

Erschütterungstechnische Untersuchung

**zur Neuaufstellung des Bebauungsplans Nr. 206 „Gewerbegebiet an
der Raiffeisenstraße“ in 85276 Pfaffenhofen an der Ilm**

M.Sc. [REDACTED]

B.Sc. [REDACTED]

M.Sc. [REDACTED]

Bericht-Nr.: ACB-0425-246393/03

Datum 29.04.2025

Titel:	Erschütterungstechnische Untersuchung
	zur Neuaufstellung des Bebauungsplans Nr. 206 „Gewerbegebiet an der Raiffeisenstraße“ in 85276 Pfaffenhofen an der Ilm
Auftraggeber:	Stadtverwaltung Pfaffenhofen a. d. Ilm
Auftrag vom:	09.01.2025
Bericht-Nr.:	ACB-0425-246393/03
Umfang:	27 Seiten Bericht
Datum:	29.04.2025
Bearbeiter:	B.Sc. [REDACTED] M.Sc. [REDACTED] M.Sc. [REDACTED]
Zusammenfassung:	Im Rahmen der Neuaufstellung des Bebauungsplans Nr. 206 „Gewerbegebiet an der Raiffeisenstraße“ wurden erschütterungstechnische Untersuchungen durchgeführt, die den Einfluss von Erschütterungsimmissionen durch den Schienenverkehr der nahegelegenen Bahnlinie 5501, München – Ingolstadt auf das beplante Gebiet ergründen sollen. Für die Erstellung der Prognoseberechnungen wurden am 16.04.2025 im Zeitraum von 12:30 Uhr bis 15:30 Uhr auf dem Plangelände Messungen zu den Erschütterungsimmissionen durchgeführt. Auf Grundlage von Messdaten im freien Gelände und unter Berücksichtigung des Schwingungsübertrages auf ein Referenzgebäude auf dem beplanten Gelände (Raiffeisenstraße 4) wurden die Erschütterungsimmissionen prognostiziert. Anhand der Berechnungen kann festgestellt werden, dass bei Bauwerken mit ähnlichen baulichen Eigenschaften wie das Referenzgebäude ab einer Distanz kleiner ca. 6 m zu nächstgelegenen

Gleisachse Überschreitungen der Erschütterungsimmissionen bei einer Einstufung als Gewerbegebiet nach DIN 4150 – 2, mit Blick auf den Schutz von Menschen in Gebäuden, nicht mehr ausgeschlossen werden können. Die Bestandsgebäude befinden sich in deutlich größeren Distanzen, sodass keine Überschreitungen der Anhaltswerte erwartet werden.

Aus den Berechnungen zum sekundären Luftschall kann weiterhin abgeleitet werden, dass der Beurteilungspegel des sekundären Luftschalls den Richtwert nach dem Urteil des BVG vom 19.04.2014 im Gebäude im Tag- und im Nachtzeitraum einhalten wird.

Gebäudeschäden im Sinne der DIN 4150-3 [3] sind im geplanten Gebiet durch den Zugverkehr ebenfalls nicht zu erwarten.

Bei Bauvorhaben mit deutlich geringerer Masse und weniger steifen Deckenausführungen (Bsp. Holzständerbauweise mit Holzbalkendecken) kann es durch die verhältnismäßig tiefen Anregfrequenzen durch den Eisenbahnverkehr schon bei deutlich größeren Distanzen zu Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 kommen. Bei normaler Stahlbeton-Bauweise in Abständen von mehr als 6 m zur Gleisachse sind keine Maßnahmen zum Erschütterungsschutz erforderlich. Da dieser Mindestabstand noch auf den Bahndamm fällt sind aus Sicht des Autors keine zusätzlichen Festsetzungen notwendig.

Inhalt

Quellenverzeichnis	5
1 Anlass und Aufgabenstellung	6
2 Örtliche Situation	6
3 Beurteilungsgrundlage und Immissionsrichtwerte	7
3.1 Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen	8
3.2 Sekundärer Luftschall	10
3.3 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Strukturen	11
4 Messkampagne	13
4.1 Allgemeines	13
4.2 Messgeräte und Zubehör	14
4.3 Aufbau und Durchführung der Messung	14
4.3.1 Emissionsmessungen	15
4.3.2 Transmissionsmessung	15
4.3.3 Transfermessung	15
5 Messauswertung	18
6 Ergebnisse	21
6.1 Bewertung der Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen	23
6.2 Bewertung der Erschütterungseinwirkung auf bauliche Strukturen	25
7 Standardabweichungen und erweiterte Messunsicherheit	26
8 Zusammenfassung	27

Quellenverzeichnis

- [1] DIN 4150-1, Erschütterungen im Bauwesen – Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Dezember 2022
- [2] DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [3] DIN 4150-3, Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Dezember 2016
- [4] Analysis of the aspects affecting sound radiation efficiency based on numerical simulations; Santoni et al inter.noise 2019
- [5] Diverse Planunterlagen vom Auftraggeber
- [6] <https://openrailwaymap.org/>
- [7] DIN 45669-1 Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 1: Schwingungsmesser – Anforderungen und Prüfungen Juni 2020
- [8] DIN 45669-2 Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 2: Messverfahren Feb 2025

1 Anlass und Aufgabenstellung

Im Rahmen der Neuaufstellung des Bebauungsplans Nr. 206 „Gewerbegebiet an der Raiffeisenstraße“ in Pfaffenhofen an der Ilm sollen erschütterungstechnische Untersuchungen durchgeführt werden, die den Einfluss von Erschütterungsemissionen durch den Schienenverkehr der nahegelegenen Bahnlinie 5501, München – Ingolstadt, auf das Untersuchungsgebiet ergründen sollen. Ziel des Bebauungsplans ist die Schaffung der planungsrechtlichen Rahmenbedingungen für künftige Gewerbeentwicklungen nach aktuellem Planungsrecht. Hierfür sollen neben der Ausweisung eines Gewerbegebiets mit eindeutigen Regelungen für betriebsbezogenes Wohnen insbesondere auch klare Vorgaben zum Erschütterungsschutz festgelegt werden.

Das Plangebiet befindet sich am nördlichen Stadtrand von Pfaffenhofen an der Ilm entlang der Raiffeisenstraße und der Bahnstrecke 5501, München – Ingolstadt. Wegen der geringen Distanz des östlichen Bereichs des Plangebietes zur Bahnstrecke wurden die Einwirkungen des Schienenverkehrs auf das Plangebiet messtechnisch erfasst. Da nach Aussage des Auftraggebers von Messungen innerhalb von Gebäuden abgesehen werden sollte, wurden Messpositionen im Freifeld in 2 voneinander räumlich getrennten Teilabschnitten in unmittelbarer Nähe zur Bahnstrecke sowie ein Außenmesspunkt am Fundament eines Bestandsgebäudes ausgesucht.

Die ACCON GmbH (ACCON) wurde am 09.01.2025 von der Stadt Pfaffenhofen an der Ilm damit beauftragt, in einer Untersuchung die Erschütterungsimmissionen durch den Bahnverkehr im Plangebiet messtechnisch zu erfassen, die Erschütterungsimmissionen zu prognostizieren und nach DIN 4150 Teil 2, mit Blick auf den Menschen in Gebäuden und Teil 3, zur Beurteilung des Potenzials von Gebäudeschäden, zu bewerten.

2 Örtliche Situation

Das zu untersuchende Gebiet umfasst eine Fläche von ca. 12 Hektar und ist derzeit einer Nutzung als Industriegebiet zugeordnet. Es befindet sich am nördlichen Stadtrand von Pfaffenhofen an der Ilm. Im Westen wird es begrenzt durch einen Grünstreifen, der als Flutgraben gekennzeichnet ist. Nördlich des Plangebietes verläuft die Raiffeisenstraße, südlich die Weiherer Straße und im Osten schließt die Bahnstrecke 5501, München – Ingolstadt, an. Der Umriss des Plangebietes ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Bahntrasse verläuft in erhöhter Dammelage parallel zum Plangebiet. Entlang der Bahntrasse wurden nach Inaugenscheinnahme keine Auffälligkeiten am Oberbau oder an den Schienen festgestellt. Ebenso sind im relevanten Streckenabschnitt keine Weichen befindlich, durch die von einer erhöhten Erschütterungsbelastung ausgegangen werden könnte.

