

Unterlage 15.05 Untersuchung zu betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen

Vorhabenbezeichnung: **Gesamtausbaumaßnahme Bahnhof Weßling (GBW)
NeM 16 Neubau Abstell- und Wendegleis**

Streckennummer/Strecke: **5541 München-Westkreuz - Herrsching**

Bahnhofsnummer/Bahnhof: **6705 Weßling (Oberbayern)**

<p>Vorhabenträger:</p> <p>DB Netz AG Regionalbereich Süd Anlagen- und Instandhaltungsmanagement Netz München Landshuter Allee 4 80637 München</p> <p>Datum Unterschrift</p>	<p>DB Station&Service AG Bahnhofsmanagement München Bayerstraße 10a 80335 München</p> <p>Datum Unterschrift</p>
<p>Vertreter des Vorhabenträgers:</p> <p>DB Netz AG Großprojekt 2. S-Bahn-Stammstrecke München Arnulfstraße 25 - 27 80335 München</p> <p>Datum Unterschrift</p>	<p>Verfasser:</p> <p>DB Systemtechnik GmbH Akustik und Erschütterungen TT.TVE35 Völckerstraße 5 80939 München</p> <p>24.11.2021 Datum Unterschrift</p>
<p>Genehmigungsvermerk Eisenbahn-Bundesamt</p>	

Die Inhalte beziehen sich ausschließlich auf die im Dokument beschriebenen Sachverhalte. Dieses Dokument darf nicht ohne schriftliche Genehmigung des Auftraggebers veröffentlicht werden. Eine auszugsweise Vervielfältigung bedarf zusätzlich der Zu-stimmung des im Dokument genannten Auftragnehmers.

**Unterlage 15.05:
Untersuchung zu betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen NeM 16**

Planfeststellungsabschnitt: Strecke 5541 km 18,471 – km 19,323

Erstellt im Auftrag der:
DB Netz AG
Regionalbereich Süd
Großprojekt 2. S-Bahn-Stammstrecke München
Arnulfstraße 25 - 27
80335 München

Dokument: 19-59417-TT.TVE 34(1) - T4
Datum: 24.11.2021

Ersteller:
DB Systemtechnik GmbH
Akustik und Erschütterungen
TT.TVE 35
Völckerstr. 5
80939 München

freigegeben:

erstellt:

Dr. Dorothee Stiebel L TT.TVE 351

Sascha Hermann TT.TVE 351

geprüft:

Hans-Jörg Terno TT.TVE 35

Inhaltsverzeichnis	Seite
Verzeichnis der Abkürzungen	5
Quellenverzeichnis/Literaturverzeichnis	6
1 Anlass und Aufgabenstellung	8
1.1 Aufgabenstellung	8
1.2 Beschreibung des Vorhabens NeM 16	8
2 Grundlagen	8
2.1 Allgemeine Hinweise	8
2.2 Anhaltswerte, Wahrnehmbarkeit, Belästigung	9
2.2.1 Schädigungen an Gebäuden	9
2.2.2 KB-Bewertung	9
2.2.3 Anhaltswerte	9
2.2.4 Erhebliche Belästigung und Grenze zur Eigentums- bzw. Gesundheitsverletzung	10
2.3 Gesetzliche Grundlagen	10
2.4 Anspruchskriterien	11
2.4.1 Beurteilungskriterien hinsichtlich der Wirkungen auf den Menschen (DIN 4150-2)	11
2.4.2 Wesentliche Änderung, Unterschiedsschwelle	13
2.5 Sekundärer Luftschall	14
3 Örtliche Gegebenheiten	15
3.1 Bebauung bahnlinks (südlich der Strecke)	16
3.2 Bebauung bahnrechts (nördlich der Strecke)	16
4 Durchgeführte Schwingungsmessungen und Bestimmung der Erschütterungsemissionen	16
4.1 Allgemeines	16
4.2 Übertragung der Schwingungsmessungen von der NeM 17 Steinebach - Seefeld-Hechendorf	17
4.3 Beweissicherungsmessungen	17
5 Prognose der Erschütterungsimmissionen	18
5.1 Betriebsprogramm	18
5.2 Prognoseverfahren	18
5.3 Weitere Prognoseansätze	20
5.4 Bewertung der baulichen Eingriffe und ihre Auswirkungen hinsichtlich der Erschütterungsimmissionen	20
6 Ergebnisse	21
6.1 Korridor möglicher Betroffenheit	21

6.2	Erschütterungen	21
6.3	Sekundärer Luftschall	21
7	Zusammenfassung	22

Anlagen

Anlage 1: Prognoseergebnisse Erschütterung

Anlage 2: Prognoseergebnisse sekundärer Luftschall

Anlage 3: Übersichtskarte mit Immissionsorten und baulicher Nutzung

Anlage 4: Prüf-/Messbericht Erschütterungsmessungen an der Strecke München - Herrsching

Verzeichnis der Abkürzungen

A_u	unterer Anhaltswert für die Beurteilung der maximalen Schwingstärke (KB_{Fmax}) nach DIN 4150-2
A_o	oberer Anhaltswert für die Beurteilung der maximalen Schwingstärke (KB_{Fmax}) nach DIN 4150-2
A_r	Anhaltswert für den Vergleich mit der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} nach DIN 4150-2
AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
BauNVO	Baunutzungsverordnung
Bf	Bahnhof
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BR423	Nahverkehrszug (hier: Baureihe 423)
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
DIN	Deutsches Institut für Normung
FNP	Flächennutzungsplan
KB-Wert	Einzahlwert zur Kennzeichnung der Erschütterungsstärke in Gebäuden
KB_{Fmax}	maximale während eines Ereignisses oder Beurteilungszeitraums aufgetretene Schwingstärke
KB_{FTm}	Taktmaximal-Effektivwert der Schwingstärke
KB_{FTR}	Beurteilungsschwingstärke, unter Berücksichtigung der Häufigkeit und Einwirkungsdauer der aufgetretenen Ereignisse über den Beurteilungszeitraum (Tag / Nacht) gemittelte Schwingstärke
L_{eq}	äquivalenter Dauerschallpegel
L_m	Beurteilungspegel sekundärer Luftschall
L_{max}	maximaler Dauerschallpegel (MaxHold-Methode)
NeM	netzergänzende Maßnahme
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
SO	Schienenoberkante
v	Geschwindigkeit
VGH	Verwaltungsgerichtshof
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz

Bauliche Nutzungen

GE	Gewerbegebiet
MI	Mischgebiet
WA	Allgemeines Wohngebiet
WB	Besonderes Wohngebiet
WR	Reines Wohngebiet

Quellenverzeichnis/Literaturverzeichnis

- [1] Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG)
- [2] Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG)
- [3] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)
- [4] Baunutzungsverordnung (BauNVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786)
- [5] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV)
- [6] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 24. BImSchV)
- [7] DIN 4150: Erschütterungen im Bauwesen - Teil 1: Grundsätze, Vorermittlung und Messung von Schwingungsgrößen
- [8] DIN 4150: Erschütterungen im Bauwesen - Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden.
- [9] DIN 4150: Erschütterungen im Bauwesen - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen.
- [10] DIN 45669: Teil 1 - Messung von Schwingungsimmissionen - Teil 1: Schwingungsmesser - Anforderungen und Prüfungen
- [11] DIN 45669: Teil 2 - Messung von Schwingungsimmissionen - Teil 2: Messverfahren.
- [12] VDI 3837: Erschütterungen durch oberirdische Schienenbahnen, spektrales Prognoseverfahren
- [13] Urteil des BVerwG vom 21.12.2010, Az. 7 A 14.09
- [14] Richtlinie 820.2050 Erschütterungen und sekundärer Luftschall
- [15] Verfügung zum Umgang mit betriebsbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall in der Planfeststellung 51.20-51pv/001-0230#015 vom 31.01.2017
- [16] Erläuterungsbericht Vorhaben: Gesamtausbaumaßnahme Bahnhof Weßling (GBW), NeM16 Neubau Abstell- und Wendegleis, Barrierefreier Ausbau Bahnhof Weßling, Planfeststellungsabschnitt: Strecke 5541 km 18,471 - km 19,323, DB Engineering & Consulting GmbH, Bearbeitungsstand 10/2021, zur Verfügung gestellt durch die DB Netz AG via E-Mail am 22.10.2021
- [17] DB E&C GmbH, Lagepläne „Trassierungsentwurf NEM 16, Str.5541“, Stand 15.11.2019, zur Verfügung gestellt via E-Mail am 22.10.2021
- [18] Betriebsprogramm und Betriebsprognose 2030, Strecke 5541, Stand April 2020.
- [19] DB Netz AG (I.NM-S-E), Betriebsprognose Wendegleis, via E-Mail am 12.02.2020
- [20] Landratsamt Starnberg, Bbauungspläne, online im Internet: <https://geolis.lk-starnberg.de/GeoLISmapapps/resources/apps/Bbauungsplaene/index.html?lang=deGeo-Anwendung>, „GeoLIS.Bbauungspläne“, abgerufen am Mai 2020
- [21] Geotechnischer Bericht NEM 16 Weßling km 18,3 - 19,1, Stand Juni 2017, Unterlage 19.03
- [22] Geotechnischer Bericht NEM 17 Steinebach - Seefeld Hechendorf km 23,2 -23,7
- [23] Baugrund und Gründungsgutachten Steinebach - Seefeld Hechendorf km 24,4 -24,8
- [24] OpenStreetView, Online im Internet: <http://www.openstreetmap.de>, Zugriff im Mai 2020
- [25] Said, A.; Fleischer, D.; Fastl, H.: „Forschungsvorhaben, Laborversuche zur Ermittlung von Unterschiedsschwellen bei der Wahrnehmung von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr (spürbare Erhöhung - wesentliche Änderung)“, OPB Bericht Nr. 12842-1, August 1999 (unveröffentlicht); veröffentlicht u. a. in Said, A.; Fleischer, D.; Kilcher, H.; Fastl, H.; Grütz, H.: „Zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen aus dem Schienenverkehr“, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 48 (November 2001)
- [26] Said, A.; Grütz, H.-P.; Garburg, R.: „Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr“, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 53(2006) Nr. 1, Januar 2006.
- [27] Strecken- und Gebäudebilder, Ersteller: T.TVI 32(1), Aufnahme im Rahmen der Ortsbegehung am 16.10.2015 sowie am 13.03.2020
- [28] 15-22786-T.TVI32(3)-PR-V3 Erschütterungsmessungen an der Strecke München - Herrsching (Strecke 5541, km 22,4 - 25,2; KW 21- 22/2015)

- [29] DB Systemtechnik GmbH, Untersuchung zu betriebsbedingten Schallimmissionen, 19-59417-T1-TT.TVE 34(1)
- [30] Zeichert, K.; Sinz, A.; Schuemer, R.; Schuemer-Kohrs, A.: „Erschütterungswirkungen aus dem Schienenverkehr, Bericht über ein interdisziplinäres Forschungsvorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes (Berlin) und des Bundesbahnzentralamtes (München)“, Februar 1993, siehe auch Veröffentlichung in Zeichert, K.; Sinz, A.; Schuemer, R.; Schuemer-Kohrs, A.: „Erschütterungen durch Eisenbahnverkehr und ihre Wirkungen auf Anwohner“, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 41 (1994), Heft 2 und 4
- [31] Wettschureck, R.; Hauck, G.; Diehl, R.J.; Willenbrink, L.: „Geräusche und Erschütterungen aus dem Schienenverkehr“ in Müller, G.; Möser, M. (Hrsg), Taschenbuch der technischen Akustik, 3. Auflage 2003
- [32] VDI 2038: Blatt 1 - Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik - Grundlagen - Methoden, Vorgehensweisen und Einwirkungen
- [33] VDI 2038: Blatt 2 - Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik - Schwingungen und Erschütterungen - Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung
- [34] VDI 2038: Blatt 3 - Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik - Sekundärer Luftschall - Grundlagen, Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung
- [35] Umwelt-Leitfaden zur eisenbahnrechtlichen Planfeststellung und Plangenehmigung sowie für Magnetschwebbahnen - Teil VI: Schutz vor Schallimmissionen aus Schienenverkehr, Fachstelle Umwelt, Eisenbahn-Bundesamt

1 Anlass und Aufgabenstellung

Im Folgenden werden der Anlass und die Aufgabenstellung der Untersuchung dargelegt. Anschließend erfolgt eine Beschreibung des Vorhabens.

1.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen der netzergänzenden Maßnahme (NeM) 16 plant die DB Netz AG im Zuge der „2. S-Bahn-Stammstrecke München“ den Bau eines Abstell- und Wendegleises im Bereich des Bahnhofs Weßling an der Strecke 5541. Parallel wird durch das Projekt „Barrierefreier Ausbau Bf Weßling“ die bestehende Bahnsteiganlage im Bahnhof Weßling erneuert und barrierefrei erschlossen.

In der vorliegenden Untersuchung werden die Auswirkungen des geplanten Abstell- und Wendegleises auf die erschütterungsbedingten Schallimmissionen betrachtet. Die Untersuchung der erschütterungsbedingten Schallimmissionen durch die Verschwenkung des Richtungsgleises der Strecke 5541 im Zuge des barrierefreien Ausbaus erfolgt in einem separaten Bericht (Unterlage 15.06). Aus einer gemeinsamen Betrachtung von barrierefreiem Ausbau sowie Abstell- und Wendegleis resultieren keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen.

Gemäß Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) liegt durch das neu hinzukommende Abstell- und Wendegleis kein Neubau, sondern ein erheblicher baulicher Eingriff vor. Ebenso ist nach DIN 4150-2 [8] ein Neubau nur dann als solcher zu betrachten, wenn die neue Trasse so weit von bestehenden Trassen entfernt ist, dass Erschütterungseinwirkungen der bestehenden Trasse vernachlässigbar sind.

Für die Erstellung der Planungsunterlagen zur Einleitung eines Genehmigungsverfahrens nach § 18 AEG (Allgemeines Eisenbahngesetz) sind Aussagen zu den zu erwartenden Erschütterungsimmissionen zu treffen, um ggf. erforderliche Schutz- oder Minderungsmaßnahmen zu ergreifen.

1.2 Beschreibung des Vorhabens NeM 16

Der Bau des Abstell- und Wendegleis wird zwischen km 18,898 und km 19,323 der Strecke 5541 durchgeführt und umfassen u.a. nachfolgende Neubau- bzw. Umbaumaßnahmen [16], [17]:

- Westlich des Bahnhofs Weßling zwischen Bahnsteigende und Eisenbahnüberführung über die „Grünsinker Straße“: Neubau eines Abstell- und Wendegleises nördlich des Bestandsgleises einschließlich Anbindung,
- Anpassung und Erweiterung der Oberleitungsanlage,
- Verlegung der vorhandenen Kabeltrassen aus dem Baufeld und Neubau der Kabelführungssysteme für Bahntechnikanlagen,
- Anpassung der Bahntechnikanlagen.
- Neubau einer ca. 200 m langen Lärmschutzwand nördlich entlang des neuen Abstell- / Wendegleises und einer zweiten ca. 50 m langen Lärmschutzwand zwischen dem Streckengleis und dem Abstellgleis.

2 Grundlagen

2.1 Allgemeine Hinweise

Beim Betrieb von Schienenverkehrswegen lassen sich Erschütterungen nicht vollständig vermeiden. Diese entstehen durch Schwingungen, die bei der Zugüberfahrt durch den Rad-Schiene-Kontakt aufgrund von periodischen und nicht-periodischen Anregungen ausgelöst werden. Die Erschütterungen werden vom Fahrweg in den Baugrund eingeleitet, bei der Weiterleitung mit zunehmendem Abstand vom Fahrweg gedämpft und über die Fundamente in die anliegenden Gebäude übertragen. Innerhalb der Gebäude kommt es dadurch zu einer Anregung von Deckenschwingungen, die aufgrund von Resonanzeffekten, je nach Bauweise des Gebäudes, unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Je nach Stärke der Schwingungen werden diese

Erschütterungen von Menschen beim Aufenthalt in Gebäuden fühlbar wahrgenommen und von diesen als mehr oder weniger belästigend empfunden. Weiterhin kann durch die Körperschallanregung der Raumbegrenzungsflächen unter Umständen sekundärer Luftschall hörbar abgestrahlt werden.

2.2 Anhaltswerte, Wahrnehmbarkeit, Belästigung

Nachfolgend werden die wesentlichen möglichen Beeinträchtigungen genannt sowie deren gängige Beurteilungsmaßstäbe und Begriffe erläutert.

2.2.1 Schädigungen an Gebäuden

In der DIN 4150-3 („Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ [9]) werden Anhaltswerte für maximale Schwingungsereignisse genannt, bei deren Einhaltung eine Schädigung der Bausubstanz oder eine Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit (hierunter sind z. B. Risse im Putz, Abriss von Trenn- und Zwischenwänden von tragenden Bauteilen u. ä. zu verstehen) ausgeschlossen werden kann. Diese Anhaltswerte werden an seitlich neben dem Bahnkörper stehenden Bauwerken nach allen vorliegenden Erfahrungen bei Schwingeinwirkungen aus vorbeifahrenden Zügen deutlich unterschritten.

Auch wenn diese Schwingungen fühlbar und deutlich wahrgenommen werden können, so kann eine nachhaltige Schädigung der Gebäudestruktur, z.B. in Form von Rissbildungen in Decken oder Wänden, bei den üblicherweise im Schienenverkehr auftretenden Größenordnungen der Erschütterungen und den üblichen baulichen Verhältnissen, auch bei unmittelbar am Gleiskörper stehender Bebauung, mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund erfolgt hierzu keine nähere Beurteilung.

2.2.2 KB-Bewertung

Die physikalische Größe, die im Allgemeinen zur Beschreibung von Erschütterungswirkungen (Schwingungen) auf den Menschen verwendet wird, ist die Schwingschnelle (auch Schwinggeschwindigkeit genannt). Sie wird in der Regel als Pegel in dB, bezogen auf eine Referenzschwingschnelle von $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ m/s, angegeben. Sie ist in festen Körpern (Erdboden, Gebäudestruktur) stark frequenzabhängig und muss daher spektral angegeben werden. Zur vereinfachten Beschreibung und Bewertung der Erschütterungen im Hinblick auf ihre Wirkung auf den Menschen in Form einer frequenzunabhängigen skalaren Größe werden sogenannte KB-Werte herangezogen. Diese werden durch eine in Normen festgelegte Frequenz- und Zeitbewertung aus den am Immissionsort gemessenen Schwingschnellen gebildet (vgl. DIN 45669-1 [10]).

Der höchste aufgetretene KB-Wert eines oder mehrerer Erschütterungsereignisse/s über einen gemeinsamen Beurteilungszeitraum (z.B. Tages- oder Nachtzeitraum) wird als KB_{Fmax} bezeichnet.

Die Höhe der Einwirkung der jeweiligen einzelnen Zugfahrt wird durch den KB_{FTm} -Wert am besten repräsentiert. Hierbei handelt es sich um den sogenannten Taktmaximal-Effektivwert der bewerteten Schwingstärke. Betrachtet werden hierbei jeweils Takte von 30 Sekunden, d.h. ein kurzer schneller Personenzug belegt i.d.R. nur einen Takt, während die Vorbeifahrtzeiten von langen und langsam fahrenden Güterzügen größer als 30 Sekunden sein können und somit 2 Takte belegen können.

Bei der Beurteilung des Grads der Belästigung wird neben der absoluten Höhe auch die Häufigkeit des Auftretens und die Einwirkungsdauer der Ereignisse während unterschiedlicher Beurteilungszeiträume (z.B. über den Tages- und Nachtzeitraum) berücksichtigt. Dazu wird zusätzlich die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} gebildet.

