

## Erschütterungstechnische Untersuchung

Vorhaben: Gemeinde Pfronten  
Bebauungsplan Nr. 64  
„Pfronten-Ried/Bahnhofsareal-Ost“

Auftraggeber: Gemeinde Pfronten  
Allgäuer Straße 6  
87459 Pfronten-Ried

Bearbeitungsstand: 11/2023

Projekt-Nr.: 2023 1744

Auftrag vom: 15.05.2023

Anzahl Seiten: 28

Anzahl Anlagen: 2, s. Anlagenverzeichnis

fachlich verantwortlich: Dipl. Ing. (FH) Manfred Ertl

Mitarbeiter: B. Sc. Luis Mahlkecht

Durchwahl: 0821 / 207 129 10

E-Mail: m.ertl@em-plan.com

Dokument: 1744\_Pfronten\_Bahnhofsareal\_Ersch\_2023\_11\_21

Das vorliegende Gutachten ist geistiges Eigentum von em plan. Das Gutachten ist ausschließlich zur Durchführung des behandelten Vorhabens zu verwenden. Die Weitergabe des Gutachtens oder dessen Vervielfältigung außerhalb des gegenständlichen Verfahrens, auch auszugsweise, ist nur mit unserer ausdrücklichen und schriftlichen Gestattung zulässig.

## Inhaltsverzeichnis

1.	Gegenstand der Untersuchung.....	4
2.	Örtlichkeiten .....	5
2.1	örtliche Gegebenheiten .....	5
2.2	Bebauungsplan Nr. 64 – Bahnhofsareal Ost .....	6
3.	Beurteilungsgrundlagen.....	8
3.1	Prognoseverfahren – VDI 3837 .....	8
3.2	DIN 4150-2.....	10
3.3	Sekundärer Luftschall.....	12
4.	Methodik .....	13
5.	Messdurchführung und Messgeräte .....	14
5.1	Messorte .....	14
5.2	Messgeräte .....	14
5.3	Durchführung und Auswertung- $KB_{Fmax}$ .....	15
5.4	Auswertung – sekundärer Luftschall.....	15
5.5	Fotodokumentation .....	16
6.	Zugzahlen .....	17
7.	Messergebnisse .....	18
8.	Ergebnisdarstellung und Bewertung.....	20
8.1	Prognosewerte.....	20
8.1.1	Baufeld im Zentrum .....	20
8.1.2	Bestandsgebäude.....	21
8.2	Sekundärer Luftschall.....	22
9.	Schutzmaßnahmen .....	23
10.	Regelungen im Bebauungsplan.....	24
11.	Zusammenfassung.....	25
A)	häufig verwendete Abkürzungen .....	27
B)	Regelwerke .....	27
C)	Grundlagenverzeichnis.....	27
D)	Anlagenverzeichnis .....	27
E)	Abbildungsverzeichnis.....	28
F)	Tabellenverzeichnis.....	28

## **1. Gegenstand der Untersuchung**

Die Gemeinde Pfronten plant die Aufstellung des Bebauungsplans Nr. 64 „Pfronten-Ried/Bahnhofsareal-Ost“. Innerhalb des Plangebiets befindet sich ein zu Lagerzwecken genutztes Bestandsgebäude im Norden, das erhalten werden soll.

Unmittelbar westlich verläuft die Bahnstrecke 5403, Kempten – Garmisch-Partenkirchen der Deutschen Bahn AG und wirkt abstandsbedingt hinsichtlich der Erschütterungsimmissionen auf Menschen in Gebäuden maßgeblich auf das Plangebiet ein.

Die vorliegende Untersuchung stellt auf eine Erschütterungsprognose für das Plangebiet inklusive dem Bestandsgebäude im Norden ab. Die Grundlage für die Prognose bildet die Messung von Emissionsspektren aus dem Bahnbetrieb, die im Juni 2023 durch em plan östlich der Bahngleise, innerhalb des Plangebiets durchgeführt wurde.

Die normative Grundlage bilden die VDI 3837, die DIN 4150, Teile 1 bis 3 sowie die Ril 820.2050 der DB Netz AG.

Im Bedarfsfall enthält die vorliegende Untersuchung Maßnahmenempfehlungen zum Erschütterungsimmissionsschutz.

Die Randbedingungen, Methoden und Ergebnisse der Untersuchung werden im vorliegenden Bericht dokumentiert.

## 2. Örtlichkeiten

### 2.1 örtliche Gegebenheiten

Die örtlichen Gegebenheiten sind dem Lageplan in der Anlage 1 sowie der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.

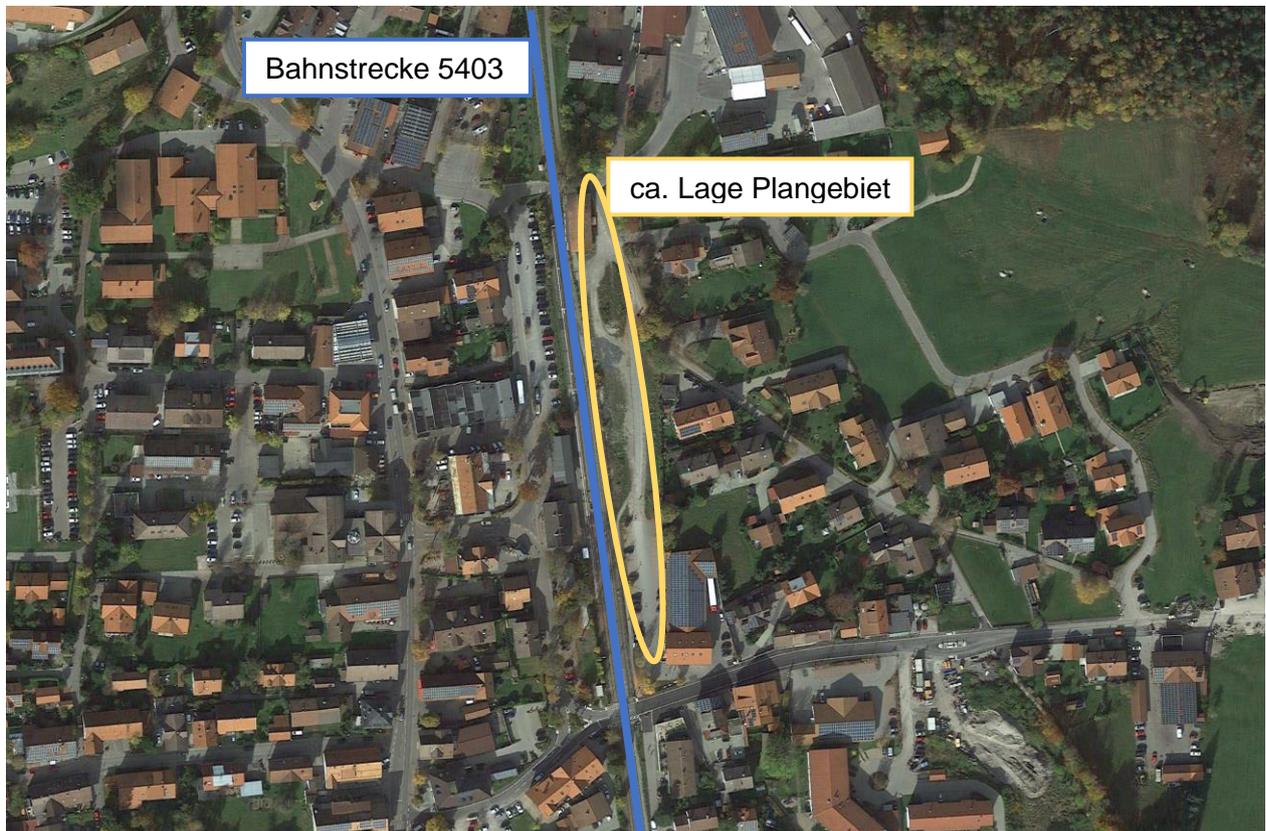


Abbildung 1: ca. Lage Plangebiet, Quelle: Google Earth

Das Plangebiet befindet sich im Osten der Gemeinde Pfronten-Ried und umfasst eine Fläche von rd. 5500 m<sup>2</sup>.