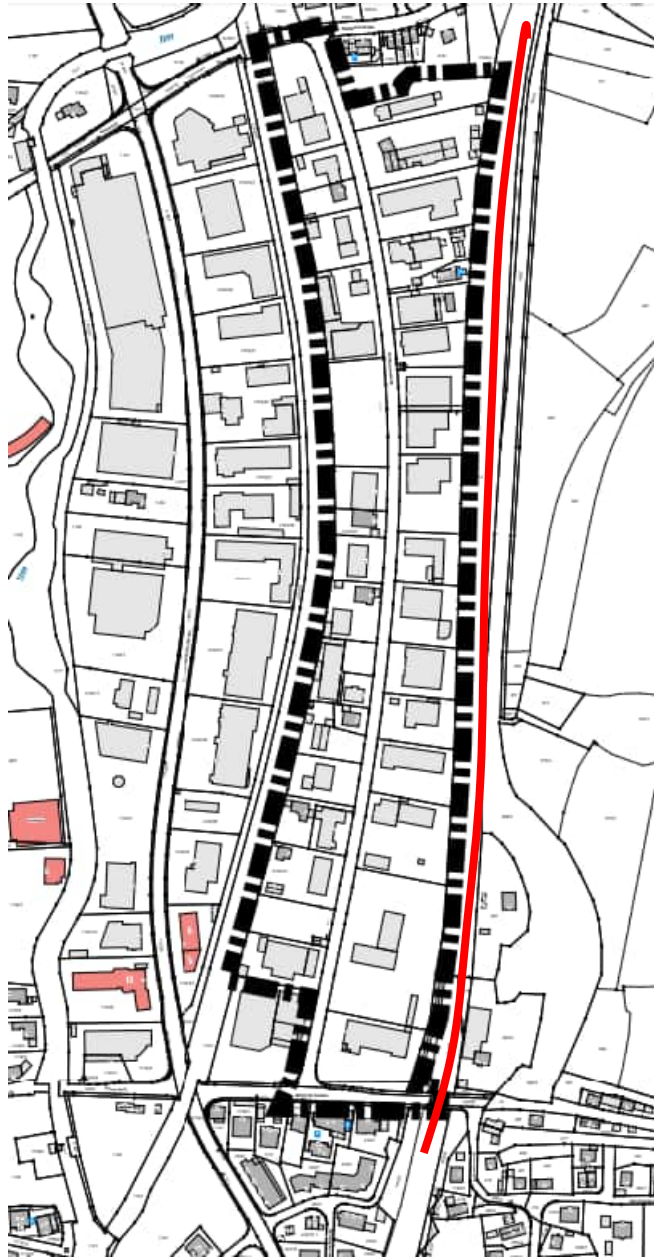


Abbildung 1: Umriss des Plangebietes (schwarz gestrichelte Linie) und skizzierter Verlauf der Bahnstrecke 5501 [5]

3 Beurteilungsgrundlage und Immissionsrichtwerte

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen unterscheidet die DIN 4150 - Reihe [2] [3] zwischen Einwirkungen auf den Menschen in Gebäuden und schädlichen Einwirkungen auf Gebäude. Die Beurteilung bezieht sich auf alle drei Schwingrichtungen, wobei nur der Maximalwert der größten Einzelkomponente zur Beurteilung herangezogen wird. In der Regel werden die maximalen Schwinggeschwindigkeiten in vertikaler Richtung in der Zimmermitte einer frei schwingenden Decke erreicht.

3.1 Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen

Zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkung auf Menschen wird die DIN 4150-2 [2] herangezogen. Zweck der Norm ist die angemessene Berücksichtigung des Erschütterungsschutzes im Immissionsschutz. In der DIN 4150-2 [2] werden Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass in der Regel erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden (s. Tabelle 1).

Für das Plangebiet ist künftig eine Nutzung als Gewerbegebiet vorgesehen, sodass die prognostizierten Erschütterungsimmissionen im Untersuchungsgebiet den entsprechenden Immissionsrichtwerten nach DIN 4150-2 [2] gegenübergestellt werden.

Tabelle 1: Anhaltswerte der DIN 4150-2 [2] für Menschen in Gebäuden

Einwirkungsort	tags (6 ⁰⁰ - 22 ⁰⁰ Uhr)			nachts (22 ⁰⁰ - 6 ⁰⁰ Uhr)		
	A _u	A _o	A _r	A _u	A _o *	A _r
Industriegebiet (I)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
Gewerbegebiet (GE)	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
Mischgebiet (MI)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
allgemeines und reines Wohngebiet (WE)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
Sondergebiete Kliniken (SO)	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

* Für den Schienenverkehr hat der obere Anhaltswert A_o nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen an die Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne KB_{FTI} - Werte gebietsunabhängig über A_o = 0,6 so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen und diese möglichst rasch zu beheben.

KB_F-Wert

Die DIN 4150-2 [2] berücksichtigt mittels einer Frequenzbewertung des Schwinggeschwindigkeitssignals die menschliche Erschütterungswahrnehmung. Diese Frequenzbewertung wird mittels Hochpassfilter mit einer Grenzfrequenz von 5,6 Hz erreicht:

$$KB(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_0}{f}\right)^2}} \quad f_0 = 5,6 \text{ Hz} \quad (1)$$

Nach dieser Frequenzbewertung der Schwinggeschwindigkeit erhält man den dimensionslosen KB - Wert. Zusätzlich wird auf das KB - bewertete Signal der gleitende Effektivwert mit der Zeitkonstanten 0,125 s angewendet und man erhält den KB_F - Wert (siehe Gl. 2), welcher maßgebend für die Bewertung der Erschütterungsimmissionen auf das menschliche Empfinden ist.

$$KB_F(t) = \sqrt{\frac{1}{0,125} \int_{\xi=0}^t e^{-\frac{t-\xi}{0,125}} KB^2(\xi) d\xi} \quad (2)$$

Der maximal erreichte KB_F - Wert (KB_{Fmax}) der einzelnen Zugvorbeifahrten soll den unteren Anhaltswert A_u nach DIN 4150-2 [2] möglichst nicht überschreiten. Überschreitet KB_{Fmax} den oberen Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung an die Norm nicht eingehalten. Ist KB_{Fmax} größer als A_u , jedoch kleiner als der obere Anhaltswert A_o , dann ist die Norm eingehalten, falls die zeitabhängige Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTi} , welche die Verkehrsdichte innerhalb eines Tages- und Nachtzeitraumes berücksichtigt, nicht größer als der Beurteilungswert A_r ist.

KB_{FTi} -Wert

Der KB_{FTi} - Wert dient der Beurteilung der Erschütterungsimmissionen unter Einbeziehung der Häufigkeit vorbeifahrender Züge. Je mehr Züge auf einem Streckenabschnitt verkehren, desto höher wird der KB_{FTi} - Wert. Dabei wird ein Tag in 1920 30-Sekunden Abschnitte und eine Nacht in 960 30-Sekunden Abschnitte eingeteilt, die sogenannten Takte. Maßgebend für die Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke ist hierbei der Maximalwert eines jeden Taktes, der Taktmaximalwert KB_{FTi} . Jeder Takt, bei dem Erschütterungsimmissionen aus den Zugvorbeifahrten den Grenzwert von 0,1 überschreiten, geht in die Berechnung des KB_{FTi} - Wertes folgendermaßen mit ein:

$$KB_{FTi} = \sqrt{\frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^L M_j * KB_{FTm,j}^2} \quad (3)$$

Hierbei ist M die Anzahl an zu erwartenden Zügen je Schicht j (z.B. Güterzüge oder Regionalzüge), N_r die Anzahl der Takte im Beurteilungszeitraum (1920 tags bzw. 960 nachts) und L die Anzahl an unterschiedlichen Schichten.

Für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen aus Schienenverkehr gelten zusätzlich folgende Besonderheiten:

- Für oberirdische Schienenwege des ÖPNV gelten die um den Faktor 1,5 angehobenen A_u - und A_r - Werte der Tabelle 1 der DIN 4150-2 [2].
- Bei städtebaulichen Planungen sollten die Anhaltswerte nach Tabelle 1 der DIN 4150-2 [2] eingehalten werden.
- Für den Schienenverkehr hat der obere Anhaltswert A_o nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne KB_{FTi} - Werte gebietsunabhängig über $A_o = 0,6$, so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z. B. Flachstellen an Rädern) und diese sind möglichst rasch zu beheben. Diese hohen Werte sind bei der Berechnung von KB_{FTi} zu berücksichtigen.

Die Wahrnehmungsstärke von Erschütterungen hängt von der Höhe des KB - Wertes und von der Frequenzzusammensetzung der Erschütterungseinwirkung ab. Für die subjektive Wahrnehmung spielt daneben das übrige Umfeld (Vorhandensein von anderen störenden Umwelteinflüssen) eine Rolle. Die folgende Tabelle kann deshalb nur zur orientierenden Einschätzung der Wirkung von Erschütterungen dienen.