2.2.3 Anhaltswerte

Die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen erfolgt in Deutschland vor allem entsprechend den Hinweisen und Regelungen der Normenreihe DIN 4150 mit den Teilen 1 bis 3 ([7], [8], [9]).

Die in der DIN 4150-2 für den Vergleich mit den aus Messungen und/oder Prognosen ermittelten Einwirkungen genannten Vergleichsgrößen werden ausdrücklich als „Anhaltswerte“ bezeichnet.

Dieser Hinweis bringt zum Ausdruck, dass es sich bei diesen Werten in Verbindung mit dem Beurteilungsverfahren keinesfalls um gesicherte Grenzwerte, sondern um empfohlene und aus der Erfahrung gewonnene Werte handelt. Bei der Festlegung stand vor allem das Kriterium der Vermeidung „erheblicher Belästigungen“ im Vordergrund.

In Abschnitt 2.4.1 sind die Anhaltswerte der DIN 4150-2 für die Beurteilungsgrößen $KB_{F_{max}}$ und $KB_{F_{Tr}}$ in Abhängigkeit der Gebietseinstufung sowie des Tages- und Nachtzeitraums zusammengestellt, bei deren Unterschreitung davon auszugehen ist, dass eine erhebliche Belästigung von Menschen in Gebäuden vermieden wird.

Bei der Beurteilung werden die ermittelten KB-Werte den entsprechenden Anhaltswerten gegenübergestellt.

2.2.4 Erhebliche Belästigung und Grenze zur Eigentums- bzw. Gesundheitsverletzung

Die Wahrnehmung der Erschütterungseinwirkungen ist stark subjektiv und wird je nach Situation und insbesondere auch nach dem Gewohnheitsgrad stark unterschiedlich empfunden. Die Beurteilung der Einwirkungen auf den Menschen erfolgt nach den in DIN 4150-2 beschriebenen Verfahren und Kriterien. Bei der Festlegung der dort genannten Anhaltswerte stand vor allem das Kriterium der Vermeidung „erheblicher Belästigungen“ im Vordergrund. Bei einer Einhaltung dieser Werte kann davon ausgegangen werden, dass die Erschütterungseinwirkungen von der Mehrheit der Anwohner nicht als erheblich belästigend wahrgenommen werden. Andererseits muss bei einer Überschreitung mit einer zunehmend als Belästigung empfundenen Einwirkung gerechnet werden.

Dies bedeutet wiederum, dass eine Überschreitung der Anhaltswerte zwar als „zunehmend belästigend“, aber nicht automatisch als „unzumutbar“ bezeichnet werden kann. Es sind bisher sowohl national wie international keine Studien und Untersuchungen zu Aufweckreaktionen beim Schlaf oder anderen möglichen Beeinträchtigungen der Gesundheit und körperlichen Unversehrtheit in Verbindung mit Erschütterungen, wie sie auch bei extrem exponierter Lage zum Schienenverkehr auftreten können, bekannt.

Aus einer Überschreitung der Anhaltswerte lassen sich pauschal keine Eigentums- bzw. Gesundheitsverletzungen ableiten. Bei welcher Erschütterungsbelastung die Grenze zur Eigentums- bzw. Gesundheitsverletzung überschritten wird, ist bisher nicht eindeutig geklärt. Nach der derzeitigen Rechtsprechung [13]¹ muss diese aber jedenfalls noch deutlich über dem in Industriegebieten und, bezogen auf den Nahverkehr, geltenden Anhaltswert A_r von 0,3 tags und 0,23 nachts liegen (dies entspricht dem um den Faktor 1,5 angehobenen Anhaltswert A_r in Industriegebieten für oberirdischen Schienenverkehr ohne Nahverkehr), denn solche Belastungen werden den Betroffenen ohne Weiteres nach DIN 4150-2 zugemutet.

Abschnitte, die mit Beurteilungsschwingstärken mit Werten von $KB_{F_{Tr}}$ ab einem Bereich von 1,1 tags und 0,7 nachts vorbelastet sind und deren Beurteilungsschwingstärke vorhabenbedingt, wenn auch nur geringfügig (ab dritter Nachkommastelle), ansteigen, sind gutachterlich besonders zu untersuchen und unter Berücksichtigung des Einzelfalls im Hinblick auf den Eigentums- und Gesundheitsschutz in der Abwägung über zutreffende Schutzmaßnahmen zu betrachten (siehe [15]).

2.3 Gesetzliche Grundlagen

Erschütterungen gehören zu den im BImSchG [3] bereits in der Überschrift und im § 3 (2) ausdrücklich erwähnten Immissionen, die „nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen“. Die für den Bau öffentlicher Verkehrswege geltenden §§ 41 – 43 BImSchG befassen sich jedoch ausschließlich mit Verkehrsgeräuschen (primärer Luftschall). Demzufolge können auch aus der geltenden Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV [5]) keine Immissionsgrenzwerte oder sonstigen konkreten Regelungen zu Erschütterungen oder sekundärem Luftschall unmittelbar entnommen werden. Der Bau oder die Änderung von

¹ Urteil des BVerwG vom 21.12.2010, Az. 7 A 14.09.

Schienenverkehrswegen des Bundes einschließlich der für ihren Betrieb notwendigen Anlagen ist im Allgemeinen Eisenbahngesetz (AEG [1]) geregelt. Demnach dürfen diese nur gebaut oder geändert werden, wenn der Plan zuvor festgestellt oder genehmigt worden ist. Einzelheiten zur Durchführung des Planfeststellungsverfahrens werden wiederum im Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG [2]) geregelt. Nach § 74 (2) VwVfG hat die Planfeststellungsbehörde (dies ist bei Schienenverkehrswegen das Eisenbahn-Bundesamt) dem Träger des Vorhabens nach eingehender Abwägung aller Belange, Vorkehrungen oder die Errichtung und Unterhaltung von Anlagen aufzuerlegen, die zum Wohl der Allgemeinheit oder zur Vermeidung nachteiliger Wirkungen auf Rechte anderer erforderlich sind. Sind solche Vorkehrungen oder Anlagen untunlich oder mit dem Vorhaben unvereinbar, so hat der Betroffene Anspruch auf angemessene Entschädigung in Geld (§ 74 (2) VwVfG).

Über diese allgemeinen Grundsätze hinaus gibt es - anders als für den Primärschall - derzeit keine verbindlichen gesetzlichen oder untergesetzlichen Regelungen, die Immissionsgrenzwerte oder Beurteilungsverfahren für Immissionen infolge Erschütterungen oder sekundärem Luftschall an spurgeführten Verkehrswegen festlegen. Bei der Ermittlung und Beurteilung muss deshalb auf allgemeine immissionsschutzrechtliche Grundsätze, die aktuelle Rechtsprechung sowie antizipierte Sachverständigenäußerungen, wie sie z. B. in allgemein anerkannten Regelwerken (z.B. DIN oder VDI-Richtlinien) oder Fachveröffentlichungen mitgeteilt sind, zurückgegriffen werden.

Es besteht somit zwar eine grundsätzliche gesetzliche Verpflichtung, im Rahmen der Planung von Schienenverkehrswegen allgemein zu untersuchen und zu beurteilen, inwieweit von diesen Schienenverkehrswegen belästigende Erschütterungseinwirkungen auf die betroffenen Anlieger ausgehen, ohne dass hierfür allerdings konkrete Prognoseverfahren oder Immissionsgrenzwerte verbindlich und gesetzlich geregelt wurden.

2.4 Anspruchskriterien

2.4.1 Beurteilungskriterien hinsichtlich der Wirkungen auf den Menschen (DIN 4150-2)

Grundsätzlich stellt die Normenreihe der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ mit ihren Teilen 1 bis 3 ([7], [8], [9]) eine zu dieser Thematik einschlägige Fachnorm als Äußerung allgemeinen technischen Sachverständs dar.

Die DIN 4150 enthält im Teil 2 ein für die Beurteilung der Lästigkeit von Erschütterungseinwirkungen beim Aufenthalt von Menschen in Gebäuden grundsätzlich geeignetes Beurteilungsverfahren sowie weitere Kriterien, nach denen eine Beurteilung zu erfolgen hat. In Tabelle 1 sind die Anhaltswerte der DIN 4150-2 für die Beurteilungsgrößen $KB_{F_{max}}$ und $KB_{F_{Tr}}$ in Abhängigkeit der Gebietseinstufung sowie des Tages- und Nachtzeitraums zusammengestellt, bei deren Unterschreitung davon auszugehen ist, dass eine erhebliche Belästigung von Menschen in Gebäuden vermieden wird.

Bei der Beurteilung werden die ermittelten KB-Werte den entsprechenden Anhaltswerten gegenübergestellt. Dabei ist nach der folgenden Vorgehensweise zu verfahren:

Es ist die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ zu ermitteln und mit den Anhaltswerten A_u und A_o zu vergleichen ²:

- Ist $KB_{F_{max}}$ kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert A_u , dann ist die Anforderung der Norm eingehalten.
- Ist $KB_{F_{max}}$ größer als der (obere) Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung nicht eingehalten.
- Ist $KB_{F_{max}}$ größer als A_u , aber kleiner oder höchstens gleich A_o ², ist die Anforderung dieser Norm dann eingehalten, wenn die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ nicht größer als A_r nach Tabelle 1 ist.

² Die oberen Anhaltswerte A_o erhalten beim Schienenverkehr eine andere Bedeutung als bei anderen Immissionen (z.B. aus Industrieanlagen), siehe Abs. 6.5.3.1 - 6.5.3.4 der DIN 4150-2. Tatsächlich spielt der A_o bei der Beurteilung prognostizierter Erschütterungsimmissionen aus dem Schienenverkehr keine praktische Rolle: wenn der Wert von

Die DIN 4150-2 spricht hier ausdrücklich von Anhaltswerten und nicht von Grenzwerten oder Richtwerten (vgl. hierzu auch die Ausführungen in Abschnitt: 2.2).

Konkrete Anhaltswerte werden in der DIN 4150-2 ausschließlich für die Beurteilung von Wohn- und Schlafräumen sowie vergleichbar genutzten Räumen angegeben. Für Büro- und Gewerberäume werden keine Kriterien genannt. In den meisten Fällen kann davon ausgegangen werden, dass bei einer derartigen Nutzung die Belästigung durch Erschütterungen aus dem Schienenverkehr als nicht erheblich einzustufen ist. Für Sonderfälle sind je nach Einzelfall gesonderte Beurteilungskriterien festzulegen.

Die Anhaltswerte der DIN 4150-2 sowie das Beurteilungsverfahren gelten allerdings nur für den Neubau von Schienenverkehrswegen. Beim Ausbau oder der baulichen Veränderung von bestehenden Schienenverkehrswegen des oberirdischen Schienenverkehrs weist die DIN 4150-2 in Abschnitt 6.5.3.4 ausdrücklich darauf hin, dass die Anhaltswerte nach Tabelle 1 vielerorts überschritten werden. Es müssen daher häufig den Anwohnern auch Erschütterungsimmissionen zugemutet werden, die oberhalb des Niveaus liegen, ab dem mit zunehmender Wahrscheinlichkeit erhebliche Belästigungen auftreten können. Die Grenze der Zumutbarkeit kann nur im Einzelfall festgelegt werden.

Die DIN 4150-2 gibt hier also keine konkreten Regelungen vor, sondern verweist auf den jeweiligen Einzelfall unter Berücksichtigung der vorhandenen Situation und der nachfolgenden Kriterien:

- Historische Entwicklung der Belastungssituation,
- Höhe und Häufigkeit der Anhaltswertüberschreitungen,
- Vermeidbarkeit von Anhaltswertüberschreitungen (z. B. Einhaltung des Standes der Technik bei Gleisanlagen und Fahrzeugen),
- Duldungspflichten nach dem Gebot der gegenseitigen Rücksichtnahme.

Eine vorhandene Vorbelastung aus einer bestehenden oder planungsrechtlich anzunehmenden, bestandsgeschützten Anlage ist bei der Beurteilung der Immissionswirkungen auch nach der bisherigen Rechtsprechung immer als schutzmindernd anzurechnen [13].

Entsprechend den vorstehenden Ausführungen besteht im Umfeld von Aus- oder Umbaumaßnahmen lediglich der Anspruch, dass durch das Hinzutreten neuer Erschütterungsimmissionen die bereits vorhandene Vorbelastung nicht wesentlich erhöht wird.

0,6 (Kap.6.5.3.5 der DIN 4150-2) mehr als nur gelegentlich überschritten wird (z.B. regelmäßig bei einer bestimmten Zugattung), dann ist auch A_r überschritten. Daher ist es sachgerecht, die Beurteilung nur anhand der Anhaltswerte A_u und A_r durchzuführen.

Tabelle 1: Anhaltswerte für Erschütterungsimmissionen nach DIN 4150-2 [8] für Wohn- und Schlafräume sowie vergleichbar genutzte Räume.

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

In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung - BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 - 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkung vorgenommen werden ist, die Gebieteinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Als eine untere generelle Eingriffsschwelle, bis zu der bei Aus- und Umbaumaßnahmen Erschütterungsimmissionen in der Regel, unabhängig von der Größenordnung der auftretenden Veränderung, als zumutbar anzusehen sind, sind die Anhaltswerte A_u und A_r der Tabelle 1, DIN 4150-2 anzusetzen. Dies wurde auch in dem zitierten Urteil des BVerwG vom 21.12.2010, Az. 7 A 14.09. [13] bestätigt.

Für oberirdische Schienenverkehrswege des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) gelten die um den Faktor 1,5 angehobenen A_u und A_r-Werte nach Tabelle 1 [8].³

Bei der Beurteilung von baulichen Veränderungen an einem bestehenden Verkehrsweg kommt es somit nicht unbedingt auf die Höhe der vorhandenen Einwirkungen, sondern vor allem darauf an, ob sich durch die baulichen Eingriffe die Immissionsbelastung wesentlich erhöht und ob gerade in dieser Zunahme eine Unzumutbarkeit für den Anwohner zu begründen ist.

2.4.2 Wesentliche Änderung, Unterschiedsschwelle

Für die Beurteilung der Wahrnehmung von zwei unterschiedlich starken Erschütterungssignalen wurden zur wissenschaftlichen Absicherung und Ermittlung einer Unterschiedsschwelle im Auftrag der DB AG im Rahmen eines Forschungsvorhabens umfangreiche Laborversuche durchgeführt [25]. Diese Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass zwei zeitlich im Abstand von ca. 3 Sekunden aufeinanderfolgende, eisenbahntypische Erschütterungsereignisse von den Probanden erst ab einer Differenz des KB-Wertes von mehr als 25 Prozent unterschieden werden können. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass unter realen Bedingungen die Pausenstruktur zwischen den einzelnen Zugvorbeifahrten wesentlich größer ist, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Wahrnehmungsdifferenz in der Praxis noch größer sein wird.

³ Auf der Strecke 5541 ist im betreffenden Abschnitt ausschließlich ÖPNV vorhanden. Daher sind die Anhaltswerte in Tabelle 1 in dieser Untersuchung um den Faktor 1,5 erhöht worden.

Ein Anspruch auf Vorsorge oder Ausgleichsmaßnahmen dem Grunde nach kann also unter Beachtung der ausgeführten Hinweise und Grundsätze erst anerkannt werden, insoweit bereits deutliche Einwirkungen vorhanden sind (Überschreitung der Anhaltswerte nach Tabelle 1 der DIN 4150-2) und davon ausgegangen werden muss, dass durch die durchgeführten Baumaßnahmen die Immissionsbelastung wesentlich, also um mindestens 25 Prozent, gegenüber dem ursprünglichen Zustand erhöht wird.

2.5 Sekundärer Luftschall

Neben Erschütterungseinwirkungen können die über den Baugrund in die Gebäude eingetragenen Schwingungen auch noch als „sekundärer Luftschall“ bezeichnete Immissionen hervorrufen. Hierunter versteht man den durch die Schwingungsanregung von Umfassungsbauteilen (Wände, Wohnungsdecken) abgestrahlten Schallanteil innerhalb von Räumen. Dieser kann u. U. als tief-frequentes Geräusch in den Räumen wahrgenommen werden. Sekundärer Luftschall ist vor allem in Räumen wahrzunehmen, die gegenüber dem von außen einwirkenden Luftschall (Primärschall) vollkommen abgeschirmt sind. Dies tritt regelmäßig an unterirdisch verlaufenden Streckenabschnitten auf, wo durch einen Tunnel der Primärschall der vorbeifahrenden Züge vollständig abgeschirmt wird und somit allein der sekundäre Luftschall wahrzunehmen ist. An oberirdischen Trassenführungen, wie den hier zu untersuchenden Streckenabschnitten, tritt der sekundäre Luftschall immer in Verbindung mit dem deutlich dominierenden Primärschall auf, so dass der sekundäre Luftschall i.d.R. nicht als eigenständige Immission wahrgenommen wird.

Zur Beurteilung des sekundären Luftschalls, hervorgerufen von öffentlichen Verkehrsmitteln, existieren – ebenso wie bei den Erschütterungen – keine gesetzliche Regelungen und Grenzwerte. Im Vergleich zum übrigen Verkehrslärm handelt es sich beim sekundären Luftschall um ein relativ tieffrequentes Geräusch, das von allen Raumbegrenzungsflächen abgestrahlt wird und nicht richtungsorientiert hörbar ist.

Basis der Bewertung sind die Mittelungspegel in den Bewertungszeiträumen tags 06.00 Uhr bis 22.00 Uhr und nachts 22.00 Uhr bis 06.00 Uhr [8].

Bei Planungsvorhaben der DB Netz AG für oberirdischen Schienenverkehr erfolgt die Beurteilung des sekundären Luftschalls anhand der Anhaltswerte für Innenraumpegel, die sich indirekt aus der 24. BImSchV [6] ableiten lassen.

Die Anhaltswerte für Innenraumpegel nach 24. BImSchV sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Wie bei der Beurteilung von Erschütterungen ist bei den ursächlich mit den Erschütterungen zusammenhängenden, sekundären Luftschallbelastungen eine Vorbelastung schutzmindernd anzurechnen. Allgemein gilt bei der Beurteilung von Luftschallimmissionen eine Pegelerhöhung um 3 dB oder mehr als spürbare Änderung. Die aus der 24. BImSchV abgeleiteten, zumutbaren Innenraumpegel gelten für alle Arten von Verkehrslärm.

Tabelle 2: Nach 24. BImSchV [6] abgeleitete zumutbare Innenraumpegel für unterschiedliche Raumnutzungen als Anhaltswerte zur Beurteilung des sekundären Luftschalls.

Anhaltswerte für zumutbare Innenraumpegel L_i in Anlehnung an 24. BImSchV			
Raumnutzung		$L_{i,T}$ [dB(A)] tags 6-22 Uhr	$L_{i,N}$ [dB(A)] nachts 22-6 Uhr
1	Räume die überwiegend zum Schlafen genutzt werden	-	30
2	Wohnräume	40	-
3	Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftliche Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume	40	-
4	Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume	45	-
5	Großraumbüros, Schalerräume, Druckerräume von DV-Anlagen, soweit dort ständige Arbeitsplätze vorhanden sind	50	-
6	Sonstige Räume, die nicht nur vorübergehend zum Aufenthalt von Menschen bestimmt sind.	Entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen	

3 Örtliche Gegebenheiten

Der bauliche Eingriff beginnt bei km 18,898 und endet bei km 19,280 (Abschnittsende liegt bei km 19,323) der Strecke 5541. Für diesen Bereich wird auch der Untersuchungsabschnitt festgelegt.

