

- schallschutz
- bau- und raumakustik
- erschütterungsschutz
- wärme- & feuchteschutz
- energieberatung /-konzepte
- enev - gebäudeenergieausweis
- thermografie & luftdichtheit



Erschütterungstechnische Untersuchung

Bebauungsplan "Ehemaliges C + C Betriebsgelände", 82496 Oberau; erschütterungstechnische Einwirkungen durch Schienenverkehr in das Plangebiet

Bericht: 14025_bpl_sch_ers_gu01_v2

Auftraggeber:

Gemeinde Oberau
Schmiedeweg 10

82496 Oberau

Kaufering, den 02.09.2014

Index	Fassung vom	Bemerkung
gu01_v1	01.09.2014	Beurteilung der erschütterungstechnischen Situation hinsichtlich der Einwirkungen aus Schienenverkehr auf die geplante Wohnbebauung (Planungsstand: 06/2014)
gu01_v2	02.09.2014	Redaktionelle Korrekturen bzgl. Literaturangaben und in Kap. 8.2.1

Bezeichnung der Untersuchung	Bebauungsplan "Ehemaliges C + C Betriebsgelände", 82496 Oberau; erschütterungstechnische Einwirkungen durch Schienenverkehr in das Plangebiet
Auftraggeber	Gemeinde Oberau, Schmiedweg 10, 82496 Oberau
Auftragnehmer	 hils consult gmbh Kolpingstr. 15 86916 Kaufering fon: (0 81 91) 97 14 37 fax: (0 81 91) 97 14 38 Schall Erschütterung Bauphysik www.hils-consult.de info@hils-consult.de
Bearbeiter	Dr. rer. nat. Th. Hils, Dipl.-Ing. (FH) D. Fleischer
Datum der Berichterstellung	Kaufering, den 02.09.2014

Zusammenfassung

Die Gemeinde Oberau beabsichtigt die Überplanung eines ursprünglich gewerblich genutzten Areals in ein Mischgebiet und in diesem Zuge die Aufstellung des Bebauungsplanes "Ehemaliges C + C Betriebsgelände". Im Rahmen einer erschütterungstechnischen Untersuchung ist zunächst die Verträglichkeit der geplanten Nutzung mit den Grundsätzen der Bauleitplanung zu prüfen und in diesem Zusammenhang die allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse sowie die Belange des Umweltschutzes gemäß § 1 Abs. 6 Nr. 1 BauGB [26] zu berücksichtigen. Dabei sollen die durch Schienenverkehr der Bahnlinie *München - Mittenwald* zu erwartenden Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall innerhalb der künftigen Gebäude auf dem Areal abgeschätzt und anhand der DIN 4150, Teil 2 [11], in Anlehnung an TA Lärm [13] und weiterer einschlägiger Richtlinien beurteilt werden.

Hierzu werden an verschiedenen Messpunkten im Plangebiet die bei Zugvorbeifahrten bestehenden Schwingschnellen im Erdboden bzw. an der Erdoberfläche erfasst und darauf aufbauend eine überschlägige Prognose der innerhalb der geplanten Gebäude zu erwartenden Erschütterungsimmissionen erstellt. Da derzeit die Art und Beschaffenheit der künftigen Gebäude noch nicht endgültig feststeht, dies jedoch einen erheblichen Einfluss auf deren Erschütterungsempfindlichkeit und somit für die Einwirkungen auf Menschen im Gebäude hat, erfolgt die Prognose anhand statistisch ermittelter Übertragungsfaktoren zwischen Erdreich und Geschossdecke aus [3] im Sinne einer oberen Abschätzung.

Es zeigt sich, dass

- bei den Erschütterungseinwirkungen auf die geplanten Wohnhäuser mit einer Einhaltung bzw. deutlichen Unterschreitung der gebietsspezifischen Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 zu rechnen ist, sofern bzw. als Voraussetzung von Stahlbetondecken mit einer Resonanzfrequenz >16 Hz ausgegangen werden kann
- im Hinblick auf die Einwirkungen aus sekundärem Luftschall mit o.g. Voraussetzung eine Einhaltung bzw. deutliche Unterschreitung der in Anlehnung an Nr. 6.2 TA Lärm [13] herangezogenen Richtwerte innerhalb von Gebäuden ebenfalls zu erwarten ist.

Entsprechende Maßnahmen/Voraussetzungen zur Verminderung der Erschütterungsimmissionen sind daher erforderlich. Dabei sollte (insbesondere bei empfindlicheren Nutzungen) auf eine entsprechende Abstimmung der Eigenfrequenzen von Bauteilen geachtet werden, um unerwünschte Resonanzüberhöhungen (Verstärkungseffekte) zu minimieren. Dies bedeutet konkret, dass

- auf Holzbalkendecken grundsätzlich zu verzichten ist und die Decken, schwimmende Estriche und sonstige elastisch gelagerte Sekundärkonstruktionen von Aufenthaltsräumen so auszuführen sind, dass deren Abstimmfrequenz etwa 16 Hz überschreitet und sich somit außerhalb des Frequenzbereichs der größten Anregung durch die Bahn befindet. Sofern keine besonders großen Deckenspannweiten vorgesehen sind, ergeben sich u.E. hieraus keine größeren baupraktischen Einschränkungen.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Aufgabenstellung	4
2. Örtliche Gegebenheiten - Planung.....	4
3. Grundlagen	7
3.1 Planungsgrundlagen, Ausgangsdaten und Regelwerke	7
3.2 Grundlagen der Erschütterungsimmissionen	10
3.2.1 Erschütterungsprognose	12
4 Beurteilungskriterien - Anforderungen.....	18
4.1 Erschütterungen.....	18
4.1.1 Kriterien einer wesentlichen Änderung bei Erschütterungsimmissionen	21
4.1.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen	22
4.2 Sekundärer Luftschall.....	23
4.2.1 Kriterien einer wesentlichen Änderung beim sekundären Luftschall	25
5 Schutzbedürftige Gebiete - Flächennutzung.....	25
5.1 Flächennutzung.....	25
5.2 Immissionsorte	26
6. Erschütterungsmessungen	27
6.1 Messmethodik	27
6.2 Messorte	28
6.3 Messgrößen und Frequenzbereich.....	28
6.4 Messgeräte	29
6.5 Messereignisse	30
7. Auswertung Messungen	30
7.1 Charakteristische Erregerspektren - Emissionspegel	30
7.2 Korrekturen Emissionsspektrum.....	32
8. Abschätzung zu erwartende Immissionen innerhalb von Gebäuden	34
8.1 Betriebsprogramm 2025.....	34
8.2 Abschätzung Erschütterungs-Immissionen (Erschütterungsprognose).....	35
8.2.1 Transmissionsfunktionen.....	35
8.2.2 Bewertete Schwingstärke - KB-Werte	37
8.2.3 Beurteilungs- und Maximalpegel sekundärer Luftschall.....	39
8.3 Betroffenheitskorridor - Extrapolation der Ergebnisse.....	42
9. Beurteilung der zu erwartenden Immissionen innerhalb von Gebäuden	42
9.1 Erschütterung:.....	42
9.2 sekundärer Luftschall:	43
10. Erschütterungsmindernde Maßnahmen.....	44
10.1 Systeme und Kategorien	44
10.2 Maßnahmen zum Erschütterungsschutz	46
11. Zusammenfassung	47

ANHANG:

- Lageskizze
- grafische Darstellung der Körperschallschnelle-Spektren, exempl. Berechnungsblätter
- exemplarische Darstellung Körperschallschnelle-Zeitverläufe
- Tabelle der messtechnisch erfassten Zugfahrten
- Bildnachweis

ANLAGEN:

- keine

1. Aufgabenstellung

Die Gemeinde Oberau beabsichtigt die Überplanung eines ursprünglich gewerblich genutzten Areals in ein Mischgebiet und in diesem Zuge die Aufstellung des Bebauungsplanes "*Ehemaliges C + C Betriebsgelände*". Im Rahmen einer erschütterungstechnischen Untersuchung ist zunächst die Verträglichkeit der geplanten Nutzung mit den Grundsätzen der Bauleitplanung zu prüfen und in diesem Zusammenhang die allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse sowie die Belange des Umweltschutzes gemäß § 1 Abs. 6 Nr. 1 BauGB [26] zu berücksichtigen. Dabei sollen die durch Schienenverkehr der Bahnlinie München - Mittenwald zu erwartenden Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall innerhalb der künftigen Gebäude auf dem Areal *abgeschätzt und anhand* der DIN 4150, Teil 2 [11], in Anlehnung an TA Lärm [13] und weiterer einschlägiger Richtlinien beurteilt werden.

Hierzu werden an verschiedenen Messpunkten im Plangebiet die bei Zugvorbeifahrten bestehenden Schwingschnellen im Erdboden bzw. an der Erdoberfläche erfasst und darauf aufbauend eine überschlägige Prognose der innerhalb der geplanten Gebäude zu erwartenden Erschütterungsimmissionen erstellt. Da derzeit die Art und Beschaffenheit der künftigen Gebäude noch nicht endgültig feststeht, dies jedoch einen erheblichen Einfluss auf deren Erschütterungsempfindlichkeit und somit für die Einwirkungen auf Menschen im Gebäude hat, erfolgt die Prognose anhand statistisch ermittelter Übertragungsfaktoren zwischen Erdreich und Geschossdecke aus [3] im Sinne einer oberen Abschätzung.

Gegebenenfalls sind entsprechende technische Maßnahmen zur Verminderung der Erschütterungsimmissionen aufzuzeigen.

2. Örtliche Gegebenheiten - Planung

Das Bau- bzw. Plangebiet befindet sich unmittelbar östlich der Bahnlinie *München - Mittenwald* nördlich des Bahnhofes in 82496 Oberau. Unmittelbar östlich der Bahnlinie verläuft nahezu parallel die stark frequentierte Bundesstraße B 2 ("*Münchner Straße*"). Nachfolgende Abbildung veranschaulicht Lage und Umgebung.



Abb. 1: Luftbild Planbiet (s. Markierung) sowie Umgebung [Quelle: Google earth]

1) derzeitige Situation (Stand: 07/2014):

Bei dem zu überplanenden Areal handelt es sich hierbei um das Grundstück Fl.-Nr. 542/4, sowie nördlich angrenzend Fl.-Nr. 248/135 und 248/217. Derzeit befindet sich dort (Loisachauenstr. 1) eine Lagerhalle mit Umschlagplatz, die ehemals von der C+C-Großmarktkette genutzt wurde.

Der bestehende Lagerhallenkomplex hat im Norden und im Süden jeweils überdachte Verladerampen, hier sind befestigte Flächen für Rangiervorgänge der Lkw vorhanden. Im Rahmen des Bauleitplanverfahrens (bzgl. Details siehe hierzu künftige Planung im nachfolgenden Abschnitt) ist Abriss/Rückbau des nördlichen Teils der bestehenden Lagerhalle und der dort mit Asphalt-Tragschicht befestigten Fläche vorgesehen.

2) Planung - künftige Situation (Planung, Stand 30.06.2014 [a], [b], [c]):

Der betroffene Umgriff des in Aufstellung befindlichen, gegenständlichen Bebauungsplanes ist aus Sicht der Erschütterungseinwirkungen in zwei Bereichen zu betrachten. Nördlich des verbleibenden Lagerhallengebäudes sollen acht Parzellen mit etwa 350 m² bis 400 m² Grundstücksfläche für Einfamilienhäuser erschlossen werden. Im südlichen Bereich des Bebauungsplanumgriffes, südlich der Lagerhalle und deutlich näher zum Haltepunkt Oberau der Bahnlinie soll ein Mehrfamilienhaus errichtet werden. Nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Planung.

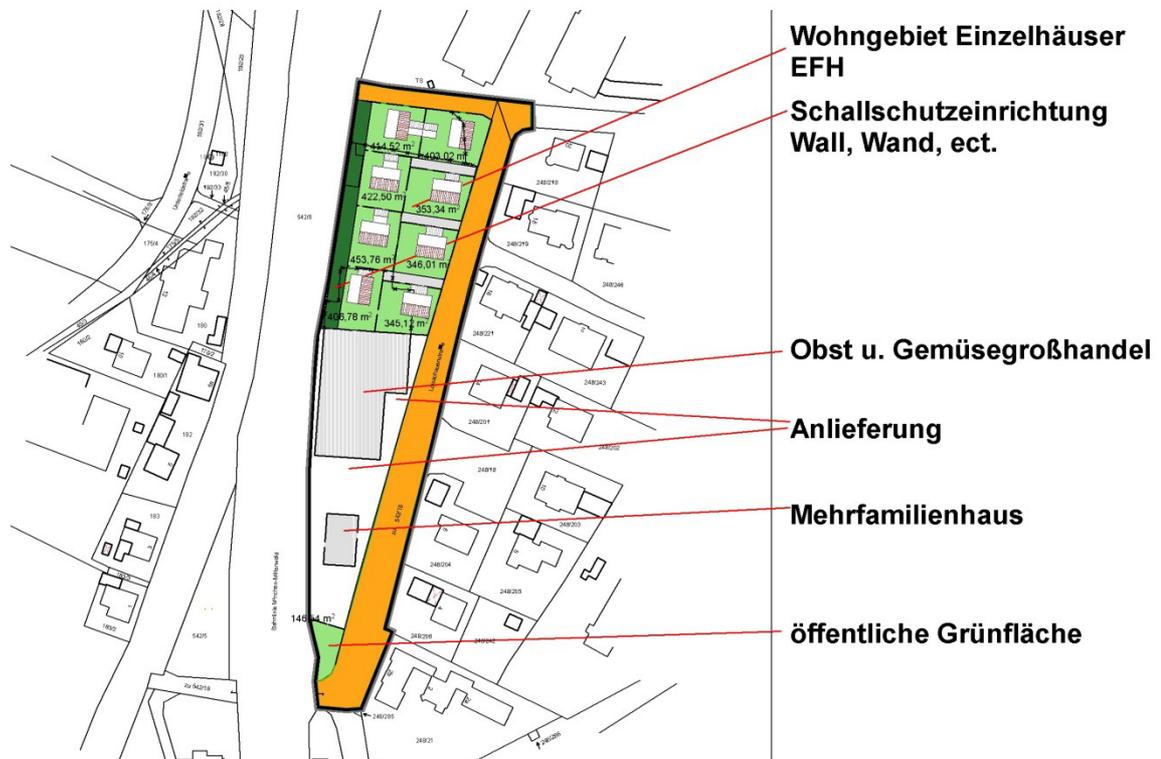


Abb. 2: Umgriff des Bebauungsplanes mit Kennzeichnung der Nutzungsbereiche [a]

Vorbelastung:

Die erschütterungstechnische Situation wird im Wesentlichen durch die Bahnlinie *München - Mittenwald* bestimmt. Weitere relevante erschütterungstechnische Vorbelastungen aus anderen Quellen (gewerblichen Anlagen etc.) sind derzeit nicht bekannt und werden im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter behandelt.

Topografie:

Das Gelände ist aus erschütterungstechnischer Sicht im Wesentlichen als eben einzustufen, wobei die Bahnlinie auf zwei Gleisen mit Schotteroberbau geführt wird.

3. Grundlagen

3.1 Planungsgrundlagen, Ausgangsdaten und Regelwerke

Dieser Untersuchung liegen zugrunde:

- [a] Entwurfsplanung (Stand: 30.06.2014) „Ehemaliges C + C Betriebsgelände“ Variante V, per e-mail am 30.06.2014 (über Architekturbüro Hörner, Schongau)
- [b] Entwurfsskizze „Großhandel mit Mehrfam_Haus.pdf“, per e-mail am 30.06.2014 (über Architekturbüro Hörner, Schongau)
- [c] Telefonat mit Hr. Hörner und e-mail vom 05.08.2014 mit Höhengestaltung Gelände und Gebäude
- [d] Verkehrszahlen/Verkehrsmengengerüst der Bahnlinie Strecke 5504 München - Mittenwald im Bereich des Bauvorhabens per email am 25.07.2014 (über Hr. Naujokat, Betrieblicher Umweltschutz TUM 1, Deutsche Bahn AG, Berlin)
- [e] Ortstermin mit erschütterungstechnischen Messungen vom 04.08.2014

Die Messungen und Auswertung erfolgen nach folgenden Regelwerken:

- [1] DIN 45669-1: „Messung von Schwingungsimmissionen“, Teil 1: „Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung“, September 2010
- [2] DIN 45669-2: „Messung von Schwingungsimmissionen“, Teil 2: „Messverfahren“, Juni 2005
- [3] Richtlinie 800.2501: Information der DB AG, Bautechnik, Leit-, Signal- und Telekommunikationstechnik (TTZ 112): „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ Entwurf Ausgabe Dezember 2009
- [4] VDI 3837: „Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen - Spektrales Prognoseverfahren“, März 2006 nebst Berichtigung 1 vom Juni 2006

ergänzend unter Kenntnisnahme:

- [5] Information der DB AG, ZBT 511: „Körperschall- und Erschütterungsschutz, Leitfaden für den Planer“, Ausgabe August 1996 nebst Ausgabe Februar 1999
- [6] DIN 52221: „Bauakustische Prüfungen - Körperschallmessungen bei haustechnischen Anlagen“, Januar 2006
- [7] DIN 4150-1: "Erschütterungen im Bauwesen" Teil 1: „Vorermittlung von Schwingungsgrößen“: Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), Ausgabe Juni 2001
- [8] Melke, J., Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen, Landesamt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Nr.107, 1992

- [9] Krüger, F., Handbuch Schall und Erschütterungen beim Schienennahverkehr, Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. (STUVA), Köln, 1993
- [10] DIN 45645: „Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen“, Teil 1: „Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft“, Juli 1996

Zur Interpretation der Messergebnisse werden die Anforderungen nachfolgender Normen und Regelwerke herangezogen:

- [11] DIN 4150-2: "Erschütterungen im Bauwesen" Teil 2: „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, Ausgabe Juni 1999
 - [12] DIN 4150-3: "Erschütterungen im Bauwesen" Teil 3: „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“, Ausgabe Februar 1999
 - [13] TA Lärm: Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA-Lärm) vom 26.8.1998
 - [14] Urteil des Bayerischen Verwaltungsgerichtshofs AZ 20 A 93 40080 v. 21.04.1995
 - [15] Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom 21.12.2010, Az: BVerwG 7 A 14.09
- ergänzend unter Kenntnisnahme:
- [16] „Schall- und Erschütterungsschutz im Planfeststellungsverfahren für Landverkehrswege“, Bayrisches Landesamt für Umwelt, Stand 07/2012
 - [17] VDI 2719: „Schalldämmung von Fenstern u. deren Zusatzeinrichtungen“, VDI-Kommission Lärminderung, 1987-08
 - [18] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) in der aktuell gültigen Fassung
 - [19] 24. BImSchV: „Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 24. BImSchV)“ vom 04.02.1997
 - [20] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 16. BImSchV vom 12.06.1990 - Verkehrslärmschutzverordnung
 - [21] DIN 4109: „Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise“, Ausgabe 11/89 mit Berichtigung 1 zu DIN 4109, Ausgabe 08/1992 und Änderung A1, Ausgabe 01/2001
 - [22] DIN 45680: „Messung und Bewertung von tieffrequenten Geräuschen in der Nachbarschaft“, Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), 1997

- [23] VDI 2057, Blatt 3: „*Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen in Gebäuden*“, Ausgabe 09/2002 (inzwischen zurückgezogen)¹
- [24] Borgmann, R.: „*Schutz vor Erschütterungen und sekundärem Luftschall an Schienenverkehrswegen*“; Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (LfU), Heft 147, 2001

Sonstiges:

- [25] Verwaltungs-Verfahrensgesetz (VwVfG) in der aktuell gültigen Fassung
- [26] Baugesetzbuch (BauGB) in der aktuellen Fassung
- [27] Baunutzungsverordnung (BauNVO) in der aktuellen Fassung
- [28] VDI 2038: „*Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik, Blatt 1: Grundlagen - Methoden, Vorgehensweisen und Einwirkungen*“, Juni 2012
- [29] VDI 2038: „*Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik, Blatt 2: Schwingungen und Erschütterungen - Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung*“, Januar 2013
- [30] VDI 2038: „*Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik, Blatt 3: Sekundärer Luftschall - Grundlagen, Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung*“, November 2013
- [31] DIN 45673: „*Mechanische Schwingungen - Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen - Teil 1: Begriffe, Klassifizierung, Prüfverfahren, August 2010*“
- [32] Schirmer, Werner, *Technischer Lärmschutz: Grundlagen und praktische Maßnahmen zum Schutz vor Lärm und Schwingungen von Maschinen*, Springer-Verlag, 2006
- [33] Said, A.; Fleischer, D.; Kilcher, H.; Fastl, H.; Grütz, H.-P.: Zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen aus dem Schienenverkehr, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 48 (2001) Nr. 6, November 2001
- [34] Ungar, E.E., Sturz, D.H., Amic, C.H.: „*Vibration control design of high technology facilities*“, Sound and Vibration, Acoustical Publications Inc. Bay Village, Ohio, USA, 1990
- [35] Harris, C.M., Crede, C.E.: „*Shock and Vibration Handbook*“, McGraw Hill, 1961

¹ Die VDI 2058, Bl. 3 wurde im Zuge der Anpassung von Arbeitsstättenrichtlinien an europäisches Recht im Jahr 2002 zurückgezogen und im Jahr 2006 durch eine Neufassung ersetzt. Der dargestellte Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung ist zwar in der Neufassung nicht mehr enthalten, aber weiterhin als wissenschaftlich korrekt anzusehen.
14025_20140902_bpl_sch_ers_oberau_gu01_v02

3.2 Grundlagen der Erschütterungsimmissionen

Erschütterungen bzw. Körperschall sind mechanische Schwingungen, die in den Erdboden eingeleitet werden und sich bis zum Immissionsort (Gebäude) hin ausbreiten können. Die von der Schwingungsquelle in den Boden eingeleitete Energie besteht je nach Art der Quelle und der Übertragungsmöglichkeiten aus sich ausbreitenden Raum- und Oberflächenwellen bzw. Kompressions-, Biege- und Scherwellen. Die über die Fundamente in die Gebäude eingeleiteten Schwingungen können als Erschütterungen (Stöße, Vibrationen) wahrgenommen werden. Die in die Gebäude eingeleiteten Schwingungen können teilweise von den Raumbegrenzungsflächen als Luftschall an die Umgebung abgestrahlt und als solcher wahrgenommen werden (sekundärer Luftschall).