Unmittelbar westlich verläuft die Bahnstrecke 5403, Kempten – Garmisch-Partenkirchen, die im Westen vom Bahnhofsgebäude und Parkflächen gesäumt wird.

Östlich grenzen Wohngebäude mit bis zu zwei Vollgeschoßen und ausgebautem Dachgeschoß an das Plangebiet an.

Am südlichen Rand des Plangebiets quert die Meilinger Straße die Gleise der Deutschen Bahn AG.

Die Gleise sind auf Höhe des Bahnhofs zweigleisig sowie im nördlichen Bereich des Plangebiets eingleisig, als Schwellengleis mit Schotterbett ausgebildet. Die Schienenoberkante liegt auf dem Niveau des umliegenden Geländes, auf rd. 858 m ü. NN.

## 2.2 Bebauungsplan Nr. 64 – Bahnhofsareal Ost

Im Untersuchungsgebiet soll der Bebauungsplan Nr. 64, „Pfronten-Ried/Bahnhofsareal-Ost“ aufgestellt werden.

Im zentralen Bereich des Bebauungsplangebiets befindet sich ein Baufeld mit einer Fläche von rd. 1700 m<sup>2</sup> und einem minimalen Abstand der westlichen Baugrenze von rd. 8 m zu den Bahngleisen.

Die maximal zulässige Wand- bzw. Firsthöhe liegt bei 7,5 m bzw. 11,5 m, sodass bis zu zwei Vollgeschoße und ein ausgebautes Dachgeschoß potentiell umsetzbar sind.

Grundsätzlich kann die Bebauung in Holz- oder Massivbauweise errichtet werden. Voruntersuchungen haben ergeben, dass unter Berücksichtigung des gemessenen, spektralen Emissionsspektrums, eine Ausbildung in Massivbauweise den hinsichtlich der Erschütterungsimmissionen schlechteren Fall darstellt, sodass dieser im Weiteren im Sinne einer worst-case Prognose behandelt wird.

Im Norden des Bebauungsplangebiets befindet sich ein Bestandsgebäude, unmittelbar östlich angrenzend an den Gleiskörper der Deutschen Bahn AG, das aktuell zu Lagerzwecken genutzt wird und erhalten werden soll. Eine mögliche Umnutzung ist angedacht.

Im Rahmen des gegenständlichen Bauleitplanverfahrens wird keine konkrete Art der baulichen Nutzung festgesetzt. Mit Blick auf das vorgesehene Nutzungskonzepts einerseits und der bestehenden umliegenden Nutzung wird vorliegend eine Schutzbedürftigkeit entsprechend der von Mischgebieten unterstellt.

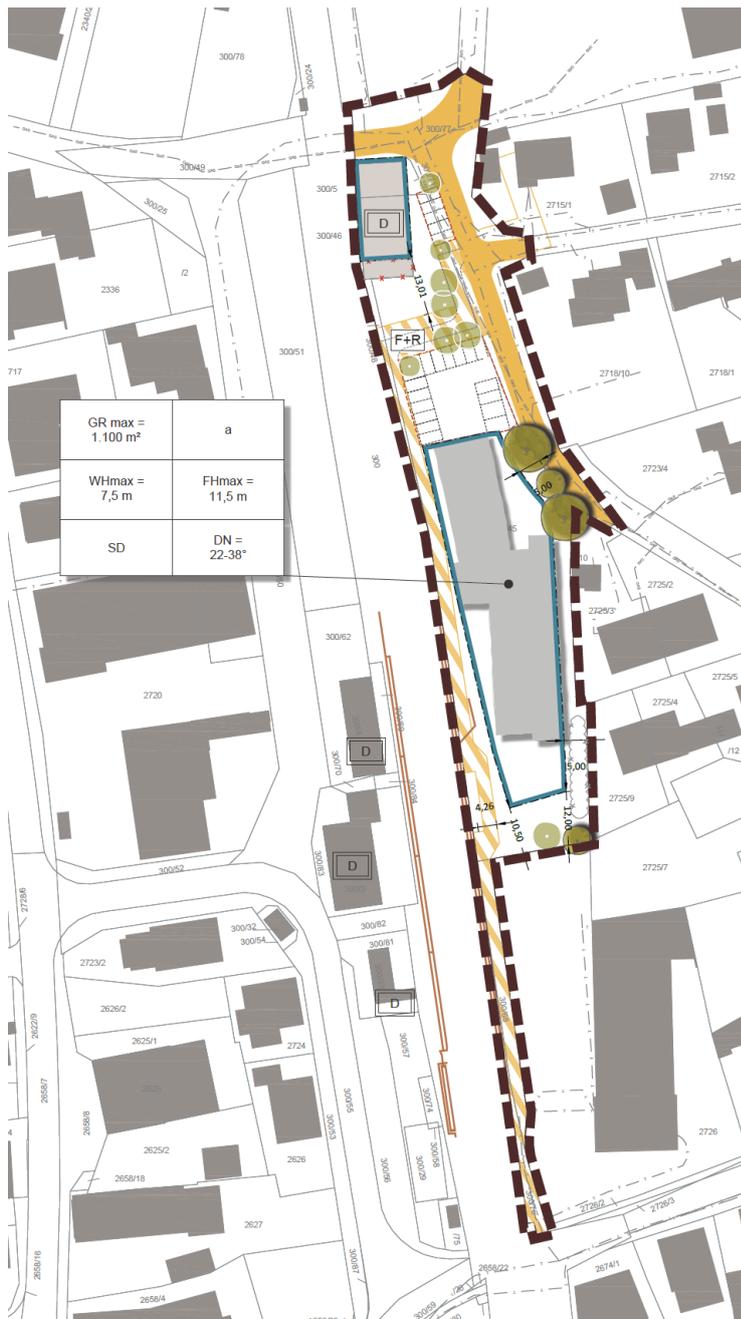


Abbildung 2: Bebauungsplan Nr. 64 „Pfronten-Ried/Bahnhofsareal-Ost“, zum 14.12.2023, Quelle: LARS Consult

### 3. Beurteilungsgrundlagen

#### 3.1 Prognoseverfahren – VDI 3837

In der VDI 3837 werden grundlegende Abhängigkeiten für die Emission, Transmission und Immission von Erschütterungen aufgezeigt und darauf aufbauend ein spektrales Prognoseverfahren für die Erschütterungen im Frequenzbereich von 4 Hz bis 80 Hz beschrieben, die von oberirdisch geführten Schienenbahnen ausgehen. Das Verfahren kann bei bestehenden oder neu zu errichtenden Strecken angewendet werden.

Die nachstehende Abbildung zeigt schematisch die Vorgehensweise einer Prognose nach VDI 3837.