Für einen Teil des zu untersuchenden Bereichs bestehen rechtskräftige Bebauungspläne [20]. Für Nutzungsgebiete, für die zum gegenwärtigen Zeitpunkt kein Bebauungsplan existiert, erfolgt eine Einschätzung hinsichtlich der Art der baulichen Nutzung gemäß § 2 - § 11 BauNVO [4] anhand der tatsächlichen Nutzung. Im Rahmen von örtlichen Begehungen am 16.10.2015 und am 13.03.2020 wurde die Bebauung ebenfalls erfasst [27].

Die Beschreibung der Bebauung entlang der Strecke erfolgt getrennt nach Bahnseite in aufsteigender Kilometrierung. Die Referenzgebäude für die Erschütterungsprognose sind zusätzlich unter Angabe der vorhandenen Nutzungen in einer Übersichtskarte in **Anlage 2** dargestellt.

Abbildung 1 zeigt eine Karte der Umgebung.

Der sekundäre Luftschall kann nicht auf direktem Wege über Schallmessungen gemessen werden, da bei oberirdischem Verkehr das Umgebungsgeschall meist dominant ist. Als geeignetes und abgesichertes Verfahren wird der sekundäre Luftschall über die gemessenen Erschütterungspegel am Immissionsort ermittelt [26].

4.2 Übertragung der Schwingungsmessungen von der NeM 17 Steinebach - Seefeld-Hechendorf

Da sich die Baumaßnahme im Bahnsteigbereich befindet, werden die Messergebnisse der Erschütterungsuntersuchung aus dem Bereich Steinbach - Seefeld-Hechendorf [28] herangezogen. Diese können für den Bereich Weßling genutzt werden, da es sich hierbei um vergleichbare Bodenverhältnisse handelt und ein räumlicher Zusammenhang im Sinne der gleichen geologischen Einheit besteht (vgl. [23]). In beiden Fällen besteht der Untergrund im Wesentlichen aus pleistozänen Jungmoränenablagerungen (Kiese, sandig bis tonig - schluffig), was auch aus den Bodengutachten (vgl. [21], [22], [23]) hervorgeht. Des Weiteren handelt es sich auf der betrachteten Bahnstrecke um die gleiche Zuggattung (BR423) und somit um die gleiche Emissionsquelle. Demzufolge ist eine vergleichbare Wellencharakteristik zu erwarten.

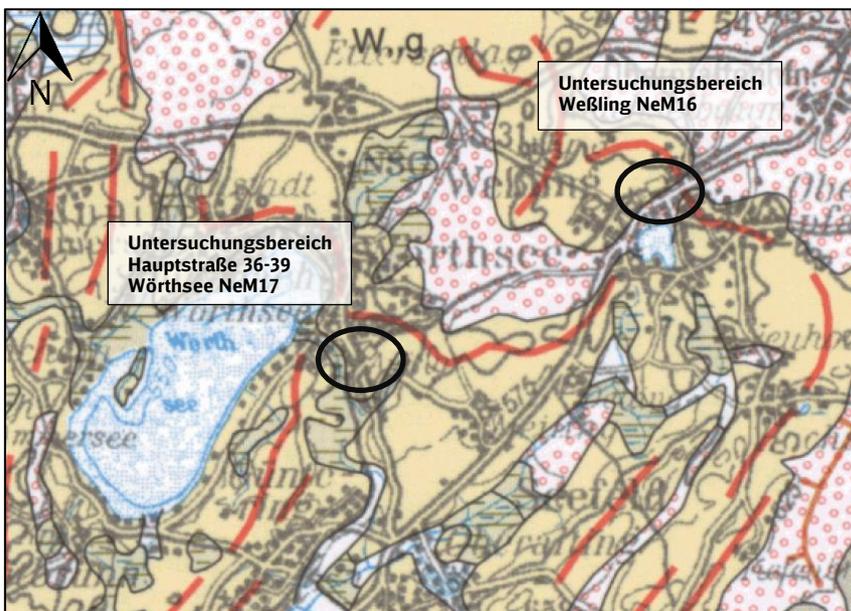


Abbildung 2 Auszug aus der Geologischen Karte mit den Untersuchungsbereichen der Netzergänzenden Maßnahmen NeM 16 und NeM 17. (Gleiche Färbung der Böden lässt auf gleiche geologische Eigenschaften schließen) [23].

4.3 Beweissicherungsmessungen

Zur Feststellung der derzeitigen Erschütterungssituation werden die im April 2015 durchgeführten Beweissicherungsmessungen aus dem Bereich Steinebach - Seefeld-Hechendorf (NeM 17) [28] herangezogen, welche durch die DB Systemtechnik GmbH, T.TVI 32(3) Prüfung Akustik, Erschütterungen, Aerodynamik, Klimatechnik, durchgeführt wurden.

Die für die Beweissicherungsmessungen an der NeM 17 ausgewählten Gebäude stehen stellvertretend für ortsübliche Bauweisen im Untersuchungsabschnitt. Die Freifeldmessung wird zur Bestimmung der lokalen Freifeldminderung des Erschütterungsemissionspegels genutzt.

Die Erschütterungsmessungen fanden an den folgenden Referenzpunkten statt:

- „An der Beermahd 2a“, 82229 Seefeld - km 25,017 (Str. 5541),
- „Hauptstraße 36a“, 82237 Wörthsee - km 23,128 (Str. 5541),
- „Hauptstraße 39“, 82237 Wörthsee - km 22,937 (Str. 5541),
- Freifeldmessung - km 23,165 (Str. 5541).

Die Spektren der Erschütterungsemissionen und Erschütterungsimmissionen oben genannter Beweissicherungsmessung sind im Messbericht in **Anlage 4** aufgeführt.

5 Prognose der Erschütterungsimmissionen

5.1 Betriebsprogramm

Für Immissionsberechnungen der Beurteilungsschwingstärken ist die Angabe der Streckenbelastung für die beiden Beurteilungszeiträume Tag (06:00 bis 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 bis 06:00) erforderlich.

Nachfolgend sind das Betriebsprogramm und die Betriebsprognose für 2030 angegeben [18] [19]. Durch die Baumaßnahme ergeben sich keine Änderungen der Betriebsprognose, so dass diese Daten für den Prognose-Nullfall (ohne Baumaßnahme) und für den Prognose-Planfall (mit Baumaßnahme) zugrunde gelegt werden.

Eine Steigerung des Beurteilungspegels aufgrund geänderter Zugzahlen kann somit ausgeschlossen werden.

Tabelle 3: Betriebsprognose 2030 - Strecke 5541 Weßling [18], [19].

Strecke 5541	Anzahl der Züge		v _{max} in km/h	Fahrzeugkategorie	Wagenanzahl
	Tag	Nacht			
bis Bahnsteig Weßling (Nullfall = Planfall)	128	19	90	ÖPNV	3
	64	9			2
ab Bahnsteig Weßling (Nullfall = Planfall)	88	16	90	ÖPNV	3
Ein- und Ausfahrten Wendegleis (nur Planfall)	30 Einfahrten + 30 Ausfahrten	3 Einfahrten + 3 Ausfahrten	70	ÖPNV	3

Die zulässige Geschwindigkeit des Streckengleises beträgt 90 km/h. Für die Ein- und Ausfahrten in das Abstell- und Wendegleis wird in Anlehnung an die Festlegungen zu Tabelle 10 in Anlage 2 der 16. BImSchV [5]) eine Geschwindigkeit von 70 km/h zugrunde gelegt.

5.2 Prognoseverfahren

Ein allgemeines und anerkanntes Prognoseverfahren für Erschütterungswirkungen auf rein rechnerischer Basis, vergleichbar mit dem Rechenverfahren nach 16. BImSchV [5] für den Schienenverkehrslärm, existiert bisher nicht. Dies liegt in der Vielfalt von Einwirkungen im Ausbreitungsweg von Erschütterungen sowie der Ortsabhängigkeit von Einflussparametern und den nur schwer zu ermittelnden und mathematisch schwer zu beschreibenden Materialparametern. Insbesondere muss die Erschütterungsbetrachtung spektral, d.h. als eine Funktion der Frequenz (im Normalfall Terzspektren), betrachtet werden. Allgemeine Hinweise zur Vorgehensweise bei Erschütterungsprognosen können der VDI-Richtlinie VDI 3837 [12] entnommen werden. Demnach muss für exakte Prognosen auf messtechnisch ermittelte Schwingungsgrößen zurückgegriffen werden.

Grundlage der nachfolgenden Prognose bilden die durchgeführten Beweissicherungsmessungen (vgl. Abschnitt 3).

Schwingungsmessungen werden üblicherweise über einen Zeitraum von 4 bis 12 Stunden durchgeführt und erfassen nur einen Teil der über einen ganzen Tag möglichen Vorbeifahrten.

Während die Messungen die absoluten Emissionen jeder einzelnen Zuggattung beschreiben, wird deren Anzahl im Beurteilungszeitraum rechnerisch berücksichtigt. Die Anzahl der Zugvorbeifahrten wird dem gültigen Betriebsprogramm entnommen. Tagesabhängige, geringere Zugzahlen während einzelner Messungen werden so in ihrer Häufigkeit korrigiert und wirken sich nicht immissionsmindernd aus. Das gleiche gilt für eventuell verminderte Zuggeschwindigkeiten

während der Messungen. Das energetisch gemittelte Spektrum wird einer Geschwindigkeitskorrektur gemäß folgender Gleichung unterzogen:

$$\Delta v = 20 * \lg \left(\frac{v}{v_0} \right) \quad (1)$$

mit: v : Geschwindigkeit gemäß zukünftigem Betriebsprogramm je Zuggattung
 v_0 : arithmetisch gemittelte gemessene Zuggeschwindigkeit je Zuggattung

Grundsätzlich wird die Entstehung und Übertragung der Erschütterungen auf die 3 folgenden Teilfunktionen aufgeteilt:

- Emission (Anregungssystem aus Zug + Einflüsse aus Oberbau und Fahrweg),
- Transmission (Übertragung und Weiterleitung der Schwingungen über den Baugrund vom Bahnkörper zu den betroffenen Gebäuden),
- Immission (Einleitung in das Gebäude und Weiterleitung innerhalb des Gebäudes (z.B. in die Decke)).

Die frequenzabhängigen Erschütterungen der Gebäudedecken werden anhand folgender Gleichung ermittelt:

$$L_{V-Raum}(f) = L_E(f) + \Delta L_B(f) + \Delta L_G(f) \quad (2)$$

mit: $L_{V-Raum}(f)$: Terzschnellespektrum am betrachteten Immissionsort (oberste Deckenebene)
 $L_E(f)$: Terzschnellespektrum der Erschütterungen (Emission)
 $\Delta L_B(f)$: baugrund- und abstandsbedingte Erschütterungsabnahme (Transmission)
 $\Delta L_G(f)$: Gebäudespezifische Übertragungsfunktion (Immission)

Zur Ermittlung der baugrund- und abstandsbedingten Abnahme des Erschütterungspegels im Bereich der NeM 16 wird aus der Freifeldmessung der $L_{v,eq}$ -Pegel in km 23,165 der Str. 5541 im Bereich der NeM 17 mittels linearer Regression ein Ansatz bestimmt, welcher die frequenzabhängige Pegelabnahme in Abhängigkeit des Abstandes beschreibt.

Aus den Terzschnellespektren am Immissionsort werden die Beurteilungswerte gemäß DIN 4150 sowie die Beurteilungspegel des sekundären Luftschalls berechnet.

Gleichung (2) erlaubt eine Abschätzung der Erschütterungsübertragung vom Gleis zum Gebäude. Sie berücksichtigt die folgenden maßgebenden Einflussparameter:

- Zugtyp,
- Fahrgeschwindigkeit,
- Trasse,
- Schienenbesonderheiten,
- Distanz Gleis - Gebäude,
- Gebäudetyp,
- Deckentyp.

Zur Bestimmung eines Korridors an der NeM 16, für welchen sich möglicherweise eine Betroffenheit ergibt, wird die ungünstigste Situation angenommen. Aus den gemessenen Emissionsspektren an der NeM 17 lässt sich eine deutliche Erhöhung der Schwingpegel bei 31,5 Hz erkennen (siehe **Anlage 4**). Da Betondecken im Bereich von 31,5 Hz eher schwingungsanfälliger sind als Holzbalkendecken, wird für die spektrale Deckenübertragungsfunktion die Deckenübertragungsfunktion für 31,5 Hz nach Ril 820.2050 verwendet [14] und im Prognosemodell angenommen, dass die untersuchten Gebäude Betondecken besitzen. Es wird die geringste Entfernung eines Gebäudes zum nächstgelegenen Gleis, dessen Anhaltswerte im ungünstigsten Fall eingehalten sind, iterativ ermittelt (nur Prüfung, ob KB_{FT} überschritten ist). Dieser Abstand ergibt die Breite des Korridors ausgehend vom jeweils außenliegenden Gleis.

Zur Berücksichtigung von Weichen wurde folgender empirischer Ansatz für einen Zuschlag verwendet:

$$\Delta L_{Weiche} = 6 \text{ dB} - 5 \cdot \log\left(\frac{s}{8\text{m}}\right) \quad (3)$$

mit s gleich dem Abstand des Gebäudes zur Weiche. Der gewählte Ansatz stellt im Vergleich zu den in [14] zusammengetragenen Ergebnissen eine Annahme zur sicheren Seite für den Anwohner hin dar. Anzumerken ist hierbei, dass aufgrund der i.d.R. geringen Geschwindigkeit der Züge im Bahnhofs- und Wendebereich, der Weichenzuschlag auch vernachlässigbar wäre. Insofern stellt die Berücksichtigung der Weichen einen weiteren konservativen Ansatz zugunsten der Anwohner dar.

Neben der Bestimmung des Korridors werden an einem weiteren repräsentativen Gebäude („Am Katzenstein 2“) die Anhaltswerte nach DIN 4150-2 ausgewertet (siehe **Anlage 1** und **Anlage 2**). Es handelt sich dabei um ein dem neuen Wendegleis nahes Gebäude. Das Gebäude ist in der Übersichtskarte in **Anlage 3** dargestellt.

5.3 Weitere Prognoseansätze

Wie in Kapitel 4.3 beschrieben liegen im Bereich des Bf Weßling (NeM 16) keine Erschütterungsmessungen vor. Daher wird ersatzweise auf die Messungen im Bereich Steinebach - Seefeld-Hechendorf (NeM 17) [28] zurückgegriffen. Unter Berücksichtigung der geologischen Karte liegen hier voraussichtlich vergleichbare Bodenverhältnisse vor [23].

Des Weiteren wird folgende Worst-Case-Annahme getroffen:

Alle MaxHold-Immissionsspektren (siehe Prüf-/Messbericht [28]) der gleisnächstgelegenen Messpunkte der einzelnen Referenzorte werden, mit Hilfe der in Kapitel 5.2 durchgeführten Regression, auf einen fiktiven 8 m vom Gleis entfernten Immissionspunkt zurückgerechnet. Weiterhin werden die gemessenen Spektren auf eine Geschwindigkeit von 70 km/h hochgerechnet. Für das MaxHold-Spektrum am Referenzort „An der Beermahd 2a“ ergeben sich im Vergleich zu den anderen Referenzorten die höchsten Pegel.

Das ermittelte MaxHold-Spektrum „An der Beermahd 2a“ bei 70 km/h und 8 m Entfernung zum Gleis bildet im Nachfolgenden das Eingangsspektrum für die erschütterungstechnische Prognose zur NeM 16.

Der Summenpegel des ermittelten MaxHold-Spektrums im Bereich von 4 Hz bis 315 Hz liegt damit etwa 2 dB über dem MaxHold-Spektrum der nicht korrigierten Messung „An der Beermahd 2a“ und etwa 14 dB über dem nicht korrigierten MaxHold-Messspektrum der Freifeldmessung.

Als Eingangsspektrum für die Bestimmung des Sekundären Luftschalls wird ebenfalls das oben ermittelte MaxHold-Spektrum verwendet und nicht der nach Norm zu verwendende $L_{v,eq}$ -Pegel. Dies stellt einen weiteren konservativen Ansatz zugunsten der Anwohner dar.

Die Entfernungen werden aus dem digitalen Berechnungsmodell zur Untersuchung der betriebsbedingten Schallimmissionen ausgelesen [29]. Dieses basiert auf Lod1-Häuserdaten der Katasterämter und den Trassenverläufen der DB-Netz AG.

Nach der Betriebsprognose fährt auf der Strecke 5541 der gleiche Zugtyp (BR423) mit zwei und drei Wagenreihungen. Zur Vereinfachung wird angenommen, dass alle Züge mit jeweils drei Wagen fahren. Die Zugzahlen werden gleichmäßig auf beide Gleise verteilt.

5.4 Bewertung der baulichen Eingriffe und ihre Auswirkungen hinsichtlich der Erschütterungsimmissionen

Oberbauänderungen oder Oberbauerneuerungen:

Bei der Prognose wird davon ausgegangen, dass die Emissionen neuer Gleise den Emissionen der vorhandenen Gleise entsprechen. Die Tatsache, dass ein neues Gleis gleicher Bauart i.d.R. weniger Erschütterungen emittiert als das vorhandene Gleis, wird im Rahmen dieser

Untersuchung nicht in Ansatz gebracht und ist somit eine konservative Betrachtung zugunsten der Anwohner.

Änderung Gleislage durch das Hinzukommen des Wendegleises:

Mit dem Neubau des Abstell- und Wendegleises verringert sich z.T. der Abstand zwischen Gleis und Wohnbebauung. (Die Abstandänderungen sind in **Anlage 1** und **Anlage 2** aufgeführt.) Damit ist voraussichtlich eine Erhöhung der Erschütterungsimmissionen im Nahbereich verbunden. Diese wird in der folgenden Prognoseberechnung anhand der gemessenen Bodenübertragungsfunktion berücksichtigt.

Streckengeschwindigkeit

Die der Prognose zu Grunde gelegten Geschwindigkeiten entsprechen den maximal zulässigen Streckengeschwindigkeiten. Da jedoch alle Züge am Bahnhof Weßling zum Stehen kommen, sind die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten deutlich geringer. Auch im Wendegleis wird die maximal zulässige Geschwindigkeit von 70 km/h voraussichtlich nicht erreicht. Das führt dazu, dass die in der Prognose errechneten Pegel mit großer Wahrscheinlichkeit höher sind als die im späteren Betrieb tatsächlich auftretenden Pegel.

6 Ergebnisse

Die Prognoseberechnungen der zukünftigen Erschütterungsimmissionen für den Streckenbereich Strecke 5541 Weßling – Herrsching von km 18,898 bis km 19,280 (Abschnittsende in 19,323) wird an einem maßgeblichen Referenzgebäude durchgeführt (siehe **Anlage 1**).

6.1 Korridor möglicher Betroffenheit

Für den Korridor möglicher Betroffenheit durch betriebsbedingte Erschütterungen ergab sich aus der Berechnung eine Breite von ca. < 10 m unter Berücksichtigung von Weichen (für Bebauung mit Wohnnutzung und der Flächenzuordnung Wohngebiet) ausgehend von der Mitte des jeweils außen liegenden Gleises. Hierbei zeigt sich, dass keine Bebauung mit Schutzanspruch in diesem Korridor liegt oder ihn schneidet. Ohne Berücksichtigung der Weichen ist eine Überschreitung der Anhaltswerte unter den hier berücksichtigten Ansätzen nicht möglich.

6.2 Erschütterungen

Die prognostizierte Erschütterungsbelastung für den Prognose-Nullfall (ohne Umbaumaßnahme) und den Prognose-Planfall (mit Umbaumaßnahme) ist das untersuchte Referenzgebäude in **Anlage 1** dargestellt.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass die Erschütterungsimmissionen an dem Referenzgebäude im Prognose-Planfall die Werte für $KB_{Fmax} < A_u$ bzw. $KB_{FTr} < A_r$ nicht überschreitet. Die Anforderungen der DIN 4150-2 sind daher, auch unter Verwendung eines sehr konservativen Prognoseansatzes, eingehalten.