Für Entstehung und Ausbreitung von Schwingungen sind eine Vielzahl von Parametern maßgebend, z.B.:

- technische und betriebliche Daten der eingesetzten Geräte und Anlagen (bei Schienenverkehr: Zugart, Zuggeschwindigkeit, Zustand der Laufflächen an den Rädern und Radlagern, Streckenführung etc.)
- Beschaffenheit des umgebenden Erdbodens (Art des Bodens, Inhomogenitäten, Grundwasser)
- Bauwerksausbildung des Gebäudes

Nahfolgende Grafik verdeutlicht die Situation:

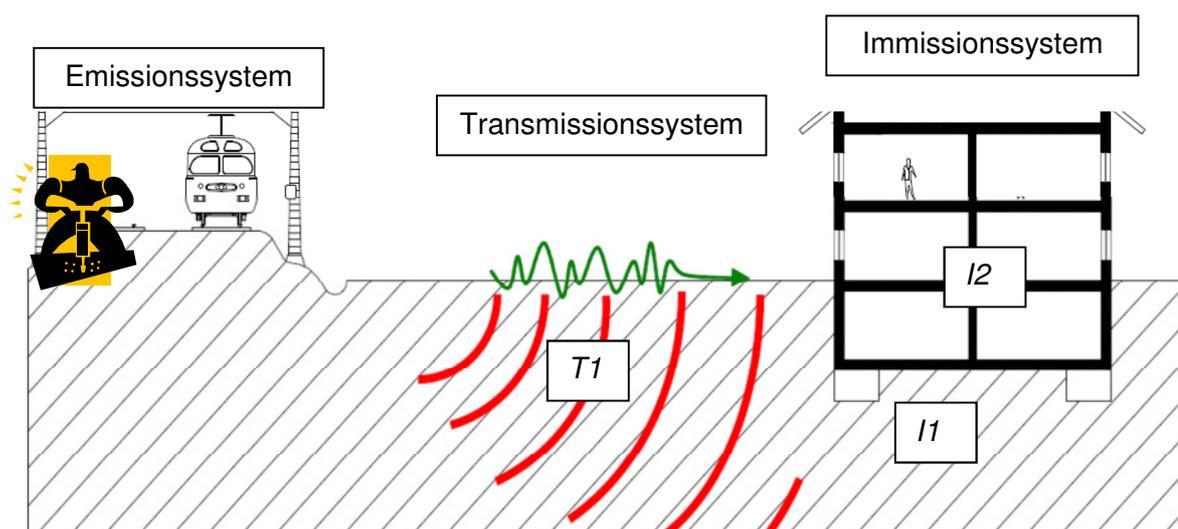


Abb. 3: Entstehung, Ausbreitung und Übertragung von Erschütterungen

Die physikalische Größe, die zur Beschreibung der mechanischen Schwingungen in Gebäuden am häufigsten verwendet wird, ist die Schwinggeschwindigkeit (oder Körper-

schall-Schnelle), die i.d.R. als Pegel (in dB, bezogen auf $5 \cdot 10^{-8}$ m/s) angegeben wird. Sie ist in Festkörpern (Erdboden, Bausubstanz) stark frequenzabhängig und muss daher spektral betrachtet werden. Zur Bewertung der Erschütterungen (z.B. über Tastsinn fühlbarer und/oder Ganzkörper wahrnehmbarer Körperschall) im Frequenzbereich 4 Hz bis etwa 100 Hz wird die Schwingstärke nach DIN 4150-2 als KB-Wert (frequenzbewertete Schwinggeschwindigkeit) angegeben. Die KB-Bewertung ist eine frequenzbezogene Bezugsbewertungskurve für Erschütterungssignale. Sie wird herangezogen für die Bewertung bei nicht vorgegebener Körperhaltung und setzt sich zusammen aus Elementen der Bewertung von Einwirkungen im Stehen und Sitzen (vgl. auch DIN 45669-1 [1] Punkt 3.19).

Einen Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung wird in VDI 2057, Bl. 3 [23] dargestellt.

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung in Anlehnung an VDI 2057, Bl. 3

Bewertete Schwingstärke KB	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
6,3 – 100	Sehr stark spürbar

Für die Beurteilung der Möglichkeit von Bauschäden infolge dynamischer Belastung von Gebäuden werden Werte der Schwinggeschwindigkeit an Gebäudefundamenten und/oder oberen Deckenfeldern (in mm/s bzw. m/s) herangezogen.

Zur Beschreibung der bauakustischen Eigenschaften von Gebäuden bei Körperschalleinwirkungen werden Körperschallschnellepegel und Beschleunigungspegel verwendet (u.a. in DIN 52221, VDI 2566).

Für die Vermeidung von Funktionsstörungen bei empfindlichen Geräten (z.B. Fertigungsstätten der Halbleitertechnologie, Anwendungen in Lasertechnik oder Elektronenmikroskopie) werden als Anhaltswerte für zulässige mechanische Schwingungen auch die Auslenkung bzw. der Schwingweg angegeben.

Zur Beurteilung etwaiger Einwirkungen aus sekundärem Luftschall im Inneren von körperschallbelasteten Gebäuden wird der von den schwingenden Umfassungsbauteilen wiederum als Luftschall abgestrahlte Schalldruckpegel (Frequenzbewertung „A“ bzw. „C“) in

schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen zur Beurteilung herangezogen. Als maßgeblicher Immissionsort ist gem. DIN 52219 in etwa die Raummitte, bei vorwiegend tieffrequenten Einwirkungen gemäß DIN 45680 (s. hierzu auch Abs. A1.5 der TA Lärm) die Stelle höchster Belastung, an der sich Personen regelmäßig aufhalten, heranzuziehen.

Aufgrund der Vielzahl von Einflüssen sind die Zusammenhänge bei der Erschütterungsentstehung und -übertragung im Regelfall nur schwer vollständig zu erfassen. Die Körperschalleinleitung über den Oberbau in den Erdboden, die Ausbreitung im Boden und die Körperschalleinleitung in das Bauwerk sind jeweils wegen unterschiedlicher Eigenschaften der Übertragungswege, wie Bodeninhomogenitäten, Filterwirkung eingeschlossener Lockerbodenschichten, Brechung und Reflexion von Wellen an Grenzschichten und Übergängen, mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nicht bzw. nur schwer über Rechenmodelle zu erfassen, so dass hierzu vielfach auf Messungen zurückgegriffen wird (kombinierte Verfahren).

3.2.1 Erschütterungsprognose

Für den Fall, dass entweder aus betriebstechnischen oder baulichen Gründen (z.B. Neubau eines Gleises oder von Gebäuden) eine direkte Messung von den Erschütterungen in den betroffenen Aufenthaltsräumen nicht möglich ist oder Angaben über künftige Immissionen benötigt werden, wird eine entsprechende Erschütterungsprognose erforderlich, die im Regelfall auf messtechnisch ermittelten repräsentativen ggf. Emissionsdaten und/oder (Teil-)Transmissionsfunktionen in Verbindung mit theoretischen Daten (z.B. standardisiertes Referenzemissionsspektrum) basiert. Die Prognose erfolgt dabei im Wesentlichen in Anlehnung an VDI 3837 [4] und basiert auf folgendem spektralen Zusammenhang:

$$L_{v,Raum}(f) = L_E(f) + \Delta L_B(f) + \Delta L_G(f) + \Delta L_M(f)$$

wobei

$L_{v,Raum}(f)$	(Terz-)Schnellepegelspektrum Immissionsort (Fußbodenmitte)
$L_E(f)$	(Terz-)Schnellepegelspektrum Emission/Anregung
$\Delta L_B(f)$	baugrund- und entfernungsbedingte Dämpfung (Transmissionsfunktion $T1$)
$\Delta L_G(f)$	$= \Delta L_{G1}(f) + \Delta L_{G2}(f)$; gebäudespezifische Transmissionsfunktion als Überlagerung der Transmissionsfunktion vom Baugrund auf das Gebäudefundament ($I1$ - primäres Immissionssystem) sowie vom Gebäudefundament zur Geschossdecke/Fußboden ($I2$ - sekundäres Immissionssystem)
$\Delta L_M(f)$	Einfügedämmung schwingungsmindernder Maßnahmen, falls vorhanden

Konkret sind dabei neben Kenntnissen zu den erschütterungstechnischen Quellstärken (Emissionen) und zur Ausbreitung der Schwingungen im Untergrund (Transmissionsfunktion T_1) auch die Kenntnis des Schwingungsverhaltens der zu untersuchenden Gebäude (Transmissionsfunktion I_1 und I_2 , vgl. Abb. 3) erforderlich. Hieraus wird ein Quellen- und Ausbreitungsmodell entwickelt. Der prinzipielle Aufbau des Prognosemodells ist in der schematischen Darstellung in nachfolgender Tabelle dargestellt. Die dargestellten Übertragungswege werden separat ermittelt und dann zu einer Gesamttransmissionsfunktion überlagert.

Tabelle 2: Methodik Erschütterungsprognose (insbes. Schienenverkehr)

Referenzspektrum (vergleichbare Strecke o.ä.)						Emissionssystem
Bodenverhältnisse	Hoch-/Ein- schnittslage oder Tunnel	Kurvenradius	Geschwindigkeit	Weichen	Sonstiges	
(Gesamt-)Korrekturfunktion						
Emissionsspektrum $L_v(f_T)$; $f_T = 4 - 315$ Hz (Einfügedämpfung ΔL_G : Minderungsmaßnahme Quelle)						
Frequenzbewertung, phys. Größe						Transmissions- system
Frequenzbewertung $f_T = 4 - 80$ Hz			$v(KB)$	$L_v(KB)$		
Frequenzbewertung $f_T = 4 - 315$ Hz			$v(A)$	$L_v(A)$		
Transmissionsfkt. T_1 : Ausbreitung im Erdreich (Einfügedämpfung ΔL_T : Minderungsmaßnahme Ausbreitungsweg)						
Primäres und sekundäres Immissionssystem						Immissions- system
Transmissionsfkt. I_1 : Erdreich/Fundament						
Transmissionsfkt. I_2 : Fundament/Geschossdecke						
Summe: $I_1 + I_2$: Erdreich/Geschossdecke (Einfügedämpfung ΔL_G : Minderungsmaßnahmen Gebäude)						
Beurteilung Erschütterungen und sekundärer Luftschall						Beurteilung
KB_{FTm} / KB_{Fmax}			$L_v(A)$			
Verkehrsmengengerüst						
KB_{Tr}			Lr, sek			
Beurteilung in Anlehnung an DIN 4150 und weiteren Regelwerken			Beurteilung in Anlehnung an TA Lärm in Verb. mit VDI 2719			

Da sowohl Emissionsspektren als auch Transmissionsfunktionen zum Teil stark frequenzabhängig sind, wird die spektrale Zusammensetzung im Prognose-Berechnungsverfahren in Form von Terzbändern im Bereich von 4 Hz bis 315 Hz

entsprechend berücksichtigt. Die Transmissionsfunktionen geben dabei das Übertragungsmaß (in dB) als Funktion der Terzmittenfrequenz an.

Die resultierenden Spektren der Decken- bzw. Fußbodenschwingungen werden einer physiologisch bzw. empfindungsangenäherten Frequenzbewertung (KB-Filterung) unterzogen und energetisch als Einzahlwert summiert. Die so ermittelten KB-Werte sind aufgrund der Auswertung von „max-hold“-Spektren näherungsweise² als je Zug-/Quellengruppe gemittelte $KB_{F_{max}}$ -Werte zu interpretieren und entsprechen den KB_{FTm} -Werten nach DIN 4150, Teil 2.

$$KB_{F_{max,i}} \approx \sqrt{\sum_{f=1Hz}^{80Hz} (\overline{KB}_{FTi}(f))^2}$$

wobei

$KB_{F_{max,i}}$: $KB_{F_{max}}$ -Wert der Zug-/Quellengruppe i.

$KB_{FTi}(f)$: mittlere spektrale KB-Werte, terzweise mit max-hold Methode ausgewertet

Im Hinblick auf den Erschütterungsschutz an Bahnlinien hat die DB AG einen Leitfaden für Körperschall- und Erschütterungsschutz [3], [5] veröffentlicht, worin der derzeitige Wissens- und Erfahrungsstand der Gutachter zusammengefasst ist. Entsprechende Prognoseberechnungen erfolgen daher basierend auf VDI 3837 in Anlehnung an diesen Leitfaden.

3.2.1.1 Entfernungsbedingte Dämpfung im Baugrund

Die entfernungsbedingte Amplitudenabnahme der Schwingschnelle zwischen Emissionsbereich (z.B. 8m Punkt bei Schienenverkehrswegen) und im Erdreich unmittelbar vor einem Gebäude wird als Transmissionsfunktion T_1 bezeichnet. Wenn keine diesbezüglichen Messwerte vorliegen, kann näherungsweise von folgendem Zusammenhang ausgegangen werden:

$$T_1 = \left(\frac{R}{R_0}\right)^{-n} e^{-\alpha(R-R_0)}$$

wobei

n Exponent, der insbesondere von Wellenform, Quellengeometrie und Schwingungsart abhängt [-]

$\alpha = 2\pi D/\lambda$, Abklingkoeffizient [m^{-1}]

D Dämpfungsgrad [-]

² Die Näherung liegt u.a. darin begründet, dass die einzelnen Terzen i.a. nicht gleichzeitig während eines Ereignisses ihr Schnellepegelmaximum erreichen, entspricht aber einer oberen Abschätzung.

- $\lambda = c/f$ Wellenlänge [m]
 c Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle [m/s]
 f Frequenz [Hz]
 R_0 Bezugsabstand [m]
 R Abstand Immissionsort zur Quelle [m]

Vielfach kann im Rahmen einer konservativen Abschätzung von einer Dämpfung des Baugrunds von etwa $D = 1\%$ und einer Ausbreitungsgeschwindigkeit für (die im Regelfall dominierende) Oberflächenwelle von etwa $c = 200$ m/s ausgegangen werden. In Anlehnung an DIN 4150-1 kann bei Linienquellen von einem Ausbreitungsexponenten zwischen 0,2 und 0,4 ausgegangen werden, so das im Mittel $n = 0,3$ herangezogen wird. Im Bereich von Weichen, die beim Überfahren eher als punktförmige Inhomogenitäten einzustufen sind, wird stattdessen von $n = 1$ ausgegangen.

Alternativ kann im Untersuchungsgebiet anhand von Messungen der Schwingschnelle an mehreren repräsentativen Messpunkten in unterschiedlichen Abständen zur Erschütterungsquelle durch Regressionsrechnung und entsprechender Interpolation, ggf. auch Extrapolation die Transmissionsfunktion $T1$ bestimmt und zur Berücksichtigung etwaiger Abstandsvariationen herangezogen werden. Im Rahmen vorliegender Untersuchung wurde diese Alternative gewählt und angewendet.

3.2.1.2 Übertragung Baugrund - Fundament

Transmissionsfunktion $T1$:

Die Übertragung vom Körperschallschnellefeld im Baugrund (Freifeld) auf die Gebäudestruktur erfolgt im Wesentlichen über das Gebäudefundament sowie sekundär über erdberührte aufgehende Bauteile (soil-structure-interaction). Für den Fall, dass keine konkreten gebäudespezifischen Daten oder Daten von vergleichbaren Gebäuden vorliegen, kann für die Transmissionsfunktion $T1$ (primäres Immissionssystem) gemäß [8] näherungsweise von folgender spektraler Dämpfung ausgegangen werden.

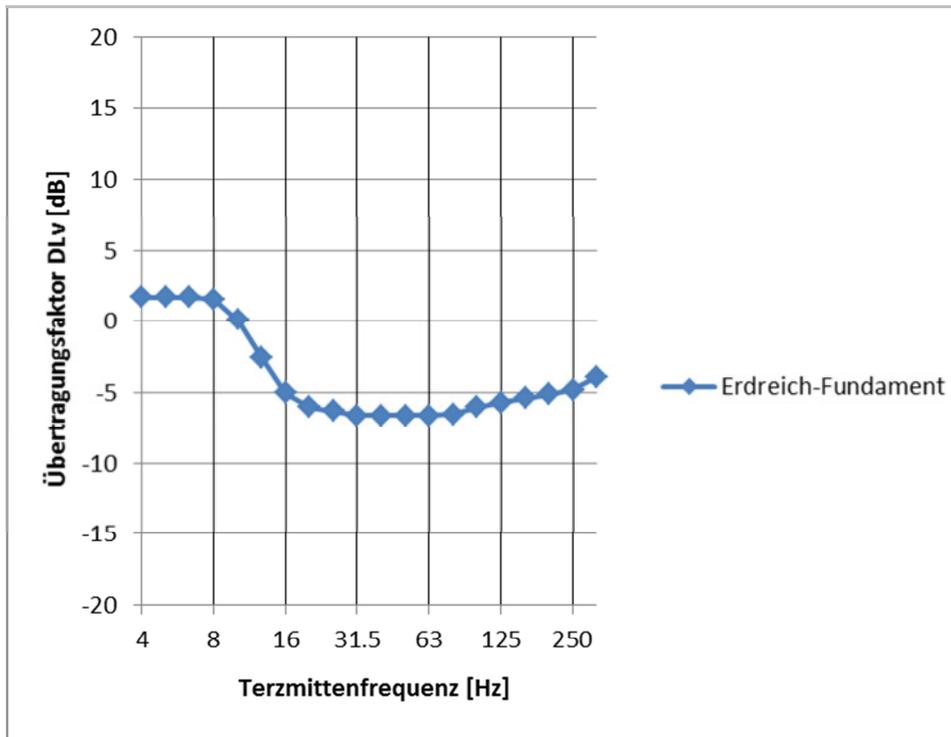


Abb. 4: Transmissionfunktion Erdreich-Fundament (I1 - primäres Immissionssystem), [Quelle: [8], dort Bild 7.8a: Typische Minderung bei Übertragung von Erschütterungen vom Erdreich auf das Gebädefundament]

3.2.1.3 Übertragung Gebädefundament-Geschossdecke

Transmissionfunktion I2:

Im Bereich der Einleitungsstelle Erdboden/Gebädefundament ist die dynamische Anregbarkeit des Bauwerkes (Eingangsimpedanz, mechanischer Schwingwiderstand) für die Fortleitung der Schwingungen bestimmend. Die Anregung des Fundamentes wird in der Regel (bei üblicher Bauausführung) in bestimmten Frequenzbereichen mit überhöhten Intensitätswerten (Resonanzverhalten) an Decken und Wänden beantwortet. Dabei ist insbesondere im Frequenzbereich von etwa 15 Hz bis 40 Hz, bei Ausführung von schwimmenden Estrichen zusätzlich etwa zwischen 50 Hz und 100 Hz mit einer Vergrößerung der Schwingungsamplituden durch Resonanzerscheinungen (Eigenfrequenz der Decken sowie Estrichresonanz) zu rechnen. Dadurch können in Gebäude eingeleitete Schwingungen z.B. in den Aufenthaltsräumen stark vergrößert werden und zu Belästigungen führen. Die durch Resonanz auftretenden Vergrößerungsfaktoren unterliegen großen Streuungen und erreichen erfahrungsgemäß Werte von etwa 2 bis 8 (entsprechend etwa 3 dB bis 18 dB). Zur Abschätzung kann hier das physikalische Modell eines Ein-Massen-Schwingers herangezogen werden, dessen Vergrößerungsfunktion die Resonanzüberhöhung beschreibt.

$$V = \sqrt{\left(\frac{1 + 4D^2\eta^2}{(1 - \eta^2)^2 + 4D^2\eta^2} \right)}$$

wobei:

$$\eta = \frac{\omega}{\omega_0} \quad : \text{Verhältnis Erregerfrequenz zu Resonanzfrequenz}$$

D : Dämpfungsgrad (typ. Erfahrungswerte um etwa 0,01 - 0,1)

Bemerkung:

Im Leitfaden Körperschall- und Erschütterungsschutz der DB AG [3], [5] wird eine Unterteilung zwischen den Transmissionsfunktionen *I1* und *I2* (primäres und sekundäres Immissionssystem) nicht vorgenommen und stattdessen von einer Gesamttransmissionsfunktion beim Übergang vom Erschütterungs-Freifeld auf das Gebäude ausgegangen.