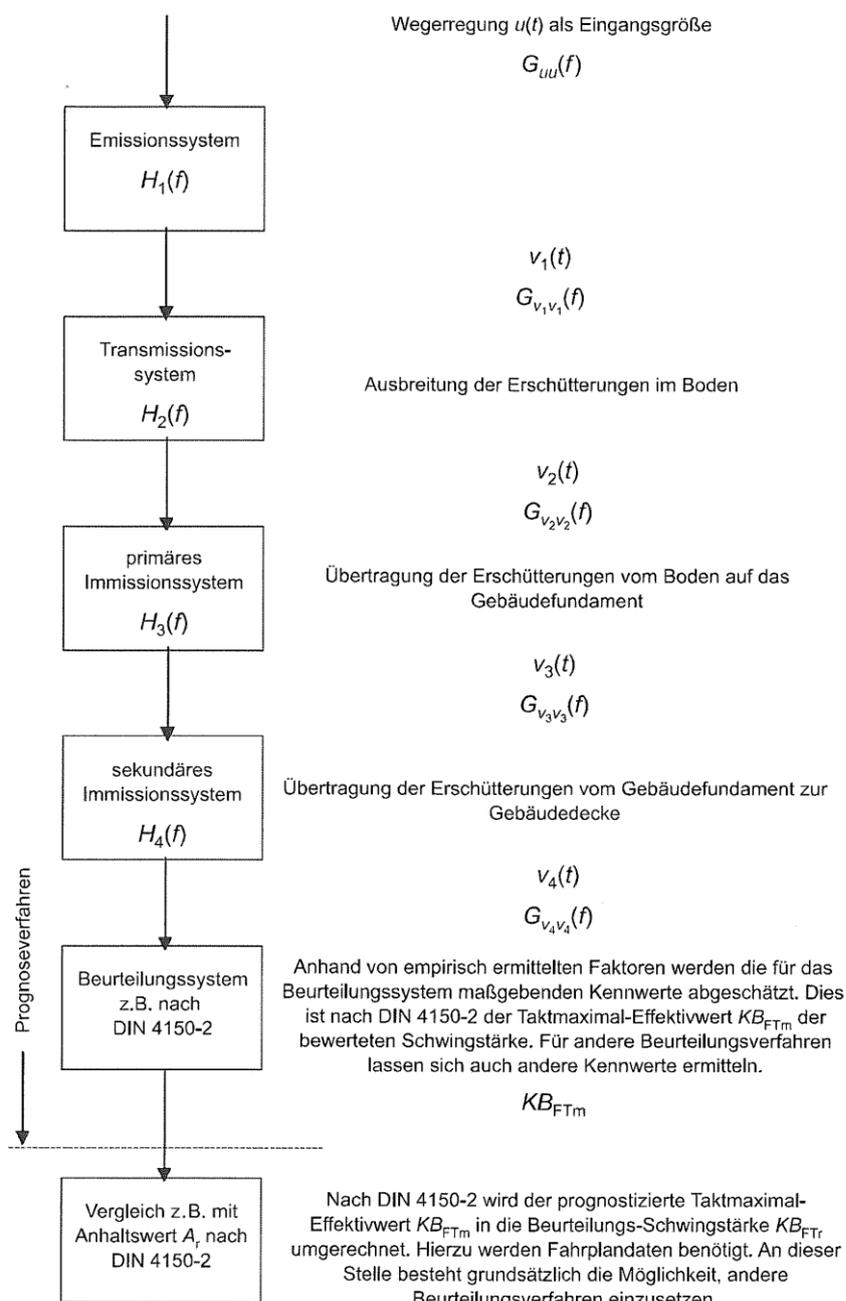


Abbildung 3: Blockschaltbild für das spektrale Prognoseverfahren der VDI 3837

In der vorliegenden Prognose wurde das Emissions- und Transmissionssystem

$$H_1(f) \rightarrow H_2(f)$$

durch Messung erfasst. Der Emission liegt hierbei ein über mehrere Messungen gemitteltes Emissionsspektrum in Terzbandbreite zu Grunde. Eine Korrektur in Folge abweichender Abstände der Prognosepunkte zu den Messpunkten sowie Abweichungen der Fahrgeschwindigkeit zur zulässigen Streckenhöchstgeschwindigkeit erfolgt gemäß der Methodik in Kapitel 4.

Den Übertragungsfunktionen vom Boden in die Geschoßdecken

$$H_2(f) \rightarrow H_4(f)$$

liegen die statistisch gemittelten Übertragungsfunktionen der Ril 820.2050 der DB Netz AG für Betondecken zugrunde.

Über die spektrale Einleitung der Erschütterungen und die spektralen Übertragungsfunktionen sind in der Folge die zu erwartenden maximalen Schwingschnellen  $KB_{F_{max}}$  ermittelt worden. Aus diesen errechnen sich über die Zugfrequenz die Beurteilungsschwingschnellen  $KB_{F_{Tr}}$  und der zu erwartende sekundäre Luftschall. Diese bilden die Grundlage zur Bestimmung der Bereiche, in denen Überschreitungen der Anhaltswerte wahrscheinlich und erschütterungsmindernde Maßnahmen als erforderlich anzusehen sind.

Erschütterungsprognosen sind stets mit einer gewissen Unschärfe behaftet. Dies hängt einerseits mit den im Vorfeld nicht final bekannten baulichen Eingriffen in den Untergrund zusammen, d. h. den lokalen Einleitungsverhältnissen, und andererseits mit der benachbarten Bausubstanz. So ist die Schwingantwort bei Holzbalkendecken bei niederfrequenter Einleitung von Erschütterungen in aller Regel höher als bei Stahlbetondecken, wobei aber die Schwingantwort wiederum vom Spektrum der eingeleiteten Erschütterungen und der Anteile der tieffrequenten Schwingungsanteile im Terzbandspektrum abhängt.

Sofern erforderlich werden, um obigem Umstand Rechnung zu tragen, Zuschläge im Sinne der Prognosesicherheit vergeben, s. Kapitel 7.

### 3.2 DIN 4150-2

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen auf Menschen ist die DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, einschlägig. Darin werden Verfahren (im Zusammenhang mit anderen Normen) für die Ermittlung und die Beurteilung von Erschütterungs-Immissionen vorgestellt.

Die DIN 4150-2 nennt Anhaltswerte zur Beurteilung der gemessenen Erschütterungs-Immissionen.

Die Wirkung von Erschütterungen auf Menschen wird anhand der bewerteten Schwingstärke  $KB_F(t)$  beurteilt.

Nach DIN 45669 ist die bewertete Schwingstärke  $KB_F(t)$  der gleitende Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals mit der Zeitbewertung FAST (0,125 s).

Die Beurteilung erfolgt gemäß DIN 4150-2 anhand von zwei Beurteilungsgrößen. Der maximalen bewerteten Schwingstärke  $KB_{Fmax}$  und der Beurteilungsschwingstärke  $KB_{Ftr}$ .

$KB_{Fmax}$  ist der maximale während der Messung auftretende, oder in anderer Weise ermittelte, Wert der bewerteten Schwingstärke  $KB_F(t)$ .

In der Beurteilungsgröße  $KB_{Ftr}$  wird die Häufigkeit und Dauer der auftretenden Erschütterungsergebnisse berücksichtigt, sie wird durch das Taktmaximalwertverfahren mit einer Taktzeit von 30 s ermittelt.

Die genannten Beurteilungsgrößen sind an Fundamenten getrennt für die drei Richtungskomponenten x (horizontal, parallel), y (horizontal, senkrecht) und z (vertikal) und an den übrigen Messpunkten nur für die Richtungskomponente z zu ermitteln. Bei der triaxialen Messung ist der jeweils größte der drei Messwerte der Beurteilung zugrunde zu legen.

Die Beurteilungsgrößen sind zu ermitteln und mit den Anhaltswerten der DIN 4150-2 in der nachfolgenden Tabelle 1 zu vergleichen.