Tabelle 2: Wahrnehmungsstärke von Erschütterungen nach KB – Wert nach [2]

KB - Wert	Wahrnehmung
1,6	stark spürbar
0,6	gut spürbar
0,14	gerade spürbar
0,1	Fühlschwelle

3.2 Sekundärer Luftschall

Im Urteil des Bundesverwaltungsgerichts (BVG) vom 19.04.2014 wird für den aus Erschütterungsimmissionen entstehenden sekundären Luftschall festgelegt:

„Weder für die Ermittlung und Beurteilung von Geräuschimmissionen aus sekundärem Luftschall noch für eine diesbezügliche Zumutbarkeitsschwelle gibt es normative Festsetzungen. Welche Innenschallpegel für die Bewohner von Häusern zumutbar sind, kann jedoch in Orientierung an den Vorgaben der auf öffentliche Verkehrsanlagen bezogenen Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV [12]) bestimmt werden, da es sich auch beim sekundären Luftschall um einen verkehrsinduzierten Lärm handelt ... Zutreffend geht diese auch davon aus, dass in Übereinstimmung mit den Vorgaben der 24. BImSchV die Zumutbarkeitsschwelle für einwirkenden sekundären Luftschall bei 40 dB(A) tags für Wohnräume und 30 dB(A) nachts für Schlafräume liegt.“

Danach gelten für Wohnräume, unabhängig von der Lage des Gebäudes und der Gebietseinstufung, folgende Richtwerte:

Tabelle 3: Richtwerte für Sekundärschall in Gebäuden

Beurteilungszeitraum	Tag (6 - 22 Uhr) Wohnzimmer	Nacht (22 - 6 Uhr) Schlafzimmer
Sekundärluftschall	40 dB(A)	30 dB(A)

Die Richtwerte in Tabelle 3 beziehen sich auf Mittelungspegel ($L_{m,sek}$) über die jeweilige Beurteilungszeit.

Die Berechnungen zu den zu erwartenden sekundären Luftschallpegeln basieren auf den Resultaten zu den prognostizierten Schwinggeschwindigkeiten in Deckenmitte der Plangebäude. So wird anhand von Deckendimension und -material die entsprechende Abstrahlcharakteristik abgeleitet, wodurch eine Approximation zum Schalldruckpegel L_p während der einzelnen Zugvorbeifahrten möglich ist. Durch die A-Bewertung des so berechneten Schalldruckpegels wird dabei die Frequenzempfindlichkeit des menschlichen Gehörs berücksichtigt.

Bei der Berechnung des Beurteilungspegels L_r wird die Einwirkzeit der Immissionen durch die Zugvorbeifahrten auf Basis der Zugprognosezahlen berücksichtigt. Diese erfolgt separat für den Tag- (6 bis 22 Uhr) sowie für den Nachtzeitraum (22 bis 6 Uhr).

3.3 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Strukturen

Die DIN 4150-3 [3] behandelt den Schutz vor Gebäudeschäden. Diese Norm nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht zu erwarten sind. Werden die Anhaltswerte überschritten, folgt daraus nicht, dass zwangsläufig Schäden auftreten müssen.

Die zeitliche Einwirkdauer der Erschütterungen auf bauliche Strukturen wird dabei in zwei Kategorien eingeteilt, denen jeweils unterschiedliche Anhaltswerte zugeteilt werden.

Das sind zum einen kurzzeitige Erschütterungsereignisse, welche impulsartig und nicht wiederholend auftreten und daher kein Potenzial haben, eine bauliche Struktur oder deren bauliche Teile in Resonanz zu versetzen (Beispiele: Sprengung; Aufprall eines herabfallenden Betonteils).

Zum andern werden Dauererschütterungen definiert, welche wiederholend in einer solchen Taktrate auftreten, dass sie das Potenzial haben, Resonanzerscheinungen in den baulichen Strukturen hervorzurufen, die zur Ermüdung der Baustruktur führen können (Beispiele: Rüttelwalze und Vibrationsramme).

In Tabelle 4 sind für verschiedene Gebäudearten Anhaltswerte der Schwinggeschwindigkeiten am Fundament und in der Deckenebene des Obergeschosses angegeben, die für kurzzeitige Erschütterungen geltend gemacht werden. Diese Anhaltswerte sind frequenzabhängig, da bei tieferen Frequenzen die Wahrscheinlichkeit größer ist, dass das gesamte Gebäude oder Teile des Gebäudes in Resonanz geraten und Schäden entstehen. Abbildung 2 stellt die Anhaltswerte für das Fundament nochmals grafisch dar.

Tabelle 4: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v in mm/s zur Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen auf Bauwerke durch kurzzeitige Erschütterungen.

Messort	Fundament, Maximale Schwingungsrichtung [mm/s]			Oberstes OG, horizontale Schwingungen [mm/s]	Deckenebenen, vertikale Schwingung [mm/s]
	< 10 Hz	10 - 50 Hz	50 – 100 Hz	alle Frequenzen	
Industriebau, gewerbliche Bauten	20	20 - 40	40 – 50	40	20
Wohngebäude	5	5 - 15	15 – 20	15	20
Empfindliche Bauten, Denkmalschutz	3	3 - 8	8 – 10	8	20

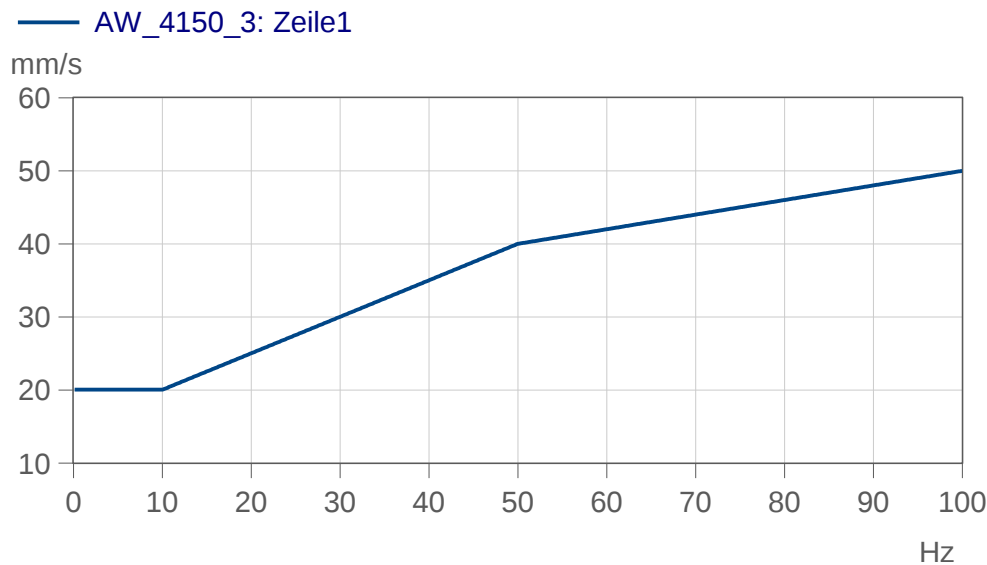


Abbildung 2: Fundament Anhaltswerte für gewerbliche Bauten nach Tabelle 4.

Bei auf bauliche Strukturen wirkende Dauererschütterungen ist die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass diese Resonanzeffekte hervorrufen oder durch die Dauerbelastung Ermüdungserscheinungen auftreten. Daher sind die Anhaltswerte für die maximalen Schwinggeschwindigkeiten durch Dauererschütterungen, im Vergleich zu denen der kurzzeitigen Erschütterungen, reduziert.

In Tabelle 5 werden die Anhaltswerte bei dauerhaften Erschütterungen nach DIN 4150-3 [3] benannt.

Tabelle 5: Anhaltswerte für die maximale, frequenzunabhängige Schwinggeschwindigkeit $v_{\max}$ in mm/s zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke.

Gebäudeart	Oberste Deckenebene, horizontale Schwingungen	Deckenebenen, Vertikale Schwingungen
Industriebau, gewerbliche Bauten	10	10
Wohngebäude	5	10
empfindliche Bauten, Denkmalschutz	2,5	10

4 Messkampagne

4.1 Allgemeines

Die Messungen wurden am 16.04.2025 im Zeitraum von ca. 11:30 bis 15:30 Uhr durchgeführt. Während der Messperiode wurde das Untersuchungsgebiet an 2 örtlich getrennten Bereichen

entlang zweier zur Bahntrasse rechtwinklig ausgerichteten Messquerschnitte (MQs) erschlossen. Zum einen wurde ein MQ auf dem Betriebsgelände der HECHINGER BAU GMBH an der Raiffeisenstraße 4 angelegt und zum anderen auf dem Gelände des Getränkemarkt Schindlbeck in der Raiffeisenstr. 34. Die Messingenieure waren Herr Pehe und Herr Binnig von der Firma ACCON GmbH. Zum Zeitpunkt der Messungen war es sonnig bei 20°C bis 25°C Außentemperatur und einer Luftfeuchtigkeit von 29 %.

4.2 Messgeräte und Zubehör

Die Beschleunigungsaufnehmer messen die Beschleunigung der vertikalen Komponente in m/s^2 . Das gemessene Signal wird digitalisiert und auf Festplatte gespeichert. Die Beschleunigungssensoren unterliegen einer regelmäßigen Kontrolle auf Einhaltung ihrer Spezifikationen. Für die Durchführung der Messungen wurde das in Tabelle 6 aufgelistete Messequipment verwendet. Während der Messung wurde eine Abtastrate von 2000 S/s verwendet.