Da bislang aus o.g. Gründen keine allgemein gültigen und zuverlässigen Berechnungs- bzw. Prognoseverfahren über die Ausbreitung und Immission von Erschütterungen existieren, sind zur Erstellung einer Erschütterungsprognose im allgemeinen Messungen zur Ermittlung der quellen-, orts- und gebäudespezifischen Ausgangsdaten erforderlich. Für den Fall, dass entsprechende Gebäudedaten nicht vorliegen bzw. nicht messtechnisch ermittelbar sind (z.B. bei geplanten Gebäuden) lassen sich gegebenenfalls auch unter Zuhilfenahme statistisch abgesicherter Mittelwerte [3] oder Messwerte an Immissionsorten mit vergleichbaren Randbedingungen (bei Berücksichtigung entsprechender Streuung) überschlägige Prognosen treffen.

Dies gilt teilweise auch für quellenspezifische Daten, wo dann im Rahmen von Analogiebetrauchtungen ggf. auf vorhandene Emissionsdaten oder synthetisierte Anregungsspektren zurückgegriffen werden kann.

4 Beurteilungskriterien - Anforderungen

4.1 Erschütterungen

Vorbemerkung:

Die Anforderungen an Erschütterungsschutz in Gebäuden sind vielseitig und weisen eine starke anwendungsbezogene Abhängigkeit auf. Zur Übersicht und Einschätzung der vorliegenden Situation sind in folgender Grafik beispielhaft typische Größenordnungen zulässiger Erschütterungseinwirkungen dargestellt (zusammengestellt aus [34], [35] sowie Erfahrungswerten). Im Einzelfall können andere Maßstäbe erforderlich sein.

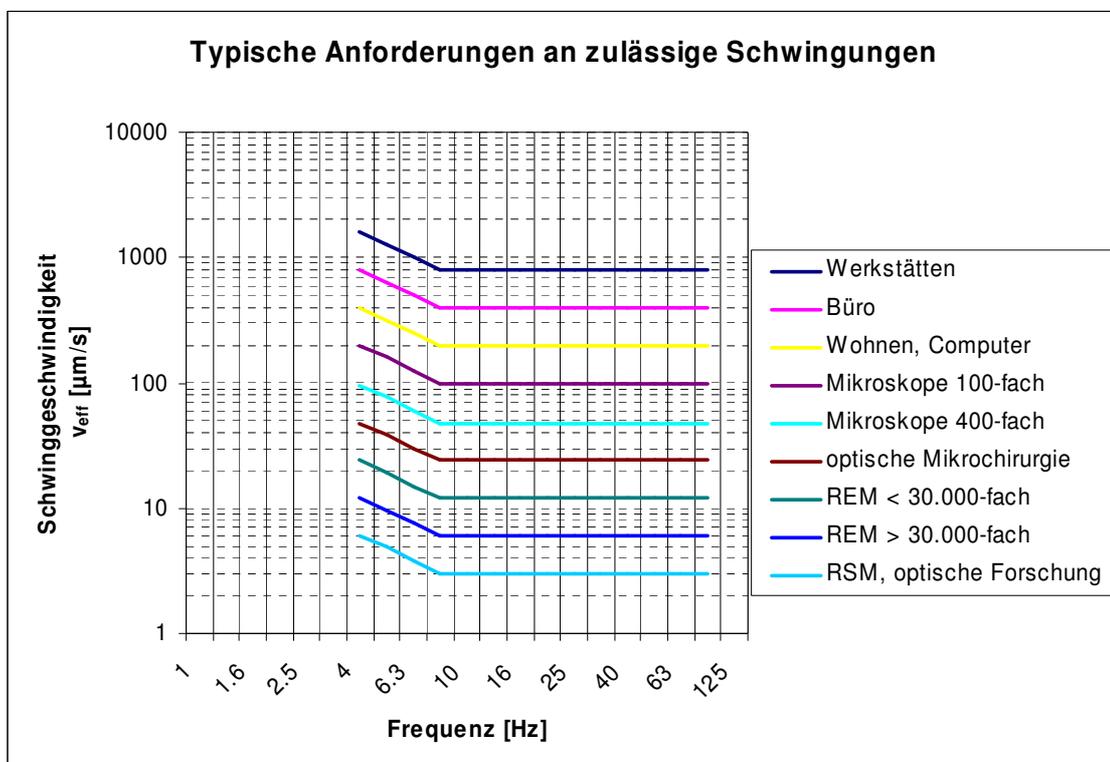


Abb. 5: Typische Anforderungen an die Schwingungsgeschwindigkeit v_{eff} in $\mu\text{m/s}$ für verschiedene Anwendungen

Im Gegensatz zum Schallschutz (z.B. 16. BImSchV) existieren derzeit in Deutschland keine gesetzlich geregelten Grenzwerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen.

Die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen erfolgt daher entsprechend der Gebietsnutzung anhand der Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 (Fassung 6/99) [11], die als bewährtes Regelwerk auch über Deutschland hinaus als fachlich richtig anerkannt wird. Die Bestimmung von Erschütterungsimmissionen auf Grundlage von Messungen erfolgt daher ebenfalls nach dem in dieser Norm festgelegten Berechnungsverfahren.

Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden werden anhand der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ beurteilt. Dabei ergibt sich das $KB(t)$ -Signal aus dem unbewerteten Schwingschnellesignal durch Frequenzbewertung und Normierung. Der $KB_F(t)$ -Wert ist nach DIN 45669 [1] als gleitender Effektivwert des bewerteten Erschütterungssignals $KB(t)$ mit der Zeitkonstante 0,125 sec. (Fast) definiert. Als untere Wahrnehmbarkeitsschwelle ist etwa $KB = 0,1$ anzusehen. Da im Regelfall die Schwingstärke der Vertikalkomponente (z-Richtung) die der Horizontalkomponente (x- bzw. y-Richtung) übersteigt, wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ausschließlich auf die Vertikalkomponente abgestellt.

Zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden sind nach DIN 4150, Teil 2 hierbei zwei Beurteilungsgrößen erforderlich:

- KB_{Fmax} : maximal bewertete Schwingstärke

Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} ist der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$, der während der jeweiligen Beurteilungszeit auftritt.

- KB_{FTr} : Beurteilungs-Schwingstärke

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} berücksichtigt neben der Stärke der Erschütterungsereignisse auch die Dauer und Häufigkeit ihres Auftretens. Dabei wird jedes Ereignis in 30 sec. Takte eingeteilt (Taktmaximalverfahren).

Es gilt:

$$KB_{FTr} = KB_{FTm} \cdot \sqrt{\left(\frac{T_e}{T_r}\right)}$$

Dabei ist:

T_r : Beurteilungszeit (tags 16 h, nachts 8 h)

T_e : Summe der Taktzeiten mit Erschütterungseinwirkungen.³

KB_{FTm} : Taktmaximal-Effektivwert als Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte KB_{FTi} der Ereignisse i (z.B. Zugvorbeifahrt).

N : Anzahl der Takte

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (KB_{FTi})^2}$$

Anmerkung:

Takte mit $KB_{FTi} < 0,1$ sind gleich 0 zu setzen, gehen jedoch in die Anzahl der Takte N ein.

Nach DIN 4150, Teil 2 erfolgt die Beurteilung anhand der Kriterien A_u und A_o für die

³ Dabei wird ein Faktor 2 zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten angesetzt.

maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} sowie A_r für die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} . Hierbei gilt folgende Methodik:

- Ist KB_{Fmax} kleiner als der untere Anhaltswert A_u , dann ist die Anforderung 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 KB_{FT_r} kleiner als der Anhaltswert A_r ist.
- Ist KB_{Fmax} größer als der obere Anhaltswert A_o bzw. KB_{FT_r} größer als der Anhaltswert A_r , gilt die Anforderung der Norm als 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:

Tabelle 3: Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach DIN 4150, Teil 2

Einwirkungsort	Tags			Nachts		
	A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und ggf. ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vgl. Industriegebiete BauNVO § 9)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vgl. Gewerbegebiete BauNVO § 8)	0,3	6	0,15	0,2	0,4 (0,6)	0,1
Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vgl. Kerngebiete BauNVO § 7, Mischgebiete BauNVO § 6, Dorfgebiete BauNVO § 5)	0,2	5	0,10	0,15	0,3 (0,6)	0,07
Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vgl. reines Wohngebiet BauNVO § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO § 2)	0,15	3	0,07	0,1	0,2 (0,6) (0,3)	0,05
Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

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

- Die Anhaltswerte A_o (oberer Wert) erhalten beim Schienenverkehr eine andere Bedeutung als in der übrigen Norm. Der obere Anhaltswert A_o hat nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne KB_{Fmax} -Werte bei oberirdischen Strecken über $A_o = 0,6$ und bei unterirdischen Strecken über $A_o = 0,3$, so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z.B. Flachstellen an Rädern) und diese sind möglichst rasch zu beheben.

- Für oberirdische Schienenwege des ÖPNV gelten die um den Faktor 1,5 angehobenen A_{LF} - und A_r -Werte nach *Tabelle 2*
- Bei der Ermittlung der Beurteilungsschwingstärke $KB_{FT,r}$ wird der Faktor 2 zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten nicht angesetzt.
- Im Zuge der Bauleitplanung ist eine Einhaltung der Anhaltswerte anzustreben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Anhaltswerte indikatorischen Charakter haben und eine bei der Beurteilung im Einzelfall ggf. entsprechende (Mess-)Unsicherheiten zu berücksichtigen sind.

4.1.1 Kriterien einer wesentlichen Änderung bei Erschütterungsimmissionen

Nach der aktuellen Rechtsprechung [14] und [15] müssen sich Betroffene vorhandene Vorbelastungen aus Erschütterungsimmissionen zurechnen lassen, d.h. dass die Vorbelastung bei der Prüfung möglicher Vorsorgeansprüche und bei der Abwägung geeigneter Schutzvorkehrungen zu berücksichtigen ist. In diesem Zusammenhang wird auf die Rechtsprechung zum Luftschallschutz vor Inkraftsetzung der 16. BImSchV [20] verwiesen. Demgemäß lassen sich nach der gegenwärtigen Rechtslage reale und geldwerte Ausgleichsansprüche beim Vorhandensein erheblich belästigender Erschütterungsimmissionen an baulich geänderten Schienenverkehrswegen nur dann ableiten, wenn die Vorbelastung durch bestehende Bahnanlagen durch das Hinzutreten weiterer Erschütterungseinwirkungen in beachtlicher Weise erhöht wird und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche, unzumutbare Beeinträchtigung liegt. Dies wird auch durch das aktuelle Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes [15] bestätigt. Konkret wird dabei argumentiert, dass ein Erschütterungsschutz nur dann verlangt werden kann, wenn die Erschütterungsbelastung durch den baulichen Eingriff in beachtlicher Weise erhöht und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche, dem Betroffenen billigerweise nicht mehr zumutbare Belastung liegt.

Im Zusammenhang mit der Frage, welche Erhöhung der Erschütterungsimmission eine unzumutbare Beeinträchtigung darstellt bestätigt das Gericht, dass eine Verstärkung der Erschütterungen dann wesentlich ist, wenn diese sich gegenüber der Vorbelastung um mindestens 25 % erhöht. Hierbei wird die Festsetzung der Größe dieser Wahrnehmungsschwelle durch empirische hinreichend abgesicherte Erkenntnisse gestützt. Die Ergebnisse einer Laborstudie im Auftrag der Deutschen Bahn AG [33] bilden hierzu die Grundlage. Die Laborstudie kommt zum Ergebnis, dass eine Erschütterungsdifferenz von 25 % Erhöhung "praktisch als Labor-Unterschiedsschwelle" anzusehen ist. Bei der Durchführung der

Laboruntersuchungen, bei denen mehreren Probanden Erschütterungssignale zur Beurteilung angeboten wurden, wurden strenge Vergleichsbedingungen mit kurzen Pausen (ca. 3 Sekunden) zwischen den beiden angebotenen Signalen (Reiz- und Vergleich) angewendet. Unter realen Bedingungen ist die Pausenstruktur zwischen den einzelnen Zugvorbeifahrten jedoch wesentlich größer, so dass in der Praxis die Wahrnehmung von Erschütterungsdifferenzen erst bei größeren Reizdifferenzen zu erwarten ist und somit der Ansatz als obere Abschätzung im Sinne der Betroffenen einzustufen ist.

Da im vorliegenden Fall keine baulichen Maßnahmen am Schienenverkehrsweg vorgesehen sind, sondern vielmehr neue (Wohn-)Bebauung an diesen heranrückt, ist der o.g. Sachverhalt der „wesentlichen Änderung“ nicht gegenständlich.

4.1.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

Zur Beurteilung der Einwirkungen von Erschütterungen im Hinblick auf Gebäudeschäden können die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 3 [12] herangezogen werden. Dort werden Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Minderung des Gebrauchswerts von Bauwerken und Gebäuden nicht zu erwarten sind. Derartige Minderungen beinhalten auch leichte Schäden wie z.B. Risse im Putz von Wänden, Vergrößerung bereits vorhandener Risse u.a.

Für **stationäre Erschütterungsereignisse** (Dauererschütterungen) gem. Abschnitt 6.1, DIN 4150, Teil 3 gelten folgende Anhaltswerte:

Beurteilung Gesamtbauwerk:

Tabelle 4: Anhaltswerte für die horizontale Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s
		Oberste Deckenebene, horizontal , alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnliche strukturierte Bauten	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5

Beurteilung von Decken:

Vertikale Schwinggeschwindigkeiten bis 10 mm/s führen bei Geschossdecken in Gebäuden nach Tabelle 1, Zeile 1 und 2 erfahrungsgemäß nicht zu Schäden, selbst wenn die bei der statischen Bemessung zulässigen Spannungen voll in Anspruch genommen werden. Diese Schwingungen sind sehr stark spürbar. Bei Gebäuden nach Tabelle 2, Zeile 3 kann kein Anhaltswert für Geschossdecken angegeben werden.

Diese o.g. Werte liegen jedoch um ein Vielfaches über den Werten zur Einhaltung der Anhaltswerte für Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, so dass die Ermittlung der KB-Werte in vorliegender Untersuchung ausreicht.

Für **kurzzeitige Erschütterungsereignisse** (Stoßerschütterungen, Spitzenwerte) gem. Abschnitt 5.1 der DIN 4150, Teil 3 werden hauptsächlich Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit am Fundament herangezogen. Hierfür gelten folgende Anhaltswerte:

Beurteilung Gesamtbauwerk:

Tabelle 5: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke (Spitzenwerte)

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s			
		Fundament			Oberste Deckenebene, horizontal
		1 Hz bis 10 Hz	10 Hz bis 50 Hz	50 Hz bis 100 Hz*)	alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnliche strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 bis 8	8 bis 10	8

*) Für Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.

4.2 Sekundärer Luftschall

In das Gebäude übertragende Schwingungen werden von Raumbegrenzungsflächen (z.B. Wände, und insbesondere Geschossdecken) abgestrahlt und können als tieffrequenter

Luftschall störend wahrgenommen werden.

Für die Beurteilung von Einwirkungen durch sekundären Luftschall aus öffentlichen Verkehrswegen existieren z.Zt. weder gesetzlich verbindliche Richtlinien noch konkrete normative Grenz- bzw. Orientierungswerte. Hilfsweise wird daher vielfach auf Regelwerke, die Anforderungen an den Innenpegel in Räumen stellen (z.B. VDI 2719, 24.BImSchV, TA Lärm u.a.), zurückgegriffen. Konkrete normative Grenz- bzw. Richtwerte für sekundären Luftschall aus gewerblichen Anlagen legt die TA-Lärm [13] fest. Das LfU Bayern [16] empfiehlt daher eine differenzierte Anwendung der TA Lärm als aktuelle Erkenntnisquelle. Die Anforderungen gelten hierbei als erfüllt, wenn die folgenden für Geräuschübertragungen innerhalb von Gebäuden oder bei Körperschallübertragung heranzuziehenden Immissionsrichtwerte gemäß Nr. 6.2 für Immissionsorte innerhalb von Gebäuden (Wohn- und Schlafräume bzw. vergleichbar genutzte unabhängig von der Gebietsnutzung) eingehalten werden:

Tabelle 6: Immissionsrichtwerte innerhalb von Gebäuden gemäß Nr.6.2 der TA-Lärm

Beurteilungszeitraum	Beurteilungspegel L_r in dB(A)
Tags (6:00 - 22:00 Uhr)	35
Nachts (22:00 - 6:00 Uhr)	25

Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen (Maximalpegel) dürfen die Immissionsrichtwerte (für Beurteilungspegel) dabei um nicht mehr als 10 dB(A) überschreiten.

Die VDI 2719 „Schalldämmung von Fenstern u. deren Zusatzeinrichtungen“ [17] führt Anhaltswerte für „mittlere Maximalpegel“ der Innenschallpegel auf, die nur für von außen in Aufenthaltsräume eindringenden Luftschall gültig sind. Hierzu enthält sie den Hinweis: „Bei Außenlärm mit starken Pegelschwankungen kann die Berücksichtigung der Pegelspitzen zur Kennzeichnung der erhöhten Störwirkung wichtig sein. In diesen besonderen Fällen sollte der mittlere Maximalpegel bestimmt werden.“ Als entsprechender mittlerer Maximalpegel ist u.E. gerade bei Schienenverkehr der Innenpegel während einer einzelnen Vorbeifahrt eines Fahrzeuges zu verstehen.

Vor diesem Hintergrund wird bei Schienenverkehr vom LfU Bayern bei mehr als fünf nächtlichen Zugvorbeifahrten empfohlen zusätzlich auf das Maximalpegelkriterium nachts abzustellen.

4.2.1 Kriterien einer wesentlichen Änderung beim sekundären Luftschall

Für den sekundären Luftschall wird in Anlehnung an die Vorgehensweise gemäß 16. BImSchV eine Erhöhung der Beurteilungspegel als wesentlich eingestuft, wenn die Umbaumaßnahmen (als erheblicher baulicher Eingriff) zu einer Erhöhung des sekundären Luftschallpegels um mindestens 3 dB(A) führen. Ein Anspruch auf Vorsorgemaßnahmen kann demzufolge nur dann bestehen, wenn die Maßnahme zu einer Erhöhung um mindestens 3 dB(A) führt und darüber hinaus der Immissionsrichtwert für den sekundären Luftschall überschritten wird.