6.3 Sekundärer Luftschall

Der prognostizierte sekundäre Luftschall für den Nullfall (ohne Umbaumaßnahme) und für den Planfall (mit Umbaumaßnahme) ist für das untersuchte Referenzgebäude in **Anlage 1** dargestellt.

Die Prognoseergebnisse zeigen, dass an keinem der untersuchten Referenzgebäude die Anhaltswerte für zumutbare Innenraumpegel nach 24. BImSchV überschritten werden. Der zukünftige Innenraumpegel nachts beträgt am Referenzgebäude maximal 11,0 dB(A). Die Zunahme der Immissionen beträgt maximal 0,5 dB tags bzw. nachts. Damit ergibt sich keine wesentliche Erhöhung des sekundären Luftschallpegels.

Aufgrund der oben genannten Prognoseergebnisse können die durch die Umbaumaßnahme neu hinzukommenden Immissionen an dem Referenzgebäude durchgängig als nicht wesentlich eingestuft werden. Ein Schutzanspruch liegt nicht vor. Minderungsmaßnahmen sind daher nicht erforderlich.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen der netzergänzenden Maßnahme (NeM) 16 plant die DB Netz AG im Zuge der „2. S-Bahn-Stammstrecke München“ den Bau eines Abstell- und Wendegleises im Bereich des Bahnhofs Weßling.

In der vorliegenden Erschütterungsuntersuchung werden anhand der durchgeführten Erschütterungsmessungen im Bereich Steinebach - Seefeld-Hechendorf die derzeitige Immissionssituation für den Bahnhof Weßling erfasst und Aussagen zur zukünftigen Erschütterungssituation nach Fertigstellung der Baumaßnahme getroffen. Die vorliegenden Erschütterungsmessungen können für den Bereich Bf Weßling verwendet werden, da es sich hierbei um vergleichbare Bodenverhältnisse handelt und ein räumlicher Zusammenhang im Sinne der gleichen geologischen Einheit besteht.

Gemäß Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) liegt durch das neu hinzukommende Abstell- und Wendegleis kein Neubau, sondern ein erheblicher baulicher Eingriff vor. Ebenso ist nach DIN 4150-2 [8] ein Neubau nur dann als solcher zu betrachten ist, wenn die neue Trasse so weit von bestehenden Trassen entfernt ist, dass Erschütterungseinwirkungen der bestehenden Trasse vernachlässigbar sind. Nach allgemeinem Stand der Technik und der Rechtsprechung ergibt sich ein möglicher Anspruch auf reale oder geldwerte Minderungs- oder Ausgleichsmaßnahmen nur dann, wenn die durch die baulichen Änderungen am Verkehrsweg neu hinzukommenden Erschütterungsimmissionen als erheblich und für die bereits vorbelasteten Anwohner als unzumutbar anzusehen sind.

Es ist somit zu untersuchen, inwiefern durch die geplanten baulichen Veränderungen an der Strecke 5541 eine wesentliche Zunahme der Erschütterungsimmissionen zu erwarten ist.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass die Anforderungen der DIN 4150-2 sowohl im Prognose-Nullfall als auch im Prognose-Planfall eingehalten werden. Die Richtwerte für sekundären Luftschall werden ebenfalls im gesamten Untersuchungsgebiet unterschritten.

Ein Schutzanspruch liegt somit nicht vor. Minderungsmaßnahmen sind daher nicht erforderlich.

Auswertung Erschütterungsprognose

Nr.	Str.5541 [km]	Gebäude	min. Abstand Gebäude zum Gleis 1		min. Abstand Gebäude zum Gleis 2		Gleis- verschiebung Gleis 1	Gleis- verschiebung Gleis 2	Nutzung	Anhaltswerte DIN 4150-2		Nullfall	Planfall	Bemerkungen
			Nullfall	Planfall	Nullfall	Planfall				A _u				
										Tag	Nacht	KB _{Fmax}	KB _{Fmax}	
1	18,8	Am Katzenstein 2	kein Gleis	25,2	32,3	32,3	-	0,0	WR	0,225	0,150	0,2124	0,2124	bei Überschreitung A _u -> Vergleich KB _{FTr} mit A _r

Nr.	Str.5541 [km]	Gebäude	min. Abstand Gebäude zum Gleis 1		min. Abstand Gebäude zum Gleis 2		Gleis- verschiebung Gleis 1	Gleis- verschiebung Gleis 2	Nutzung	A _r		Nullfall		Planfall		Signifikanzkriterium	
			Nullfall	Planfall	Nullfall	Planfall				Tag	Nacht	KB _{FTr}		KB _{FTr}		Δ [%]	
												Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
1	18,8	Am Katzenstein 2	kein Gleis	25,2	32,3	32,3	-	0,0	WR	0,105	0,075	0,0303	0,0183	0,0377	0,0208	24,3**	14**

**Signifikanzkriterium hier nur informativ angegeben, aber ohne Relevanz, da bereits KB_{FTr} eingehalten ist.

Nr.	Str.5541 [km]	Gebäude	min. Abstand Gebäude zum Gleis 1		min. Abstand Gebäude zum Gleis 2		Gleis- verschiebung Gleis 1	Gleis- verschiebung Gleis 2	Nutzung	Anforderungen DIN 4150-2 eingehalten			
			Nullfall	Planfall	Nullfall	Planfall				Nullfall		Planfall	
										Tag	Nacht	Tag	Nacht
1	18,8	Am Katzenstein 2	kein Gleis	25,2	32,3	32,3	-	0,0	WR	ja	ja	ja	ja

Farbcodierung:

eingehalten
neutral
überschritten

Auswertung Sekundärer Luftschall

Nr.	Str. 5541 [km]	Gebäude	min. Abstand Gebäude zum Gleis 1		min. Abstand Gebäude zum Gleis 2		Gleis-verschiebung Gleis 1	Gleis-verschiebung Gleis 2	Nutzung	Anforderungen 24.BImSchV [5]		Prognose-Nullfall		Prognose-Planfall		Δ [db]	
			Nullfall	Planfall	Nullfall	Planfall				L _m		L _m		L _m		Tag	Nacht
										Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht		
1	18,8	Am Katzenstein 2	kein Gleis	25,2	32,3	32,3	-	0,0	Wohn und Schlafraum	40	30	13,8	9,4	16,4	11,0	2,6	1,6

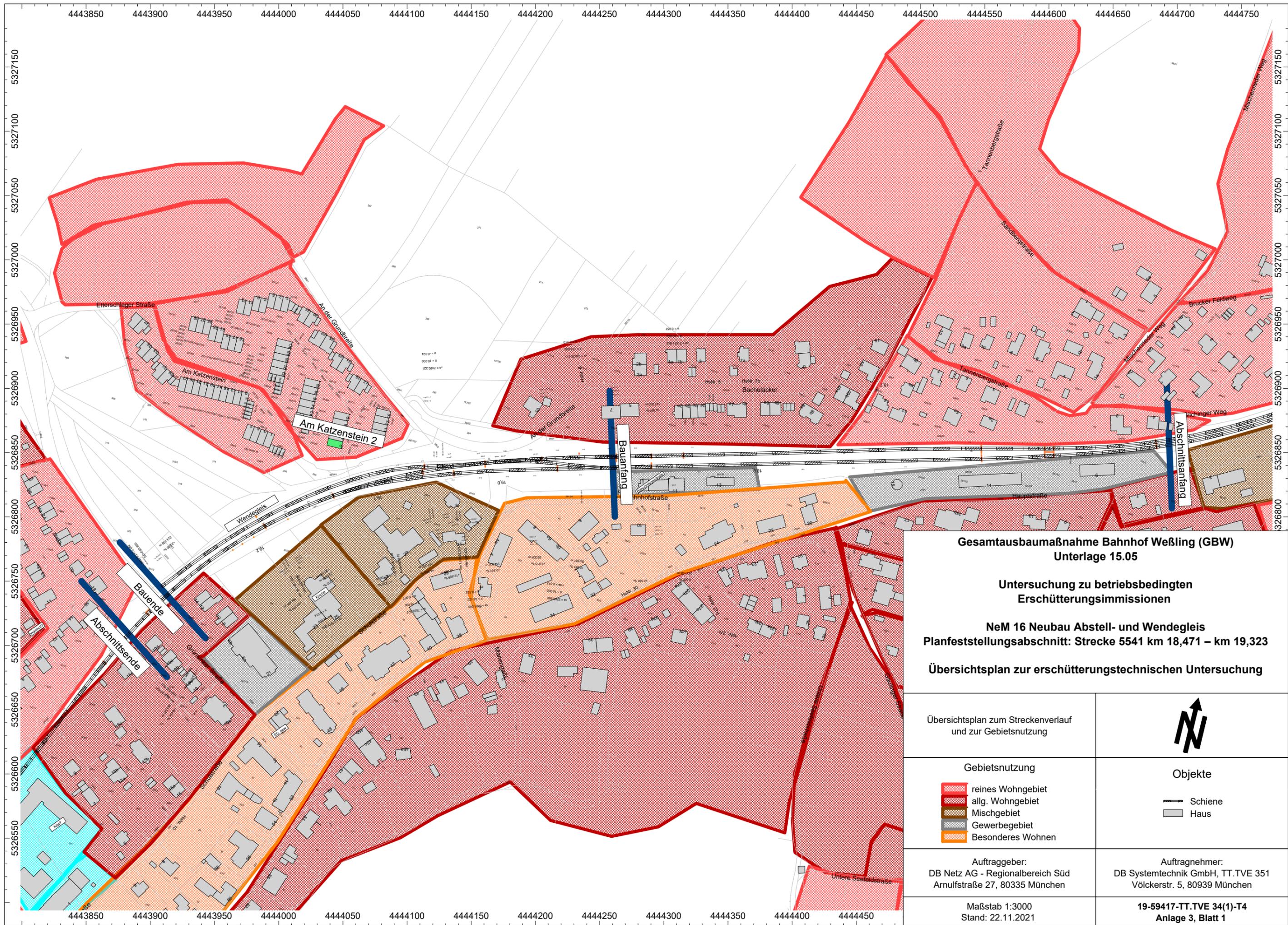
Nr.	Str. 5541 [km]	Gebäude	min. Abstand Gebäude zum Gleis 1		min. Abstand Gebäude zum Gleis 2		Gleis-verschiebung Gleis 1	Gleis-verschiebung Gleis 2	Nutzung	Anforderungen eingehalten			
			Nullfall	Planfall	Nullfall	Planfall				Nullfall		Planfall	
										Tag	Nacht	Tag	Nacht
1	18,8	Am Katzenstein 2	kein Gleis	25,2	32,3	32,3	-	0,0	Wohn und Schlafraum	ja	ja	ja	ja

Farbcodierung:

eingehalten

neutral

überschritten



Gesamtausbaumaßnahme Bahnhof Weßling (GBW)
Unterlage 15.05

Untersuchung zu betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen
NeM 16 Neubau Abstell- und Wendegleis
Planfeststellungsabschnitt: Strecke 5541 km 18,471 – km 19,323
Übersichtsplan zur erschütterungstechnischen Untersuchung

Übersichtsplan zum Streckenverlauf und zur Gebietsnutzung



- Gebietsnutzung**
- reines Wohngebiet
 - allg. Wohngebiet
 - Mischgebiet
 - Gewerbegebiet
 - Besonderes Wohnen

- Objekte**
- Schiene
 - Haus

Auftraggeber:
 DB Netz AG - Regionalbereich Süd
 Arnulfstraße 27, 80335 München

Auftragnehmer:
 DB Systemtechnik GmbH, TT.TVE 351
 Völckerstr. 5, 80939 München

Maßstab 1:3000
 Stand: 22.11.2021

19-59417-TT.TVE 34(1)-T4
Anlage 3, Blatt 1



Prüfbericht

Erschütterungsmessungen an der Strecke München - Herrsching (Strecke 5541, km 22,4 – 25,2; KW21 - 22/2015)

Dokument: 15-22786-T.TVI 32(3)-PR-V3

Datum: 03.02.2017

Prüflabor: Akustik und Erschütterungen



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-11081-01-02

Vom Eisenbahn-Bundesamt anerkannt

Assoziierter Partner von EISENBAHN-CERT

Neutral und unabhängig

Durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkKS) nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Anlage zur Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Prüfbericht beschriebenen Prüfobjekte. Dieser Prüfbericht darf nicht ohne schriftliche Genehmigung des Auftraggebers veröffentlicht werden. Eine auszugsweise Vervielfältigung bedarf zusätzlich der Zustimmung der DB Systemtechnik GmbH.

Änderungsindex

Version	Datum	Änderungsinhalte
1	20.07.2015	Erstausgabe
2	18.03.2016	Seite 2: unvollständige Postleitzahl korrigiert; Seite 6: Falsche Kilometerangabe in Tabelle 2 korrigiert; Rechtschreibfehler korrigiert
3	03.02.2017	Neuberechnung der Max-Hold-Terzpegelspektren, Zusatzauswertung der L_{eq} -Terzpegelspektren nach [8] und redaktionelle Änderungen

Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Angaben zum Auftrag	4
2	Beschreibung des Prüfobjektes	5
3	Prüfung	6
3.1	Angaben zur Prüfung	6
3.2	Durchführung	7
3.2.1	Messort	7
3.2.2	Prüfdatum	7
3.2.3	Messpositionen	7
3.2.4	Messgeräte	8
3.3	Auswertung	9
4	Ergebnisse	10
5	Unterschriften	10

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1	Kurzossier: An der Beermahd 2a, 82229 Seefeld
Anlage 2	Kurzossier: Hauptstraße 36a, 82237 Wörthsee
Anlage 3	Kurzossier: Freifeldmessung Hauptstraße 36a, 82237 Wörthsee
Anlage 4	Kurzossier: Hauptstraße 39, 82237 Wörthsee

Verzeichnis der Abkürzungen

AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
Ba	Bauabschnitt
Bf	Bahnhof
bzgl.	bezüglich
DB AG	Deutsche Bahn AG
DB ST	DB Systemtechnik
en. MW	energetischer Mittelwert
EG	Erdgeschoss
ET423	Elektrotriebzug der S-Bahn München
Fa.	Firma
GM	Gleismitte
GZ	Güterzug
KB	frequenzbewertetes Erschütterungssignal

$KB_{F_{\max}}$	maximal bewertete Schwingstärke
$KB_{F(t)}$	bewertete Schwingstärke
km	Kilometer
KS	Körperschall
L_{eq}	energetisch gemittelt L_{eq} -Terzpegelspektrum/Terzspektrum
$L_{vF_{\max}}(f_{T3})$	energetisch gemittelt Max Hold-Terzpegelspektrum/Terzspektrum
m	Meter
ME	Messebene
Mp	Messpunkt
MW	Mittelwert
n	Anzahl
NEM	Netzergänzungsmaßnahme
Pos.	Position
Ri.	Richtung
σ	Standardabweichung
SO	Schienenoberkante
T_3	Vorbeifahrdauer einschließlich an- und absteigender Flanken, die die gesamte akustische Energie des Ereignisses erfassen
v	Zuggeschwindigkeit
v_{Abw}	Abweichung der Fahrgeschwindigkeit
Vers.	Versuch

Quellenverzeichnis/Literaturverzeichnis

- [1] DIN 45672-1, *Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen – Teil 1: Messverfahren*. Dezember 2009
- [2] DIN 45672-2, *Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen – Teil 2: Auswerteverfahren*. Juli 1995
- [3] DIN 4150-2, *Erschütterungen im Bauwesen - Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden*. Juni 1999
- [4] Prüfanweisung 0004, *Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen*. Oktober 2013; DB Systemtechnik GmbH
- [5] DIN 45669-1, *Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 1: Schwingungsmesser; Anforderungen*. Juni 1995
- [6] DIN 45669-2, *Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 2: Meßverfahren*. Juni 1995
- [7] DIN EN ISO / IEC 17025, *Allgemeine Anforderung an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien*. August 2005
- [8] Ril 820.2050, *Messung und Prognose von Erschütterungseinwirkungen*, Januar 2017

1 Angaben zum Auftrag

Aufgabenstellung:

Im Rahmen der „Netzergänzungsmaßnahme“ (NEM) 17 auf der Strecke 5541 zwischen km 22,4 und km 25,2 soll die Strecke zweigleisig ausgebaut werden. In Vorbereitung der Erstellung der endgültigen Planungsunterlagen zur Einleitung eines Genehmigungsverfahrens nach § 18 AEG (Allgemeines Eisenbahngesetz) sind auf Grundlage von Beweissicherungsmessungen auch Aussagen zu den zu erwartenden Erschütterungseinwirkungen (einschließlich sekundärer Luftschall) zu treffen.

Für die Durchführung der Erschütterungsmessungen wurde die Fa. DB Systemtechnik GmbH im oben genannten Zusammenhang und auf Grundlage des Angebotes 15-22786-T.TVI32(1) AN mit der Bestellung vom 09.04.2015 beauftragt.

In diesem Prüfbericht werden die Ergebnisse der Erschütterungsmessung dokumentiert. Diese dienen als Basis für die Erschütterungsprognose durch die Fachabteilung Akustik und Erschütterungen I.T-IVE34(1).

Auftraggeber:

DB ProjektBau GmbH

I.BV-S-G(1)

Arnulfstraße 27

80335 München

Ansprechpartner:

Alexander Rutz

Tel. 089/130822975

E-Mail: alexander.rutz@deutschebahn.com

Auftragnehmer:

DB Systemtechnik GmbH

fachlicher Berater

Rico Gottschald

Völckerstraße 5

80939 München

Prüflabor:

DB Systemtechnik GmbH

Akustik und Erschütterungen, I.T-IVE34(3)

Katrin Tauscher

Völckerstr. 5, 80939 München

Tel.: 089/1308-7426

Fax. 089/1308-7311

E-Mail: katrin.tauscher@deutschebahn.com

Verteiler des Prüfberichtes:

fachlicher Berater

I.T-IVE34(1) Herr Rico Gottschald

1x im pdf-Format

Auftraggeber:

1 ausgedrucktes Exemplar, 1x im pdf-Format

Prüflabor:

2 ausgedruckte Exemplare, 2x im pdf-Format

2 Beschreibung des Prüfobjektes

Alle Prüfobjekte in **Tabelle 1** befanden sich seitlich der eingleisigen Eisenbahnstrecke 5541 zwischen km 22,4 und km 25,2.

Die maßgeblichen Angaben zu den Gebäuden und des Freifeldquerschnitts können der folgenden **Tabelle 1** entnommen werden.