- Ist  $KB_{Fmax}$  kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert  $A_u$  dann ist die Anforderung dieser Norm eingehalten.
- Ist  $KB_{Fmax}$  größer als der (obere) Anhaltswert  $A_o$ , dann ist die Anforderung dieser Norm nicht eingehalten.
- Für häufige Einwirkungen, bei denen  $KB_{Fmax}$  größer als  $A_u$ , aber kleiner als  $A_o$  ist, ist die Beurteilungsschwingstärke  $KB_{Ftr}$  mit dem Anhaltswert  $A_r$  zu vergleichen. Wird dieser unterschritten, sind die Anforderungen der Norm ebenfalls eingehalten.

## Anhaltswerte der DIN 4150-2

Tab. 3-1 Anhaltswerte für Erschütterungs-Immissionen gemäß DIN 4150-2

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A <sub>u</sub>	A <sub>o</sub>	A <sub>r</sub>	A <sub>u</sub>	A <sub>o</sub>	A <sub>r</sub>
1	Einwirkungsorte in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, § 9).	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, § 8).	0,3	6	0,15	0,2	0,4 (0,6)	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5).	0,2	5	0,1	0,15	0,3 (0,6)	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reine Wohngebiete BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2).	0,15	3	0,07	0,1	0,2 (0,6)	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15 (0,6)	0,05

Für oberirdischen Schienenverkehr gilt gemäß DIN 4150-2 eine Sonderregelung. Der obere Anhaltswert A<sub>o</sub> ist unabhängig von der Gebietsausweisung nachts mit 0,6 anzusetzen.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Anhaltswerte indikatorischen Charakter haben und eine Beurteilung jeweils im Einzelfall - auch unter Berücksichtigung der Messunsicherheit - zu erfolgen hat.

In den Erläuterungen zur Norm werden Zusammenhänge zwischen bewerteten Schwingstärken und subjektiver Wahrnehmung angegeben. Die folgende Tabelle beschreibt diesen Zusammenhang:

Tab. 3-2 Wahrnehmung von Erschütterungen

KB-Werte	Beschreibung der Wahrnehmung
< 0,1	nicht spürbar
0,1	Fühlschwelle
0,1 - 0,4	gerade spürbar
0,4 - 1,6	gut spürbar
1,6 - 6,3	stark spürbar

### 3.3 Sekundärer Luftschall

Bezüglich sekundären Luftschalls an Schienenwegen existieren keine expliziten Grenzwerte bzw. normative Regelungen. Im Falle der Planung von Schienenverkehrswegen werden in der Regel Innenraumpegel von

40 dB(A) tags in Wohnräumen bzw.

30 dB(A) nachts in Schlafräumen

als Grenzwerte angewandt. Die o. a. Grenzwerte basieren auf der Grundlage der 24. BImSchV und werden auch seitens der Rechtsprechung als Zumutbarkeitsschwelle herangezogen.

## 4. Methodik

Um Abweichungen der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten von der zulässigen Strecken-  
höchstgeschwindigkeit sowie Abweichungen der Abstände zu den Gleisen zwischen den Prog-  
nosepunkte und den Messpunkten Rechnung zu tragen, erfolgt eine Korrektur der Messwerte  
nach Bedarf nach den folgenden Zusammenhängen.

Die Berücksichtigung der Korrekturterme erfolgt multiplikativ:

$$KB_{Prognose} = KB_{Messpunkt} \cdot \eta_{Abstand} \cdot \eta_{Geschwindigkeit}$$

Die Fahrgeschwindigkeit wird linear berücksichtigt.

$$\eta_{Geschwindigkeit} = \frac{VFahr_{soll}}{VFahr_{gemessen}}$$

Die Abnahme der Schwingstärke mit dem Abstand geht reziprok unter der Wurzel ein.

$$\eta_{Abstand} = \sqrt{\frac{Abstand_{Messpunkt}}{Abstand_{Prognosepunkt}}}$$

Die Erschütterungsprognose erfolgt für die den Gleisen am nächsten gelegenen, schutzbedürfti-  
gen Räume. Insgesamt wurden drei Prognosepunkte entlang der westlichen, den Gleisen zuge-  
wandten Baugrenze gewählt, einer im Norden (P1), einer im zentralen Bereich (P2) sowie einer  
im südlichen Bereich (P3). Bei einem Abrücken der Bebauung von der Baugrenze in Richtung  
Osten, ergeben sich entsprechend niedrigere Prognosewerte.

Die genaue Lage kann der Anlage 1.2 entnommen werden.

## 5. Messdurchführung und Messgeräte

### 5.1 Messorte

Der nachfolgenden Tabelle können die Abstände der Messpunkte zu den Gleisen sowie die Ankopplungsart entnommen werden.

Tab. 5-1: Übersicht der Messpunkte

Messpunkt	1	2	3
Messrichtung	vertikal		
Messpunkt	Freifeld rd. 10,5 m zu den Gleisen	Freifeld rd. 12 m zu den Gleisen	Freifeld rd. 15 m zu den Gleisen
Ankopplung	Erdspieß		

Gemessen wurde parallel an drei Messpunkten, im Freifeld in rd. 10 bis 15 m Entfernung zu den Gleisen. Die Messpunkte 2 und 3 lagen im freien, zweigleisigen Streckenbereich. Der Messpunkt 1 lag auf Höhe der Weiche, im Bereich des Übergangs zwischen eingleisiger und zweigleisiger Streckenführung, südlich des Bestandsgebäudes und nördlich des Baufelds im zentralen Bereich des Bebauungsplangebiets.

Die Lage der Messpunkte kann der Anlage 1 entnommen werden.

### 5.2 Messgeräte

Für die Messung wurden folgende Geräte bzw. Programme verwendet.

Tab. 5-2: eingesetzte Messtechnik

Gerät / Programm	Typ	Hersteller	Seriennummer
3x Beschleunigungsaufnehmer	KS48C	Metra Mess- u. Frequenztechnik	10171, 10111, 10109
Messgerät	Soundbook Quadro	Sinus Messtechnik GmbH	6308
Messsoftware	SAMURAI 3.0	Sinus Messtechnik GmbH	-
Radarpistole	-	Bushnell	-

### 5.3 Durchführung und Auswertung-KB<sub>Fmax</sub>

Die Messung erfolgte am 28.06.2023 in der Zeit zwischen 12:00 und 16:00 Uhr. Insgesamt wurden sieben Vorbeifahrten durch Regionalzüge messtechnisch erfasst.

Die Geschwindigkeiten der in den Bahnhof ein- bzw. aus dem Bahnhof ausfahrenden Züge wurde messbegleitend mittels Radarpistole am MP2 erfasst. Im Bahnhofsbereich, am MP3 ergeben sich entsprechend niedrigere, bei der Ein- und Ausfahrt in den Bahnhof über den MP1 geringfügig höhere Fahrgeschwindigkeiten.

Für die Bestimmung der Erschütterungsimmissionen wurde die Schwingbeschleunigung mit Hilfe von Beschleunigungssensoren während der Zugvorbeifahrten im Plangebiet bestimmt (vgl. Pkt. 5.1).

Aus der gemessenen Schwingbeschleunigung wird durch Integration das unbewertete Erschütterungssignal (Schnellesignal) nach DIN 45669 im Frequenzbereich von 1 bis 315 Hz ermittelt (siehe auch DIN 4150-2). Aus dem weiter von 4 bis 80 Hz bandpassgefilterten und KB-bewerteten Schnellesignal ist nach der Bildung des gleitenden Effektivwerts mit der Zeitkonstante 0,125 s der Maximalwert in der Taktzeit von 30 s zu ermitteln. Das Ergebnis entspricht dem KB<sub>Fmax</sub> einer Zugvorbeifahrt.

Für jede Zuggattung wurden Terzspektren (Max-Hold-Spektren) aus dem Schnellesignal im Frequenzbereich von 4 bis 315 Hz erstellt.