Da im vorliegenden Fall keine baulichen Maßnahmen am Schienenverkehrsweg vorgesehen sind, sondern vielmehr neue (Wohn-)Bebauung an diesen heranrückt, ist der o.g. Sachverhalt der „wesentlichen Änderung“ nicht gegenständlich.

5 Schutzbedürftige Gebiete - Flächennutzung

5.1 Flächennutzung

In Anlehnung an die übliche Praxis im Immissionsschutz sind bezüglich der Art der betroffenen baulichen Gebiete und Einrichtungen für die Anwendung von Anhaltswerten die Festsetzungen in den Bebauungsplänen maßgeblich. Gebiete, für welche keine Festsetzungen bestehen, werden „entsprechend der Schutzbedürftigkeit“ bzw. anhand der tatsächlichen Nutzung eingestuft.

Basierend auf einer örtlichen Einsichtnahme [e] erfolgt die Gebietseinstufung in Abstimmung mit der Gemeinde Oberau unter Berücksichtigung des in Aufstellung befindlichen Bebauungsplanes, hilfsweise mithilfe der Flächennutzungspläne sowie, falls erforderlich, anhand der „tatsächlichen Schutzbedürftigkeit“. Dabei ergibt sich folgende Situation:

Die geplante Wohnbebauung soll gemäß Bebauungsplan [b], [c] in ihrer Schutzwürdigkeit als Mischgebiet (MI) gemäß BauNVO ausgewiesen werden.

5.2 Immissionsorte

Zur Beurteilung der erschütterungstechnischen Situation werden maßgebliche, repräsentative Immissionsorte herangezogen, die insbesondere die nächstgelegene bestehende bzw. evtl. geplante oder zulässige, schutzbedürftige (Wohn-)Bebauung charakterisieren. Bei den Immissionsorten handelt es sich um:

Tabelle 7: maßgebende Immissionsorte

ID	Bezeichnung/Lage	Nutzung
EFH1, EFH3, EFH5, EFH7	Einfamilienhäuser, Bereich Nord, zur Bahnlinie nächstgelegene Gebäudereihe West	MI
EFH2, EFH4, EFH6, EFH8	Einfamilienhäuser, Bereich Nord, zur Bahnlinie abgewandt gelegene Gebäudereihe Ost	MI
MFH	Mehrfamilienhaus, Bereich Süd	MI

Auswahl der Immissions- und Messorte

Die vorgenommene Auswahl und konkrete Untersuchung besonders bahnnaher Anwesen führt zu Prognosen, die im Regelfall eine obere Abschätzung darstellen, so dass die Übertragung der Ergebnisse auch auf andere im Untersuchungsgebiet befindliche bzw. weiter entfernt gelegene Anwesen gerechtfertigt erscheint.

Bei der Auswahl der Immissions- bzw. Messorte werden neben den einschlägigen Erfahrungen der Gutachter insbesondere folgende Aspekte berücksichtigt:

- 1) Abstand zur Strecke, wobei im Regelfall die der Erschütterungsquelle nächstgelegenen Anwesen messtechnisch untersucht werden
- 2) Gebäudeart/-kategorie. Hierbei spielen zum Beispiel neben dem Gebäudealter (Altbau/Neubau), die Bauweise (Massiv- oder Leichtbauweise bzw. Mischformen), die Gebäudenutzung Wohnungsbau, Büroflächen, Gewerbenutzung etc. eine Rolle
- 3) Aufbau und Art der Geschossdecken (Massivdecken, Holzbalkendecken u.ä.) sowie der Fußbodenaufbau (schwimmende Estriche etc.)
- 4) erschütterungstechnisch relevante geologische und topographische Aspekte

6. Erschütterungsmessungen

6.1 Messmethodik

Ermittlung der Schwingstärken (Erschütterungseinwirkungen):

Die DIN 4150, Teil 2 sieht die Ermittlung der Beurteilungsgrößen nur über Messungen an maßgeblichen Immissionsorten (i.d.R. Fußbodenmitte schutzbedürftiger Aufenthaltsräume) vor. Das Verfahren zur Prognose stützt sich in vorliegendem Fall demnach auf Messungen der Erschütterungseinwirkungen (Körperschallschnelle-Spektren der einzelnen Zuggruppen bei Zugvorbeifahrten) im Erdboden bzw. an der Erdoberfläche des Grundstücks, im Bereich der geplanten Gebäude an der der Erschütterungsquelle zugewandten Baulinie. Da derzeit Art und Beschaffenheit der künftigen Gebäude nicht feststeht, diese jedoch einen erheblichen Einfluss auf deren Erschütterungsempfindlichkeit haben, erfolgt die Prognose im Rahmen einer oberen Abschätzung anhand statistisch ermittelter Übertragungsfaktoren zwischen Erdreich und Geschossdecke als Immissionsort aus [3] (vgl. Kap. 3.2.1.2 und 3.2.1.3), bei jeweils kritischen Frequenzlagen der resonanzartigen Verstärkungen/Überhöhungen der Decken- bzw. Fußbodenaufbauten.

Ermittlung des sekundären Luftschalls:

Aus den für die Immissionspunkte (innerhalb der geplanten Gebäude) ermittelten Körperschallschnelle-Spektren der einzelnen Zuggruppen und deren jeweiligen Einwirkzeit nebst deren jeweiliger Anzahl kann gemäß Leitfaden der DB AG [3] in Abhängigkeit der Deckenbauweise bzw. entsprechend kritischer Frequenzlage der Deckenresonanz-Überhöhung und ggf. weiterer Parameter der zu erwartende Innenpegel-Anteil (sog. sekundärer Luftschall als Maximal- bzw. Vorbeifahrt-Pegel und anhand der Häufigkeit und jeweiligen Dauer ermittelte Beurteilungspegel) in Gebäuden abgeschätzt werden.

Zur Einstufung der Situation werden daher an verschiedenen Messpunkten im Plangebiet die bestehenden Schwingsschnellen im Erdboden bzw. an der Erdbodenoberfläche erfasst und darauf aufbauend eine überschlägige Prognose der künftig innerhalb von Gebäuden zu erwartenden Erschütterungsbelastungen erstellt. Die Messungen fanden am 04.08.2014 zwischen ca. 13 Uhr und 18 Uhr statt. Anwesend war Dipl.-Ing. (FH) D. Fleischer sowie zeitweise der unterzeichnende Sachverständige (hils consult gmbh).

6.2 Messorte

Zur Erfassung und Beurteilung der Situation werden Messpunkte im Bereich der zum Bahnkörper nächstgelegenen, nahezu parallelen Baulinie der geplanten Gebäude sowie in unterschiedlichen Abständen zur nächstgelegenen Gleismitte eingerichtet. Folgende Messpunkte werden dabei herangezogen:

Tabelle 8: Messpunkte

Messpunkt/Bezeichnung	Kanal	horizontaler Abstand zur nächstgel. Gleismitte Ri. München	Ankopplung / Messrichtung	zugeordneter Immissionsort
MP 1 im Nordwesten des Planareals	1	~ 17 m	Erdspieß vertikal	EFH5
MP 2 etwa Mitte, im Westen des Planareals	2	~ 16 m	Erdspieß vertikal	EFH3
MP 3 etwa Mitte, im Westen des Planareals	3	~ 16,5 m	Erdspieß vertikal	EFH1
MP 4 östlich des Bahngrundstücks	4	8 m	Erdspieß vertikal	alle
MP 5 seitlich/östlich des Bahngrundstücks	5	16 m	Erdspieß vertikal	alle
MP 6 seitlich/östlich des Bahngrundstücks	6	24 m	Erdspieß vertikal	alle

In der Lageskizze im Anhang (Abb. A1) sowie anschließendem Bildnachweis ist die Lage der Messpunkte ersichtlich.

6.3 Messgrößen und Frequenzbereich

Als Messgröße dient die durch Beschleunigungsaufnehmer erfasste Körperschall-Beschleunigung bzw. das sich daraus durch Integration ergebende unbewertete und der Schwingschnelle proportionale Erschütterungssignal nach DIN 45669-1. Der zu analysierende Frequenzbereich reicht von 4 Hz bis 80 Hz bzw. 315 Hz.

Die Pegelschriebe der Schwingschnelle werden für alle Ereignisse und Messpunkte gesichtet und auf Störungen kontrolliert bzw. bereinigt. Mit Störungen behaftete Messungen werden aussortiert. Insbesondere wird dabei auf eine korrekte Aussteuerung der

Signalverstärkungskette geachtet.

6.4 Messgeräte

Zur Durchführung der Messungen werden nachfolgende Messeinrichtungen verwendet, deren korrekte Funktion vor, während und nach den Messungen soweit möglich überprüft wird:

Tabelle 9: Übersicht verwendete Messgeräte

	Gerät	Typ	Serien-Nr.	Hersteller
x	modulares 6-Kanal-Datenerfassungssystem	DATaRec 4 MIC6	050736-032012	Zodiac Heim Systems
x	Auswerte-/Erfassungssoftware	si++	4.2.D617	Soundtec GmbH
	Mikrofon-Kapsel 1/2"	MK250	9380	Microtech Gefell MTG
	Mikrofon-Kapsel 1/2"	MK250	8198	Microtech Gefell MTG
x	Beschleunigungsaufnehmer Empfindlichkeit 1V/g, Frequenzbereich 0,5 - 5000 Hz	Typ M393A03	9686, 9687, 9688, 9421, 9465, 10345	PCB
	Impuls-Hammer	086D50	32596	PCB

Das Messsystem entspricht DIN 45699-1 wobei in regelmäßigen Abständen die maßgeblichen Komponenten (Sensoren, Datenerfassungssystem, Kalibrator) auf ein nationales Normal rückgeführt werden. Vor Beginn der Messungen und am Messende werden die Messketten überprüft und kalibriert.

Das Büro hils consult gmbh wird im Verzeichnis sachverständiger Prüfstellen für die Durchführung von Güteprüfungen nach DIN 4109 (VMPA-Schallschutzprüfstellen) unter der Nummer VMPA-SPG-214-04-BY geführt und nimmt am Qualitätssicherungsverfahren des Verbandes der Materialprüfungsämter (VMPA) teil. Hierbei erfolgt im Rahmen einer regelmäßig wiederkehrenden Auditierung eine Kontrolle der angewandten Messverfahren sowie die Überprüfung der verwendeten Schallsender und Messgeräte. Die Mess-Stelle ist darüber hinaus nach § 26/28 BImSchG (Geräusche und Erschütterungen) amtlich bekannt gegeben.

6.5 Messereignisse

Messdauer und Umfang der Messungen orientiert sich an messtechnischen Erfordernissen im Hinblick auf Signifikanz der Messdaten (insbesondere Anzahl der Ereignisse je Zuggruppe bzw. Messquerschnitt) für die spektrale Mittelwert- und Differenz-Bildung.

Als Erschütterungsquelle werden Zugvorbeifahrten auf den beiden Gleisen der Bahnlinie *München - Mittenwald* ausgewertet. Dabei konnten insgesamt 10 Zugvorbeifahrten messtechnisch erfasst werden, 9 davon auf dem vom Plangebiet abgewandten Gleis. (s. Zugprotokoll Tabelle A1 im Anhang)

Es wird davon ausgegangen, dass damit im Messzeitraum ein repräsentativer Durchschnitt des zur Zeit verkehrenden Verkehrsmengengerüsts erfasst wurde. Hinsichtlich künftiger im Prognosehorizont voraussichtlich verkehrender Zugarten kann ebenfalls davon ausgegangen werden, dass diese aus erschütterungstechnischer Sicht als mit den erfassten Zügen vergleichbar einzustufen sind.

Exemplarische Zeitverläufe und dazugehörige Spektren sind im Anhang, *Abb. A04* dargestellt.

Besonderheiten:

1) Die in weiten Abschnitten eingleisig geführte Strecke ist in Oberau bzw. im Bahnhofsbereich mit einem Ausweichgleis zweigleisig ausgebaut. Im aktuellen Fahrplan wird von derzeit 47 in Oberau regelmäßig (an Werktagen) haltenden Zügen lediglich eine Regionalbahn auf dem östlichen Gleis geführt. Die übrigen 46 Züge benutzen unabhängig von der Fahrtrichtung das westliche, vom Plangebiet abgewandte Gleis. Dennoch wird für den Prognosehorizont davon ausgegangen, dass beide Gleise in etwa gleichen Anteilen genutzt werden.

7. Auswertung Messungen

7.1 Charakteristische Erregerspektren - Emissionspegel

Zur Prognose der bewerteten Schwingstärke innerhalb der geplanten Gebäude ist basierend auf die vorliegenden Messergebnisse eine spektrale Auswertung in Terz-Bandbreite erforderlich. Daher wird aus den Zeitverläufen des unbewerteten

Schwingschnellesignals der entsprechende Wert je Terzband (mittlerer und maximaler Körperschall-Schnellepegel $L_{v,eq}$ und $L_{v,max}$ „max-hold“) im interessierenden Frequenzbereich 4 Hz - 80 Hz bzw. 315 Hz je Messpunkt gebildet. Diese Spektren können für die jeweiligen Messpunkte und die zugrundeliegenden Randbedingungen (u.a. Zuggeschwindigkeit, Entfernung zur Quelle, Bodenverhältnisse etc.) als repräsentativ für die vorhandene und im Prognosehorizont zu erwartende Anregung angesehen werden.

Emissionspegel:

Bei (oberirdischen) Schienenverkehrswegen wird die Emission (Quellstärke) durch die in einem festgelegten Abstand zur Gleisachse (typischerweise 8 m) im Erdboden gemessenen Schwingstärken charakterisiert.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ist eine gesonderte Messung des Emissionspegels jedoch nicht erforderlich, da die weiteren (ausbreitungsbedingten) Parameter unmittelbar immissionsseitig ermittelt werden können. An den Messpunkten 1, 2 und 3 erfasste Schwingstärken werden zusammengefasst bzw. unter Mittelwert-Bildung für die zum Bahngelände nächstgelegenen geplanten Gebäude herangezogen. Zusätzlich bzw. zur Ermittlung weiterer Ausgangsdaten wird ein Messpunkt (MP4) in 8 m zum nächstgelegenen Gleis eingerichtet.

Die gemessenen Emissions-/Immissionspektren werden ggf. nach Berücksichtigung entsprechender Korrekturen (vgl. Kap. 7.2) zur Anpassung der messtechnisch vorgefundenen an die künftige quellenspezifische Situation im Rahmen der Erschütterungsprognose als für den Standort charakteristische Erregerspektren herangezogen, die mit entsprechender Transmissionsfunktion in die geplanten Gebäude eingeleitet werden.

Die für die Prognose vorgesehenen Zuggattungen entsprechen denen des derzeitigen Standes und lassen sich entsprechend dem Zugmaterial nach folgenden emissionspezifischen Gruppen gemäß [d] zuordnen:

Verkehrsgattung	Zugart
Regionaler Personennahverkehr mit Lok	RV-E
Regionaler Personennahverkehr-Triebzug	RV-ET
Saison- oder sonstiger Fernreisezug mit Lok	AZ/D-E
Güterzug	GZ

7.2 Korrekturen Emissionsspektrum

Zur Anpassung der messtechnisch vorgefundenen an die künftige quellenspezifische Situation (Zuggeschwindigkeit, Oberbau etc.) werden emissionsseitig folgende Korrekturen berücksichtigt:

1) Geschwindigkeitskorrektur

Erfahrungsgemäß bzw. nach einschlägiger Literatur verändern sich die Erschütterungsemissionen bei Geschwindigkeitserhöhungen sowohl im Amplituden- als auch im Frequenzbereich. Es finden sowohl Anhebungen der Erschütterungsamplituden als auch Verschiebungen der pegelbestimmenden Frequenzbereiche statt. Bei kleinen Geschwindigkeitsänderungen (in der Regel bis maximal Geschwindigkeitsverdopplung bzw. -halbierung) kann eine rechnerische Ermittlung des gesuchten Erschütterungsemissionspegels L_{v2} aus dem bekannten L_{v1} nach dem Ansatz

$$L_{v2} = L_{v1} + 20 \log_{10} (v2 / v1)$$

wobei:

v1 - Geschwindigkeit des bekannten Pegels,

v2 - Geschwindigkeit des gesuchten Pegels

vorgenommen werden.

Im vorliegenden Fall ergibt sich folgende Differenzierung:

Bereich Nord (Einfamilienhäuser)

Da derzeit und voraussichtlich auch im Prognosehorizont alle Züge in Oberau halten, wird für den Messquerschnitt (Bereich Nord) im Bereich der Einfamilienhäuser keine Geschwindigkeitskorrektur vorgenommen, die mittlere Geschwindigkeit der erfassten Zugvorbeifahrten beträgt etwa 52 km/h.

Bereich Süd (Mehrfamilienhaus)

Der Bereich des Mehrfamilienhauses hingegen liegt etwa 125 m näher am Bahnhof Oberau und wiederum nur etwa 125 m vom Haltepunkt entfernt (vgl. *Abb. 1*), so dass hier die Geschwindigkeit der Zugvorbeifahrten in etwa mit Faktor 0,5 angesetzt werden kann.

Für den Bereich des Mehrfamilienhauses wird daher eine Geschwindigkeitskorrektur zu dem in 8 m Abstand zum Nächsten Gleis (MP4) erfassten, mittleren Emissionsspektrum vorgenommen. Diese beträgt im vorliegenden Fall mit $v_1 = 52 \text{ km/h}$ und $v_2 = 26 \text{ km/h}$:

$$Lv_2 = Lv_1 - 6 \text{ dB}$$

2) Weichen

Sofern keine konkreten Messdaten vorliegen kann gemäß [9] für Bereiche mit Weichen näherungsweise von folgender spektraler Korrekturfunktion ausgegangen werden:

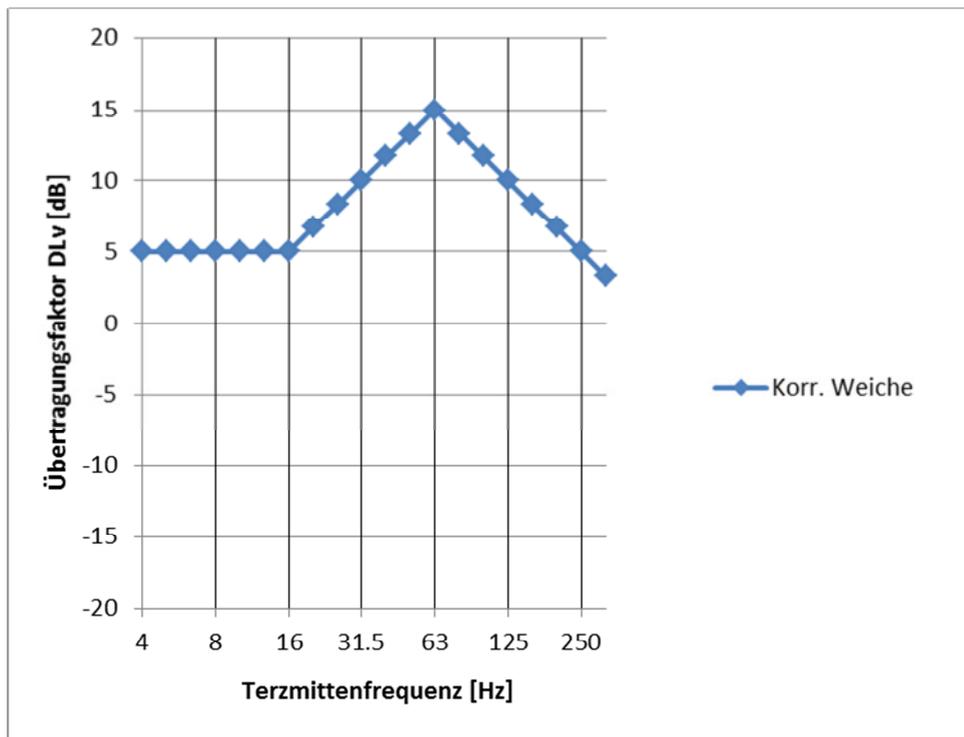


Abb. 6: Korrekturfunktion Weiche (Emissionssystem), [Quelle: Krüger, F., Handbuch Schall und Erschütterungen beim Schienennahverkehr, Tabelle 11.1: Mittlere relative Einflüsse verschiedener Parameter, Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. (STUVA), Köln, 1993 [9]]

Im vorliegenden Fall liegen keine Weichen im Umfeld der Immissionsorte, daher ist eine diesbezügliche Korrektur nicht notwendig.