Tabelle 1 - Maßgebliche Angaben zu den untersuchten Gebäuden und Freifeldquerschnitt

Anschrift	Str.5541 km (ME)	Abstand Gebäude zur GM	Oberbauart	Bauart des Gebäudes / Vollge- schosse
An der Beermahd 2a, 82229 Seefeld	km 25,017	ca. 20 m zu GM	Schotteroberbau mit Betonschwellen	Doppelhaushälfte, mit Keller, Erd- und Obergeschoss
Hauptstraße 36a, 82237 Wörthsee	km 23,128	ca. 41 m zu GM	Schotteroberbau mit Betonschwellen	Mehrfamilienhaus mit Keller, Erd-, Ober- und Dachgeschoss
Hauptstraße 36a, 82237 Wörthsee	km 23,165		Schotteroberbau mit Betonschwellen	Freie Fläche ohne Bebauung (Freifeldquerschnitt)
Hauptstraße 39, 82237 Wörthsee	km 22,937	ca. 34 m zu GM	Schotteroberbau mit Betonschwellen	Einfamilienhaus, mit Keller, Erd- und Obergeschoss

3 Prüfung

3.1 Angaben zur Prüfung

Allgemeines:

Die Erschütterungsmessungen wurden entsprechend des Angebotes 15-22786-T.TVI32(1) AN in Anlehnung der Normen DIN 45672-1 [1], DIN 45672-2 [2], DIN 4150-2 [3] sowie der Prüfanweisung 0004 [4] durchgeführt.

a) Normative Abweichungen:

Mit Herrn Frank (T.TVI32(1), damaliger Berater des Auftraggebers zum Zeitpunkt der Beauftragung) gab es die folgenden Absprachen:

- Es wurden abweichend von der DIN 45672-2 [2] ausschließlich die Max-Hold-Terzpegelspektren $L_{vFmax}(f_{T3})$ ermittelt.
- Es wurde abweichend auf die Messungen am Fundament in der horizontalen Richtung, parallel zum Gleis (x) gemäß der DIN 4150-2 [3] verzichtet, da die stärksten Erschütterungen orthogonal zum Gleis (y) und vertikal (z) erwartet wurden.

b) Geländebedingte Abweichungen

- Aufgrund der Geländebeschaffenheit konnten nicht alle Messpositionen seitlich der Strecke normkonform aufgebaut werden. Die Abweichungen sind pro Messabschnitt in Tabelle 2 zusammengefasst.

c) Weitere Abweichungen

- Bei der Ankopplung der Messpunkte G1 bis G3 wurden statt Ankopplungsplatten mit 3 abgerundeten Füßen welche mit 15° Spitzen verwendet.
- Betrieblich bedingt konnte die angestrebte Zuggeschwindigkeitsabweichung von $\pm 5\%$ [1] (innerhalb der Messabschnitte und der Zugkategorie) nicht eingehalten werden.

Normative Abweichungen pro Messabschnitt (s. Tabelle 2):

Tabelle 2 - Normative Abweichungen in den Messabschnitten (Messpunktbezeichnung siehe Tabelle 4)

Anschrift	Normative Abweichungen
Gebäudemessungen	
Hauptstraße 36a km 23,128	Aus Gründen der Geländebegebenheiten wurde der Mp G5 von 8 m auf 19 m von GM versetzt. Um die Gebäude- und Freifeldmessung gleichzeitig durchführen zu können wurden auf Mp G2 und Mp G3 verzichtet.
Hauptstraße 39 km 22,937	Aus Gründen der Geländebegebenheiten wurde der Mp G5 von 8 m auf 13 m von GM versetzt.
Freifeldmessungen	
Hauptstraße 36a km 23,165	Aus Gründen der Geländebegebenheiten wurden die Mp F1, Mp F2 und Mp F3 von 8 m auf 16 m von GM versetzt.

Besonderheiten pro Messabschnitt (s. Tabelle 3):**Tabelle 3** – Besonderheiten in den Messabschnitten (Messpunktbezeichnung siehe Tabelle 4)

Anschrift	Besonderheiten
Gebäudemessungen	
Hauptstraße 36a km 23,128	Die Bahnstrecke befand sich auf einem hochgelegenen Bahndamm.
Hauptstraße 39 km 22,937	Die Bahnstrecke befand sich auf einem hochgelegenen Bahndamm. Das Gebäude war entkernt und wird bald abgerissen, daher wurden bei 13 m von GM drei statt nur ein Aufnehmer verwendet.
Freifeldmessungen	
Hauptstraße 36a km 23,165	Die Bahnstrecke befand sich auf einen hochgelegenen Bahndamm.

3.2 Durchführung**3.2.1 Messort**

Die Lage und Dokumentation des Messortes kann der jeweiligen **Anlage 1** bis **4** entnommen werden.

3.2.2 Prüfdatum

Die Prüfungen wurden am 18.05.2015, 27.05.2015 und 28.05.2015 durchgeführt.

3.2.3 Messpositionen

Die Skizzen zur Anordnung der Messpunkte sowie Fotos des Messaufbaus können im Kapitel 1 „Messort, Aufbau der Messpunkte“ der jeweiligen **Anlage 1** bis **4** entnommen werden.

3.2.3.1 Gebäudemessung

Die Lage der Erschütterungsmesspunkte für die Gebäudemessungen waren außer den Abweichungen (Punkt 3.1) für alle Messabschnitte grundsätzlich gleich und kann der folgenden **Tabelle 4** entnommen werden.

Tabelle 4 – Lage der Messpunkte für die Gebäudemessungen

Messpunkt	Lage	Beschreibung	Ankopp- lungsart	Messrich- tung
Mp G7*	Vor Ge- bäude	Boden, 8 m zur GM	Erdspieß ¹⁾	vertikal, z
Mp G6*	Vor Ge- bäude	Boden, 8 m zur GM	Erdspieß ¹⁾	vertikal, z
Mp G5	Vor Ge- bäude	Boden, 8 m zur GM	Erdspieß ¹⁾	vertikal, z
Mp G4	Vor Ge- bäude	Boden, vor der gleiszugewandten Fassade des Gebäudes	Erdspieß ¹⁾	vertikal, z
Mp G3 Mp G2	Keller	Fundamentbereich, an der bahnzugewandten Aussparung der Außenwand verbunden	Ankopp- lungsplatte mit 3 Stahl- spitzen	horizontal, y vertikal, z
Mp G1	Höheres Geschoss	Oberste Decke des letzten Vollgeschosses, in der Mitte eines bahnzugewandten Zimmers	Ankopp- lungsplatte mit 3 Stahl- spitzen	vertikal, z

*Mp G6 und Mp G7 wurden nur bei den Messungen in der Hauptstraße 39 verwendet

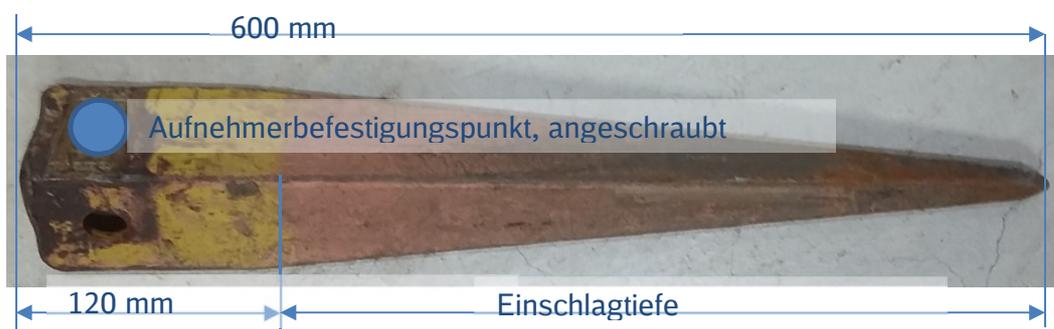
3.2.3.2 Freifeldversuche

Die Lage der Erschütterungsmesspunkte für den Freifeldversuch ist in **Tabelle 5** ersichtlich.

Tabelle 5 Lage der Messpunkte im Freifeld

Messpunkt	Lage	Beschreibung	Ankopplungsart	Messrichtung
Mp F1 Mp F2 Mp F3	Freifeld	Boden, 16 m zur GM, Abstand 1 m voneinander	Erdspieß ¹⁾	alle vertikal, z
Mp F4	Freifeld	Boden, 32 m zur GM	Erdspieß ¹⁾	vertikal, z
Mp F5	Freifeld	Boden, 64 m zur GM	Erdspieß ¹⁾	vertikal, z

¹⁾ Der Erdspieß ist ein L-förmiger Spieß, der zum Ende zugespitzt ist und wird am Ende mit einer passenden Aufschlagplatte versehen.



3.2.4 Messgeräte

Alle eingesetzten Messgeräte des Labors Prüfung Akustik und Erschütterungen unterliegen einem Prüfmittelmanagement entsprechend den Vorgaben der Norm DIN EN ISO / IEC 17025 [7].

Es wurden folgende Mess- und Auswertegeräte verwendet:

- Beschleunigungsaufnehmer Typ 393B12 und 393A03, Fa. PCB,
- Schwingungskalibrator Typ VC12, Fa. Radebeul GmbH,
- Mess- und Auswertesystem MEDA RedSens mit Messsoftware MEDA 2014-2 18.03.2015, Fa. Wölfel.

Als Messgrößen wurden die Schwingbeschleunigungen in ihrem zeitlichen Verlauf mit einer Abtastrate von 1024 Hz und einer digitalen Auflösung von 24 bit aufgezeichnet. Die Bandbreite der Aufzeichnung betrug 1 Hz bis 400 Hz. Alle Messungen wurden digital auf Festplatte gespeichert.

Die eingesetzten Messgeräte entsprachen den Vorgaben für Schwingungsmesser nach DIN 45669-1 [5]. Die Ankopplung der Schwingungsmessgeräte erfolgte gemäß DIN 45669-2 [6] mit geeigneten Ankopplungsmethoden.

Vor den Messungen wurde eine Funktionsprüfung der Messkette der KS-Aufnehmer mit einem Schwingungskalibrator durchgeführt.

Die Zuggeschwindigkeiten bei den Vorbeifahrten wurden mittels einer Radarpistole gemessen.

3.3 Auswertung

Es wurden nur gültige Zugvorbeifahrten ausgewertet welche folgenden Gültigkeitskriterien entsprachen:

- Zuggattung und Zuggeschwindigkeit muss bekannt sein
- Messsignal muss vollständig sein

Die Versuchsnummern aller ausgewerteten Vorbeifahrten und die dazugehörigen Zeit- und Zugangaben (Zuggattung, Geschwindigkeiten) sind im Messprotokoll Kapitel 2 der **Anlage 1** bis **4** chronologisch ersichtlich.

Die Erschütterungsmessungen wurden für die einzelnen gültigen Vorbeifahrten wie folgt ausgewertet:

Alle aufgezeichneten Beschleunigungsmesssignale wurden im Zeitbereich durch die Zeit einmal integriert, um die Schwinggeschwindigkeit als Signal-Zeitverlauf zu ermitteln.

Bei allen Messpunkten wurden danach die Max-Hold-Terzpegelspektren $L_{wF\max}(f_{T3})$ nach Gleichungen (6) und (7) der DIN 45672-2 [2] in Terzbändern über die geometrische Vorbeifahrzeit mit circa + 2 s und - 2 s (T_3) ausgewertet. Diese Vorbeifahrzeit entspricht der gesamten Durchfahrtdauer des Zuges (inklusive an- und absteigenden Flanken der Schwingungen). Des Weiteren wurden die Spektren pro Zuggattung und pro Gleisrichtung energetisch gemittelt sowie die Standardabweichung σ mit angegeben.

Zusätzlich wurden entsprechend der RIL 820.2050 [8] die gemittelten L_{eq} -Terzpegelspektren ausgewertet sowie pro Zuggattung und pro Gleisrichtung energetisch gemittelt sowie die Standardabweichung σ mit angegeben.

Aufgrund von stark verzögernden und beschleunigenden Zügen war die Geschwindigkeitsabweichung innerhalb des Messabschnittes häufig $> 5\%$. Daher wurden bei den Auswertungen auch Zugvorbeifahrten mit $v_{Abw} > 5\%$ verwendet. Die Zugvorbeifahrten wurden in die Zugkategorie ET423 (beide Fahrrichtungen) eingestuft. Aufgrund der geringen Anzahl von Zugvorbeifahrten wurden innerhalb der Zugkategorie auch Züge mit einer Geschwindigkeitsabweichung (v_{mittel}) von zu v_{MW} (arith. Mittelwert über die Zuggattung) von $> 5\%$ berücksichtigt.

Für die Messorte wurden folgende Zugkategorien gebildet:

Tabelle 6 Übersicht Zugkategorien für die Messorte

Messort	Zugkategorie	n Anzahl der Züge	Mittlere Geschwindigkeit [km/h]
An der Beermahd 2a, 82229 Seefeld	ET423	11	56
Hauptstraße 36a, 82237 Wörthsee		11	64
Freifeldmessung Hauptstraße 36a, 82237 Wörthsee		9	66
Hauptstraße 39, 82237 Wörthsee		12	51

Die aufgezeichneten Messsignale des Mp G1 in Obergeschoss wurden für die KB-Bewertung entsprechend DIN 4150-Teil 2 [3] ausgewertet.

Das unbewertete Beschleunigungs-Signal wurde zuerst zwischen 1 Hz und 80 Hz bandbegrenzt und anschließend integriert (Schnelle-Signal, Geschwindigkeit über der Zeit). Das bandbegrenzte Schnelle-Signal wurde dann mit einem Hochpass 1. Ordnung und der Grenzfrequenz 5,6 Hz („KB-Filter“) gefiltert. Dadurch ergab sich das frequenzbewertete Erschütterungssignal, aus dem durch Bildung des gleitenden Effektivwertes die bewertete Schwingstärke ermittelt

wurde. Die Zeitkonstante für den gleitenden Effektivwert wurde gemäß DIN 4150 Teil 2 [3] auf FAST (0,125 s) gesetzt.

Der Maximalwert von $KB_{F(t)}$, der durch die Zugvorbeifahrt verursacht wurde, wurde anschließend ermittelt und als $KB_{F_{\max}}$ (dimensionsloser Wert) bezeichnet [3].

Alle Pegelangaben der Schwingschnelle bezogen sich auf den Referenzwert $v_0 = 5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$.

4 Ergebnisse

Alle Messergebnisse sind in **Anlage 1** bis **4** ersichtlich.

Die Struktur der Anlage ist wie folgt organisiert:

- Kapitel 1 Messort, Aufbau der Messpunkte,
- Kapitel 2 Messprotokoll
- Kapitel 3 Mittelwerte Max-Hold-Terzpegelspektren, und L_{eq} -Terzpegelspektren
- Kapitel 4 Messdaten ausgewerteter Versuche (außer bei **Anlage 3**)

5 Unterschriften

fachlich geprüft und freigegeben:



Matthias Brodersen
Versuchingenieur I.T-IVE(34(3))

erstellt:



Katrin Tauscher
Versuchingenieur I.T-IVE(34(3))



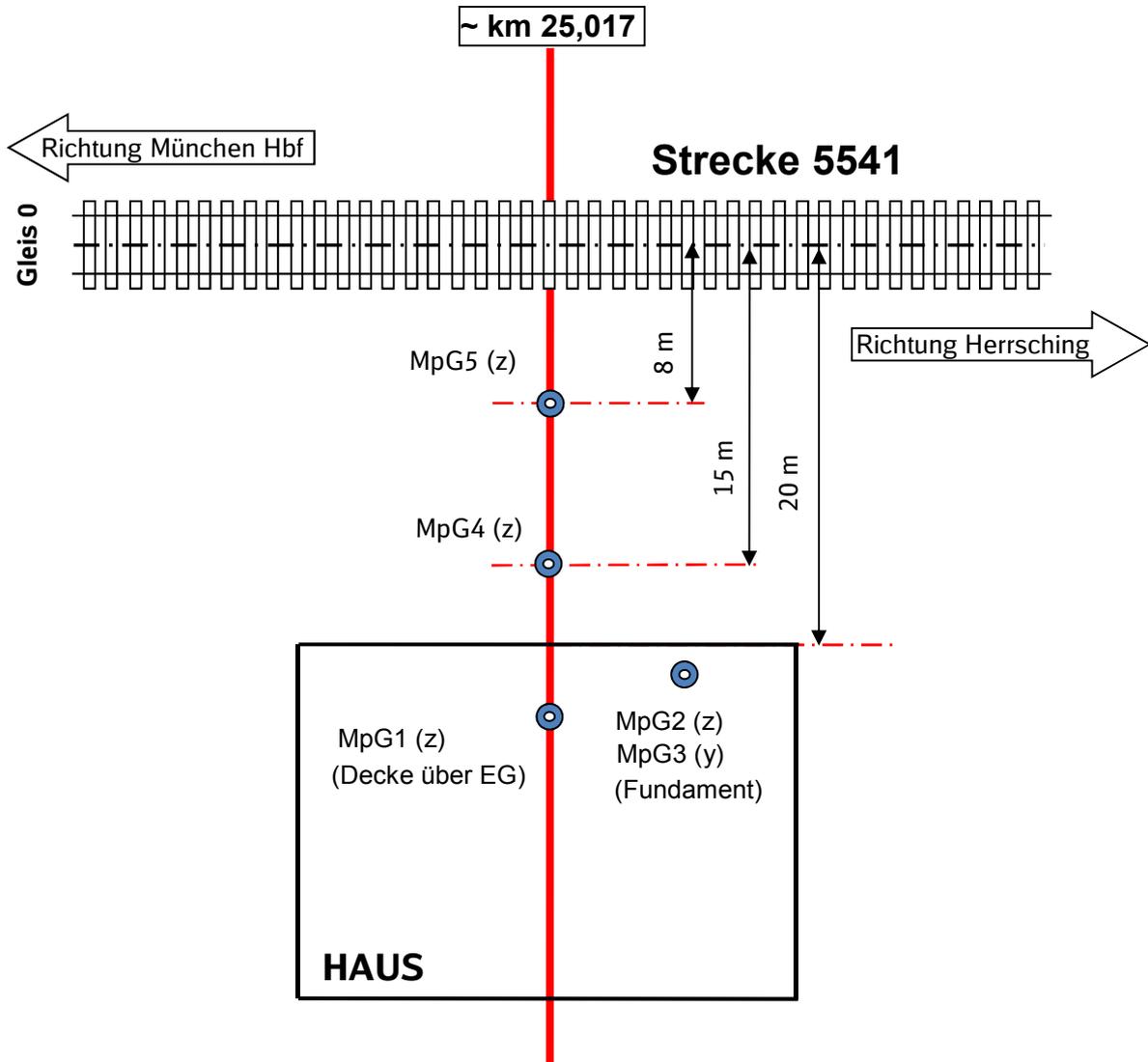
Inhaltsverzeichnis

1. Messort, Aufbau der Messpunkte	2
1.1. Prinzipskizze, Lage der Messpunkte	2
1.2. Fotos - Lage der Messpunkte	3
2. Messprotokoll.....	4
3. Mittelwerte Max-Hold- und L_{eq} -Terzpegelspektren.....	5
4. Messdaten ausgewerteter Versuche	7

DB	Kurzdossier An der Beermahd 2a, 82229 Seefeld	Anlage 1 von 4 Seite 2 von 7
-----------	---	--

1. Messort, Aufbau der Messpunkte

1.1. Prinzipskizze, Lage der Messpunkte



Legende

- Beschleunigungsaufnehmer

Skizze nicht maßstäblich!

