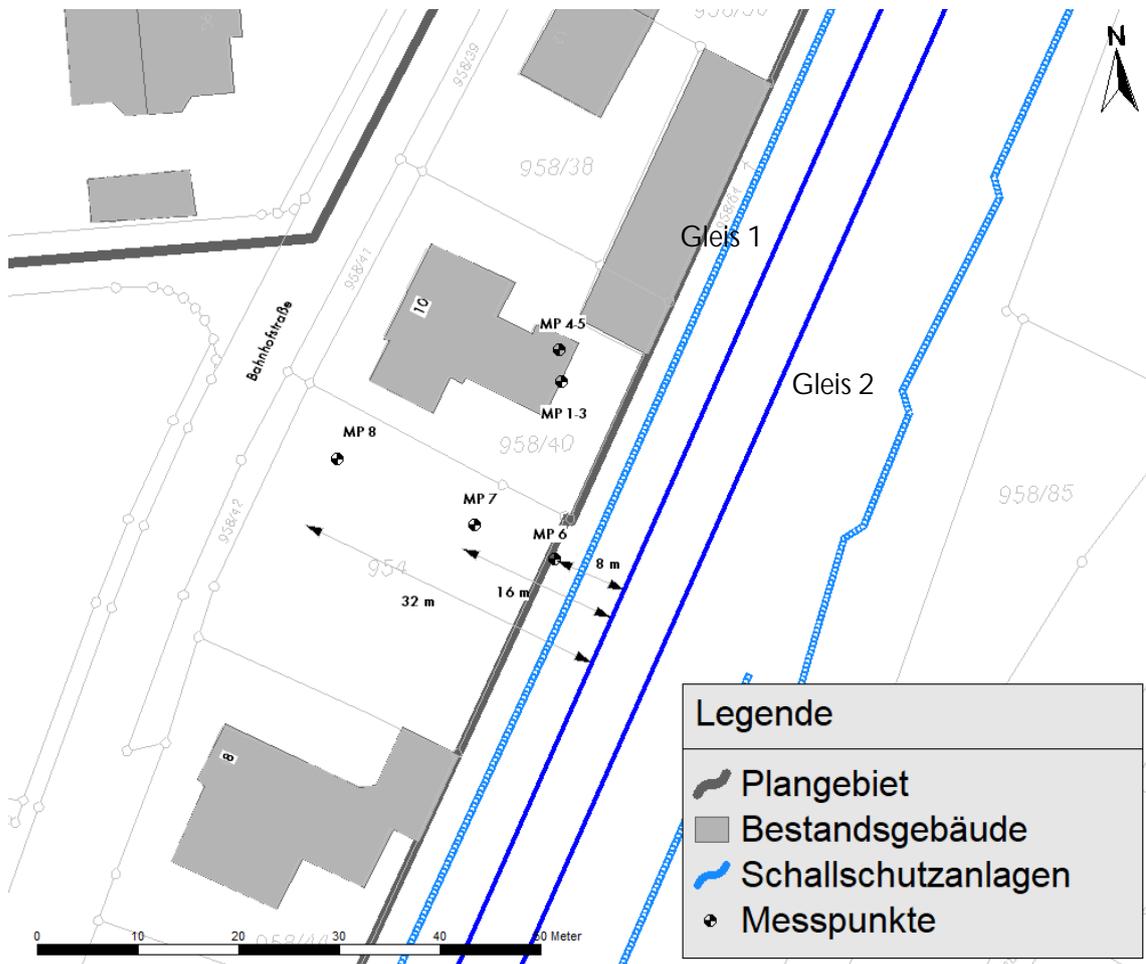
8. Anlagen

Anlage 1: Lageplan mit Messpunkten

Anlage 2: Fotografische Dokumentation der Messpunkte

Anlage 3: Maßgebliche mittlere Max-Hold-Terzspektren

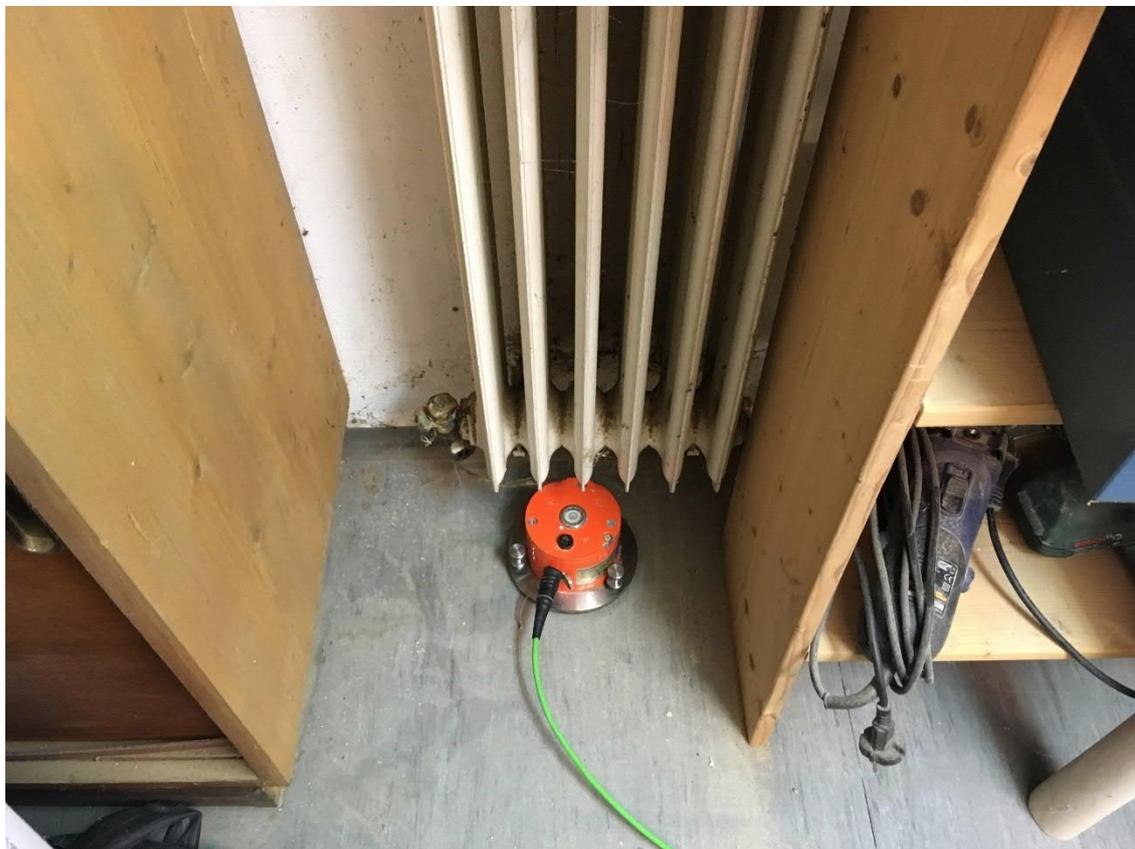
Anlage 1: Lageplan mit Messpunkten



© eigene Darstellung mit Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung

Anlage 2: Fotografische Dokumentation der Messpunkte

Messpunkt MP 1 bis MP 3, Keller Außenfassade Südost Richtung Bahnstrecke