3) enge Kurven

Sofern keine konkreten Messdaten vorliegen kann gemäß [9] für Bereiche mit engen Kurven näherungsweise von folgender spektraler Korrekturfunktion ausgegangen werden:

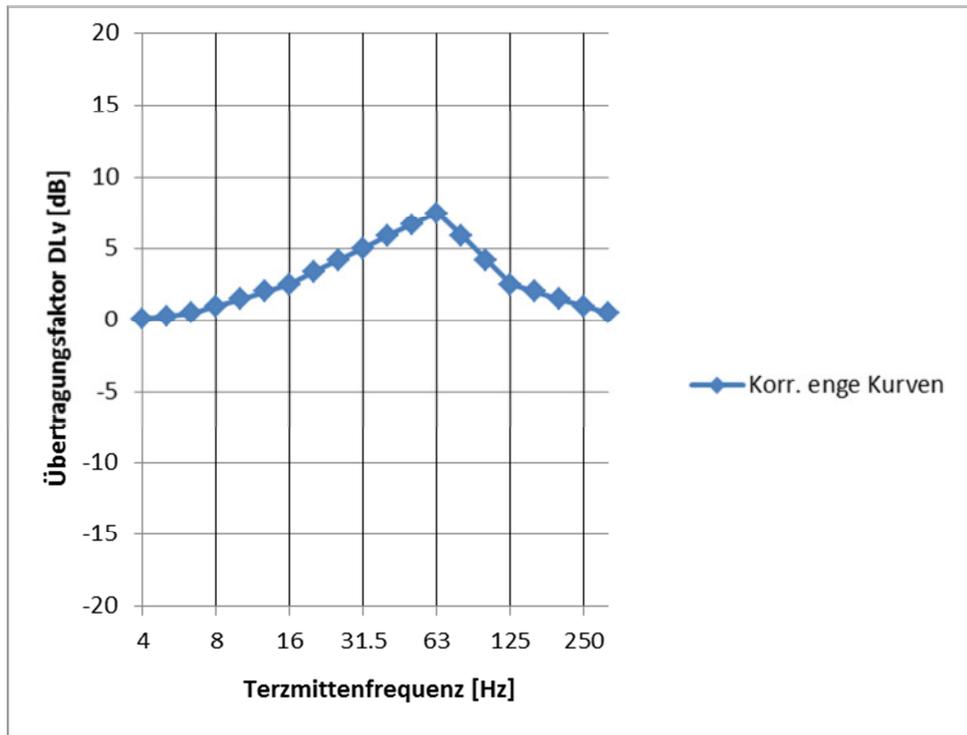


Abb. 7: Korrekturfunktion enge Kurven (Emissionssystem), [Quelle: Krüger, F., Handbuch Schall und Erschütterungen beim Schienennahverkehr, Tab.11.1 (8.Kurven), Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. (STUVA), Köln, 1993 [9]]

Im vorliegenden Fall ist eine diesbezügliche Korrektur nicht notwendig und wird nicht angewendet.

Die Körperschallschnelle-Spektren $L_{v,Fmax}$ der Zugvorbeifahrten an den Messpunkten MP 1 bis MP 3 sowie an MP4 werden durch Mittelwertbildung der erfassten Ereignisse/Zugvorbeifahrten zusammengefasst und sind im Anhang (Abb. A2, A3) grafisch dargestellt. Sie bilden die Grundlage für die weitere Prognose.

8. Abschätzung zu erwartende Immissionen innerhalb von Gebäuden

8.1 Betriebsprogramm 2025

Das der Untersuchung zugrunde liegende Verkehrsmengengerüst wird durch die Deutsche Bahn AG für den Prognosehorizont 2025 zur schalltechnischen Berechnung nach Schall03 mitgeteilt [d]. Für die erschütterungstechnische Untersuchung relevante Daten sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 10: Verkehrszahlen 2025 (Anzahl Züge, beide Richtungen zusammen)

Zugart	Geschwindigkeit v_{max} , [km/h]	Zuglänge [m]	Anzahl Züge (beide Fahrrichtungen zusammen)	
			Tag	Nacht
RV-ET	100	150	44	12
RV-E	100	210	32	4
AZ/D-E	100	210	2	0
GZ-E	100	500	1	1

Erläuterung Abkürzungen:
 - ET = Elektro-Triebzug
 - E = Bespannung mit E-Lok
 - RV = Regionalzug, GZ = Güterzug, AZ/D = Saison- oder sonstiger Fernreisezug

Bemerkung:

Da Haltepunkte die Fahrgeschwindigkeit bestimmen, jedoch für schaltechnische Untersuchungen gemäß Berechnungsvorschriften von der Streckengeschwindigkeit v_{max} auszugehen ist, wird für die erschütterungstechnische Untersuchung angenommen, dass die im Mittel erfassten Zuggeschwindigkeiten den tatsächlichen Betriebszustand des Streckenabschnittes darstellen, zumal gemäß Fahrplanaushang derzeit alle Züge in Oberau halten. Daher ist die Angabe der Streckengeschwindigkeit v_{max} aus erschütterungstechnischer Sicht hier nur informativ.

8.2 Abschätzung Erschütterungs-Immissionen (Erschütterungsprognose)**8.2.1 Transmissionsfunktionen****1) Entfernungsbedingte Pegelabnahme im Boden - T1**

Anmerkung: I.d.R. ist insbesondere bei oberirdischer Erschütterungsanregung die sich an der Grenzschicht (Erdbodenoberfläche) ausbildende, sog. „Oberflächenwelle“ maßgeblich bei der Anregung der Gebäude beteiligt, deren Eindringtiefe ist dabei stark frequenzabhängig und nimmt zu hohen Frequenzen hin ab.

Die Messpunkte zur Ermittlung der Emissionspegel in vorliegender Untersuchung werden im Bereich der maßgeblichen Fassaden der künftigen Gebäude eingerichtet, eine entsprechende Abstandskorrektur ist daher lediglich für die Gleislagenkorrektur (im Prognosehorizont wird im Sinne einer oberen Abschätzung gleiche Zugverteilung auf beiden Gleisen angenommen) erforderlich. Zur Ermittlung erforderlicher Abstandskorrekturen werden drei Messpunkte in unterschiedlichen Abständen zum Bahngelände eingerichtet (MP4, 5 und 6, vgl. *Tabelle 8* und Lageskizze im Anhang). Zu weiter entfernten Gebäudebereichen ist mit zunehmendem Abstand mit einer entsprechenden Abnahme der Amplitude der Schwingschnelle zu rechnen.

Die messtechnisch sowie über Regressionsrechnungen ermittelten Transmissionsfunktionen T_1 je Terzmittenfrequenz ergeben sich wie folgt (vgl. auch Anhang, Abb. A3b und A3c mit Gegenüberstellung der Messpunkte, insbes. zwischen MP 4 und MP 6 sowie Berechnungsblätter Anhang, Abb. A5 und A6):

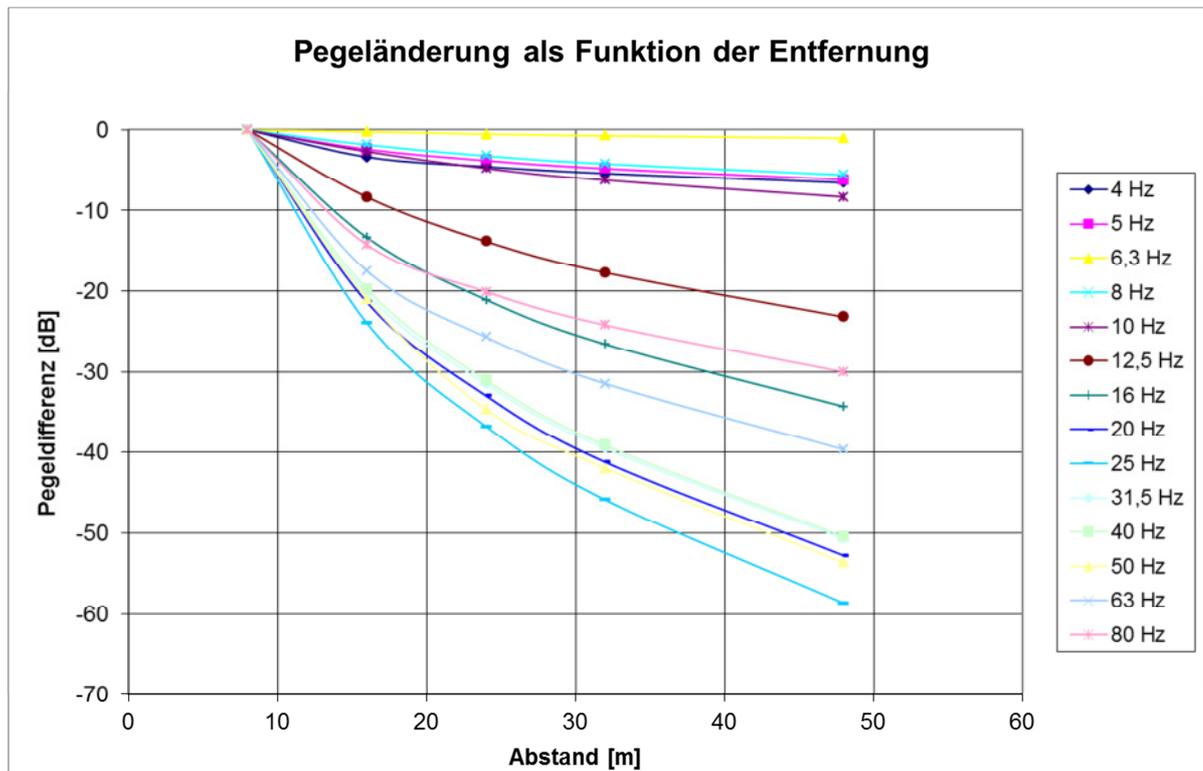


Abb. 8: Körperschallschnelle-Pegeländerungen als Funktion der Entfernung, je Terzmittenfrequenz für den Bereich Nord im Umgriff des Bebauungsplanes „Ehemaliges C+C Betriebsgelände“ der Gemeinde Oberau

2) Transmissionsfunktion Boden-Gebäude - (I1+I2)

Wie bereits in Kap. 3.2 beschrieben, unterliegt sowohl die Körperschallübertragung Boden-Gebäude (soil-structure-interaction) als auch die Fortleitung in Gebäuden großen Schwankungen. Insbesondere die gebäudespezifische Ankopplung an den Baugrund sowie die für jeden Raum individuellen Frequenzlagen der Deckenresonanzen nebst den jeweiligen Verstärkungsfaktoren haben einen entscheidenden Einfluss auf die Höhe der Erschütterungsimmissionen.

Da im vorliegenden Fall derzeit die Art und Beschaffenheit der künftigen Gebäude bzgl. deren Empfindlichkeit gegenüber Erschütterungseinwirkungen nicht erfasst bzw. mit vertretbarem Aufwand für ein Berechnungsmodell zutreffend abgebildet werden kann, werden hierzu statistisch ermittelte Übertragungsfaktoren als summative Überlagerung der Transmissionsfunktionen für das primäre und sekundäre Immissionssystem (I1+I2) zwischen Erdreich und Geschossdecke gemäß [3] herangezogen:

Übertragung auf und Ausbreitung innerhalb von Gebäuden:

Zur überschlägigen Abschätzung der Erschütterung in geplanten Gebäuden werden statistisch ermittelte Übertragungsfaktoren zwischen Erdreich und dem Fußboden in schutzbedürftigen Räumen herangezogen. Die hier zugrunde gelegte spektrale Transmissionsfunktion für das primäre und sekundäre Immissionssystem (I1+I2) sind Mittelwerte für jeweilige Resonanzfrequenzlagen, der aus zahlreichen Erschütterungsmessungen an verschiedenen (Wohn-)Gebäuden mit Stahlbetondecken ermittelt wurden (gemäß Leitfaden der Deutschen Bahn AG [3], [5]). Bei Holzbalkendecken sind die Resonanzüberhöhungen im Mittel geringfügig sowie zu tiefen Frequenzen hin (unterhalb 16 Hz) deutlich höher.

Im vorliegenden Fall wird hierbei von folgenden Resonanzüberhöhungen ausgegangen:

Tabelle 11: mittlere, für Prognosen heranzuziehende Resonanzüberhöhungen gemäß [3]

Terzmittenfrequenz [Hz]	Resonanzüberhöhung [dB]	Bemerkung
12,5	15	Massivbauweise, StB-Decken
16	15	Massivbauweise, StB-Decken
20	13,1	Massivbauweise, StB-Decken
25	11,3	Massivbauweise, StB-Decken
31,5	9,5	Massivbauweise, StB-Decken
40	9,5	Massivbauweise, StB-Decken

8.2.2 Bewertete Schwingstärke - KB-Werte

Ausgehend von den in Kap. 7 ermittelten charakteristischen Erregerspektren, werden bei der Abschätzung der zu erwartenden Deckenschwingungen und der sich hieraus ergebenden KB-Werte innerhalb der geplanten Gebäude folgende Annahmen getroffen:

Die Abschätzung der Erschütterungsmissionen (in Fußbodenmitte von Aufenthaltsräumen) werden bei unterschiedlichen (Decken- bzw. Estrich-)Resonanzfrequenzen, bei denen die maximalen Erschütterungsmissionen zu erwarten sind, durchgeführt. Im vorliegenden Fall sind bei etwa 12,5 Hz bis 16 Hz die höchsten Erschütterungs-Immissionen (KB-Werte) zu erwarten.

Basierend auf dem jeweils zugrundeliegenden Verkehrsmengengerüst bzw. der entsprechenden Ereignishäufigkeit erfolgt im Regelfall abschließend aus den KB_{FTm} -Werten je Messpunkt- und Erregergruppe die Bestimmung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} , die neben der Stärke des Erschütterungsereignisses auch die Dauer und Häufigkeit dessen

Auftretens berücksichtigt. Hierbei wird jeweils getrennt für Tag (6.00 bis 22.00 Uhr) und Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr) das Taktmaximalverfahren mit 30 sec. Takten gemäß der DIN 4150, Teil 2 herangezogen.

Konkret wird im vorliegenden Fall für die Prognose der in den geplanten Gebäuden zu erwartenden maximalen Schwingstärken und Beurteilungsschwingstärken der in o.g. Tab. 11 angegebene, mittlere Verstärkungsfaktor gemäß [3] bei entsprechender Decken-/Estrichresonanz-Frequenzlage bei pegelbestimmenden Frequenzlagen der Erschütterungsemissionen als obere Abschätzung herangezogen.

Die Berechnungen zur Abschätzung der Erschütterungseinwirkungen werden im Sinne einer Sensitivitätsanalyse bei unterschiedlichen Deckenresonanz-Frequenzen nebst entsprechenden Resonanzüberhöhungen durchgeführt, so dass sich hieraus die maximal zu erwartenden Immissionen ableiten lassen.

Nachfolgend wird davon ausgegangen, dass die geplanten (Wohn)Häuser in Massivbauweise mit Stahlbetondecken und schwimmendem Estrich erstellt werden.

1) Bereich Nord

Im nördlichen Bereich mit Einfamilienhausbebauung ist damit für die zur Bahnlinie nächstgelegene Gebäudereihe West folgende Situation zu erwarten:

Tabelle 12: Abschätzung Erschütterungsimmissionen für die Einfamilienhäuser EFH1, 3, 5 und 7 im Plangebiet (unter Einbezug von Decken-/Estrichresonanzen)

Deckenresonanz	KB _{Fmax,Tag}	KB _{Fmax,Nacht}	KB _{FTr,Tag}	KB _{FTr,Nacht}	Max. Anregung
12,5 Hz	1,01	1,01	0,167	0,109	
16 Hz	0,716	0,716	0,118	0,076	
20 Hz	0,402	0,402	0,066	0,042	
25 Hz	0,289	0,289	0,047	0,031	
31,5 Hz	0,245	0,245	0,040	0,026	
40 Hz	0,241	0,241	0,039	0,026	

Für die von der Bahnlinie weiter entfernten Gebäude EFH2, 4, 6 und 8 (Gebäudereihe Ost) sind unter der Voraussetzung, dass die geplanten (Wohn)Häuser in Massivbauweise mit Stahlbetondecken und schwimmendem Estrich erstellt werden deutlich geringere Erschütterungsimmissionen bzw. $KB_{Fmax} < 0,5$ zu erwarten.

2) Bereich Süd

Im südlichen Bereich bzw. für das geplante Mehrfamilienhaus ist folgende Situation zu erwarten:

Tabelle 13: Abschätzung Erschütterungsimmissionen für das geplante Mehrfamilienhaus (unter Einbezug von Decken-/Estrichresonanzen)

Deckenresonanz	$KB_{Fmax,Tag}$	$KB_{Fmax,Nacht}$	$KB_{FTr,Tag}$	$KB_{FTr,Nacht}$	Max. Anregung
12,5 Hz	0,469	0,469	0,095	0,062	
16 Hz	0,575	0,575	0,117	0,077	
20 Hz	0,502	0,502	0,100	0,066	
25 Hz	0,356	0,356	0,072	0,047	
31,5 Hz	0,247	0,247	0,050	0,033	
40 Hz	0,197	0,197	0,040	0,026	

Die detaillierten Auswertungen sind für 16 Hz und 40 Hz im Anhang *Abb. A5 bis A8* exemplarisch dargestellt.

8.2.3 Beurteilungs- und Maximalpegel sekundärer Luftschall

Die Belastung durch sekundären Luftschall wird aus den vorliegenden Erschütterungsdaten (Körperschall-Schnellepegelspektren der Ereignisse in Fußbodenmitte schutzbedürftiger Räume) abgeschätzt.

Theoretisch lässt sich nachfolgender Zusammenhang zwischen der Schwingschnelle auf den Raumumfassungsbauteilen, den jeweiligen Abstrahl- und Absorptionsverhältnissen im Raum und den daraus resultierenden Schalldruckpegeln im Raum angeben.

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

wobei

$L_{pA}(f_T)$	=	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

In der Praxis ist die Anwendung obiger Beziehung mit einigen Schwierigkeiten verbunden, da die Körperschallschnelle nicht nur in Fußbodenmitte, sondern auf allen Raum-Umfassungsbauteilen (also auch Wände und Decke) und mit Flächenverteilung bzw. flächendeckend gemessen werden müssten. Weiterhin ist die Kenntnis des Abstrahlgrades mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Im vorliegenden Fall erfolgt die Berechnung daher anhand des Leitfadens „Körperschall und Erschütterungsschutz“ der DB AG [3] auf Basis einer Regressionsanalyse der Zusammenhänge zwischen A-bewerteter Körperschallschnelle und sekundärem Luftschall für verschiedene Zugkategorien, Deckenkonstruktionen bei wohnüblicher Bauweise und Möblierung im hörbaren Frequenzbereich zwischen 25 Hz und 80 Hz wie folgt:

$$L_{\text{sek}, 25 \text{ Hz}} = 32,36 + 0,418 \cdot L_{V, 25 \text{ Hz}} \quad [\text{dB}(\text{lin})]$$

$$L_{\text{sek}, 31 \text{ Hz}} = 27,98 + 0,501 \cdot L_{V, 31 \text{ Hz}} \quad [\text{dB}(\text{lin})]$$

$$L_{\text{sek}, 40 \text{ Hz}} = 28,84 + 0,506 \cdot L_{V, 40 \text{ Hz}} \quad [\text{dB}(\text{lin})]$$

$$L_{\text{sek}, 50 \text{ Hz}} = 25,33 + 0,557 \cdot L_{V, 50 \text{ Hz}} \quad [\text{dB}(\text{lin})]$$

$$L_{\text{sek}, 63 \text{ Hz}} = 22,62 + 0,595 \cdot L_{V, 63 \text{ Hz}} \quad [\text{dB}(\text{lin})]$$

$$L_{\text{sek}, 80 \text{ Hz}} = 23,66 + 0,597 \cdot L_{V, 80 \text{ Hz}} \quad [\text{dB}(\text{lin})]$$

Hierbei ist L_V der entsprechende Körperschallschnellepegel im Raum, gemäß DIN 4150-2 etwa Fußbodenmitte und L_{sek} der je Frequenzband zu erwartende Schalldruckpegel. Anschließend sind diese spektralen Werte nach A-Frequenzbewertung energetisch zu summieren. Dieser Pegel kann somit als A-bewerteter "mittlerer Vorbeifahrtpegel" der jeweiligen Zuggruppe interpretiert werden. Über die o.g. korrelativen Beziehungen wird somit der sekundäre Luftschallpegel L_A einzelner Zugvorbeifahrten oder Zuggruppen bestimmt. Über die Anzahl der im Beurteilungszeitraum auftretenden Ereignisse, der Beurteilungszeit und der jeweiligen mittleren Einwirkzeit kann hieraus ein Mittelungspegel

über die zu beurteilenden Zeiträume (Beurteilungspegel tagsüber / nachts) berechnet werden.