Abbildung 1-1 : Prinzipskizze: Lage der Erschütterungsmesspositionen



1.2. Fotos – Lage der Messpunkte



Abbildung 1.2- KS-Aufnehmer MpG5 (z) bei 8 m von nächstliegender Gleisachse (links), Mp G4 (z) 5m vorm Haus (rechts)



Abbildung 1.3- KS-Aufnehmer MpG3 (y) und MpG2 (z) im Fundamentbereich (links), MpG1 (z) auf der Decke über EG (rechts)

	Kurzdossier An der Beermahd 2a, 82229 Seefeld	Anlage 1 von 4 Seite 4 von 7
---	---	--

2. Messprotokoll

Eisenbahnstrecke 5541 bei km 25,017: Gebäudemessung An der Beermahd 2a
ET423, Gleis 0

Vers. Nr.	Datum	Uhrzeit	Richtung	v_mittel [km/h]	v_min [km/h]	v_max [km/h]	v abw. [%]
1	<i>18.05.2015</i>	<i>9:36</i>	<i>München</i>	<i>60</i>	<i>50</i>	<i>70</i>	<i>33</i>
2	<i>18.05.2015</i>	<i>9:52</i>	<i>Herrsching</i>	<i>55</i>	<i>50</i>	<i>60</i>	<i>18</i>
3	18.05.2015	10:09	Herrsching	55	50	60	18
4	<i>18.05.2015</i>	<i>10:13</i>	<i>München</i>	<i>68</i>	<i>55</i>	<i>80</i>	<i>37</i>
5	<i>18.05.2015</i>	<i>10:33</i>	<i>München</i>	<i>72</i>	<i>68</i>	<i>76</i>	<i>11</i>
6	18.05.2015	10:50	Herrsching	58	58	58	0
7	<i>18.05.2015</i>	<i>11:11</i>	<i>Herrsching</i>	<i>48</i>	<i>42</i>	<i>53</i>	<i>23</i>
8	<i>18.05.2015</i>	<i>11:13</i>	<i>München</i>	<i>73</i>	<i>69</i>	<i>76</i>	<i>10</i>
9	<i>18.05.2015</i>	<i>11:32</i>	<i>München</i>	<i>67</i>	<i>54</i>	<i>79</i>	<i>38</i>
10	18.05.2015	11:51	Herrsching	54	51	57	11
11	<i>18.05.2015</i>	<i>12:09</i>	<i>Herrsching</i>	<i>48</i>	<i>42</i>	<i>53</i>	<i>23</i>
12	18.05.2015	12:13	München	63	58	68	16
13	<i>18.05.2015</i>	<i>12:32</i>	<i>München</i>	<i>72</i>	<i>68</i>	<i>75</i>	<i>10</i>
14	18.05.2015	12:49	Herrsching	55	55	55	0
15	18.05.2015	13:11	Herrsching	52	46	57	21
16	18.05.2015	13:14	München	56	52	59	13
17	18.05.2015	13:32	Herrsching	55	53	56	6
18	<i>18.05.2015</i>	<i>13:34</i>	<i>München</i>	<i>66</i>	<i>57</i>	<i>74</i>	<i>26</i>
19	18.05.2015	13:49	Herrsching	54	51	56	9
20	<i>18.05.2015</i>	<i>13:53</i>	<i>München</i>	<i>48</i>	<i>53</i>	<i>42</i>	<i>23</i>
21	18.05.2015	14:09	Herrsching	56	52	59	13
22	<i>18.05.2015</i>	<i>14:12</i>	<i>München</i>	<i>73</i>	<i>71</i>	<i>75</i>	<i>5</i>
23	18.05.2015	14:29	Herrsching	63	58	67	14
24	<i>18.05.2015</i>	<i>14:33</i>	<i>München</i>	<i>0</i>			
MW über die Zuggattung				59	km/h		

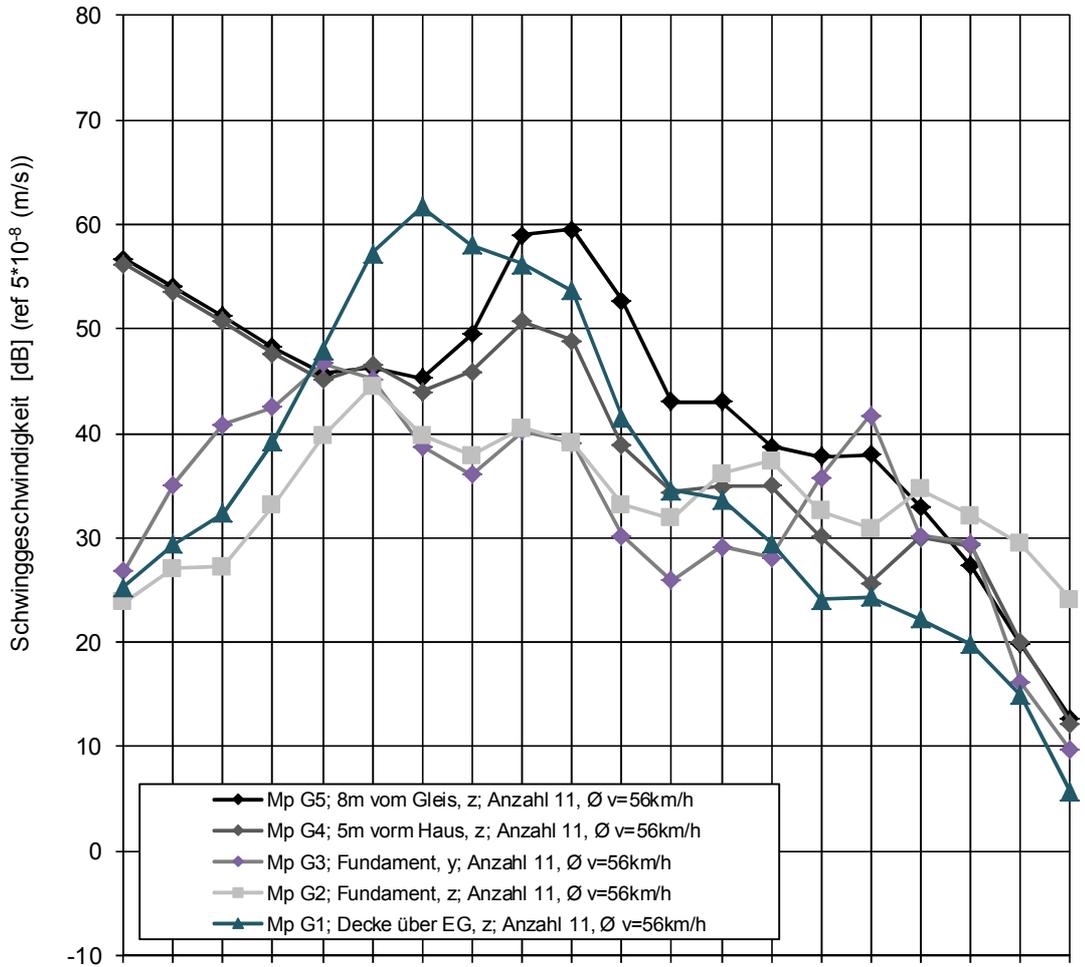
Alle rot und kursiv gedruckte Fahrten wurden nicht ausgewertet (Geschwindigkeit stark abweichend bzw. Messergebnisse unplausibel).

Fahrten Richtung München beschleunigend bzw. in Richtung Herrsching verzögernd.

3. Mittelwerte Max-Hold- und L_{eq}-Terzpegelspektren

Max-Hold Terzpegelspektren - en. MW Zugkategorie ET423 Gleis 0

15-22786-T.TVI32(3) - NEM17 EU Steinebach - Seefeld
 Strecke 5541 - Gleis 0, An der Beermahd 2a



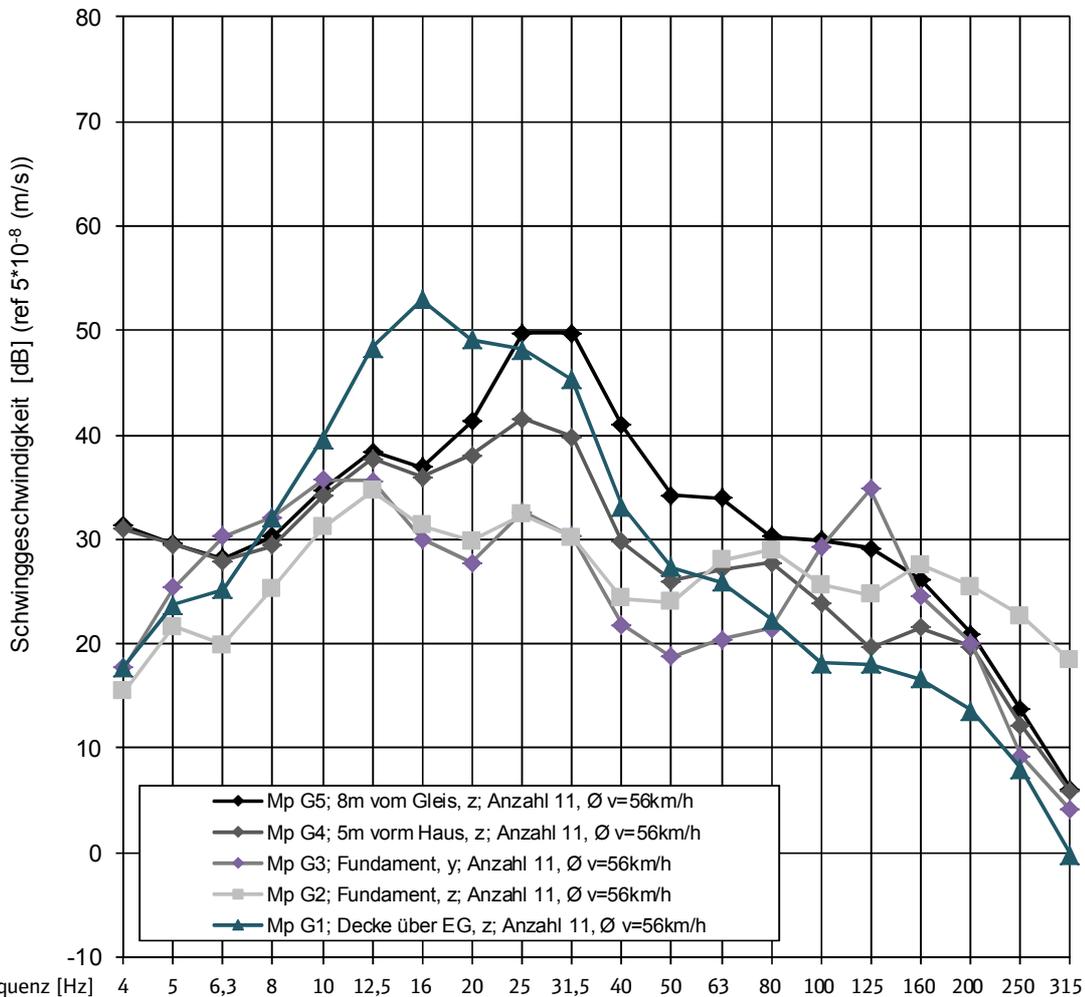
Terzfrequenz [Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Mp G5, σ	5,4	5,5	5,4	4,7	2,4	1,2	2,7	1,2	1,8	4,5	2,8	1,2	1,4	1,0	1,1	1,1	1,1	0,8	1,2	1,1
Mp G4, σ	3,8	3,6	3,9	3,7	2,2	2,2	1,6	1,5	1,4	3,4	2,6	1,2	1,1	0,8	0,8	0,6	1,5	2,0	1,2	0,9
Mp G3, σ	2,9	3,1	2,7	1,8	1,8	2,1	2,4	1,7	1,1	2,4	2,4	1,3	1,3	1,3	1,1	1,3	0,9	2,1	1,4	0,9
Mp G2, σ	1,6	2,6	2,1	1,8	1,5	1,9	2,2	1,3	0,8	4,3	2,2	1,1	1,2	1,0	1,4	0,8	0,9	0,8	0,9	0,6
Mp G1, σ	1,2	2,4	2,1	1,6	1,2	2,3	2,0	1,7	1,1	3,4	2,9	1,5	1,9	0,8	1,0	1,5	1,1	0,8	1,1	1,3



Kurzdossier
An der Beermahd 2a, 82229 Seefeld

Leq Terzpegelspektren -
en. MW Zugkategorie ET423 Gleis 0

15-22786-T.TVI32(3) - NEM17 EU Steinebach - Seefeld
 Strecke 5541 - Gleis 0, An der Beermahd 2a



Terzfrequenz [Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Mp G5, σ	3,2	2,2	2,4	2,1	1,1	1,1	1,8	1,0	1,6	3,5	1,7	0,8	0,8	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,4	0,3
Mp G4, σ	2,6	1,9	1,8	2,0	1,1	1,5	1,3	0,7	0,9	3,1	1,6	0,9	0,8	0,4	0,6	0,6	0,8	1,2	1,0	0,6
Mp G3, σ	1,9	2,3	2,8	1,4	0,9	1,7	2,0	0,8	1,2	2,2	1,0	0,8	0,8	0,7	0,5	0,5	0,4	0,9	0,6	0,8
Mp G2, σ	1,2	4,5	1,7	1,8	1,1	1,3	1,9	0,6	1,1	3,2	0,9	0,8	0,7	0,5	0,6	0,3	1,0	0,8	0,7	0,9
Mp G1, σ	1,1	3,5	1,7	1,6	1,0	1,6	1,3	0,7	1,2	2,7	2,0	0,9	1,2	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,8

	Kurzdossier An der Beermahd 2a, 82229 Seefeld	Anlage 1 von 4 Seite 7 von 7
---	--	--

4. Messdaten ausgewerteter Versuche

Eisenbahnstrecke 5541 bei km 25,017: Gebäudemessung An der Beermahd 2a
ET423, Gleis 0

Vers. Nr.	Datum	Uhrzeit	Richtung	v_mittel [km/h]	v_min [km/h]	v_max [km/h]	v abw. [%]	v abw. Zu MW [%]	KBFmax Mp G1, z-Ri.
3	18.05.2015	10:09	Herrsching	55	50	60	18	-2	0,056
6	18.05.2015	10:50	Herrsching	58	58	58	0	3	0,073
10	18.05.2015	11:51	Herrsching	54	51	57	11	-4	0,061
12	18.05.2015	12:13	München	63	58	68	16	12	0,080
14	18.05.2015	12:49	Herrsching	55	55	55	0	-2	0,089
15	18.05.2015	13:11	Herrsching	52	46	57	21	-8	0,088
16	18.05.2015	13:14	München	56	52	59	13	-1	0,093
17	18.05.2015	13:32	Herrsching	55	53	56	6	-3	0,061
19	18.05.2015	13:49	Herrsching	54	51	56	9	-5	0,070
21	18.05.2015	14:09	Herrsching	56	52	59	13	-1	0,065
23	18.05.2015	14:29	Herrsching	63	58	67	14	11	0,068
V_{MW} über die Zugattung				56	km/h				

Formeln:

$$v_{abw.} = \frac{v_{max} - v_{min}}{v_{mittel}} * 100$$

$$v_{abw.zu MW} = \frac{v_{mittel} - v_{MW}}{v_{MW}} * 100$$



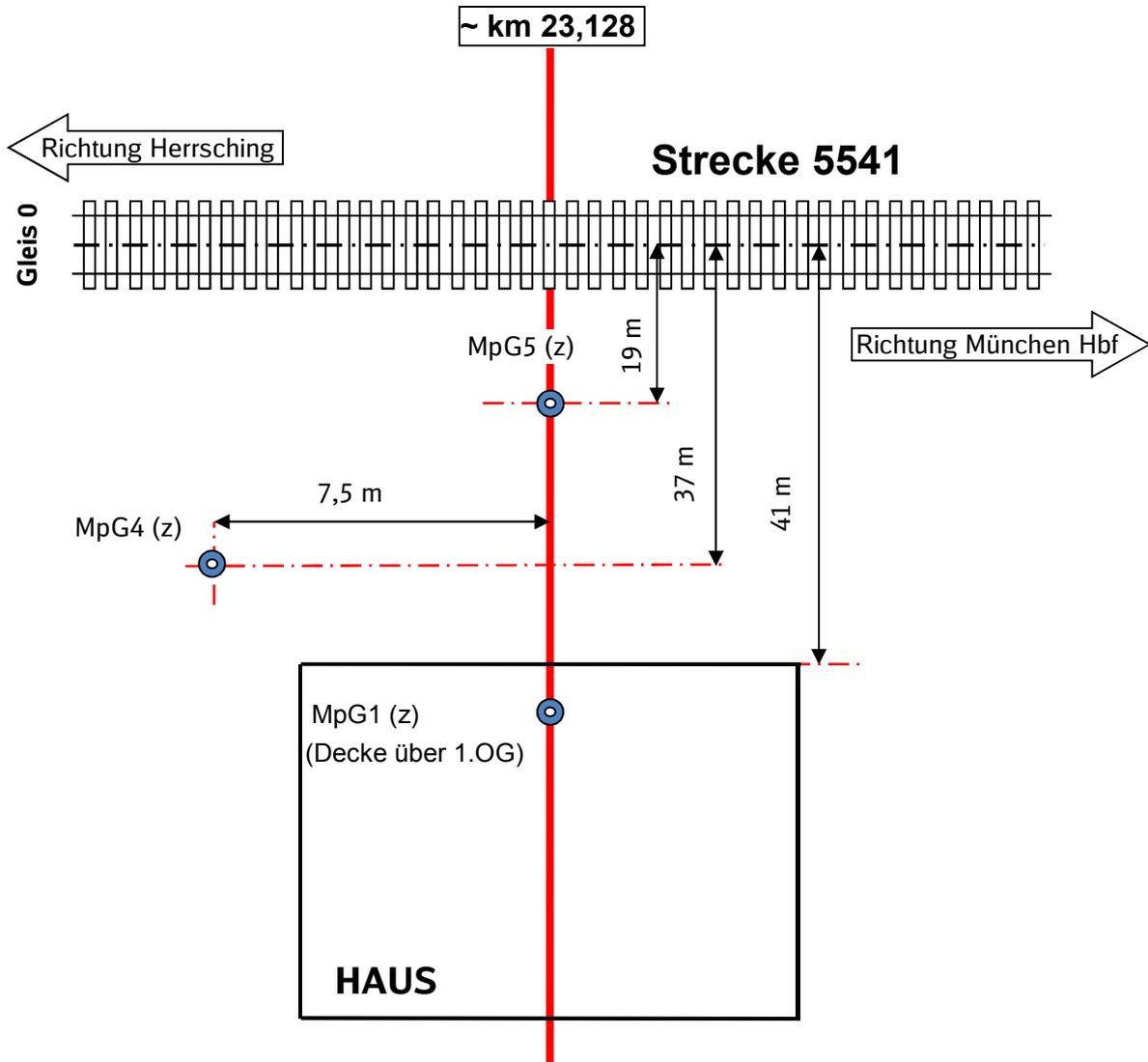
Inhaltsverzeichnis

1. Messort, Aufbau der Messpunkte	2
1.1. Prinzipskizze, Lage der Messpunkte	2
1.2. Fotos - Lage der Messpunkte	3
2. Messprotokoll.....	4
3. Mittelwerte Max-Hold- und L_{eq} -Terzpegelspektren.....	5
4. Messdaten ausgewerteter Versuche	7

DB	Kurzdossier Hauptstraße 36a, 82237 Wörthsee	Anlage 2 von 4 Seite 2 von 7
-----------	---	--

1. Messort, Aufbau der Messpunkte

1.1. Prinzipskizze, Lage der Messpunkte



Legende

- Beschleunigungsaufnehmer

Skizze nicht maßstäblich!