### 5.4 Auswertung – sekundärer Luftschall

Der sekundäre Luftschall wird durch Schwingungen der Umfassungsbauteile von Gebäuden bzw. Räumen verursacht. Dieser wird, sofern nicht durch Tunnel oder Lärmschutzanlagen abgeschirmt, durch den Primärluftschall überlagert und ist im Regelfall nicht direkt messbar. Die Gebäude werden wiederum durch vorbeifahrende Züge zum Schwingen angeregt, die Intensität nimmt vom Gleis aus mit zunehmendem Abstand zum Gebäude ab.

An den Bestandsstrecken liegt für jede Zugvorbeifahrt an jedem Messpunkt ein gemäß DIN 45669-1 bandpassgefiltertes Zeitsignal der Schwingbeschleunigung  $a(t)$  bzw. nach Integration, der Schwingschnelle  $v(t)$  vor. Die Schwingschnellen werden in den über die Vorbeifahrzeit gemittelten, A-bewerteten Schwinggeschwindigkeitspegel,  $L_{VA}(f)$  im Frequenzbereich (terzweise bis 80 Hz) überführt. Der Gesamtpegel  $L_{VA}$  ergibt sich durch anschließende energetische Addition.

Bei der Berechnung der sekundären Luftschallpegel wird zwischen Beton- und Holzbalkendecken unterschieden.

Betondecke:

$$L_{\text{sek}} = 15,8 \text{ dB(A)} + 0,60 L_{VA}$$

Holzbalkendecke:

$$L_{\text{sek}} = 19,9 \text{ dB(A)} + 0,47 L_{VA}$$

## 5.5 Fotodokumentation

Der nachfolgenden Fotodokumentation können die örtlichen Gegebenheiten während der Messung entnommen werden.

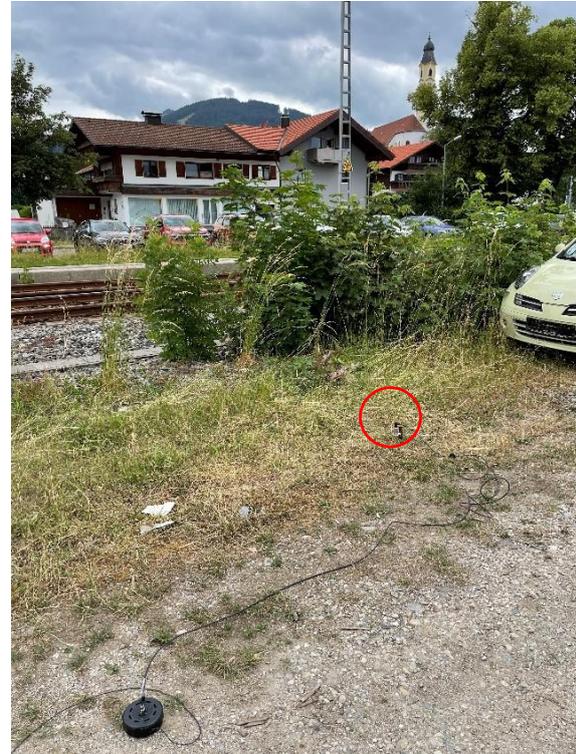


Abbildung 4: Messpunkt 1



Abbildung 5: Messpunkt 2



Abbildung 6: Messpunkt 3

## 6. Zugzahlen

Für die Berechnung der Beurteilungsschwingstärken  $KB_{FT_r}$  im Prognosehorizont 2030 wurde von der Deutsche Bahn AG das folgende Verkehrsmengengerüst zur Verfügung gestellt.

Tab. 6-1 Strecke 5403, Prognose 2030, Bereich Pfronten-Ried

Lfd. Nr.	Zugart	Anzahl		Zuglänge* in m	V <sub>max</sub> in km/h
		Tag	Nacht		
1	RB/RE-V	31	5	52,1	140

\* anhand von Literaturdaten und der Zugkonfiguration nach Schall 03 geschätzt

Die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit beträgt im Bereich des Plangebiets 50 km/h.

Legende:

Traktionsarten:

- E = Bespannung mit E-Lok
- V = Bespannung mit Diesellok

Zugarten:

RB, RE = Regionalzug

## 7. Messergebnisse

Der nachfolgenden Tabelle können die maximalen, unkorrigierten Schwingschnellen an den Messpunkten für die einzelnen Vorbeifahrten entnommen werden.

Tab. 7-1:  $v_{\max}$ -Werte der Zugvorbeifahrten in mm/s

Msg.-Nr.	Zeit in hh:mm	Zuggattung	Gleis	v am MP2 in km/h	maximale Schwingschnelle, $v_{\max}$ in mm/s		
					MP1	MP2	MP3
1	12:39	RE/RB	1	30	0,50	0,23	0,11
2	13:39	RE/RB	2	35	0,55	0,31	0,16
3	13:57	RE/RB	1	31	0,47	0,31	0,15
4	14:25	RE/RB	2	25	0,37	0,23	0,11
5	14:41	RE/RB	1	29	0,50	0,25	0,11
6	15:26	RE/RB	2	25	0,37	0,19	0,08
7	15:41	RE/RB	1	28	0,43	0,21	0,09
quadratischer/arithmetischer Mittelwert				28	0,46	0,25	0,12

Erwartungsgemäß lassen sich quantitativ drei Schwingschnelle-Niveaus erkennen. Der MP1 liegt im Einflussbereich der Störwirkung durch die Weiche und weist in der Folge unter ergänzender Berücksichtigung der größten Fahrgeschwindigkeit in diesem Messquerschnitt das höchste Niveau auf. Der MP2 liegt abstandsbedingt nicht mehr im Einfluss der Weiche, sodass sich ein ungestörtes Messwertkollektiv bei einer durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit von 28 km/h ergibt. Am MP3 fahren die Züge mit langsamer Geschwindigkeit entweder in den Bahnhof ein oder aus dem Bahnhof aus, sodass das Schnelleniveau am niedrigsten ausfällt.

Gemäß der Richtlinie 820.2050 der Deutsche Bahn AG sind lineare Geschwindigkeitskorrekturen deutlich oberhalb von 30 % insofern mit Unsicherheiten behaftet, als potentiell eine deutliche Überbewertung erfolgt.

Die gefahrenen Geschwindigkeiten im Bahnhofsbereich weichen am stärksten von der zulässigen Streckenhöchstgeschwindigkeit ab. Die Messquerschnitte 2 und 3 sind diesbezüglich als gleichwertig zu beurteilen und entsprechend gegenüber dem Querschnitt 1 zu bevorzugen.

Die nördliche Baugrenze liegt in Nord-Süd-Richtung ungefähr mittig zwischen den Messpunkten 1 und 2. Ein Einfluss der Störstelle auf eine Bebauung im Bereich des Prognosepunktes 1 ist nicht auszuschließen. Die quantitative Ober- und Untergrenze der am Prognosepunkt 1 zu erwartenden Schwingschnellen wird in der Folge durch das messtechnisch erfasste Niveau in den Querschnitten 1 und 2 bestimmt.

Grundlage für die Prognose bildet im Weiteren für alle Prognosepunkte nach obiger Ausführung zur Geschwindigkeitskorrektur das Messwertkollektiv im Querschnitt 2. Der Prognosepunkt 1 im Norden erhält ergänzend einen Sicherheitszuschlag zur Berücksichtigung der Störstelle um den Faktor 1,5.

Die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit liegt bei 50 km/h, sodass sich bei durchschnittlich gemessenen 28 km/h am MP2, ein Hochrechnungsfaktor von rd. 2, um 100 % ergäbe. Um der Ril 820.2050 hinsichtlich der Geschwindigkeitskorrekturen Rechnung zu tragen, wird der Faktor konservativ zu 1,5 gewählt.