Die Berechnungen zur Abschätzung der Immissionen aus sekundärem Luftschall werden im Sinne einer Sensitivitätsanalyse bei unterschiedlichen Deckenresonanz-Frequenzen durchgeführt, so dass sich hieraus die maximal zu erwartenden Immissionen ableiten lassen.

Nachfolgend wird davon ausgegangen, dass die geplanten (Wohn)Häuser in Massivbauweise mit Stahlbetondecken und schwimmendem Estrich erstellt werden.

1) Bereich Nord

Im nördlichen Bereich mit Einfamilienhausbebauung ist damit für die zur Bahnlinie nächstgelegene Gebäudereihe West folgende Situation zu erwarten:

Tabelle 14: Abschätzung sekundärer Luftschall für die zur Bahn nächstgelegenen Einfamilienhäuser EFH1, 3, 5 und 7 im Plangebiet (unter Einbezug von Decken-/Estrichresonanzen)

Deckenresonanz	Mittelungspegel L_m dB(A)		max. Vorbeifahrtpegel L_{max} dB(A)	
	tags	nachts	L_{max} tags / nachts	Anregung tags / nachts
12,5 Hz	<20	<20	26,1	
16 Hz	<20	<20	26,7	
31,5 Hz	<20	<20	28,9	
40 Hz	<20	<20	30,4	

Für die von der Bahnlinie weiter entfernten Gebäude EFH2, 4, 6 und 8 (Gebäudereihe Ost) sind deutlich geringere Immissionen des sekundären Luftschall zu erwarten.

2) Bereich Süd

Im südlichen Bereich bzw. für das geplante Mehrfamilienhaus ist folgende Situation zu erwarten:

Tabelle 15: Abschätzung sekundärer Luftschall für das geplante Mehrfamilienhaus (unter Einbezug von Decken-/Estrichresonanzen)

Deckenresonanz	Mittelungspegel L_m dB(A)		max. Vorbeifahrtpegel L_{max} dB(A)	
	tags	nachts	L_{max} tags / nachts	Anregung tags / nachts
12,5 Hz	<20	<20	26,1	
16 Hz	<20	<20	26,6	
31,5 Hz	<20	<20	28,8	
40 Hz	<20	<20	29,8	

8.3 Betroffenheitskorridor - Extrapolation der Ergebnisse

Zur Ermittlung eines Korridors mit potentiellen Betroffenheiten im Untersuchungsgebiet, sind die o.g. Ergebnisse der exemplarisch untersuchten, repräsentativen Gebäude auf alle im Einwirkungsbereich des Vorhabens gelegene, potentiell betroffene Gebäude zu extrapolieren. Die vorgenommene Auswahl und konkrete Untersuchung besonders bahnnaher Anwesen führt zu Prognosen, die im Regelfall eine obere Abschätzung darstellen, so dass die Übertragung der Ergebnisse auch auf andere im Untersuchungsgebiet befindliche bzw. weiter entfernt gelegene Anwesen gerechtfertigt erscheint.

Hierzu erfolgt im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse eine Variation der relevanten Einflussparameter. Konkret erfolgt dabei für charakteristische Abschnitte der Streckenführung schrittweise eine kombinatorische Variation des Gebäudeabstands (zur Trasse/Quelle) sowie der Decken-/Estricheigenfrequenz. Hieraus lässt sich der Einwirkungsbereich/Abstand abschätzen, innerhalb dessen eine Überschreitung der entsprechenden Anhaltswerte nicht auszuschließen ist.

Im vorliegenden Fall bzw. durch die vorgegebenen Baulinien und Abstandsflächen für Wohngebäude gemäß Planung im Umgriff des gegenständlichen Bebauungsplanes ist unter der Voraussetzung, dass die geplanten (Wohn)Häuser in Massivbauweise mit Stahlbetondecken und schwimmendem Estrich erstellt werden, nur für die zur Bahnlinie nächstgelegenen Wohngebäude (Mehrfamilienhaus Bereich Süd und Gebäudereihe West der Einfamilienhäuser im Bereich Nord) mit Überschreitungen der Anhaltswerte gemäß DIN 4150-2 zu rechnen.

9. Beurteilung der zu erwartenden Immissionen innerhalb von Gebäuden

9.1 Erschütterung:

Wie in Kap. 7.2.2 dargestellt, sind die kritischen gebäude- bzw. raumspezifischen Körperschallübertragungsfaktoren bei 12,5 Hz und 16 Hz zu erwarten. Damit ergibt sich unter der Voraussetzung, dass die geplanten (Wohn)Häuser in Massivbauweise mit Stahlbetondecken und schwimmendem Estrich erstellt werden, folgende Beurteilung:

Tabelle 16: Bewertung maximale, zu erwartende Erschütterungsimmissionen anhand DIN 4150-2

Adresse, Bauweise	Nutzung	Anhaltswerte DIN 4150-2 $A_u/A_o/A_r$		Prognose 2012			Anhaltswerte eingehalten j/n
		Tag	Nacht	KB_{Fmax} Tag/Nacht	KB_{FTr} Tag	KB_{FTr} Nacht	
z.B. EFH 7 (Betondecke, 12,5 Hz)	MI	0,2/5/0,10	0,15/0,6/0,07	1,01	0,167	0,109	nein
MFH (Betondecke, 16 Hz)	MI	0,2/5/0,10	0,15/0,6/0,07	0,575	0,117	0,077	nein

Es zeigt sich, dass die Anhaltswerte für Beurteilungs- und Maximalwerte der Schwingstärke im Hinblick auf Vermeidung erheblicher Belästigungen von Menschen in Wohnungen und Arbeitsräumen bei Gebäuden mit kritischen Körperschallübertragungseigenschaften (besonders niedrige Deckeneigenfrequenzen) nicht eingehalten bzw. die Beurteilungskriterien nach DIN 4150, Teil 2 nicht erfüllt werden. Die ermittelten KB_{Fmax} -Werte liegen im deutlich wahrnehmbaren Bereich. Die Beurteilungsschwingstärken (KB_{FTr} -Werte) in den geplanten Gebäuden genügen somit den Anhaltswerten A_r der DIN 4150, Teil 2 nicht bzw. überschreiten diese z.T. um mehr als 25 %, so dass wesentliche Beeinträchtigungen durch Erschütterungseinwirkungen nicht ausgeschlossen bzw. zu erwarten sind. Entsprechende Schutzmaßnahmen zur Verminderung der Einwirkungen aus Erschütterungen sind somit zu beachten.

Die Anforderungen der DIN 4150, Teil 3 [12], bzgl. Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden werden dennoch bei weitem eingehalten. Gebäudeschäden infolge des Bahnverkehrs können für die geplanten Gebäude damit ausgeschlossen werden.

9.2 sekundärer Luftschall:

Wie in Kap. 8.2.4 dargestellt, sind die kritischen gebäude- bzw. raumspezifischen Körperschallübertragungsfaktoren bei 40 Hz und 50 Hz zu erwarten. Damit ergibt sich folgende Beurteilung:

Tabelle 17: Bewertung sekundärer Luftschall (mittlere maximale Innen- und Beurteilungspegel) in Anlehnung an TA Lärm

Adresse, Bauweise	Nutzung	L _i TA Lärm, Nr. 6.2		mittl. L _{max} nach TA Lärm		Prognose 2012			Anhaltswerte eingehalten j/n
		Tag	Nacht	Tag	Nacht	L _i Tag	L _i Nacht	L _{max} Tag / Nacht	
z.B. EFH 7 (Betondecke, 12,5 Hz)	MI*	35	25	45	35	< 20	< 20	31	ja
MFH (Betondecke, 16 Hz)	MI	35	25	45	35	< 20	< 20	32	ja

*) Anm.: die TA Lärm unterscheidet bei Innenpegeln aus Körperschallübertragung nicht nach Gebietsnutzung

Es zeigt sich, dass die in Anlehnung an TA Lärm abgeleiteten maximal zulässigen Innenpegel (Mittelungspegel über 16h tagsüber und 8h nachts) eingehalten bzw. deutlich unterschritten werden. Auch ist eine Überschreitung der maximal zulässigen Spitzenpegel durch den Vorbeifahrtpegel in Anlehnung an die Richtwerte gem. Nr. 6.2 TA Lärm [13] nicht zu erwarten.

Fazit:

Entsprechende Maßnahmen zur Verminderung der Erschütterungsimmissionen sind in Hinblick auf Einwirkungen durch die bewertete Schwingstärke erforderlich. Hierzu sollte auf eine entsprechende Abstimmung der Eigenfrequenzen von Bauteilen geachtet werden, um unerwünschte Resonanzüberhöhungen (Verstärkungseffekte) zu minimieren.

Dies bedeutet konkret, dass

- auf Holzbalkendecken grundsätzlich zu verzichten ist und die Decken, schwimmende Estriche und sonstige elastisch gelagerte Sekundärkonstruktionen von Aufenthaltsräumen so auszuführen sind, dass deren Abstimmfrequenz etwa 16 Hz überschreitet und sich somit außerhalb des Frequenzbereichs der größten Anregung durch die Bahn befindet. Sofern keine besonders großen Deckenspannweiten vorgesehen sind, ergeben sich u.E. hieraus keine größeren baupraktischen Einschränkungen.

10. Erschütterungsmindernde Maßnahmen

10.1 Systeme und Kategorien

Zur Reduzierung von Erschütterungsimmissionen und sekundärem Luftschall kommen nur in der Praxis erprobte und als dauerhaft wirksam erkannte Maßnahmen in Frage.

Entsprechend dem aktuellen Stand der Technik existieren insbesondere für Schienenverkehrswege folgende Möglichkeiten (siehe DIN 45673-1 [31]):

1) Maßnahmen an der Quelle

Dies können sein „Kontinuierliche elastische Schienenlagerungen“ (*elastische Rillenschienenlagerung (ER)*)“ und „*kontinuierlich elastisch gebetteten Schienensystem (KES)*“), Hochelastische Schienenbefestigung (HES) sowie Masse-Feder-Systeme (MFS).

2) Maßnahmen am Ausbreitungsweg:

Schlitzwand:

Durch Gräben, offene Bodenschlitze o.ä. kann eine entsprechende Schwingungsminderung auf dem Ausbreitungsweg (Transmissionssystem) erzielt werden. Dabei ist zu beachten, dass je nach Eindringtiefe der Oberflächenwelle teilweise relativ große Schlitztiefen erforderlich werden und die Wirksamkeit darüber hinaus stark frequenzabhängig sein kann. Auch ist eine Schutzwirkung nur in unmittelbarer Nähe zum Schlitz (Abschirm- bzw. Beugungsbereich) zu erwarten.

3) Maßnahmen am Gebäude:

Auch unmittelbar am zu schützenden Gebäude können Maßnahmen zum Erschütterungsschutz eingesetzt werden. Folgende Maßnahmen sind denkbar:

- Art der Fundamentierung (Punkt-, Streifen-, Flächen Fundament, Impedanzplatte)
- Elastische Gebäudelagerung ggf. in Verbindung mit
- Seitliche Abschirmung bzw. Trennung des Gebäudes vom Erdreich mit Elastomermatten
- schwingungsdynamisch optimierte Abstimmung von schwimmenden Estrichen und sonstig elastisch gelagerten Sekundärkonstruktionen
- Verstimmung einzelner Decken und Deckenbereiche durch Versteifung (Unter-/Oberzüge sowie Einbau von Stützen)
- Weitere Bedämpfungsmaßnahmen z.B. durch Einbau von Tilgern u.ä.

Diese o.g. Maßnahmen sind jedoch nur lokal für das jeweilige Gebäude wirksam, erweisen sich häufig als nicht (nachträglich) realisierbar oder unverhältnismäßig aufwändig.

Die o.g. Systeme unterscheiden sich in ihrer Wirksamkeit und dem Frequenzbereich, ab dem sie wirksam werden. So wirken die Systeme *ER*, *HES* und *KES* im Frequenzbereich oberhalb von etwa 50 Hz und sind daher vorwiegend zur Minderung von sekundärem Luftschall geeignet, während sich Masse-Feder-Systeme erheblich tiefer abstimmen lassen und so auch eine deutliche Verringerung der spürbaren Erschütterungen erwarten lassen.

Zu beachten ist, dass die Systeme grundsätzlich selbst ein Resonanzverhalten aufweisen was im jeweiligen Frequenzbereich auch zu Verstärkungen der Schwingungen führen kann. Daher müssen die Schutzsysteme in Zuge der Ausführungsplanung auf die jeweiligen Anforderungen der Örtlichkeit und jeweiligen Fahrbahnart speziell abgestimmt werden. Die Wirksamkeit von Erschütterungsschutzmaßnahmen kann durch das sogenannte Einfügungsdämm-Maß beschrieben werden. Dabei handelt es sich um eine logarithmische Größe (in dB), die die Schwingungsminderung in Abhängigkeit von der Frequenz beschreibt. Die Kurve für das Einfügungsdämm-Maß wird maßgeblich durch die Resonanzfrequenz (oder Abstimmfrequenz) des Systems beschrieben. Im Bereich der Abstimmfrequenz kommt es systembedingt zu einer Verstärkung der Schwingungen; die wirksame Schwingungsminderung beginnt etwa beim 1,5-fachen der Abstimmfrequenz. Je größer die Schieneneinsenkung ist, umso größer ist in der Regel das Einfügungsdämm-Maß und umso tiefer liegt die Abstimmfrequenz. In der nachfolgenden Tabelle sind die Maßnahmen in 4 Kategorien in Abhängigkeit von ihrer Abstimm- bzw. Resonanzfrequenz zusammenfassend dargestellt:

Tabelle 18: Wirksamkeit von Maßnahmen zum Erschütterungsschutz in Abhängigkeit von der Abstimmfrequenz

Kategorie	Abstimmfrequenz in [Hz]	Art der Schutzmaßnahme
I	≈ 40	Elastische Rillenschienenlagerung (ER)
II	≈ 35	Hochelastische Schienenlager (HES) Kontinuierliche elastische Lagerung (KES)
III	≈ 25	flächig gelagertes Masse-Feder-System (fMFS)
IV	≈ 10-20	punktförmig gelagertes Masse-Feder-System (pMFS)

10.2 Maßnahmen zum Erschütterungsschutz

Es zeigt sich, dass an den zum Bahngelände nächstgelegenen geplanten Wohngebäuden Überschreitungen der Anhaltswerte für die Beurteilungsschwingstärke bei bestimmten baulichen Merkmalen bzgl. deren Bauweise zu erwarten sind.

Folgende Maßnahmen zum Erschütterungsschutz werden daher im vorliegenden Fall empfohlen:

- Auf Holzbalkendecken ist grundsätzlich zu verzichten und die Decken, schwimmende Estriche und sonstige elastisch gelagerte Sekundärkonstruktionen von Aufenthaltsräumen sind so auszuführen, dass deren Abstimmfrequenz etwa 16 Hz überschreitet und sich somit außerhalb des Frequenzbereichs der größten Anregung durch die Bahn befindet. Sofern keine besonders großen Deckenspannweiten vorgesehen sind, ergeben sich u.E. hieraus keine größeren baupraktischen Einschränkungen.

11. Zusammenfassung

Die Gemeinde Oberau beabsichtigt die Überplanung eines ursprünglich gewerblich genutzten Areals in ein Mischgebiet und in diesem Zuge die Aufstellung des Bebauungsplanes "*Ehemaliges C + C Betriebsgelände*". Im Rahmen einer erschütterungstechnischen Untersuchung ist zunächst die Verträglichkeit der geplanten Nutzung mit den Grundsätzen der Bauleitplanung zu prüfen und in diesem Zusammenhang die allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse sowie die Belange des Umweltschutzes gemäß § 1 Abs. 6 Nr. 1 BauGB [26] zu berücksichtigen. Dabei sollen die durch Schienenverkehr der Bahnlinie *München - Mittenwald* zu erwartenden Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall innerhalb der künftigen Gebäude auf dem Areal abgeschätzt und anhand der DIN 4150, Teil 2 [11], in Anlehnung an TA Lärm [13] und weiterer einschlägiger Richtlinien beurteilt werden.

Hierzu werden an verschiedenen Messpunkten im Plangebiet die bei Zugvorbeifahrten bestehenden Schwingschnellen im Erdboden bzw. an der Erdoberfläche erfasst und darauf aufbauend eine überschlägige Prognose der innerhalb der geplanten Gebäude zu erwartenden Erschütterungsimmissionen erstellt. Da derzeit die Art und Beschaffenheit der künftigen Gebäude noch nicht endgültig feststeht, dies jedoch einen erheblichen Einfluss auf deren Erschütterungsempfindlichkeit und somit für die Einwirkungen auf Menschen im Gebäude hat, erfolgt die Prognose anhand statistisch ermittelter Übertragungsfaktoren zwischen Erdreich und Geschossdecke aus [3] im Sinne einer oberen Abschätzung.

Es zeigt sich, dass

- bei den Erschütterungseinwirkungen auf die geplanten Wohnhäuser mit einer Einhaltung bzw. deutlichen Unterschreitung der gebietspezifischen Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 zu rechnen ist, sofern bzw. als Voraussetzung von Stahlbetondecken mit einer Resonanzfrequenz >16 Hz ausgegangen werden kann
- im Hinblick auf die Einwirkungen aus sekundärem Luftschall mit o.g. Voraussetzung eine Einhaltung bzw. deutliche Unterschreitung der in Anlehnung an Nr. 6.2 TA Lärm [13] herangezogenen Richtwerte innerhalb von Gebäuden ebenfalls zu erwarten ist.

Entsprechende Maßnahmen/Voraussetzungen zur Verminderung der Erschütterungsimmersionen sind daher erforderlich. Dabei sollte (insbesondere bei empfindlicheren Nutzungen) auf eine entsprechende Abstimmung der Eigenfrequenzen von Bauteilen geachtet werden, um unerwünschte Resonanzüberhöhungen (Verstärkungseffekte) zu minimieren. Dies bedeutet konkret, dass

- auf Holzbalkendecken grundsätzlich zu verzichten ist und die Decken, schwimmende Estriche und sonstige elastisch gelagerte Sekundärkonstruktionen von Aufenthaltsräumen so auszuführen sind, dass deren Abstimmfrequenz etwa 16 Hz überschreitet und sich somit außerhalb des Frequenzbereichs der größten Anregung durch die Bahn befindet. Sofern keine besonders großen Deckenspannweiten vorgesehen sind, ergeben sich u.E. hieraus keine größeren baupraktischen Einschränkungen.

Dieser Bericht ist nur für seinen vorgesehenen Zweck bestimmt und darf auch auszugsweise nur nach Genehmigung durch das Büro hils consult gmbh vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Einer Veröffentlichung im Internet o.ä. wird ausdrücklich nicht zugestimmt.

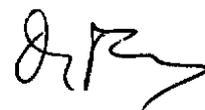
Diese erschütterungstechnische Untersuchung umfasst 48 Seiten, 11 Seiten Anhang sowie keine Anlagen.