Tabelle 6: Verwendetes Messgerät für die Anlagenmessung

Art der Messgeräte	Hersteller	Typ	Serien-Nummer	Messposition/ Befestigung
Messequipment an der Raiffeisenstraße 4				
16 Kanal Daten-	Dewesoft	Sirius-HD-16xACC	DB24051276	
Kanal 1 – V1_z	PCB Piezotronics	393A03	17346	12 m Punkt Freifeld
Kanal 2 – V2_z	PCB Piezotronics	393A03	17347	24 m Punkt Freifeld
Kanal 3 – V3_z	PCB Piezotronics	393A03	17348	36 m Punkt Freifeld
Kanal 4 – V4_z	PCB Piezotronics	393A03	17349	24 m Punkt Fundament
Messequipment an der Raiffeisenstraße 34				
16 Kanal Daten-	Dewesoft	Sirius-HD-16xACC	DB24022165	
Kanal 5 – V5_z	PCB Piezotronics	393A03	17344	12 m Punkt Freifeld
Kanal 6 – V6_z	PCB Piezotronics	393A03	22995	24 m Punkt Freifeld
Kanal 7 – V7_z	PCB Piezotronics	393A03	22996	36 m Punkt Freifeld
Kanal 8 – V8_z	PCB Piezotronics	393A03	22997	40 m Punkt Freifeld
Kanal 9 – V9_z	PCB Piezotronics	393A03	65112	40 m Punkt Fundament

4.3 Aufbau und Durchführung der Messung

Die Messstrategie sieht vor, die Erschütterungsimmissionen entlang der Bahnstrecke am nördlichen und südlichen Abschnitt des Plangebietes im Freifeld messtechnisch zu erfassen und die zu erwartenden Erschütterungsemissionen durch den Bahnverkehr zu quantifizieren (Emissionsmessungen). Anhand von Messungen am Fundament eines für die Region typischen Bestandsgebäudes wird zusätzlich der Eintrag von Schwingungen im freien Gelände auf das Gebäude ermittelt (Transferfunktion). Anhand dieser Transferfunktion lassen sich die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen innerhalb eines Gebäudes bei gegebener Anregung prognostizieren. Zusätzlich wurden Messungen entlang eines Messquerschnitts von

26 m mit künstlicher Anregung durch einen Impulshammer durchgeführt, um somit die Amplitudenabnahme zu bestimmen.

Zusammenfassend sind somit die folgenden 3 Teilmessungen durchgeführt worden:

- **Emissionsmessung** an der Bahntrasse
- **Transmissionsmessung** zur Bestimmung der Amplitudenabnahme mit der Distanz zur Quelle
- **Transfermessung** zur Erfassung der Schwingungsübertragung in ein Gebäude

4.3.1 Emissionsmessungen

Um die Erschütterungsemissionen des Eisenbahnverkehrs zu erfassen, wurden 2 Messquerschnitte (MQ) rechtwinklig zur Bahntrasse aufgebaut. Entlang des südlichen Messquerschnitts auf dem Gelände der Raiffeisenstr. 4 wurden in Distanzen zur nächstgelegenen Gleisachse von 12 m, 24 m und 36 m Messsensoren angeordnet. Entlang des nördlichen Messquerschnitts auf dem Gelände der Raiffeisenstr. 34 wurden in Distanzen von 12 m, 24 m, 36 m und 40 m Messsensoren angeordnet. Die Messgebiete sind in Abbildung 3 dargestellt.

4.3.2 Transmissionsmessung

Die durchgeführte Ausbreitungsmessung dient dazu, die distanzabhängige Amplitudenabnahme der Schwinggeschwindigkeiten zu ermitteln. Im rechten Winkel von der Bahntrasse zur Bestandsbebauung wurde mit Anregung durch eine künstliche Quelle auf dem Gelände der Raiffeisenstraße 4 die Ausbreitung der Schwingungen dokumentiert. Ursprünglich sollte eine weitere Ausbreitungsmessung entlang des Messquerschnitts auf dem Gelände der Raiffeisenstr. 34 vorgenommen werden, die jedoch in Ermangelung einer unversiegelten Fläche verworfen wurde.

Für die Transmissionsmessungen wurden die Messsensoren auf einer Geraden angeordnet. Als anregende Quelle wurde ein Impulshammer verwendet, der auf eine auf dem Boden befindliche Stahlplatte geschlagen wurde.

Die Distanzen der einzelnen Messpunkte zur Quelle (Impulshammer) betrugen 2 m (MP1), 14 m (MP2) und 26 m (MP3).

4.3.3 Transfermessung

Zur Ermittlung der Übertragungsfunktion vom Erdreich ins Gebäude wurden am Gebäude in der Raiffeisenstr. 4 Messungen durchgeführt, bei denen ein Messsensor außerhalb des Bauwerks im freien Gelände und auf Höhe der Gebäudefront positioniert war und ein weiterer am Fundament ebenfalls auf Höhe der Gebäudefront. Die Anregung erfolgte durch Anschlag einer Metallplatte auf dem Boden mittels Impulshammer in einer Distanz von 14 m zu den beiden Messpunkten.

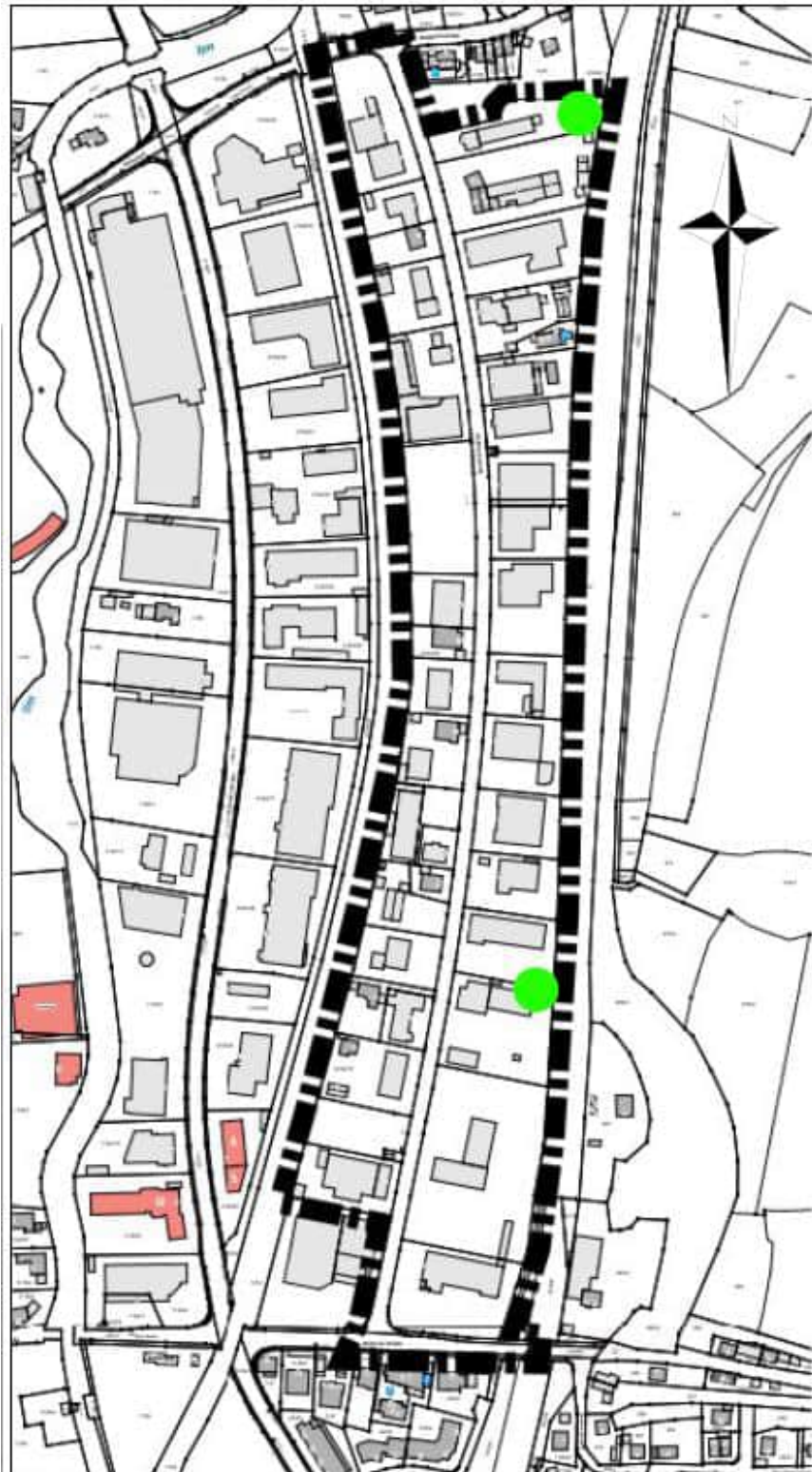


Abbildung 3: Übersichtsplan[5] mit den Messbereichen im Norden und Süden des Plangebiets (grüne Markierungen)

Fotos von den Messsensoren im südlichen Bereich des Plangebietes auf dem Gelände der Raiffeisenstr. 4 sind in Abbildung 4 bis Abbildung 7 dargestellt.