Die Max-Hold-Spektren am MP2 sind in der nachfolgenden Grafik für sämtliche Vorbeifahrten dokumentiert.

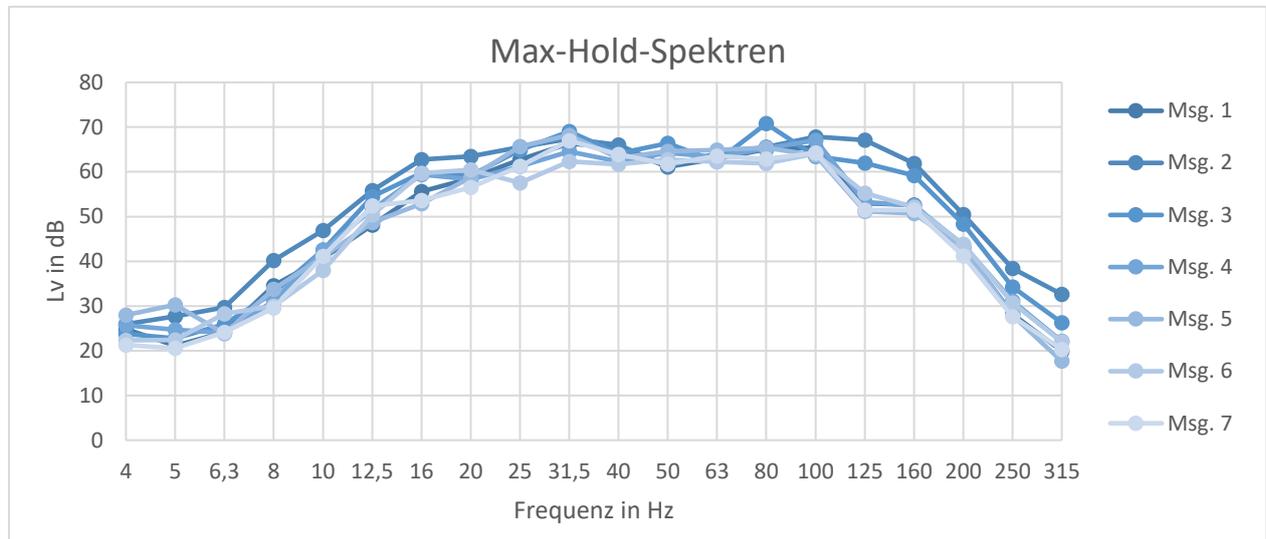


Abbildung 7: Max-Hold-Spektren der Vorbeifahrten am Messpunkt MP2

Für geplante Bauvorhaben bzw. Prognosen, in denen keine gemessenen Übertragungsfunktionen zur Verfügung stehen, sind in der Richtlinie 820.2050 der Deutsche Bahn AG, statistisch ermittelte Übertragungsfunktionen für Deckenresonanzen zwischen 8 Hz und 80 Hz vom Außenmesspunkt in das OG abgebildet, die hilfsweise für die Untersuchung herangezogen werden.

Betondecken in Gebäuden weisen Resonanzen im Frequenzbereich bis maximal rd. 25 Hz auf. Unter Berücksichtigung des Verlaufs der Max-Hold-Spektren wird im Sinne einer worst-case Prognose eine Übertragungsfunktion mit einer Resonanzüberhöhung bei 25 Hz gewählt. Die Übertragungsfunktion ist nachstehend abgebildet.

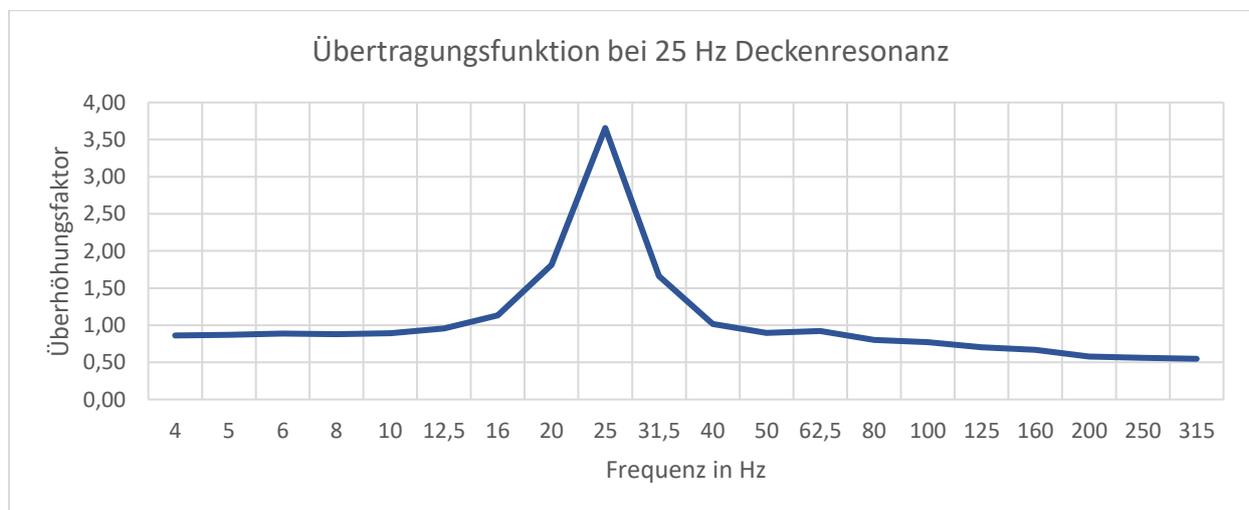


Abbildung 8: Übertragungsfunktion in das OG bei 25 Hz Deckenresonanzfrequenz

## 8. Ergebnisdarstellung und Bewertung

### 8.1 Prognosewerte

Die zu erwartenden Erschütterungseinwirkungen werden anhand der Methodik gemäß der Kapitel 3 und 4 für das Obergeschoß bestimmt. Es ist nach DIN 4150-2 der höchste, in einem schutzbedürftigen Raum auftretende Betrag des  $KB_{Fmax}$  für die Beurteilung maßgebend.

#### 8.1.1 Baufeld im Zentrum

Der nachfolgenden Tabelle können die ermittelten  $KB_{Fmax}$  - und  $KB_{FTr}$  - Werte im zentralen Baufeld entnommen werden.

Tab. 8-1  $KB_{Fmax}$  und  $KB_{FTr}$  – Werte im obersten Geschoß

Prognosepunkt	SW	Anhaltswerte						Prognose 2030			Über-/Unterschreitung in %					
		Tag			Nacht			$KB_{Fmax}$	$KB_{FTr}$		$A_u$		$A_o$		$A_r$	
		$A_u$	$A_o$	$A_r$	$A_u$	$A_o$	$A_r$		T	N	T	N	T	N	T	N
1	OG							1,02	0,12	0,07	410	581	-80	70	22	0
2	OG	0,2	5	0,1	0,15	0,6	0,07	0,68	0,08	0,05	240	354	-86	13	-22	-35
3	OG							0,58	0,07	0,04	190	287	-88	-3	-32	-44

Anhand der Tab. 8-1 wird deutlich, dass der  $A_u$  tags sowie nachts an allen Prognosepunkten überschritten wird.

Der  $A_o$  wird tags eingehalten und nachts an den Prognosepunkten 1 und 2 überschritten, am Punkt 3 nur unwesentlich unterschritten.

Der  $A_r$  an den Punkten 2 und 3 wird tags sowie nachts unterschritten. Am Punkt 1 im Norden liegt eine Überschreitung des  $A_r$ , tags von rd. 22 % vor. Nachts entspricht der  $KB_{FTr}$  am Punkt 1 betragsmäßig dem  $A_r$ .