Kaufering, den 02.09.2014

hils consult gmbh



Dr.rer.nat. Th. Hils



Dipl.-Ing. (FH) D. Fleischer

AN H A N G

Bebauungsplan "Ehemaliges C + C Betriebsgelände", 82496 Oberau;
erschütterungstechnische Einwirkungen durch Schienenverkehr in das Plangebiet
Beurteilung nach 4150-2/3, Projekt-Nr. 14025 bpl sch ers gu01 v2

Lageskizze:

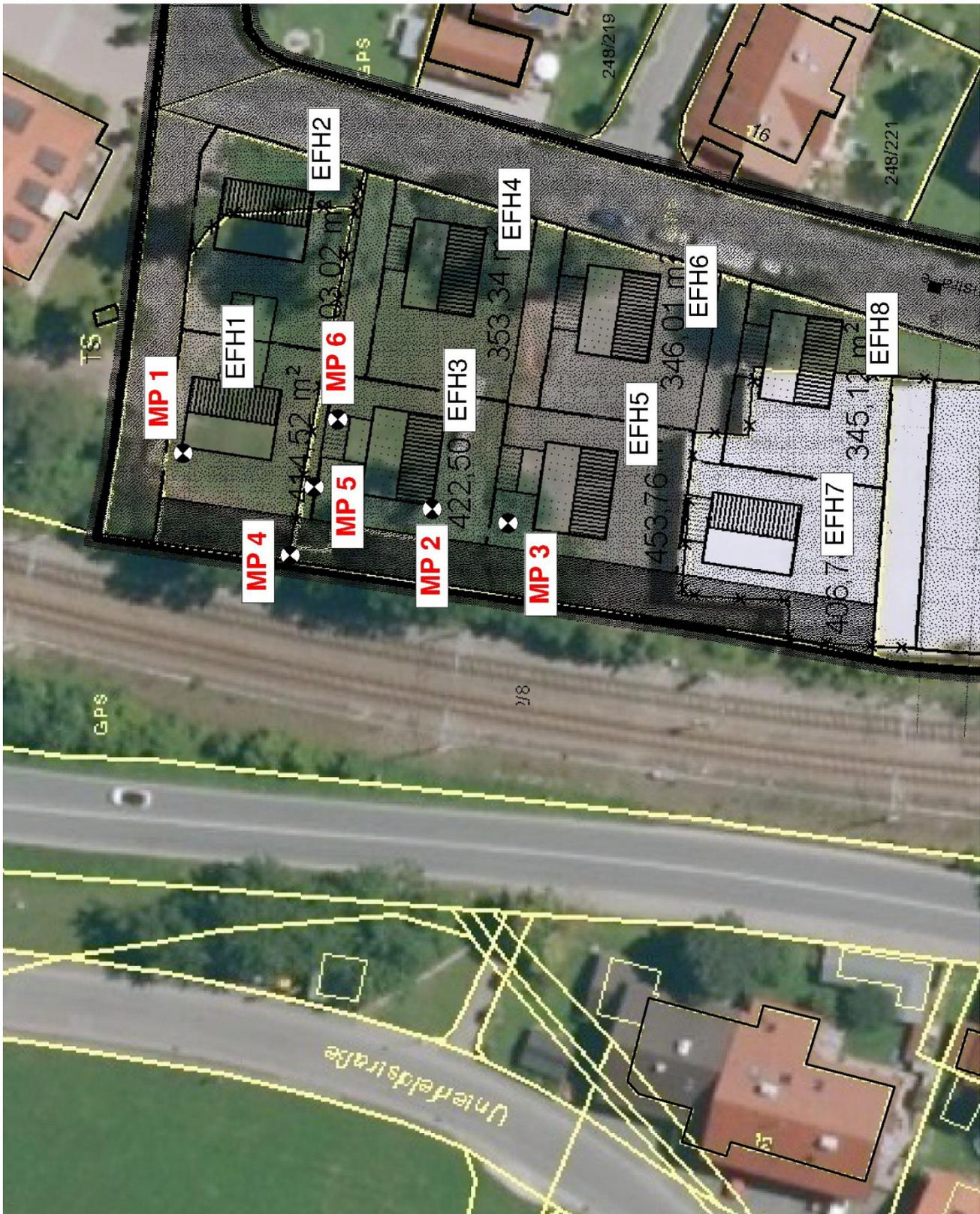


Abb. A1: Lageskizze mit Messpunkten und Umgebung, nicht maßstäblich

Bebauungsplan "Ehemaliges C + C Betriebsgelände", 82496 Oberau;
erschütterungstechnische Einwirkungen durch Schienenverkehr in das Plangebiet
Beurteilung nach 4150-2/3, Projekt-Nr. 14025 bpl sch ers gu01 v2

Körperschallschnelle-Emissionen, Differenzspektren:

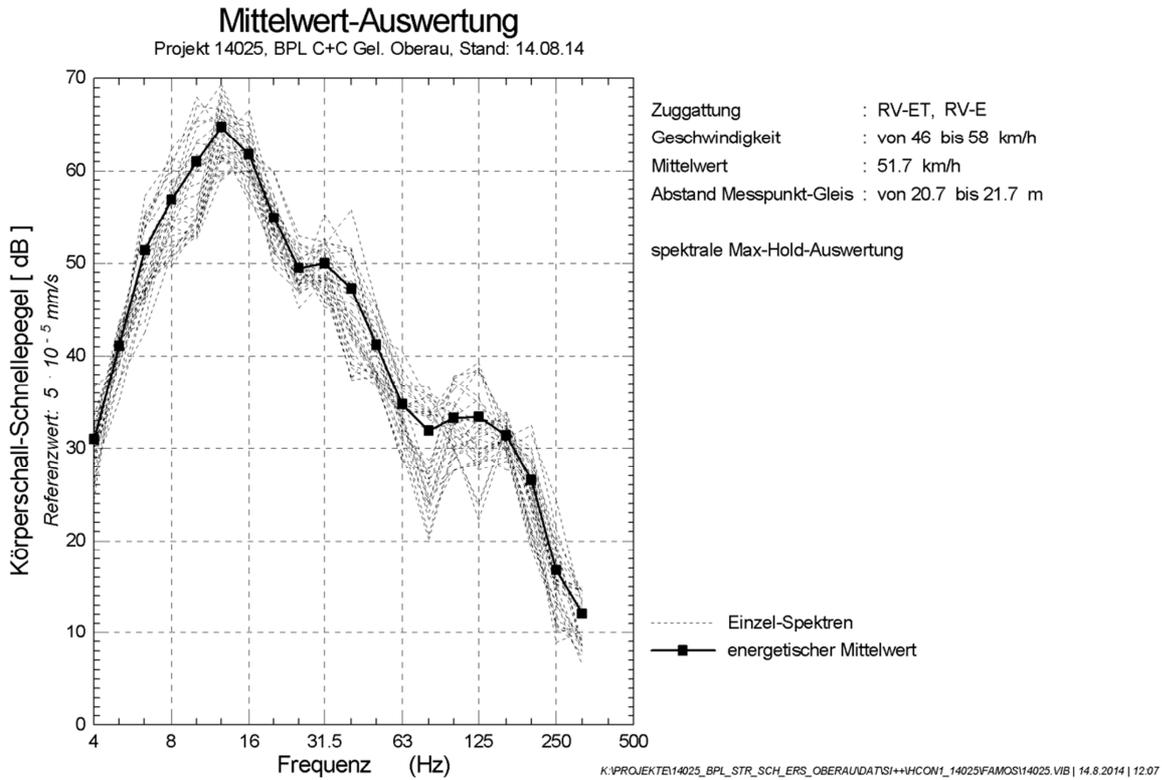


Abb. A2: Körperschallschnelle MP 1, 2, 3, Gleis 2 (west)

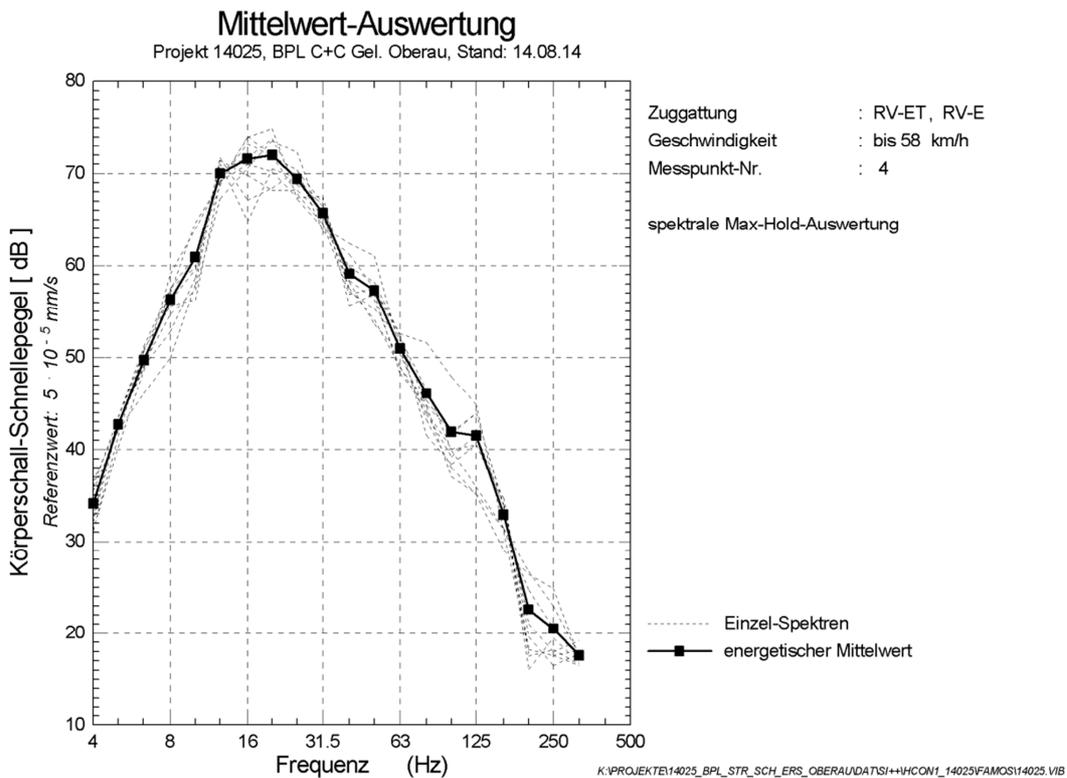


Abb. A3: Körperschallschnelle „Max-Hold“ MP 4, Gleis 2 (west)

Bebauungsplan "Ehemaliges C + C Betriebsgelände", 82496 Oberau;
erschütterungstechnische Einwirkungen durch Schienenverkehr in das Plangebiet
Beurteilung nach 4150-2/3, Projekt-Nr. 14025 bpl sch ers gu01 v2

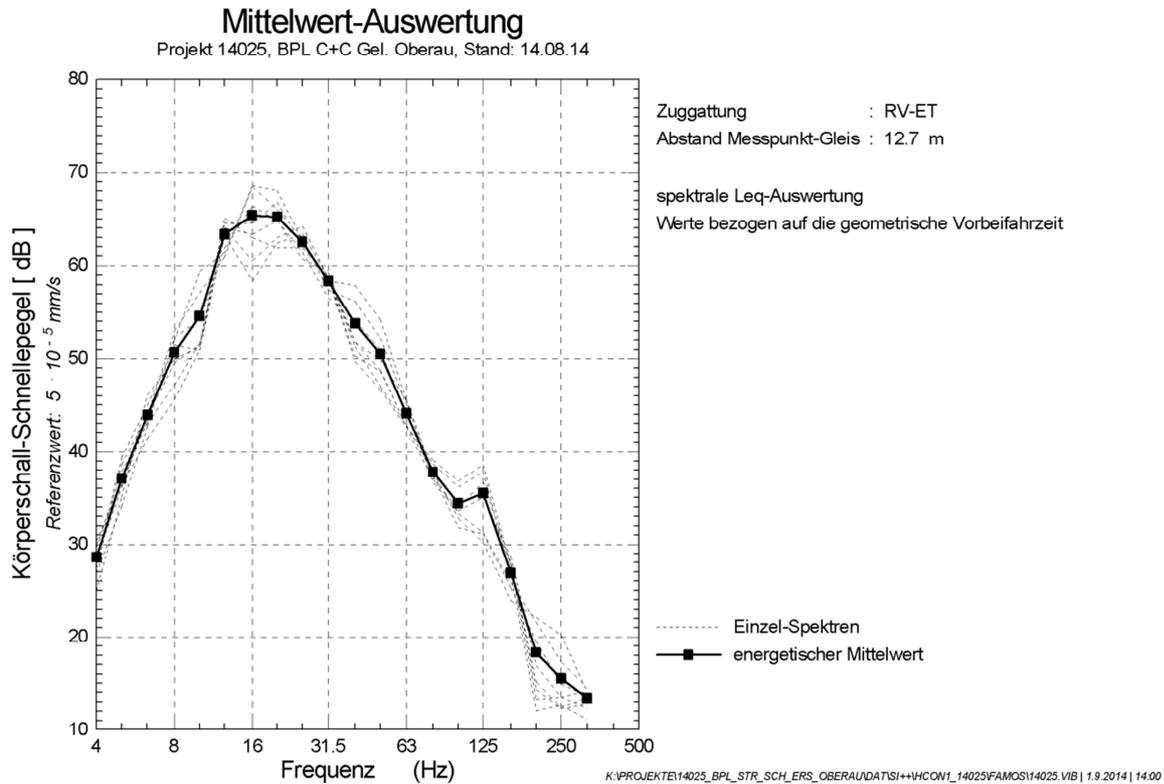


Abb. A3b: Körperschallschnelle (energetische Mittelwerte je Zugvorbeifahrt) MP 4, Gleis 2 (west)

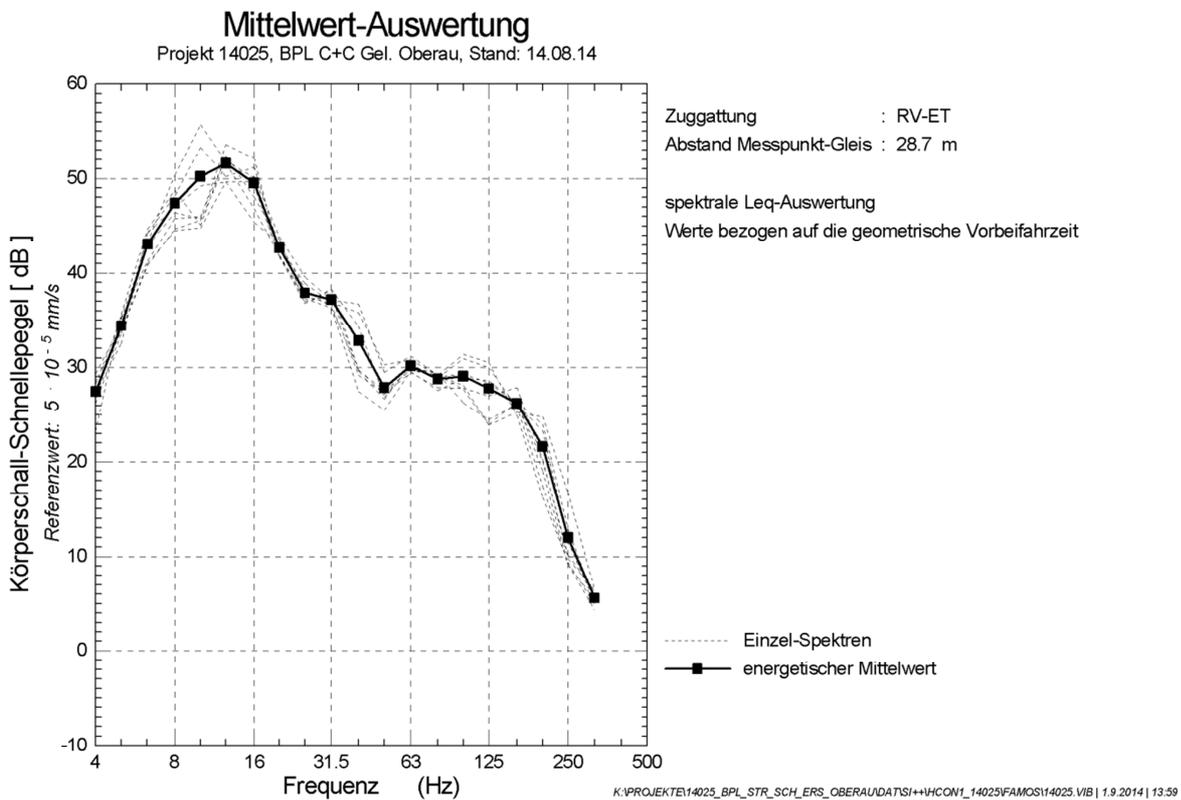


Abb. A3c: Körperschallschnelle (energetische Mittelwerte je Zugvorbeifahrt) MP 6, Gleis 2 (west)

Bebauungsplan "Ehemaliges C + C Betriebsgelände", 82496 Oberau;
 erschütterungstechnische Einwirkungen durch Schienenverkehr in das Plangebiet
 Beurteilung nach 4150-2/3, Projekt-Nr. 14025 bpl sch ers gu01 v2

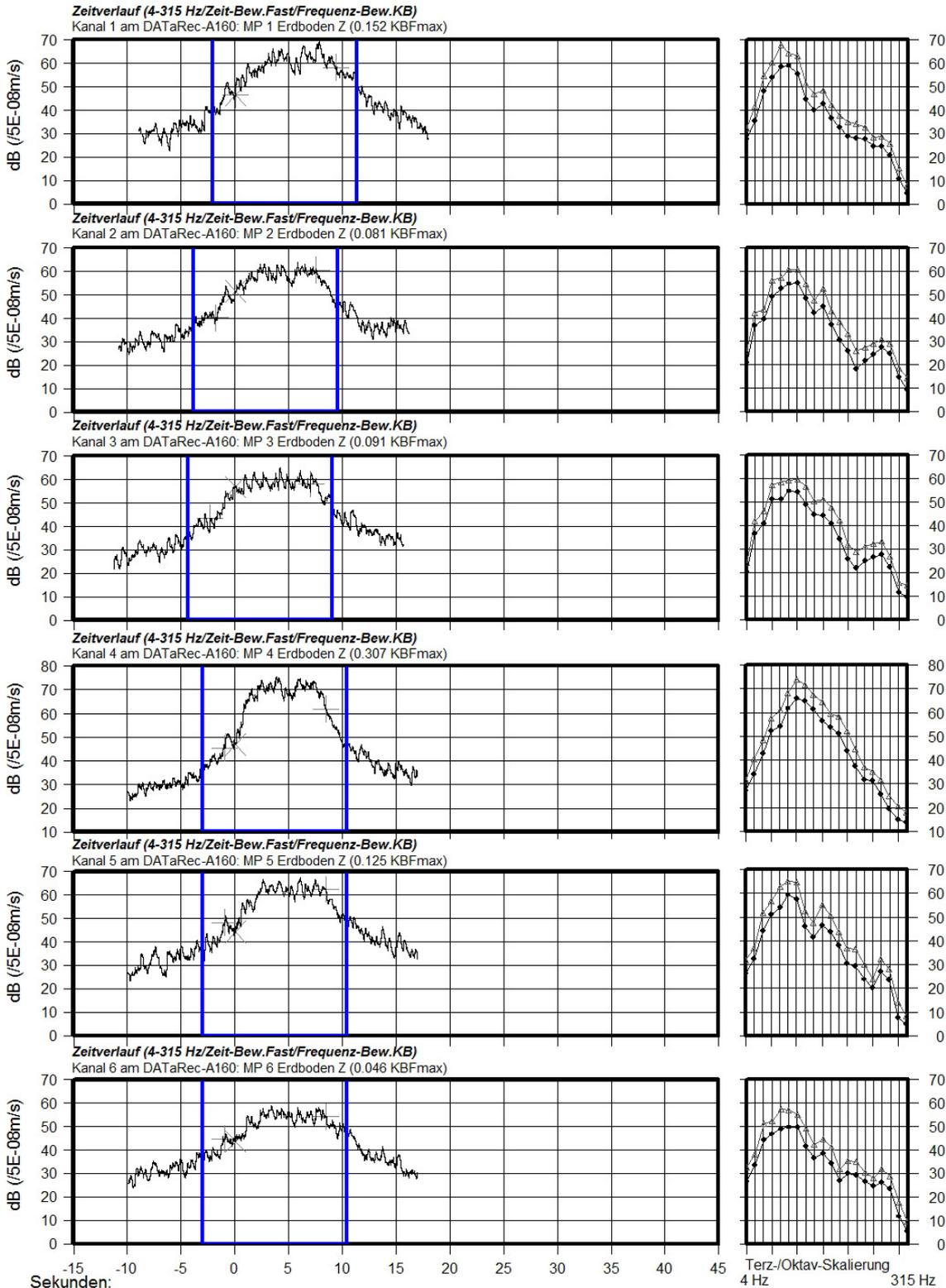
exemplarische Zeitverläufe:

Messort: Oberau, Loisachauenstr. 1

Datum: 04.08.14

Ereignis Nr.:	Uhrzeit:	Bezeichnung der Quelle:	Charakteristik:	Messzeit (geom. Dauer):	Kenn-Nr. (Stufe):	Zusatz-Info:
5	15:18:40	RV-ET	55 km/h	9.4 Sek.	2	