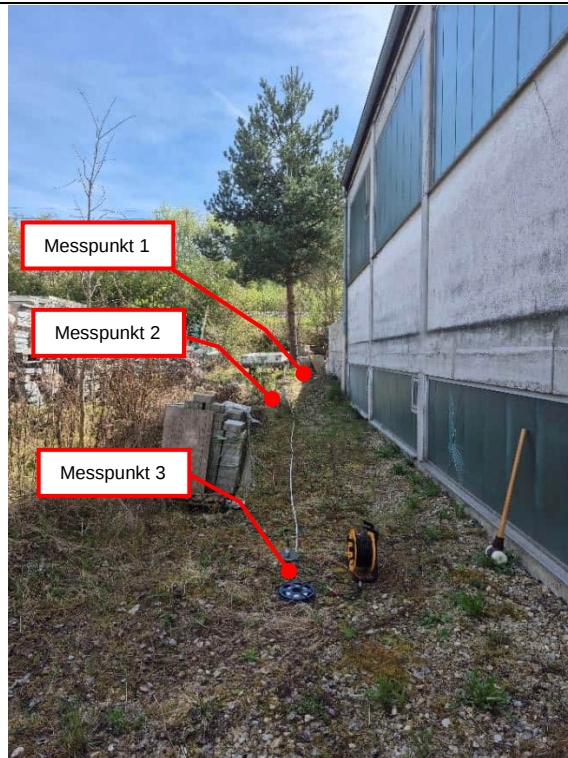


Abbildung 4: Messsensoren (MP1, MP2 und MP3) im Gelände; Aufnahme in Richtung Bahntrasse



Abbildung 5: Nahaufnahme Messsensor (MP2) im Gelände; Aufnahme in Richtung Bahntrasse

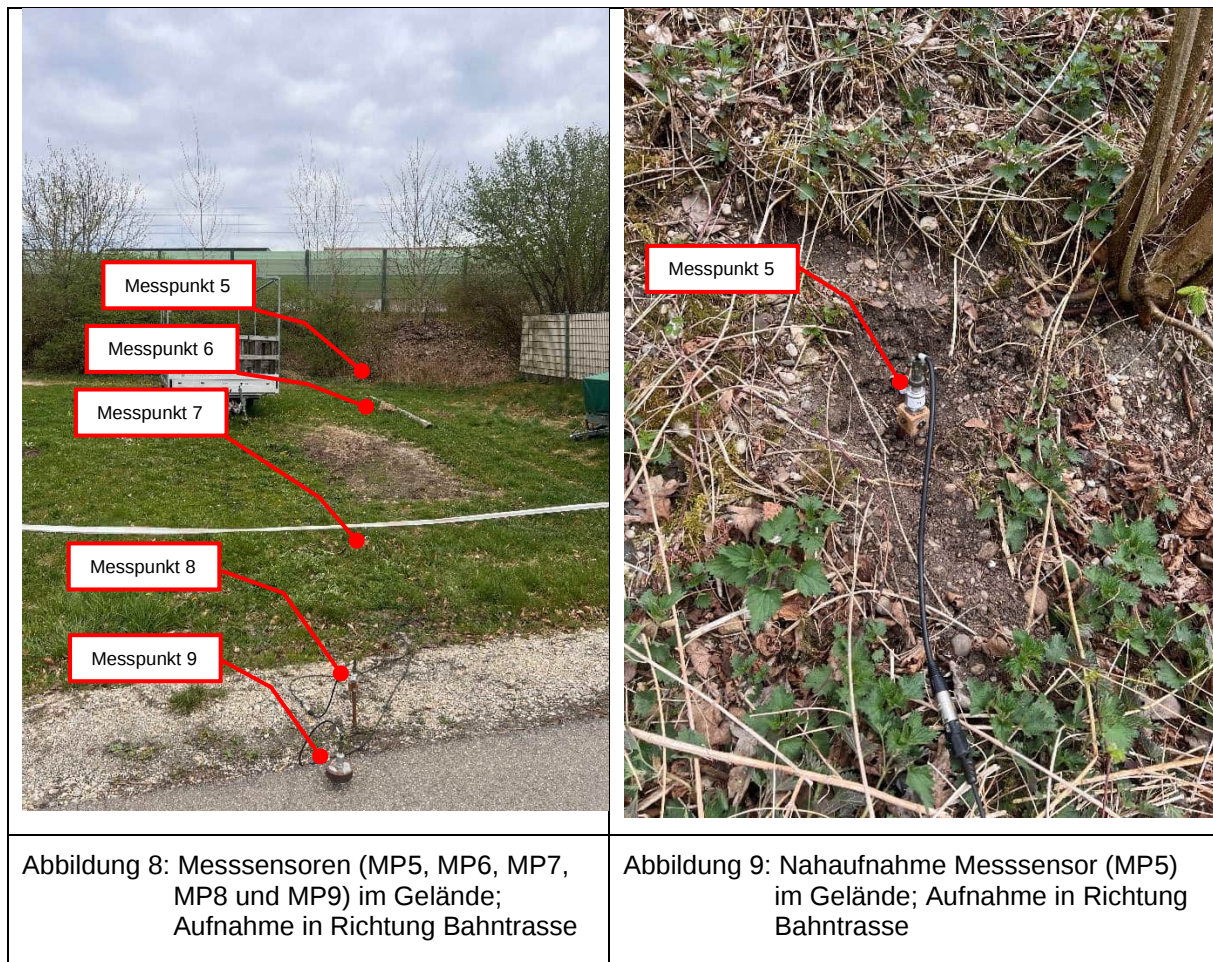


Abbildung 6: Nahaufnahme Messsensor (MP1) im Gelände (12-m-Punkt); Aufnahme in Richtung Bahntrasse



Abbildung 7: Messsensor (MP4) am Fundament des Gebäudes in der Raiffeisenstr. 4; Aufnahme in Richtung Norden

Fotos von den Messsensoren im nördlichen Bereich des Plangebietes auf dem Gelände der Raiffeisenstr. 34 sind in Abbildung 8 und Abbildung 9 dargestellt.



5 Messauswertung

Zur Auswertung der Messdaten wurde die Software imc Famos professional 2024 und Microsoft® Excel® für Microsoft 365 MSO eingesetzt. Als Beispiel für die gemessenen Schwingungen im Freifeld sind die jeweils am 12-m-Punkt im Süden (Raiffeisenstr. 4) und im Norden (Raiffeisenstr. 34) des Untersuchungsgebietes über einen Zeitraum von 30 Minuten aufgenommenen Schwinggeschwindigkeiten dargestellt (s. Abbildung 10).