Bei einer Vernachlässigung des Sicherheitsfaktors am Prognosepunkt 1 ergibt sich ein zum Prognosepunkt 2 ähnliches Bild.

Gemäß der DIN 4150-2 sind bei einer Überschreitung des  $A_u$  bei gleichzeitiger Unterschreitung des  $A_r$  sowie des  $A_o$  die Anforderungen dem Grunde nach eingehalten.

Insgesamt liegt der Prognosewert des  $KB_{Fmax}$ , auch unter Berücksichtigung der Prognoseschärfe im Bereich des oberen Anhaltswertes, sodass zumindest singuläre Überschreitungen des  $A_o$  nicht auszuschließen sind, womit die Anforderungen der DIN 4150-2 nicht eingehalten wären. Gleichzeitig sei darauf verwiesen, dass  $KB$ -Werte gemäß Tab. 3-2 oberhalb von 0,4 als „gut spürbar“ zu bewerten sind.

Eine Ausführung des Objekts in Holzbauweise würde zu geringfügig niedrigeren Prognosewerten, mit  $KB_{Fmax}$ -Werten an den Prognosepunkten 2 und 3 von rd. 0,5 sowie am Prognosepunkt 1 von rd. 0,7 führen. Insgesamt ergibt sich somit ein etwas günstigeres Bild, wenngleich der  $KB_{Fmax}$  weiter im Bereich des oberen Anhaltswertes,  $A_o$  liegt. Die Erschütterungen bleiben weiter „gut spürbar“.

Nachträgliche Maßnahmen zur Verminderung der Erschütterungsimmissionen sind kaum umsetzbar. Gemäß obigen Ausführungen sind erschütterungsmindernde Maßnahmen aus fachlicher Sicht an einem neu zu errichtenden Gebäude im zentralen Baufeld vorzusehen, s. Abschnitt 9.

#### 8.1.2 Bestandsgebäude

Das Bestandsgebäude im Norden grenzt direkt im Osten an den Gleiskörper der Deutschen Bahn AG an, weist einen Abstand zur Gleisachse von rd. 4 m auf und liegt somit erheblich näher an den Gleisen als die Prognosepunkte im Abschnitt 8.1.1.

Gemäß den obigen Ausführungen würden somit erschütterungsmindernde Maßnahmen am Objekt, gleiszugewandt erforderlich. Es würden diese einen baulichen Eingriff entlang der Westfassade und somit aufgrund der örtlichen Gegebenheiten in den Gleiskörper der Deutschen Bahn erfordern, was aller Erwartung nach kaum umsetzbar sein dürfte. Baumaßnahmen am Objekt selbst sind aufgrund des Denkmalschutzes ebenfalls nicht realisierbar.

Ohne erschütterungsmindernde Maßnahmen am Bestandsgebäude sind die Anforderungen der DIN 4150-2 mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht eingehalten und gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse im Objekt nicht gegeben.

## 8.2 Sekundärer Luftschall

Aus der Vorbeifahrtzeit und der Häufigkeit der Vorbeifahrten der jeweiligen Zuggattungen werden getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum die Beurteilungspegel in den Räumen gebildet.

Die ermittelten Sekundärschallpegel können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tab. 8-2 Sekundärschallpegel, Prognose 2030

Prognosepunkt	SW	RW		Sekundärschallpegel in dB(A)	
		tags	nachts	tags	nachts
1	OG	40	30	20,5	15,7
2				18,2	13,4
3				17,5	12,7

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die Richtwerte an allen Prognosepunkten deutlich unterschritten werden. Eine Einhaltung am Bestandsgebäude ist folglich ebenfalls zu erwarten.

## 9. Schutzmaßnahmen

Die DIN 4150-3 gibt in Anhang E Hinweise zur Verminderung von Erschütterungseinwirkungen. Grundsätzlich kommen Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg sowie am Gebäude in Betracht.

Nachdem ein signifikantes Abrücken von der Baugrenze in Richtung Osten aufgrund der örtlichen Gegebenheiten sowie des Umgriffs des Bebauungsplans nicht möglich ist, sieht die DIN 4150-3 als weitere mögliche Maßnahme auf dem Ausbreitungsweg die Einbringung von Bodenschlitzen vor. Derartige Maßnahmen können jedoch eine erhebliche Bautiefe erfordern, sind i. d. R. aufwändig zu planen und bedürfen weitergehender Untersuchungen.

Darüber hinaus können alternativ (oder auch ergänzend) Maßnahmen am Gebäude vorgesehen werden.

Technisch bewährt haben sich schwingungsentkoppelnde Elastomermatten und Polyamid-Multifunktionsmatten, welche an den aufsteigenden Kellerwänden in Richtung der Erschütterungsquelle angebracht werden. Als Montageart ist vorzugsweise ein Verkleben der Matten mit der Fundamentwand zu wählen. Durchdringende Befestigungsmittel, wie etwa Schraubverfahren, reduzieren i. d. R. die Wirksamkeit der Maßnahme.

Es ist zu beachten, dass die Isoliermaßnahme von der Unterkante Bodenplatte bis Oberkante Erdreich durchgängig und lückenfrei ausgeführt wird. Hierbei ist die Sorgfalt bei der Ausführung des oberen Teils der Isolierung wichtiger als im Bereich der Bodenplatte. Auskragende Bauteile (z. B. Lichtschächte) sind in die Isolierung mit einzubeziehen.

Als Material kommen grundsätzlich z. B. folgende Produkte in Frage:

- COLBOND, Enkadrain CK 20 oder ST
- BSW Regufoam 150 oder Regupol PL

Die genaue Materialwahl ist mit dem Hersteller abschließend für den angestrebten Zweck und die gegebene Einbausituation abzustimmen. Dies gilt ebenso für Einbaubedingungen und Anforderungen an die korrekte Bauausführung. Wir übernehmen hierfür keinerlei Gewährleistung, können uns jedoch bei Bedarf in die Umsetzung mit einbringen.

Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass über zusätzlich auf der Sauberkeitsschicht verlegte Elastomermatten (z. B. Systeme Getzner) eine weitestgehende Schwingungsentkopplung des Gebäudes realisiert werden kann.

Mit den o. a. Maßnahmen ist eine Verbesserung der Schwingungsisolation zu erreichen. Hierdurch wird eine verbesserte Grundlage geschaffen, die Anhaltswerte nach DIN 4150-2 für die Beurteilungsschwingstärke  $KB_{FT}$  deutlicher einzuhalten und damit Belästigungen durch Erschütterungseinwirkungen auch bei höheren als hier prognostizierten Erschütterungseinwirkungen aus der Bahn zu vermeiden. Hierdurch ist zugleich eine Erhöhung des Wohncomforts zu erwarten.

Mit der Einreichung des Bauantrags ist für die konkrete Planung die Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150-2 durch geeignete Maßnahmen nachzuweisen.

## 10. Regelungen im Bebauungsplan

### Erschütterungen

#### Begründung

Die Situation innerhalb des Plangebiets im Hinblick auf die Erschütterungsimmissionen aus der Bahnstrecke 5403, Kempten – Garmisch-Partenkirchen gemäß der DIN 4150-2 wurde durch em plan im Vorfeld untersucht. Im Ergebnis sind die Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen auf Menschen nicht eingehalten. Zur Wahrung der Anforderungen der DIN 4150-2 werden erschütterungsmindernde Maßnahmen erforderlich.

Erschütterungsmindernde Maßnahmen sind jedoch aufgrund der örtlichen Gegebenheiten im Bereich des nördlich gelegenen Baufeldes kaum umsetzbar. Auch können am Gebäude selbst keine Maßnahmen umgesetzt werden, da es sich vorliegend um ein Baudenkmal handelt und damit keine signifikanten Eingriffe in die vorhandene Bausubstanz vorgenommen werden können, die das Erschütterungspotenzial mindern. Das Gebäude ist damit nicht für schutzbedürftige Nutzungen im Sinne der DIN 4109-1, Schallschutz im Hochbau geeignet.