Frequenzanalysen:
 —△— max-hold-Spitzenpegel
 —●— äquivalenter Dauerpegel



Datei
 "K:\Projekte\14025_bpl_str_sch_ers_oberau\dat\si++\hcon1_14025\Famos\oberau.dap..K:\Projekte\14025_bpl_str_sch_ers_oberau\dat\si++\hcon1_14025\Famos\00

Abb. A4: Pegel-Zeit-Verlauf und Spektren der Körperschallschnelle bei Vorbeifahrt einer RV-ET

Bebauungsplan "Ehemaliges C + C Betriebsgelände", 82496 Oberau;
 erschütterungstechnische Einwirkungen durch Schienenverkehr in das Plangebiet
 Beurteilung nach 4150-2/3, Projekt-Nr. 14025 bpl sch ers gu01 v2

exemplarische Berechnungsblätter:

<p>hils consult gmbh</p>	<p>Ermittlung von Erschütterungs- Immissionen in Gebäuden</p>	<p>Projekt Nr.: 14025 Anlage</p>																																		
<p>München – Mittenwald</p> <p>Anregungsquellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> □—□ RV-ET, RV-E, AZ/D, G - Gleis 2 ○—○ RV-ET, RV-E, AZ/D, G - Gleis 1 																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anre-gungs-quelle:</th> <th colspan="2">Häufigkeit</th> <th rowspan="2">Anzahl Nacht:</th> <th rowspan="2">Dauer mittlere Vorbefahrzeit</th> <th colspan="2">Abstände vom Anregungsort zum Immissionsort:</th> </tr> <tr> <th>Anzahl Tag:</th> <th>davon in Ruhezeiten:</th> <th>Messort:</th> <th>Immissionsort:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□—□</td> <td>40</td> <td>5</td> <td>9</td> <td>12.0 s</td> <td>20.0 m</td> <td>20.0 m</td> </tr> <tr> <td>○—○</td> <td>39</td> <td>5</td> <td>8</td> <td>12.0 s</td> <td>20.0 m</td> <td>15.5 m</td> </tr> </tbody> </table>	Anre-gungs-quelle:	Häufigkeit		Anzahl Nacht:	Dauer mittlere Vorbefahrzeit	Abstände vom Anregungsort zum Immissionsort:		Anzahl Tag:	davon in Ruhezeiten:	Messort:	Immissionsort:	□—□	40	5	9	12.0 s	20.0 m	20.0 m	○—○	39	5	8	12.0 s	20.0 m	15.5 m	<p style="text-align: right;">dB ref. $5 \cdot 10^{-8}$ m/s</p> <p>Körperschallschnelle-Ausgangspegel</p>										
Anre-gungs-quelle:		Häufigkeit				Anzahl Nacht:	Dauer mittlere Vorbefahrzeit	Abstände vom Anregungsort zum Immissionsort:																												
	Anzahl Tag:	davon in Ruhezeiten:	Messort:	Immissionsort:																																
□—□	40	5	9	12.0 s	20.0 m	20.0 m																														
○—○	39	5	8	12.0 s	20.0 m	15.5 m																														
<p>Übertragungsfaktoren:</p> <p>Pegeländerung durch Abstandsdifferenz Messpunkt-Immissionsort: aus Messung vor Ort, 20m -15.5m</p> <p>Dämpfungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg: □—□ keine</p> <p>Maßnahme am Gebäudefundament: — keine</p> <p>Übertragungsfaktoren des Gebäudes: ●—● aus Leitfaden</p> <p>Beschreibung des Gebäudes: Gebietsnutzung: Kern-, Dorf-, Mischgebiet</p> <p>Immissionsort-Bezeichnung (Adresse): Oberau, BPL C+C-Gelände</p> <p>Deckenbauweise, Stockwerk: Betondecke, 1. OG</p>	<p>Übertragungsfaktoren</p>																																			
<p>Immissionswerte:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anre-gungs-quelle:</th> <th colspan="3">Erschütterung</th> <th colspan="3">sek.Luftschall</th> </tr> <tr> <th>KB-Fmax:</th> <th>KB-Tr,Tag:</th> <th>KB-Tr,Nacht:</th> <th>Lmax:</th> <th>Leq,Tag:</th> <th>Leq,Nacht:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□—□</td> <td>0.592</td> <td>0.085</td> <td>0.057</td> <td>25.6</td> <td>4.8</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>○—○</td> <td>1.010</td> <td>0.144</td> <td>0.092</td> <td>29.0</td> <td>8.1</td> <td>4.2</td> </tr> <tr> <td>gesamt:</td> <td>1.010</td> <td>0.167</td> <td>0.109</td> <td>29.0</td> <td>9.8</td> <td>6.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>Beurteilung:</p> <p>Anhaltswerte der DIN 4150 eingehalten: *nein *nein -</p> <p>TA-Lärm eingehalten: x ja ja</p>	Anre-gungs-quelle:	Erschütterung			sek.Luftschall			KB-Fmax:	KB-Tr,Tag:	KB-Tr,Nacht:	Lmax:	Leq,Tag:	Leq,Nacht:	□—□	0.592	0.085	0.057	25.6	4.8	1.3	○—○	1.010	0.144	0.092	29.0	8.1	4.2	gesamt:	1.010	0.167	0.109	29.0	9.8	6.0	<p>Körperschallschnelle-Immissionspegel</p>	
Anre-gungs-quelle:		Erschütterung			sek.Luftschall																															
	KB-Fmax:	KB-Tr,Tag:	KB-Tr,Nacht:	Lmax:	Leq,Tag:	Leq,Nacht:																														
□—□	0.592	0.085	0.057	25.6	4.8	1.3																														
○—○	1.010	0.144	0.092	29.0	8.1	4.2																														
gesamt:	1.010	0.167	0.109	29.0	9.8	6.0																														

Datum: 27. 08. 14 Datei: I:\projekte\hbl12.5g2.qcd

Abb. A5: Ermittlungsblatt der zu erwartenden Erschütterungsimmisionen EFH7, Deckenresonanz 12,5 Hz

Bebauungsplan "Ehemaliges C + C Betriebsgelände", 82496 Oberau;
 erschütterungstechnische Einwirkungen durch Schienenverkehr in das Plangebiet
 Beurteilung nach 4150-2/3, Projekt-Nr. 14025 bpl sch ers gu01 v2

<p>hils consult gmbh</p>	<p>Ermittlung von Erschütterungs- Immissionen in Gebäuden</p>	<p>Projekt Nr.: 14025 Anlage</p>																																		
<p>München – Mittenwald</p> <p>Anregungsquellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> □—□ RV-ET, RV-E, AZ/D, G – Gleis 1 ○—○ RV-ET, RV-E, AZ/D, G – Gleis 2 																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anre- gungs- quelle:</th> <th colspan="3">Häufigkeit</th> <th rowspan="2">Dauer mittlere Vorbeifahrzeit</th> <th colspan="2">Abstände vom Anregungsort zum Messort:</th> </tr> <tr> <th>Anzahl Tag:</th> <th>davon in Ruhezellen:</th> <th>Anzahl Nacht:</th> <th>20.0 m</th> <th>15.5 m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□—□</td> <td>39</td> <td>5</td> <td>8</td> <td>12.0 s</td> <td>20.0 m</td> <td>15.5 m</td> </tr> <tr> <td>○—○</td> <td>40</td> <td>5</td> <td>9</td> <td>12.0 s</td> <td>20.0 m</td> <td>20.0 m</td> </tr> </tbody> </table>			Anre- gungs- quelle:	Häufigkeit			Dauer mittlere Vorbeifahrzeit	Abstände vom Anregungsort zum Messort:		Anzahl Tag:	davon in Ruhezellen:	Anzahl Nacht:	20.0 m	15.5 m	□—□	39	5	8	12.0 s	20.0 m	15.5 m	○—○	40	5	9	12.0 s	20.0 m	20.0 m								
Anre- gungs- quelle:	Häufigkeit			Dauer mittlere Vorbeifahrzeit	Abstände vom Anregungsort zum Messort:																															
	Anzahl Tag:	davon in Ruhezellen:	Anzahl Nacht:		20.0 m	15.5 m																														
□—□	39	5	8	12.0 s	20.0 m	15.5 m																														
○—○	40	5	9	12.0 s	20.0 m	20.0 m																														
<p><u>Übertragungsfaktoren:</u></p> <p>Pegeländerung durch Abstandsdifferenz Messpunkt-Immissionsort: aus Messung vor Ort, 20m -15.5m</p> <p>Dämpfungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg: □—□ keine</p> <p>Maßnahme am Gebäudefundament: — keine</p> <p>Übertragungsfaktoren des Gebäudes: ●—● aus Leitfaden</p> <p><u>Beschreibung des Gebäudes:</u></p> <p>Gebietsnutzung: Kern-, Dorf-, Mischgebiet</p> <p>Immissionsort-Bezeichnung (Adresse): Oberau, BPL C+C-Gelände</p> <p>Deckenbauweise, Stockwerk: Betondecke, 1. OG</p>																																				
<p><u>Immissionswerte:</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anre- gungs- quelle:</th> <th colspan="3">Erschütterung</th> <th colspan="3">sek.Luftschall</th> </tr> <tr> <th>KB-Fmax:</th> <th>KB-Tr,Tag:</th> <th>KB-Tr,Nacht:</th> <th>Lmax:</th> <th>Leq,Tag:</th> <th>Leq,Nacht:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□—□</td> <td>0.241</td> <td>0.034</td> <td>0.022</td> <td>32.9</td> <td>12.0</td> <td>8.1</td> </tr> <tr> <td>○—○</td> <td>0.134</td> <td>0.019</td> <td>0.013</td> <td>28.4</td> <td>7.6</td> <td>4.2</td> </tr> <tr> <td>gesamt:</td> <td>0.241</td> <td>0.039</td> <td>0.026</td> <td>32.9</td> <td>13.4</td> <td>9.6</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>Beurteilung:</u></p> <p>Anhaltswerte der DIN 4150 eingehalten: ja ja ja</p> <p>TA-Lärm eingehalten: x ja ja</p>			Anre- gungs- quelle:	Erschütterung			sek.Luftschall			KB-Fmax:	KB-Tr,Tag:	KB-Tr,Nacht:	Lmax:	Leq,Tag:	Leq,Nacht:	□—□	0.241	0.034	0.022	32.9	12.0	8.1	○—○	0.134	0.019	0.013	28.4	7.6	4.2	gesamt:	0.241	0.039	0.026	32.9	13.4	9.6
Anre- gungs- quelle:	Erschütterung			sek.Luftschall																																
	KB-Fmax:	KB-Tr,Tag:	KB-Tr,Nacht:	Lmax:	Leq,Tag:	Leq,Nacht:																														
□—□	0.241	0.034	0.022	32.9	12.0	8.1																														
○—○	0.134	0.019	0.013	28.4	7.6	4.2																														
gesamt:	0.241	0.039	0.026	32.9	13.4	9.6																														
<p>Körperschallschnelle-Ausgangspegel</p> <p style="text-align: right;">dB ref. 5*10⁻⁸ m/s</p>		<p>Übertragungsfaktoren</p>																																		
<p>Körperschallschnelle-Immissionspegel</p>		<p>Körperschallschnelle-Immissionspegel</p>																																		

Datum: 27.08.14 Datei: I:\prognose\h40g2.ged

Abb. 6: Ermittlungsblatt der zu erwartenden Erschütterungsimmisionen EFH7, Deckenresonanz 40 Hz

Bebauungsplan "Ehemaliges C + C Betriebsgelände", 82496 Oberau;
erschütterungstechnische Einwirkungen durch Schienenverkehr in das Plangebiet
Beurteilung nach 4150-2/3, Projekt-Nr. 14025 bpl sch ers gu01 v2

hils consult gmbh

Ermittlung von Erschütterungs- Immissionen in Gebäuden

Projekt Nr.:
14025
Anlage

München – Mittenwald

Anregungsquellen:

- RV-ET, RV-E, AZ/D, G - Gleis 2, 26 km/h
- RV-ET, RV-E, AZ/D, G - Gleis 2, 26 km/h

Anre- gungs- quelle:	Häufigkeit		Anzahl Nacht:	Dauer mittlere Vorbeifahrtzeit	Abstände vom Anregungsort zum Messort:	
	Anzahl Tag:	davon in Ruhezzeiten:			Messort:	Immissionsort:
□—○	40	5	9	12.0 s	8.0 m	10.5 m
○—○	39	5	8	12.0 s	8.0 m	10.5 m

Übertragungsfaktoren:

Pegeländerung durch Abstandsdifferenz Messpunkt-Immissionsort:
□—○ keine

Dämpfungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg:
□—○ keine

Maßnahme am Gebäudefundament:
— keine

Übertragungsfaktoren des Gebäudes:
●—○ aus Leitfaden

Beschreibung des Gebäudes:

Gebietsnutzung:
Kern-, Dorf-, Mischgebiet

Immissionsort-Bezeichnung (Adresse):
Oberau, BPL C+C-Gelände, MFH

Deckenbauweise, Stockwerk:
Betondecke, 1. OG

Immissionswerte:

Anre- gungs- quelle:	Erschütterung			sek.Luftschall		
	KB-Fmax.	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht
□—○	0.575	0.083	0.056	30.0	9.2	5.7
○—○	0.575	0.082	0.053	30.0	9.1	5.2
gesamt:	0.575	0.117	0.077	30.0	12.2	8.5

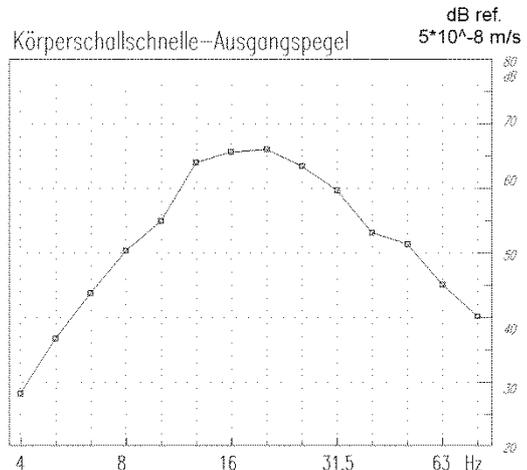
Beurteilung:

Anhaltswerte der DIN 4150 eingehalten:
ja *nein *nein

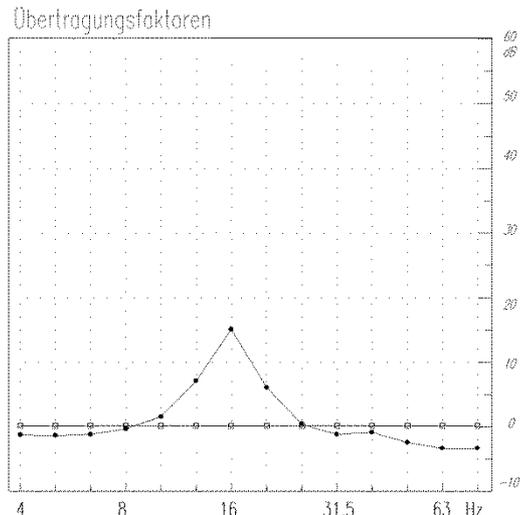
IA-Lärm eingehalten:
x ja ja

dB ref.
5*10⁻⁸ m/s

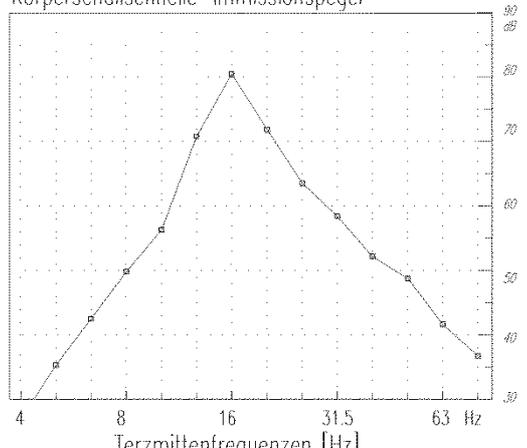
Körperschallschnelle-Ausgangspegel



Übertragungsfaktoren



Körperschallschnelle-Immissionspegel



Terzmittenfrequenzen [Hz]

Datum: 31.08.14 Datei: H:\progr\ops\mth1\01.gcd

Abb. 7: Ermittlungsblatt der zu erwartenden Erschütterungsimmisionen MFH, Deckenresonanz 16 Hz

Bebauungsplan "Ehemaliges C + C Betriebsgelände", 82496 Oberau;
 erschütterungstechnische Einwirkungen durch Schienenverkehr in das Plangebiet
 Beurteilung nach 4150-2/3, Projekt-Nr. 14025 bpl sch ers gu01 v2

hils consult gmbh

Ermittlung von Erschütterungs- Immissionen in Gebäuden

Projekt Nr.: 14025
Anlage

München – Mittenwald

Anregungsquellen:

- RV-ET, RV-E, AZ/D, G - Gleis 2, 26 km/h
- RV-ET, RV-E, AZ/D, G - Gleis 2, 26 km/h

Anregungsquelle	Häufigkeit		Anzahl Nacht	Dauer mittlere Vorbefahrzeit	Abstände vom Anregungsort zum Messort	
	Anzahl Tag	davon in Ruhezeiten			8.0 m	10.5 m
RV-ET, RV-E, AZ/D, G - Gleis 2, 26 km/h	40	5	9	12.0 s	8.0 m	10.5 m
RV-ET, RV-E, AZ/D, G - Gleis 2, 26 km/h	39	5	8	12.0 s	8.0 m	10.5 m

Übertragungsfaktoren:

Pegeländerung durch Abstandsdifferenz Messpunkt-Immissionsort:
keine

Dämpfungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg:
keine

Maßnahme am Gebäudefundament:
keine

Übertragungsfaktoren des Gebäudes:
aus Leitfaden

Beschreibung des Gebäudes:

Gebietsnutzung:
Kern-, Dorf-, Mischgebiet

Immissionsort-Bezeichnung (Adresse):
Oberau, BPL C+C-Gelände, MFH

Deckenbauweise, Stockwerk:
Betondecke, 1. OG

Immissionswerte:

Anregungsquelle	Erschütterung			sek.Luftschall		
	KB-Tr,max	KB-Tr,Tag	KB-Tr,Nacht	Lmax	Leq,Tag	Leq,Nacht
RV-ET, RV-E, AZ/D, G - Gleis 2, 26 km/h	0.197	0.028	0.019	31.8	11.1	7.6
RV-ET, RV-E, AZ/D, G - Gleis 2, 26 km/h	0.197	0.028	0.018	31.8	10.9	7.1
gesamt:	0.197	0.040	0.026	31.8	14.0	10.4

Beurteilung:

Anhaltswerte der DIN 4150 eingehalten:
ja ja ja

TA-Lärm eingehalten:
x ja ja

dB ref. 5*10⁻⁸ m/s

Körperschallschnelle-Ausgangspegel

Übertragungsfaktoren

Körperschallschnelle-Immissionspegel

Terzmittenfrequenzen [Hz]

Abb. 8: Ermittlungsblatt der zu erwartenden Erschütterungsimmisionen MFH, Deckenresonanz 40 Hz

Zugprotokoll:

Tabelle A1: erfasste Zugfahrten

Ereignis-Nr.	Gleis-Nr.	Zeit	Vorbeifahrtzeit [s]	Zuglänge [m]	Geschwindigkeit [km/h]	Fahrtrichtung
1	2	13:17:18	10,9	144,6	47,5	Nord
2	2	13:46:00	10,0	144,6	52,0	Süd
3	2	14:16:57	9,1	144,6	58,0	Nord
4	2	14:45:44	10,4	144,6	50,0	Süd
5	2	15:18:40	9,4	144,6	55,0	Nord
6	2	15:46:05	10,3	144,6	51,0	Süd
7	2	16:16:55	9,6	144,6	54,0	Nord
8	2	16:47:05	11,2	144,6	46,0	Süd
9	2	17:21:34	10,0	150,0	52,0	Süd
10	1	17:22:41	11,5	144,6	45,0	Nord

*Legende:**Gleis 1: östlich**Gleis 2: westlich*

Bildnachweis



Bild A1: Messpunkt MP1, Erdboden Northwest-Ecke EFH1



Bild A2: Messpunkt MP4, Erdboden Grundstücksgrenze