Messpunkt MP 4, Erdgeschoss, Aufenthaltsraum Richtung Südost Richtung Bahnstrecke, Raummitte



Messpunkt MP 5, 1. Obergeschoss, Aufenthaltsraum Richtung Südost Richtung Bahnstrecke, Raummitte



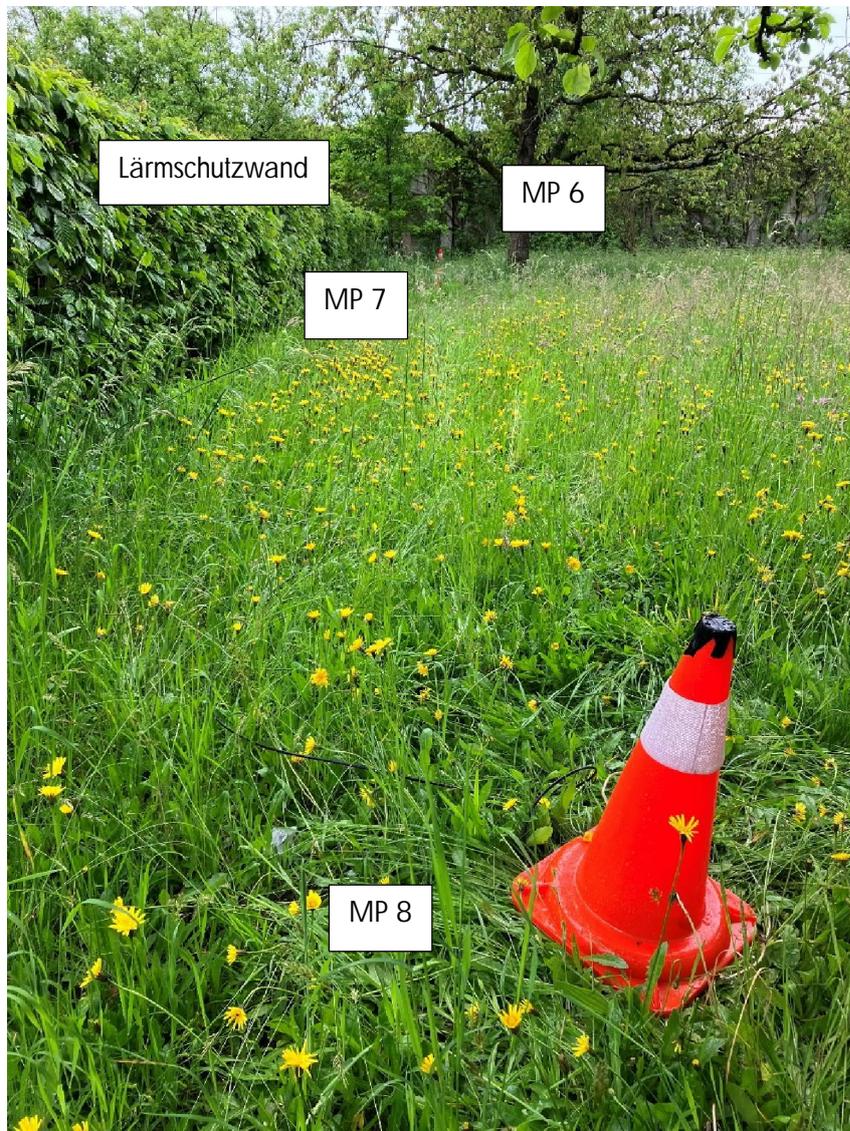
Messpunkt MP 6, Messung auf dem Ausbreitungsweg, Messpunkt Abstand zum Gleis ca. 8 m



Messpunkt MP 7, Messung auf dem Ausbreitungsweg, Messpunkt Abstand zum Gleis ca. 16 m



Messpunkt MP 8, Messung auf dem Ausbreitungsweg, Messpunkt Abstand zum Gleis ca. 32 m



Messpunkt MP 7