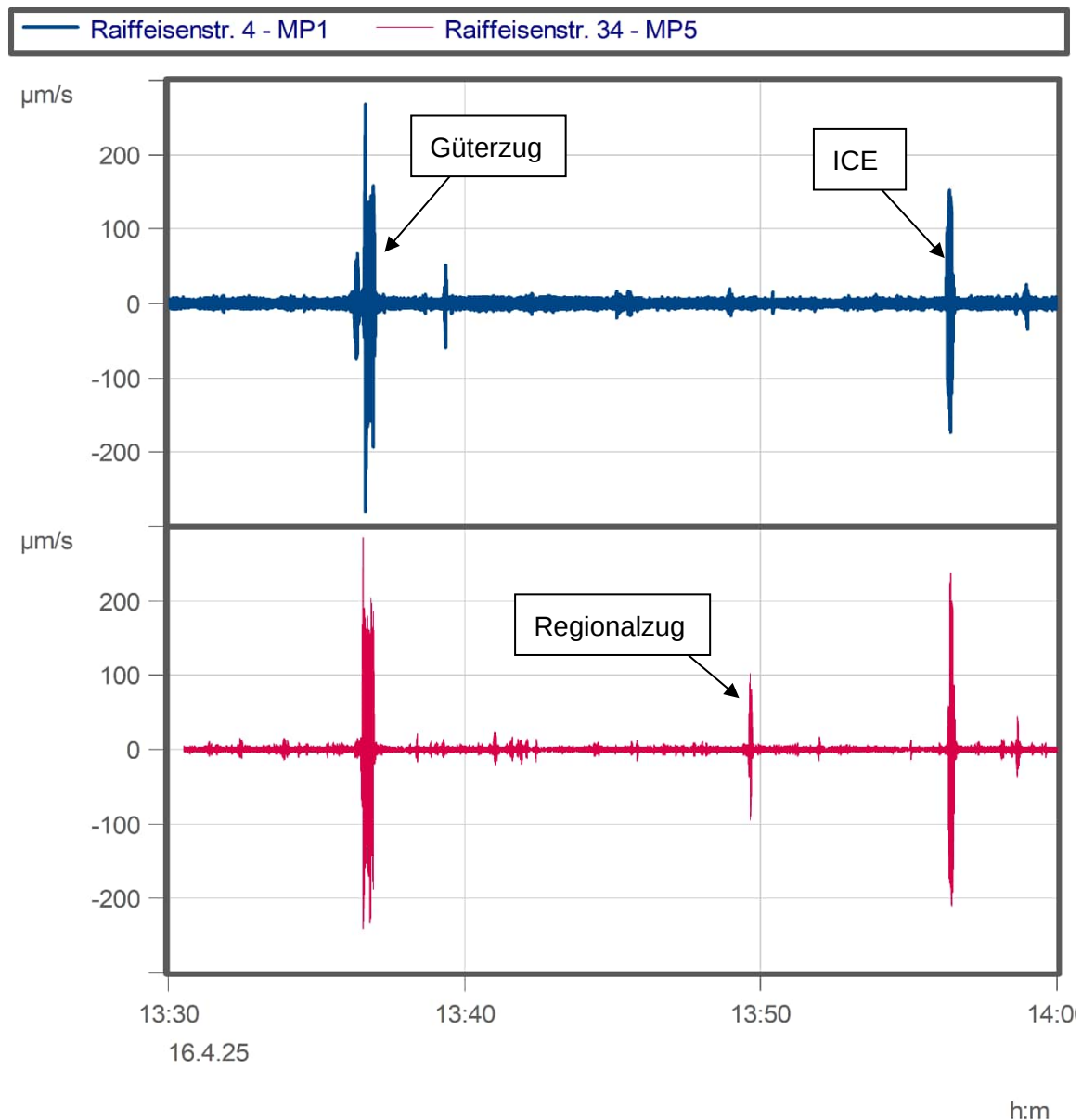


Abbildung 10: Gemessene Schwinggeschwindigkeiten am 12-m-Messpunkt im Freifeld im Süden (blaue Kurve) und im Norden (rote Kurve) des Plangebietes.

Die Vorbeifahrten des Güterzugs und ICE's sind deutlich an beiden Messpunkten zu erkennen und liegen mit ihrer maximal erreichten Schwingamplitude in den oben gezeigten Aufzeichnungen bei ca. 0,25 mm/s.

Für eine erste Einschätzung der Intensität der Erschütterungsimmissionen im Plangebiet werden zunächst die Amplitudenspektren der beiden 12-m-Messpunkte an der Raiffeisenstr. 4 und 34 gegenübergestellt (Abbildung 11 und Abbildung 12), um örtliche Unterschiede der Emissionen im Plangebiet zu eruieren. Die Amplitudenspektren sind über die Zugvorbeifahrten energetisch gemittelte Spektren und werden als Schmalbandspektrum mit einer Bandbreite von 1 Hz abgebildet.

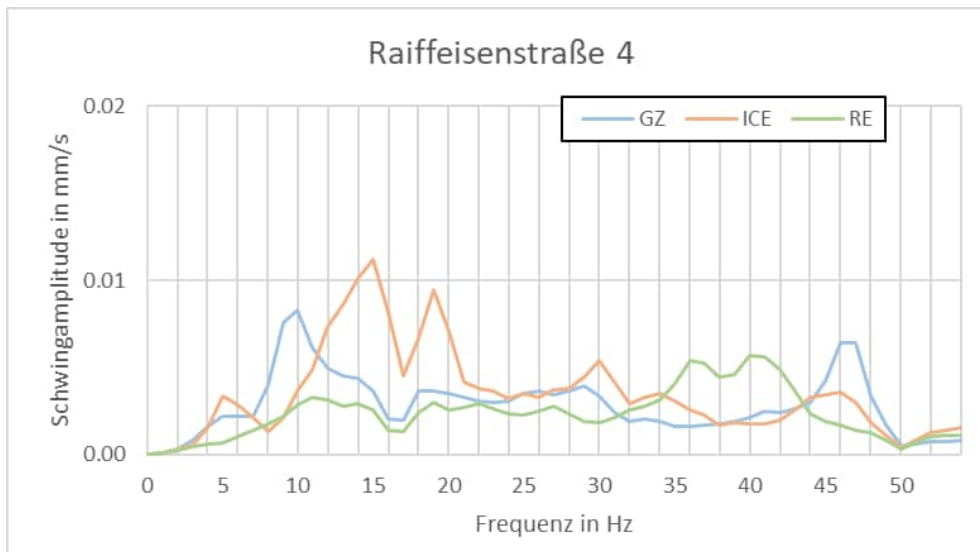


Abbildung 11: Gemitteltetes RMS-Amplitudenspektrum der einzelnen Zuggattungen am Messpunkt 1

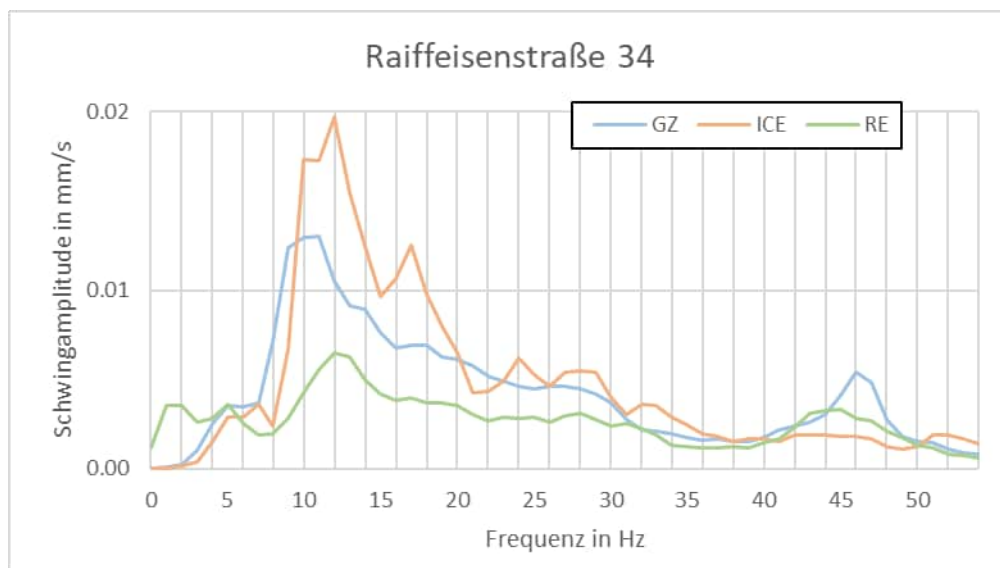


Abbildung 12: Gemitteltetes RMS-Amplitudenspektrum der einzelnen Zuggattungen am Messpunkt 5

Es zeigt sich, dass die höchsten Schwingamplituden durch den ICE-Verkehr auf dem Gelände der Raiffeisenstraße 34 im Norden des Plangebietes erreicht werden. Die durch den Güterzugverkehr hervorgerufenen Erschütterungsimmissionen erreichen nicht die Maximalwerte des ICE-Verkehrs, sind jedoch im niedrigen Frequenzbereich dominant. Auch hier werden im Norden des Plangebiets in der Raiffeisenstr. 34 höhere Amplituden erreicht. Der Regionalverkehr spielt mit Blick auf die Erschütterungseinwirkungen im Vergleich zu den beiden anderen Zuggattungen nur eine untergeordnete Rolle. Für eine detaillierte Untersuchung werden die Messergebnisse der Raiffeisenstraße 34 herangezogen, um zu gewährleisten, dass die Prognosen zu den Erschütterungsimmissionen nicht unterschätzt werden.

Relevante, bzw. messbare Schwingungen durch den Eisenbahnverkehr treten im Bereich von ca. 4 bis 50 Hz auf, wobei die maximalen Schwingamplituden zwischen 7 Hz und 20 Hz erreicht werden.

6 Ergebnisse

Für die detaillierte Datenauswertung und Prognose wurden 19 Zugvorbeifahrten gemessen, am 12-m-Punkt ausgeschnitten und das Max-Hold Spektrum berechnet. Das Max-Hold Spektrum spiegelt die maximal erreichten Schwinggeschwindigkeiten wider, sodass die Berechnungen zu den Erschütterungsimmissionen den Worst-Case abbilden. Dieses Spektrum wird mit der ermittelten Transferfunktion verrechnet, sodass man die Schwingungen auf Deckenebene erhält. Die prognostizierten maximalen und frequenzbewerteten KB-Werte (KB_{FTi}) der einzelnen Zugvorbeifahrten getrennt nach Zuggattung sind in unten gezeigten Abbildungen grafisch dargestellt:

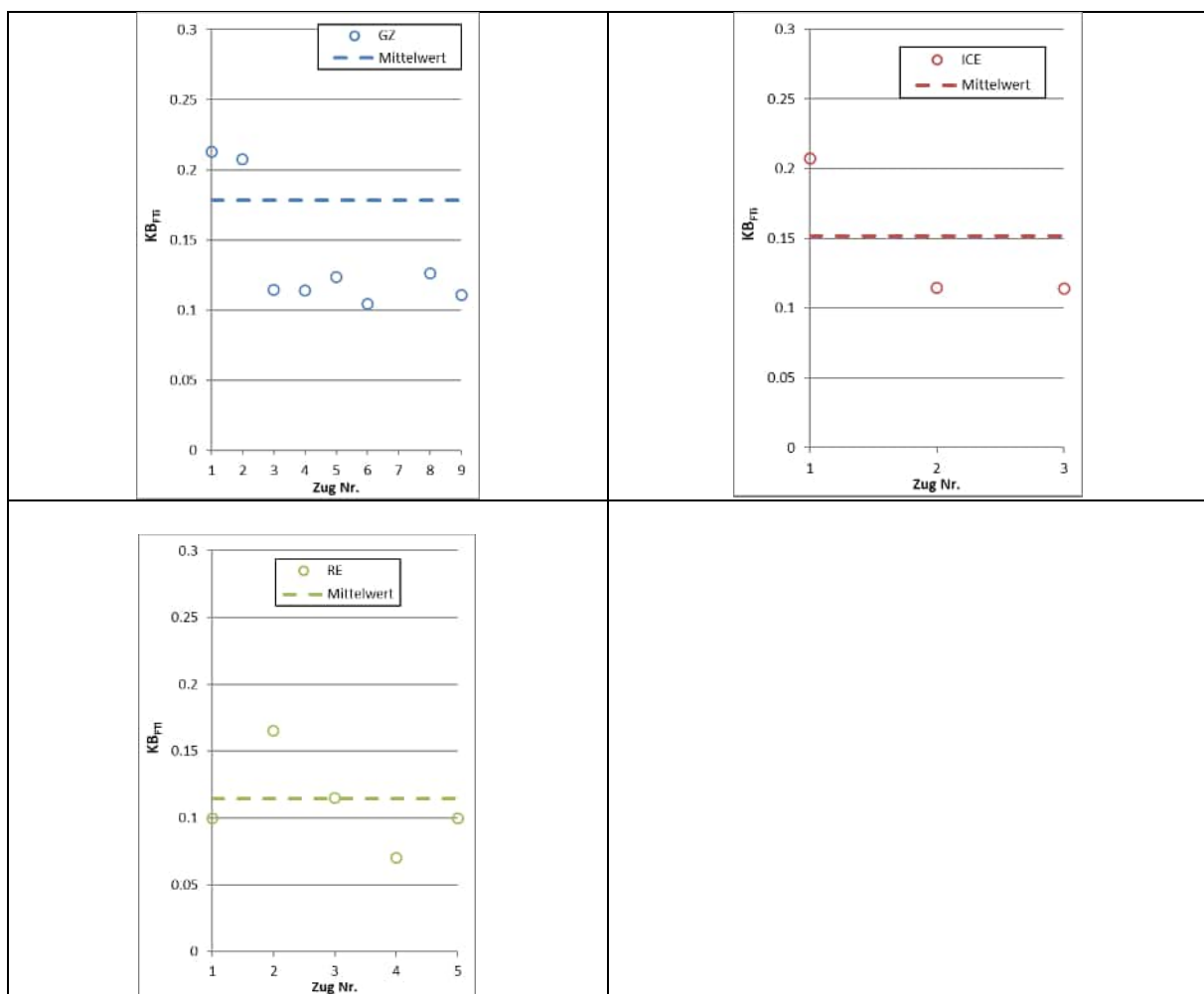


Abbildung 13: Prognostizierte KB_{FTi} – Werte durch GZ-Verkehr (l.o.), ICE-Verkehr (r.o.) und RE-Verkehr (l.u.) während der einzelnen Zugvorbeifahrten in 12 m Entfernung von der Bahntrasse

Die KB_{FTi} – Prognosewerte der Zuggattungen GZ, ICE und RE liegen im Mittel im Bereich der Fühlschwelle (ab ca. 0,1 vgl. Tabelle 2). Die maximalen Taktmaximalwerte (KB_{FTi}) treten bei GZ-Vorbeifahrten mit Werten bis zu über 0,2 auf. Überschreitungen des oberen Anhaltswertes A_o sind auch im Nachtzeitraum bei einer Distanz von 12 m zur nächstgelegenen Gleisachse nicht zu erwarten. Einzelne Zugvorbeifahrten sind jedoch bei GZ- und ICE-Vorbeifahrten in dieser Distanz als leicht spürbar wahrnehmbar.

Der KB_{FTi} – Wert wird unter Berücksichtigung der Zugverkehrszahlen und somit mit Berücksichtigung der Verkehrsdichte auf der Bahnstrecke 5501 berechnet. Die herangezogenen Zugverkehrszahlen der DB AG sind in Tabelle 7 aufgelistet:

Tabelle 7: Zugverkehrszahlen für das Jahr 2030 der DB AG

Prognose Strecke 5501 für das Jahr 2030 gemäß Deutschlandtakt

Km: 76,7		bis 77,2	
Zugart	Anzahl pro Tag	Anzahl pro Nacht	max. zul. Geschwindigkeit in km/h
GZ	94	92	160
ICE	296	30	190
RE	126	18	160
	548	149	Summe beider Richtungen

6.1 Bewertung der Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen

Unter Berücksichtigung der Zugverkehrszahlen für das Jahr 2030 erhält man für den Tag- und den Nachtzeitraum KB_{FTr} – Werte, wie sie in untenstehender Tabelle 8 für einen Abstand von 12 m zur Gleisachse dargestellt sind. Die berechneten Schwingwerte werden den Anhaltswerten für ein als Gewerbegebiet eingestuftes Gelände gegenübergestellt.

Tabelle 8: KB_{FTr} – Werte für den Tag- und den Nachtzeitraum mit Anhaltswerten

	mittlerer KB_{Fmax}	A_0 nachts	KB_{FTr} tags	A_r tags	KB_{FTr} nachts	A_r nachts
GZ	0.16	0.6	0.06	0.15	0.06	0.1
ICE	0.15					
RE	0.11					

Nach den Prognoseergebnissen sind unter Annahme von einer Bausubstanz, die der des Referenzgebäudes in der Raiffeisenstraße 4 entspricht, in einer Distanz von 12 m zur nächstgelegenen Gleisachse keine Überschreitungen der Anhaltswerte im Tag- (A_r tags) und im Nachtzeitraum (A_r nachts) zu erwarten.

Für eine Abschätzung einer kritischen Distanz zur Bahntrasse, ab welcher mit erheblichen Belästigungen der Bewohner und Nutzer ausgegangen werden kann, werden die Ergebnisse der Ausbreitungsmessung bzw. die im Plangebiet ermittelte Pegelabnahme herangezogen. Die Schwingamplituden gemessen an den Messpunkten 1 bis 3 durch Anregung mit Hammer Schlag sind in untenstehender Abbildung 14 dargestellt.

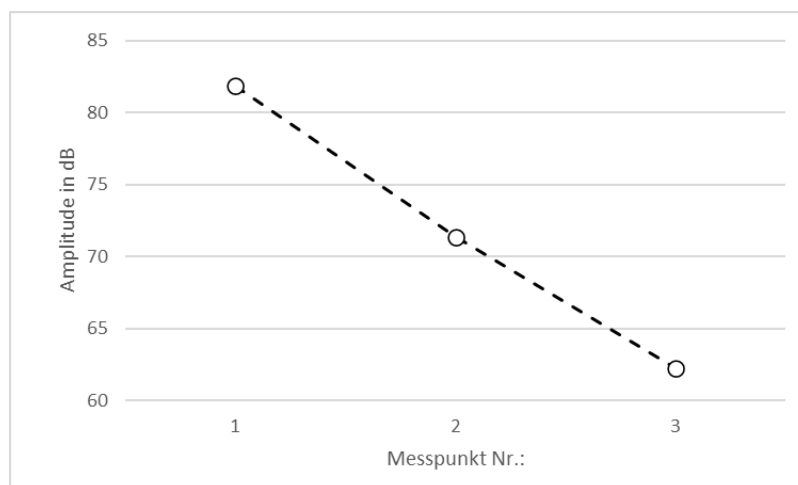


Abbildung 14: Schwingpegel an den einzelnen Messpunkten

Für die Prognosen wird eine Abklingrate von 8 dB pro 10 m Distanz zur Quelle ermittelt. So ergeben sich auf Basis der Messergebnisse Überschreitungen bei Distanzen unterhalb von 6 m zur nächstgelegenen Gleisachse.

Sekundärer Luftschall

Im folgenden Abschnitt wird der prognostizierte maximale sekundäre Luftschallpegel $L_{\text{sek,Amax}}$ (vergleiche z. B. [4]) der einzelnen Zuggattungen sowie der Beurteilungspegel L_r unter Berücksichtigung aller Zuggattungen und der zu erwartenden Zugverkehrszahlen für den Nacht- und Tagzeitraum angegeben und den Immissionsrichtwerten (IRW) von 30 dB(A) (nachts) und 40 dB(A) (tags) gegenübergestellt. Die Berechnungen werden für den wahrscheinlichen Fall, bei dem die Mittelwerte der Erschütterungsimmissionen der vorbeifahrenden Züge herangezogen werden, angewendet.