Abbildung 2-1 : Prinzipskizze: Lage der Erschütterungsmesspositionen



1.2. Fotos – Lage der Messpunkte



Abbildung 2.2- KS-Aufnehmer MpG5 (z) bei 19 m von nächstliegender Gleisachse (links), Mp G4 (z) 4m vorm Haus (rechts)



Abbildung 2.3- KS-Aufnehmer MpG1 (z) auf der Decke über 1.OG

	Kurzdossier Hauptstraße 36a, 82237 Wörthsee	Anlage 2 von 4 Seite 4 von 7
---	---	--

2. Messprotokoll

Eisenbahnstrecke 5541 bei km 23,128: Gebäudemessung Hauptstraße 36a
ET423, Gleis 0

Vers. Nr.	Datum	Uhrzeit	Richtung	v_mittel [km/h]	v_min [km/h]	v_max [km/h]	v abw. [%]
1	<i>27.05.2015</i>	<i>13:10</i>	<i>Herrsching</i>	80	80	80	0
2	<i>27.05.2015</i>	<i>13:30</i>	<i>Herrsching</i>	64	64	64	0
3	27.05.2015	13:34	München	65	62	68	9
4	27.05.2015	13:48	Herrsching	70	70	70	0
5	<i>27.05.2015</i>	<i>13:54</i>	<i>München</i>	52	48	56	15
6	<i>27.05.2015</i>	<i>14:11</i>	<i>Herrsching</i>	78	78	78	0
7	27.05.2015	14:16	München	52	49	55	12
8	27.05.2015	14:31	Herrsching	76	76	76	0
9	<i>27.05.2015</i>	<i>14:36</i>	<i>München</i>	69	65	72	10
10	27.05.2015	14:47	Herrsching	65	65	65	0
11	27.05.2015	14:54	München	63	60	65	8
12	27.05.2015	15:07	Herrsching	64	64	64	0
13	27.05.2015	15:14	München	58	56	59	5
14	<i>27.05.2015</i>	<i>15:27</i>	<i>Herrsching</i>	77	77	77	0
15	27.05.2015	15:34	München	64	62	66	6
16	27.05.2015	15:48	Herrsching	60	60	60	0
17	27.05.2015	15:55	München	72	72	72	0
MW über die Zuggattung				66	km/h		

Alle rot und kursiv gedruckte Fahrten wurden nicht ausgewertet (Geschwindigkeit stark abweichend bzw. Messergebnisse unplausibel).

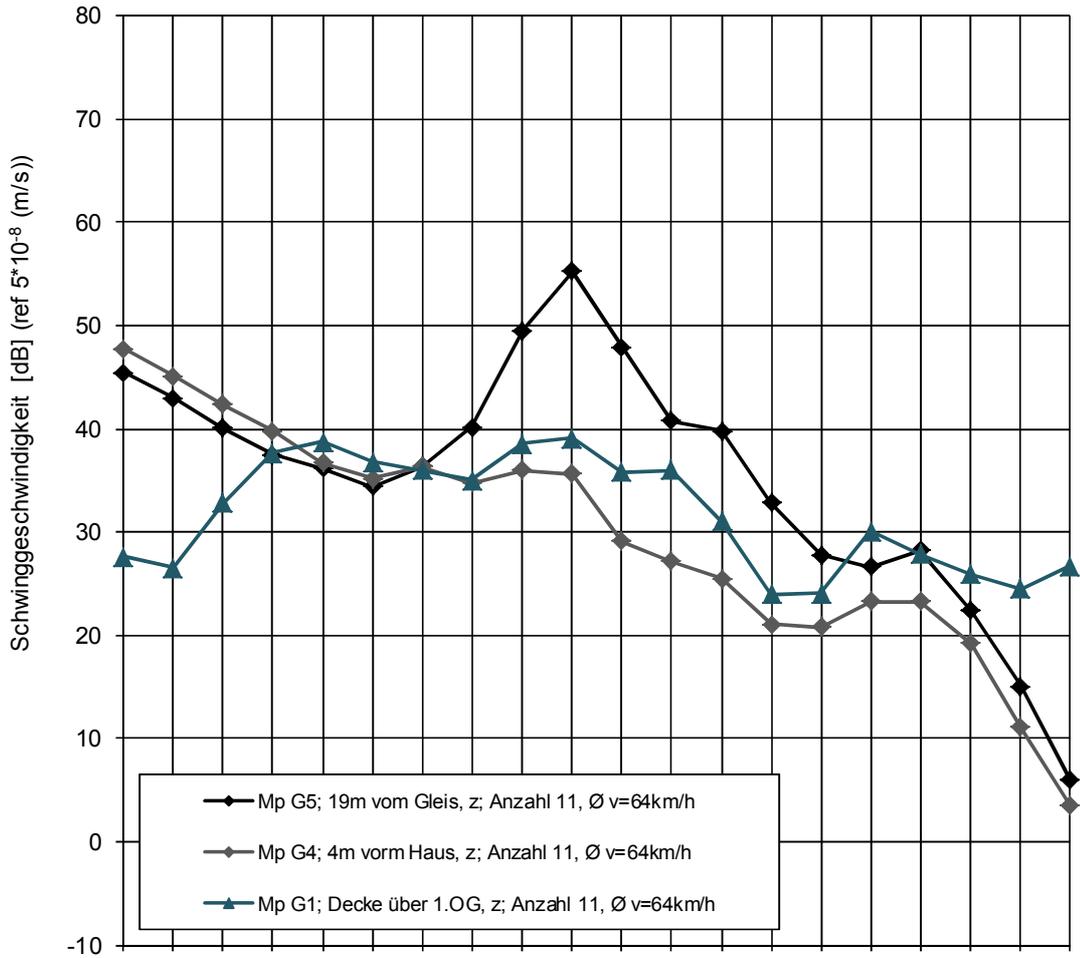
Fahrten Richtung München verzögernd bzw. in Richtung Herrsching beschleunigend.



3. Mittelwerte Max-Hold- und L_{eq}-Terzpegelspektren

**Max-Hold Terzpegelspektren -
en. MW Zugkategorie ET423 Gleis 0**

15-22786-T.TVI32(3) - NEM17 EU Steinebach - Seefeld
Strecke 5541 - Gleis 0, Hauptstraße 36a



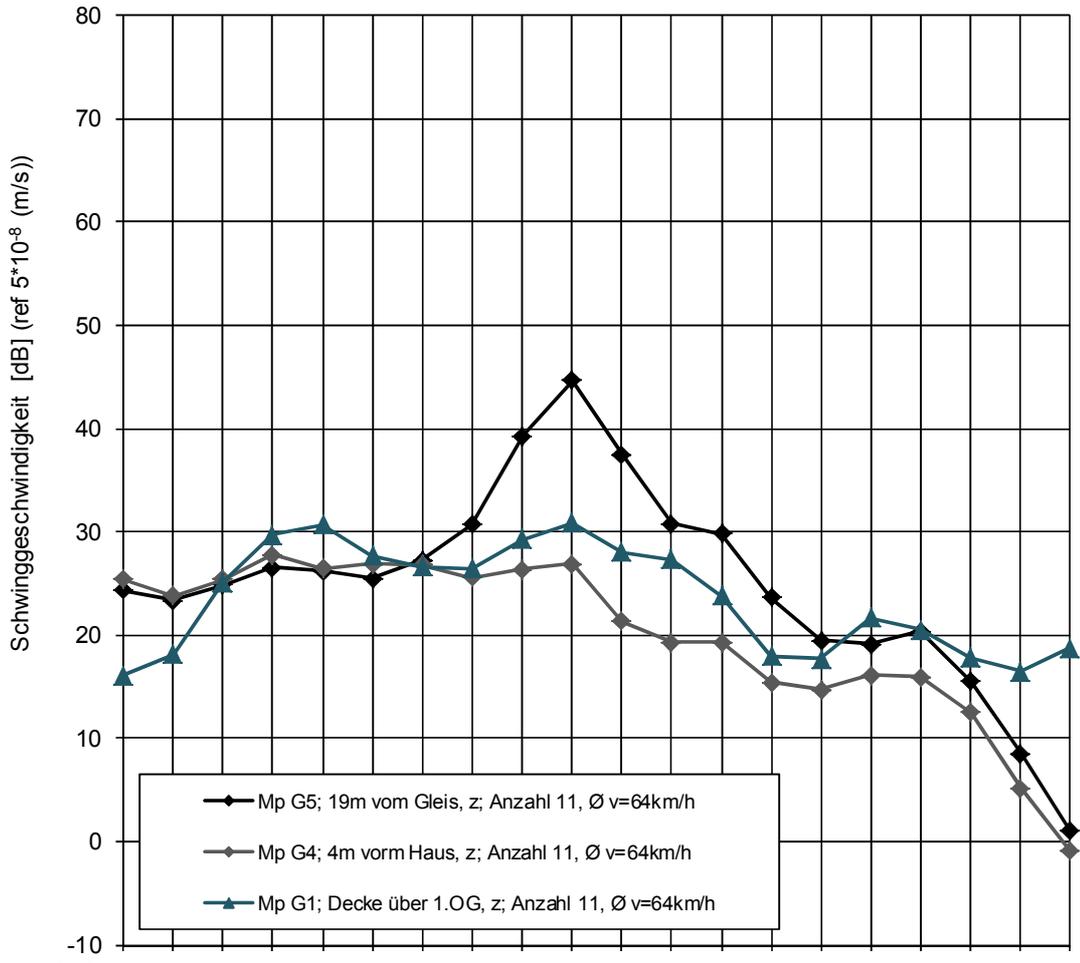
Terzfrequenz [Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Mp G5, σ	1,3	1,5	1,6	1,8	1,3	2,3	1,9	1,3	1,4	2,4	2,1	1,1	3,2	2,4	1,6	3,0	1,4	2,5	1,8	1,0
Mp G4, σ	1,3	1,3	1,5	1,5	1,7	1,8	2,5	1,6	2,0	1,9	2,4	1,3	2,4	1,9	2,8	4,3	1,6	2,6	1,7	0,9
Mp G1, σ	1,7	1,2	1,5	2,1	1,1	2,0	2,0	1,7	1,5	2,9	2,5	2,6	3,2	2,0	2,6	3,8	1,1	3,6	2,1	1,3



**Leq Terzpegelspektren -
en. MW Zugkategorie ET423 Gleis 0**

15-22786-T.TVI32(3) - NEM17 EU Steinebach - Seefeld

Strecke 5541 - Gleis 0, Hauptstraße 36a



Terzfrequenz [Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Mp G5, σ	1,0	1,0	1,3	1,8	1,3	1,3	1,2	1,0	1,5	2,7	2,2	1,2	2,6	1,6	1,2	2,6	1,6	2,3	1,8	0,8
Mp G4, σ	0,9	0,6	1,1	1,9	1,0	1,9	1,7	1,4	1,2	1,6	1,7	0,9	2,3	1,4	2,1	3,3	1,2	2,6	1,6	0,5
Mp G1, σ	0,9	0,5	1,6	2,1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	2,5	2,0	1,6	2,5	1,6	1,8	3,3	1,6	2,9	1,4	1,0

	Kurzdossier Hauptstraße 36a, 82237 Wörthsee	Anlage 2 von 4 Seite 7 von 7
---	---	--

4. Messdaten ausgewerteter Versuche

Eisenbahnstrecke 5541 bei km 23,128: Gebäudemessung Hauptstraße 36a
ET423, Gleis 0

Vers. Nr.	Datum	Uhrzeit	Richtung	v_mittel [km/h]	v_min [km/h]	v_max [km/h]	v abw. [%]	v abw. Zu MW [%]	KBFmax Mp G1, z-Ri.
3	27.05.2015	13:34	München	65	62	68	9	1	0,009
4	27.05.2015	13:48	Herrsching	70	70	70	0	9	0,009
7	27.05.2015	14:16	München	52	49	55	12	-19	0,010
8	27.05.2015	14:31	Herrsching	76	76	76	0	18	0,009
10	27.05.2015	14:47	Herrsching	65	65	65	0	1	0,009
11	27.05.2015	14:54	München	63	60	65	8	-3	0,009
12	27.05.2015	15:07	Herrsching	64	64	64	0	-1	0,010
13	27.05.2015	15:14	München	58	56	59	5	-11	0,010
15	27.05.2015	15:34	München	64	62	66	6	-1	0,011
16	27.05.2015	15:48	Herrsching	60	60	60	0	-7	0,011
17	27.05.2015	15:55	München	72	72	72	0	12	0,010
V_{MW} über die Zuggattung				64	km/h				

Formeln:

$$v_{abw.} = \frac{v_{max} - v_{min}}{v_{mittel}} * 100$$

$$v_{abw.zu MW} = \frac{v_{mittel} - v_{MW}}{v_{MW}} * 100$$



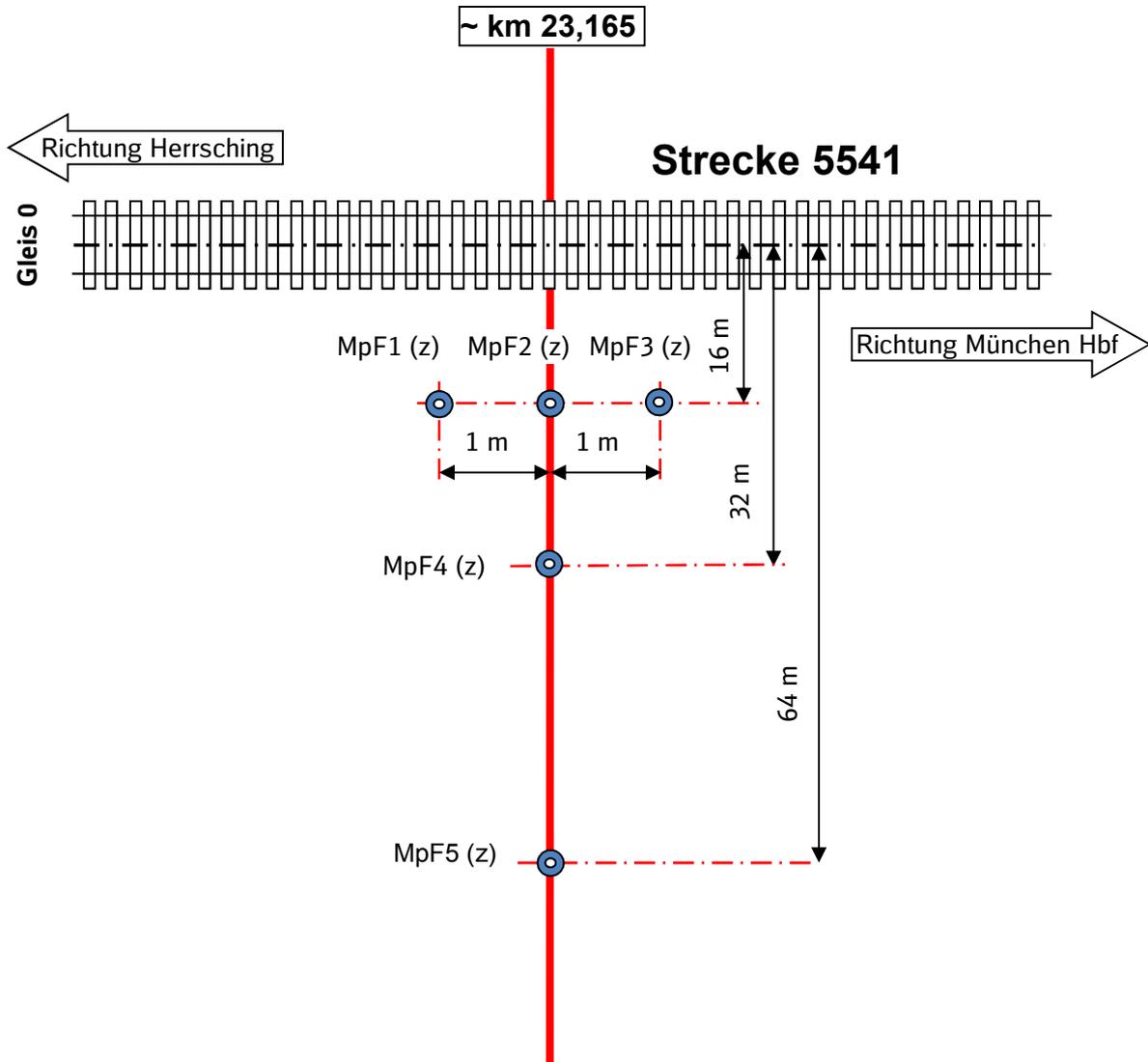
Inhaltsverzeichnis

1. Messort, Aufbau der Messpunkte	2
1.1. Prinzipskizze, Lage der Messpunkte	2
1.2. Fotos - Lage der Messpunkte	3
2. Messprotokoll.....	4
3. Mittelwerte Max-Hold- und L_{eq} -Terzpegelspektren.....	5

DB	Kurzdossier Freifeldmessung Hauptstraße 36a, 82237 Wörthsee	Anlage 3 von 4 Seite 2 von 6
-----------	---	--

1. Messort, Aufbau der Messpunkte

1.1. Prinzipskizze, Lage der Messpunkte



Legende

- Beschleunigungsaufnehmer

Skizze nicht maßstäblich!

Abbildung 3-1 : Prinzipskizze: Lage der Erschütterungsmesspositionen



1.2. Fotos – Lage der Messpunkte



Abbildung 3.2- KS-Aufnehmer MpF1 (z) (links) und MpF2 (z) (rechts) bei 16 m von nächstliegender Gleisachse



Abbildung 3.3- KS-Aufnehmer MpF3 (z) bei 16 m von nächstliegender Gleisachse



Abbildung 3.4- KS-Aufnehmer MpF4 (z) bei 32 m (links) und MpF5 (z) bei 64m von nächstliegender Gleisachse

	Kurzdossier Freifeldmessung Hauptstraße 36a, 82237 Wörthsee	Anlage 3 von 4 Seite 4 von 6
---	---	--

2. Messprotokoll

Eisenbahnstrecke 5541 bei km 23,165: Freifeldmessung Hauptstraße 36a
ET423, Gleis 0

Vers. Nr.	Datum	Uhrzeit	Richtung	v_mittel [km/h]	v_min [km/h]	v_max [km/h]	v abw. [%]	v abw. Zu MW [%]
1	27.05.2015	13:10	Herrsching	80	80	80	0	21
2	27.05.2015	13:30	Herrsching	64	64	64	0	-4
3	27.05.2015	13:34	München	65	62	68	9	-2
4	27.05.2015	13:48	Herrsching	70	70	70	0	6
5	27.05.2015	13:54	München	52	48	56	15	-22
6	27.05.2015	14:11	Herrsching	78	78	78	0	18
7	27.05.2015	14:16	München	52	49	55	12	-22
8	27.05.2015	14:31	Herrsching	76	76	76	0	15
9	27.05.2015	14:36	München	69	65	72	10	3
10	27.05.2015	14:47	Herrsching	65	65	65	0	-2
11	27.05.2015	14:54	München	63	60	65	8	-6
12	27.05.2015	15:07	Herrsching	64	64	64	0	-4
13	27.05.2015	15:14	München	58	56	59	5	-13
14	27.05.2015	15:27	Herrsching	77	77	77	0	16
15	27.05.2015	15:34	München	64	62	66	6	-4
16	27.05.2015	15:48	Herrsching	60	60	60	0	-10
17	27.05.2015	15:55	München	72	72	72	0	9
v_{MW} über die Zuggattung				66	km/h			

Alle rot und kursiv gedruckte Fahrten wurden nicht ausgewertet (Geschwindigkeit stark abweichend bzw. Messergebnisse unplausibel).

Fahrten Richtung München verzögernd bzw. in Richtung Herrsching beschleunigend.