#### Hinweise

Aus gutachterlicher Sicht wird dazu geraten, die Ergebnisse der erschütterungstechnischen Untersuchung mit der Umsetzung des Bebauungsplans bei der Maßnahmenplanung zu berücksichtigen.

## 11. Zusammenfassung

Die Gemeinde Pfronten plant die Aufstellung des Bebauungsplans Nr. 64 „Pfronten-Ried/Bahnhofsareal-Ost“. Insgesamt werden zwei Baufelder festgesetzt. Eines im Norden für ein bestehendes und heute zu Lagerzwecken genutztes Gebäude und ein weiteres Baufeld in der Südhälfte für die mögliche Errichtung eines Gebäudeensembles, insbesondere bestehend aus einer ambulanten Pflegeeinrichtung, Arztpraxen und partiellen Wohnnutzungen. Die immissionsschutzrechtliche Schutzbedürftigkeit entspricht aus fachlicher Sicht der von Mischgebieten bzw. Dorfgebieten.

Unmittelbar westlich verläuft die Bahnstrecke 5403, Kempten – Garmisch-Partenkirchen der Deutschen Bahn AG und wirkt abstandsbedingt hinsichtlich der Erschütterungsimmissionen auf Menschen in Gebäuden maßgeblich auf das Plangebiet ein.

Vorliegende Untersuchung stellt auf eine Prognose der Erschütterungen aus dem Schienenverkehr hinsichtlich der Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden gemäß der DIN 4150-2 ab. Die Grundlage bilden im Juni 2023 durchgeführte Erschütterungsmessungen innerhalb des Plangebiets, östlich der Gleise.

Die Untersuchung kommt zu den folgenden Ergebnissen:

1. Der  $KB_{Fmax}$  überschreitet tags sowie nachts den unteren Anhaltswert,  $A_u$  an allen Prognosepunkten und am Bestandsgebäude.
2. Der obere Anhaltswert,  $A_o$  wird durch den  $KB_{Fmax}$ , tags durchweg eingehalten und nachts geringfügig unter- oder überschritten.
3. Ein Vergleich mit der Beurteilungsschwingstärke,  $A_r$  liefert eine Einhaltung des  $A_r$ , tags sowie nachts an den Prognosepunkten 2 und 3. Am Prognosepunkt 1 wird der  $A_r$ , tags überschritten und nachts gerade eingehalten.
4. Die  $KB_{Fmax}$ -Werte liegen bei wenigstens rd. 0,6. KB-Werte ab 0,4 gelten als „gut spürbar“.
5. Eine Ausbildung in Holzbauweise führt mit hoher Wahrscheinlichkeit nur zu einer unwesentlichen Verbesserung. Die Erschütterungen bleiben weiter „gut spürbar“. Der  $KB_{Fmax}$  liegt weiter im Bereich des oberen Anhaltswerts.
6. Summarisch werden unter Berücksichtigung der Prognoseschärfe sowie auf Grundlage der Messdaten in Anbetracht der geringfügigen Über- und Unterschreitung des  $A_o$  durch den  $KB_{Fmax}$  erschütterungsmindernde Maßnahmen im Baufeld im Zentrum erforderlich, um die Anforderungen der DIN 4150-2 einzuhalten und gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse zu wahren.
7. Aufgrund der unmittelbaren Nähe des Bestandsgebäudes im Norden des Plangebiets zu den Gleisen werden am Objekt ebenfalls erschütterungsmindernde Maßnahmen erforderlich. Die Umsetzung der Maßnahmen im Bereich der Westfassade kann nicht ohne einen baulichen Eingriff in den Gleiskörper der Deutschen Bahn AG erfolgen. Maßnahmen am Gebäude sind aufgrund des Denkmalschutzes ebenfalls nicht umsetzbar. Ohne erschütterungsmindernde Maßnahmen sind die Anforderungen der DIN 4150-2 am Bestandsgebäude mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht eingehalten und gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse nicht gewährleistet.

8. Hinsichtlich der Schallimmissionen werden die Richtwerte durch die sekundären Luftschallpegel an allen Prognosepunkten und am Bestandsgebäude deutlich unterschritten.

Die Ergebnisse der Messungen sind in der Anlage beigegeben.

Augsburg, 30.11.2023

Dipl.-Ing. (FH) M. Ertl

B. Sc. L. Mahlkecht



## A) häufig verwendete Abkürzungen

M	Gebietsnutzung: Mischgebiet
$KB_{Fmax}$	Maximale KB-bewertete Schwingschnelle (30 s Taktmaximalverfahren)
$KB_{FTr}$	Beurteilungsschwingschnelle
RV-E	Regionalzug, Bespannung mit E-Lok
RV-ET	Regionalzug, Bespannung mit E-Triebzug
x / y / z	Messrichtung, x / y = horizontal, z = vertikal

## B) Regelwerke

- [1] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen
- [2] DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [3] DB AG, Leitfaden für den Planer, Körperschall und Erschütterungsschutz, August 1996
- [4] DB AG, Richtlinie 820.2050, Erschütterungen und sekundärer Luftschall, 2017
- [5] VDI 3837, Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen – Spektrales Prognoseverfahren, März 2006

## C) Grundlagenverzeichnis

- (1) LARS Consult, Bebauungsplan Nr. 64 „Pfronten-Ried/Bahnhofsareal-Ost“, zum 14.12.2023
- (2) Bayerische Vermessungsverwaltung, digitales Geländemodell 1m-Raster, 27.06.2023
- (3) Bayerische Vermessungsverwaltung, Auszug aus der digitalen Flurkarte, 27.06.2023
- (4) Bayerische Vermessungsverwaltung, LoD2, 31.08.2023
- (5) Bayerische Vermessungsverwaltung, Digitales Orthophoto 40cm, 31.08.2023
- (6) Deutsche Bahn AG, Zugzahlen für die Strecken 5403, Prognose 2030
- (7) Google Earth, Luftbild, erstellt am 27.06.2023

## D) Anlagenverzeichnis

Anlage Nr.	Art	Inhalt
1.1	Lageplan	Untersuchungsgebiet
1.2	Lageplan	Lage Mess- und Prognosepunkte
2	Tabelle	$KB_{Fmax}$ und $KB_{FTr}$

## E) Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: ca. Lage Plangebiet, Quelle: Google Earth .....	5
Abbildung 2: Bebauungsplan Nr. 64 „Pfronten-Ried/Bahnhofsareal-Ost“, zum 14.12.2023, Quelle: LARS Consult.....	7
Abbildung 4: Max-Hold-Spektren der Vorbeifahrten am Messpunkt MP2 .....	19
Abbildung 5: Übertragungsfunktion in das OG bei 25 Hz Deckenresonanzfrequenz.....	19

## F) Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1 Anhaltswerte für Erschütterungs-Immissionen gemäß DIN 4150-2	11
Tab. 3-2 Wahrnehmung von Erschütterungen	11
Tab. 5-1: Übersicht der Messpunkte	14
Tab. 5-2: eingesetzte Messtechnik	14
Tab. 5-3 Strecke 5403, Prognose 2030, Bereich Pfronten-Ried	17
Tab. 6-1: $v_{\max}$ -Werte der Zugvorbeifahrten in mm/s	18
Tab. 7-1 $KB_{F_{\max}}$ und $KB_{F_{Tr}}$ – Werte im obersten Geschoß	20
Tab. 7-2 Sekundärschallpegel, Prognose 2030	22