Tabelle 9: Ergebnisse zum sekundären Luftschallpegel

$L_{\text{sek,Amax}}$	Sek. Schallpegel in dB(A)	IRW in dB(A)
GZ	35	
ICE	38	
RE	33	
-		
$L_{r,Tags}$	26	40
$L_{r,Nachts}$	25	30

Von einer unzulässig hohen Schallimmission aus dem sekundären Luftschall ist nach den Prognoseberechnungen sowohl im Tag- als auch im Nachtzeitraum nicht auszugehen.

6.2 Bewertung der Erschütterungseinwirkung auf bauliche Strukturen

Die gemessenen Dauerschütterungen lagen durchweg unterhalb 0.05 mm/s am Fundament in 24 m Abstand zur Gleisachse. Da für die Beurteilung der Dauererschütterungen die Schwingungen der obersten Deckenebene relevant sind, wird dieser Wert verdreifacht (+10dB), um einer etwaigen resonanzartigen Verstärkung und höheren horizontalen Schwingungen im Obergeschoss Rechnung zu tragen. Bei einer Erhöhung um 8 dB/10 m ergibt sich ein konservativer Umrechnungsfaktor von 6 für einen 6 m Abstand. Damit werden Dauererschütterungen für diesen Abstand auf 0.75 mm/s abgeschätzt.

Für Abstände größer als 6 Meter zur Gleisachse ist das Auftreten von Dauererschütterungseinwirkungen aus dem Bahnverkehr auf bauliche Strukturen, die den Anhaltswert von 10 mm/s aus Tabelle 5 überschreiten auszuschließen.

Zur Beurteilung kurzzeitiger Erschütterungen werden informativ die Fundamentalschwingungen der erschütterungsintensivsten Zugvorbeifahrt herangezogen. Abbildung 15 zeigt den zeitlichen Verlauf und ein normiertes Spektrum der gemessenen Schwinggeschwindigkeiten.

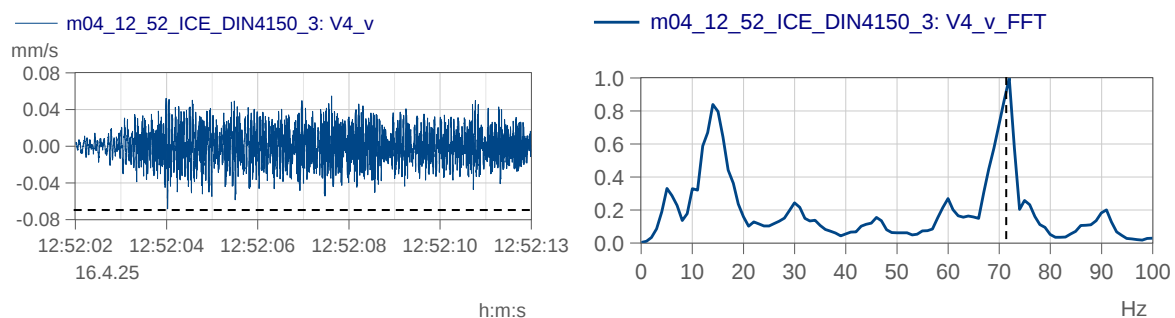


Abbildung 15: Erschütterungsintensivste Vorbeifahrt ICE am Messpunkt V4 (Fundament Raiffeisenstr 4).

Die Maximalamplitude ergibt sich nach Abbildung 15 (links, gestrichelte Linie) zu 0,07 mm/s. Bei einer Erhöhung um 8 dB/10 m ergibt sich ein konservativer Umrechnungsfaktor von 6 für einen 6 m Abstand. Damit werden kurzzeitige Erschütterungen für diesen Abstand auf 0.42 mm/s abgeschätzt. Zur Ermittlung des Anhaltswertes wird die dominante Frequenz aus Abbildung 15 (rechts gestrichelte Linie) von 72 Hz herangezogen. Damit ergibt sich der Anhaltswert gemäß Abbildung 2 zu 44,4 mm/s. Damit wird gerade einmal etwa 1% des Anhaltswertes ausgeschöpft.

Damit sind für Abstände größer als 6 Meter zur Gleisachse, Überschreitungen der Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen aus dem Bahnverkehr auf bauliche Strukturen, die die Anhaltswerte aus Tabelle 4 überschreiten auszuschließen.

7 Standardabweichungen und erweiterte Messunsicherheit

Die Messung der vertikalen Erschütterungsimmissionen am Messpunkt V4 (am Fundament ca. 24 m von der Gleisachse), die für die Beurteilung herangezogen wurden, erfolgt gemäß [8] mit einer Messunsicherheit von 4%.

Bei einer Ankopplung ans Erdreich wie an den Messpunkten V1-3 beziehungsweise V5-V8 kann die Messunsicherheit nicht quantifiziert werden. Für die Ermittlung der Ausbreitungseigenschaften des Untergrunds waren die Messdaten plausibel. An den Messpunkten V1-3 wurden Erdspeißer gemäß DIN 45669-2 [8], Kapitel 5.3.4.2 b) verwendet.

Bei der Anwendung der ermittelten Transferfunktion auf die prognostizierten Deckenschwingungen aus den Schwingungen im Untergrund wird ein Fehler von 30 % angenommen, da in Abhängigkeit der Bauweise und Gebäudemasse die Übertragbarkeit von dem gemessenen Beispiel auf andere Gebäude variieren kann.

Tabelle 10: Mittlere KBFmax-Werte und Standardabweichungen

Zugart	KBFmax avg:	Standardabweichung	STABW in %
GZ	0.17	0.06	38
ICE	0.15	0.04	30
RE	0.11	0.03	29

Im Mittel verursachen die Güterzüge die höchsten KBFmax-Werte und weisen mit 38% die höchste Standardabweichung auf.

Aufgrund der deutlichen Einhaltung aller angewandten Beurteilungskriterien für Erschütterungsimmissionen, wird auf eine Fehlerbetrachtung der Beurteilung nach DIN 4150-3 verzichtet. Überschreitungen der Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen aus dem Schienenverkehr sowohl auf den Menschen wie auf bauliche Anlagen für die Bestandsgebäude im Untersuchungsgebiet sind auf Basis der gemessenen Schwinggeschwindigkeiten auszuschließen.

8 Zusammenfassung

Im Rahmen der Neuaufstellung des Bebauungsplans Nr. 206 „Gewerbegebiet an der Raiffeisenstraße“ wurden erschütterungstechnische Untersuchungen durchgeführt, die den Einfluss von Erschütterungsimmissionen durch den Schienenverkehr der nahegelegenen Bahnlinie 5501, München – Ingolstadt auf das beplante Gebiet ergründen sollen.

Für die Erstellung der Prognoseberechnungen wurden am 16.04.2025 im Zeitraum von 12:30 Uhr bis 15:30 Uhr auf dem Plangelände Messungen zu den Erschütterungsimmissionen durchgeführt. Auf Grundlage von Messdaten im freien Gelände und unter Berücksichtigung des Schwingungsübertrages auf ein Referenzgebäude auf dem beplanten Gelände (Raiffeisenstraße 4) wurden die Erschütterungsimmissionen prognostiziert. Anhand der Berechnungen kann festgestellt werden, dass bei Bauwerken mit ähnlichen baulichen Eigenschaften wie das Referenzgebäude ab einer Distanz kleiner ca. 6 m zu nächstgelegenen Gleisachse Überschreitungen der Erschütterungsimmissionen bei einer Einstufung als Gewerbegebiet nach DIN 4150 – 2, mit Blick auf den Schutz von Menschen in Gebäuden, nicht mehr ausgeschlossen werden können. Die Bestandsgebäude befinden sich in deutlich größeren Distanzen, so dass keine Überschreitungen der Anhaltswerte erwartet werden.

Aus den Berechnungen zum sekundären Luftschall kann weiterhin abgeleitet werden, dass der Beurteilungspegel des sekundären Luftschalls den Richtwert nach dem Urteil des BVG vom 19.04.2014 im Gebäude im Tag- und im Nachtzeitraum einhalten wird.

Gebäudeschäden im Sinne der DIN 4150-3 [3] sind im beplanten Gebiet durch den Zugverkehr ebenfalls nicht zu erwarten.

Bei Bauvorhaben mit deutlich geringerer Masse und weniger steifen Deckenausführungen (Bsp. Holzständerbauweise mit Holzbalkendecken) kann es durch die verhältnismäßig tiefen Anregefrequenzen durch den Eisenbahnverkehr schon bei deutlich größeren Distanzen zu Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 kommen. Bei normaler Stahlbeton-Bauweise in Abständen von mehr als 6 m zur Gleisachse sind keine Maßnahmen zum Erschütterungsschutz erforderlich. Da dieser Mindestabstand noch auf den Bahndamm fällt sind aus Sicht des Autors keine zusätzlichen Festsetzungen notwendig.

Greifenberg, den 29.04.2025

Es zeichnen verantwortlich:



M.Sc. 

Projektleiter



B.Sc. 

Projektingenieur



M.Sc. 

Fachbereichsleiter Erschütterungsschutz

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch die ACCON GmbH. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Gegenstände.