Formeln:

$$v_{\text{abw.}} = \frac{v_{\text{max}} - v_{\text{min}}}{v_{\text{mittel}}} * 100$$

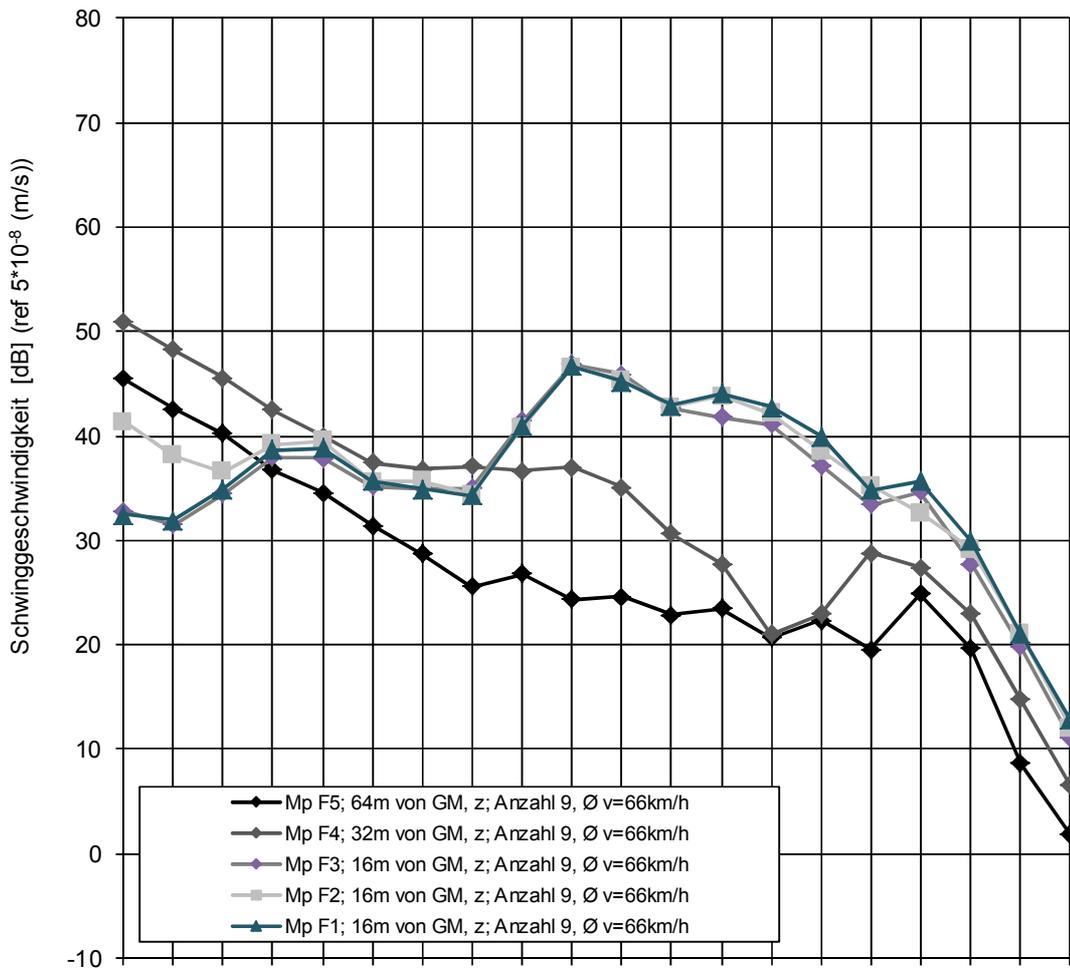
$$v_{\text{abw. zu MW}} = \frac{v_{\text{mittel}} - v_{\text{MW}}}{v_{\text{MW}}} * 100$$



3. Mittelwerte Max-Hold- und L_{eq}-Terzpegelspektren

**Max-Hold Terzpegelspektren -
 en. MW Zugkategorie ET423 Gleis 0**

15-22786-T.TVI32(3) - NEM17 EU Steinebach - Seefeld
 Strecke 5541 - Gleis 0, Freifeldmessung Hauptstraße 36a



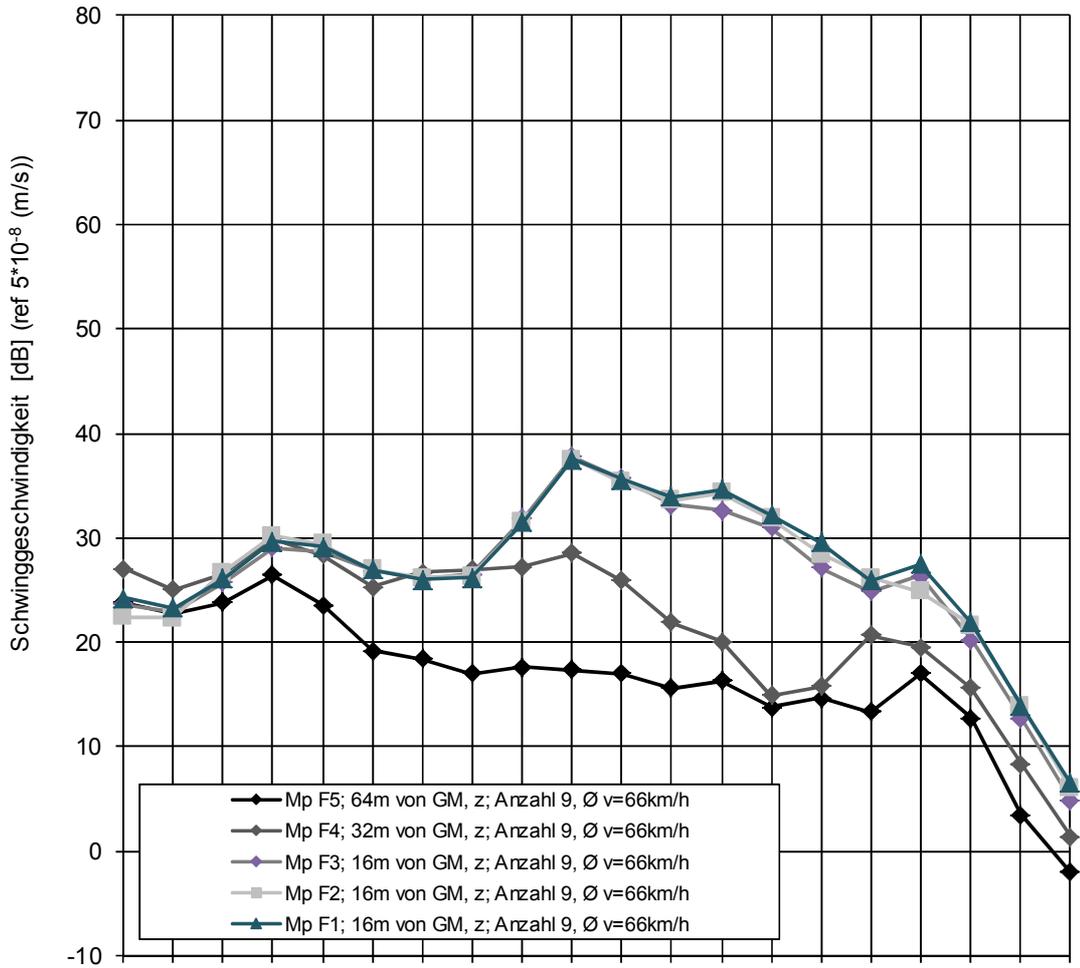
Terzfrequenz [Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Mp F5, σ	1,2	0,8	1,2	1,1	1,2	1,3	1,4	1,1	3,1	1,0	2,3	1,1	2,9	2,0	3,2	3,2	1,7	2,4	1,9	0,9
Mp F4, σ	0,8	0,6	0,7	0,8	0,7	1,1	2,2	2,5	2,6	1,2	1,8	1,0	2,9	1,8	3,5	4,3	1,9	2,9	2,3	1,0
Mp F3, σ	0,8	1,1	1,8	1,8	2,1	1,6	1,5	0,7	2,5	1,2	2,3	1,4	2,2	1,5	3,0	4,2	1,6	2,5	2,6	1,1
Mp F2, σ	0,9	0,9	1,0	2,2	2,4	2,1	2,0	1,2	2,4	1,2	2,7	1,1	2,3	2,2	3,2	4,4	1,4	2,6	2,4	1,2
Mp F1, σ	1,3	1,5	1,5	1,9	2,6	2,0	1,3	1,0	2,5	1,2	2,3	0,9	2,1	1,6	3,1	4,0	1,7	2,8	2,3	1,1



**Leq Terzpegelspektren -
 en. MW Zugkategorie ET423 Gleis 0**

15-22786-T.TVI32(3) - NEM17 EU Steinebach - Seefeld

Strecke 5541 - Gleis 0, Freifeldmessung Hauptstraße 36a



Terzfrequenz [Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Mp F5, σ	1,0	0,9	1,4	2,3	1,4	0,9	1,2	1,0	1,9	0,9	1,9	0,8	2,2	1,7	2,6	3,0	1,7	2,6	1,5	0,6
Mp F4, σ	1,0	0,6	1,1	1,8	1,5	1,4	1,4	1,5	2,3	1,6	2,1	1,2	2,3	2,0	2,7	3,9	1,5	2,7	2,2	1,1
Mp F3, σ	1,2	0,7	1,1	1,7	1,2	1,2	1,2	1,3	2,3	1,6	1,9	1,2	2,2	1,8	2,6	3,8	1,9	2,5	2,1	1,0
Mp F2, σ	1,2	4,5	1,7	1,8	1,1	1,3	1,9	0,6	1,1	3,2	0,9	0,8	0,7	0,5	0,6	0,3	1,0	0,8	0,7	0,9
Mp F1, σ	0,7	0,7	0,9	1,5	1,3	1,2	1,0	1,3	2,4	1,6	2,1	1,2	2,3	1,7	2,8	3,7	2,0	2,7	2,1	1,0



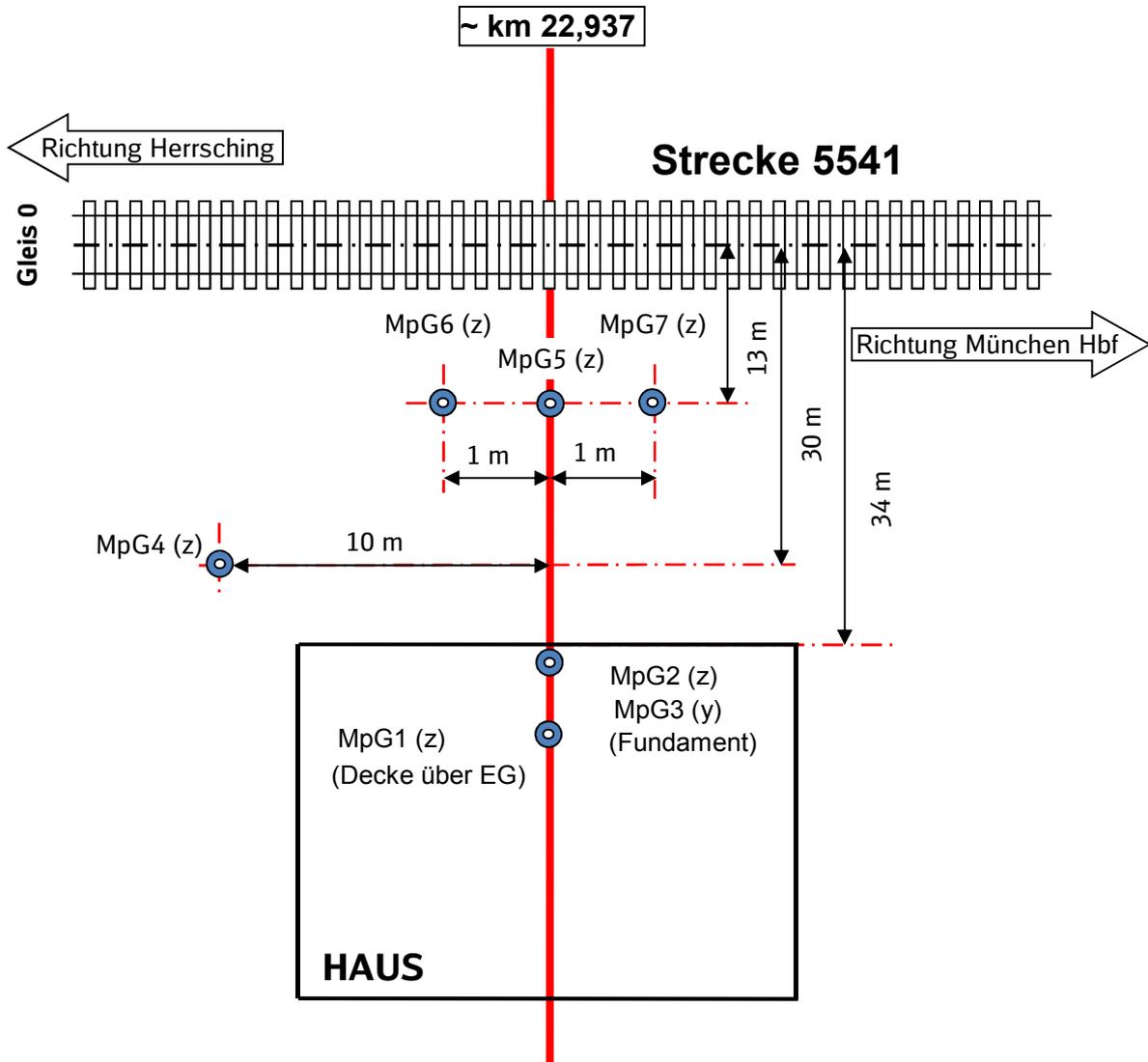
Inhaltsverzeichnis

1. Messort, Aufbau der Messpunkte	2
1.1. Prinzipskizze, Lage der Messpunkte	2
1.2. Fotos - Lage der Messpunkte	3
2. Messprotokoll.....	4
3. Mittelwerte Max-Hold- und L_{eq} -Terzpegelspektren.....	5
4. Messdaten ausgewerteter Versuche	7

DB	Kurzdossier Hauptstraße 39, 82237 Wörthsee	Anlage 4 von 4 Seite 2 von 7
-----------	--	--

1. Messort, Aufbau der Messpunkte

1.1. Prinzipskizze, Lage der Messpunkte



Legende

- Beschleunigungsaufnehmer

Skizze nicht maßstäblich!

y ↑

z ⊗

x →

Abbildung 4-1 : Prinzipskizze: Lage der Erschütterungsmesspositionen



1.2. Fotos – Lage der Messpunkte



Abbildung 4.2- KS-Aufnehmer MpG5 (z) (links) und MpG6 (z) (rechts) bei 13m von nächstliegender Gleisachse



Abbildung 4.3- KS-Aufnehmer MpG7 (z) (links) bei 13m von nächstliegender Gleisachse, MpG4 (z) vorm Haus (rechts)



Abbildung 4.4- KS-Aufnehmer MpG3 (y) und MpG2 (z) im Fundamentbereich (links), MpG1 (z) auf der Decke über EG (rechts)

	Kurzdossier Hauptstraße 39, 82237 Wörthsee	Anlage 4 von 4 Seite 4 von 7
---	--	--

2. Messprotokoll

Eisenbahnstrecke 5541 bei km 22,937: Gebäudemessung Hauptstraße 39
ET423, Gleis 0

Vers. Nr.	Datum	Uhrzeit	Richtung	v_mittel [km/h]	v_min [km/h]	v_max [km/h]	v abw. [%]
1	28.05.2015	11:07	Herrsching	62	50	73	37
2	28.05.2015	11:14	München	43	30	56	60
3	28.05.2015	11:34	München	46	31	60	64
4	28.05.2015	11:48	Herrsching	60	47	72	42
5	28.05.2015	12:07	Herrsching	55	44	66	40
6	28.05.2015	12:14	München	47	36	58	47
7	28.05.2015	12:34	München	44	32	55	53
8	28.05.2015	12:48	Herrsching	54	46	61	28
9	28.05.2015	13:07	Herrsching	63	50	75	40
10	28.05.2015	13:14	München	46	38	54	35
11	28.05.2015	13:28	Herrsching	58	47	68	37
12	28.05.2015	13:38	München	56	43	68	45
13	28.05.2015	13:48	Herrsching	55	46	64	33
14	28.05.2015	13:54	München	41	30	52	54
15	28.05.2015	14:09	Herrsching	49	38	60	45
16	28.05.2015	14:15	München	49	35	62	56
17	28.05.2015	14:30	Herrsching	54	45	62	32
18	28.05.2015	14:36	München	41	27	54	67
19	28.05.2015	14:46	Herrsching	60	50	70	33
20	28.05.2015	14:55	München	46	32	59	59
21	28.05.2015	15:10	Herrsching	60	46	73	45
22	28.05.2015	15:16	München	44	31	56	57
MW über die Zuggattung				51	km/h		

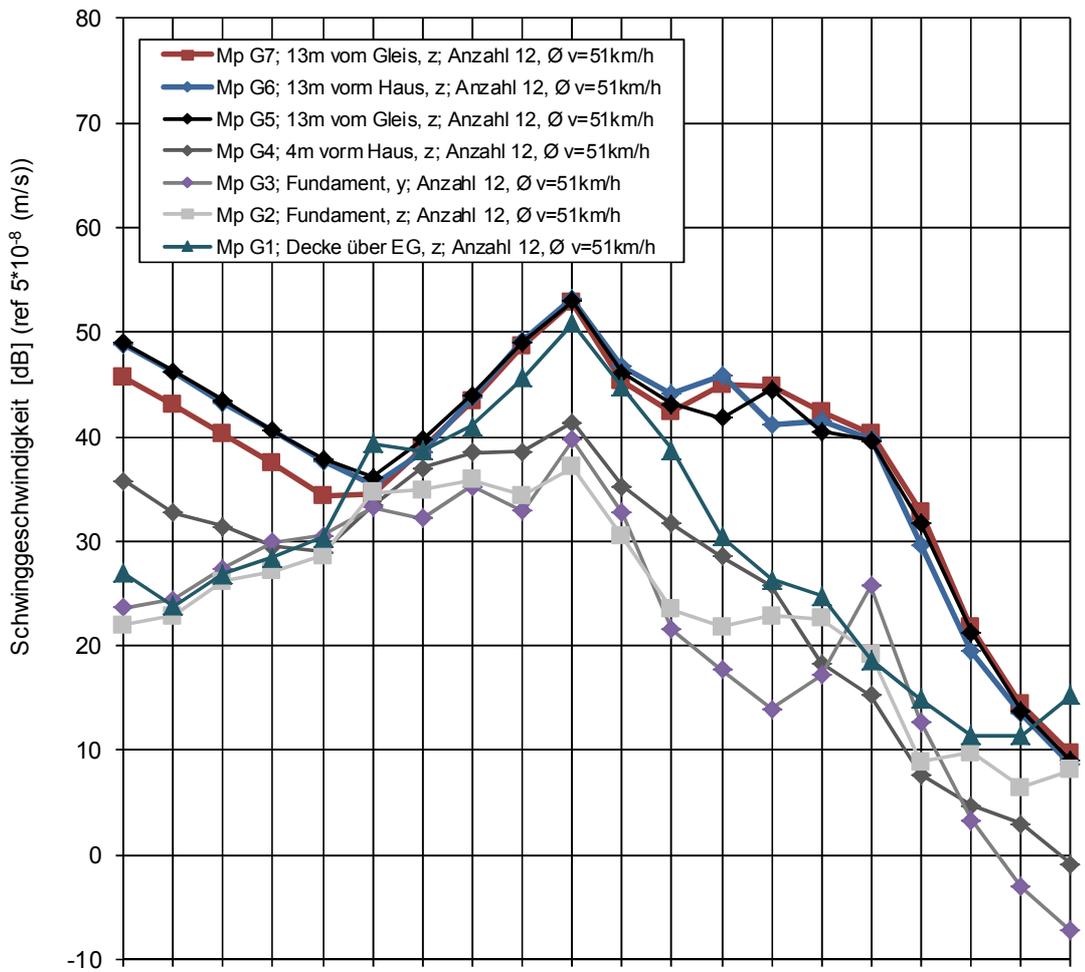
Alle rot und kursiv gedruckte Fahrten wurden nicht ausgewertet (Geschwindigkeit stark abweichend bzw. Messergebnisse unplausibel).

Fahrten Richtung München verzögernd bzw. in Richtung Herrsching beschleunigend.

3. Mittelwerte Max-Hold- und L_{eq} -Terzpegelspektren

Max-Hold Terzpegelspektren - en. MW Zugkategorie ET423 Gleis 0

15-22786-T.TVI32(3) - NEM17 EU Steinebach - Seefeld
 Strecke 5541 - Gleis 0, Hauptstraße 39

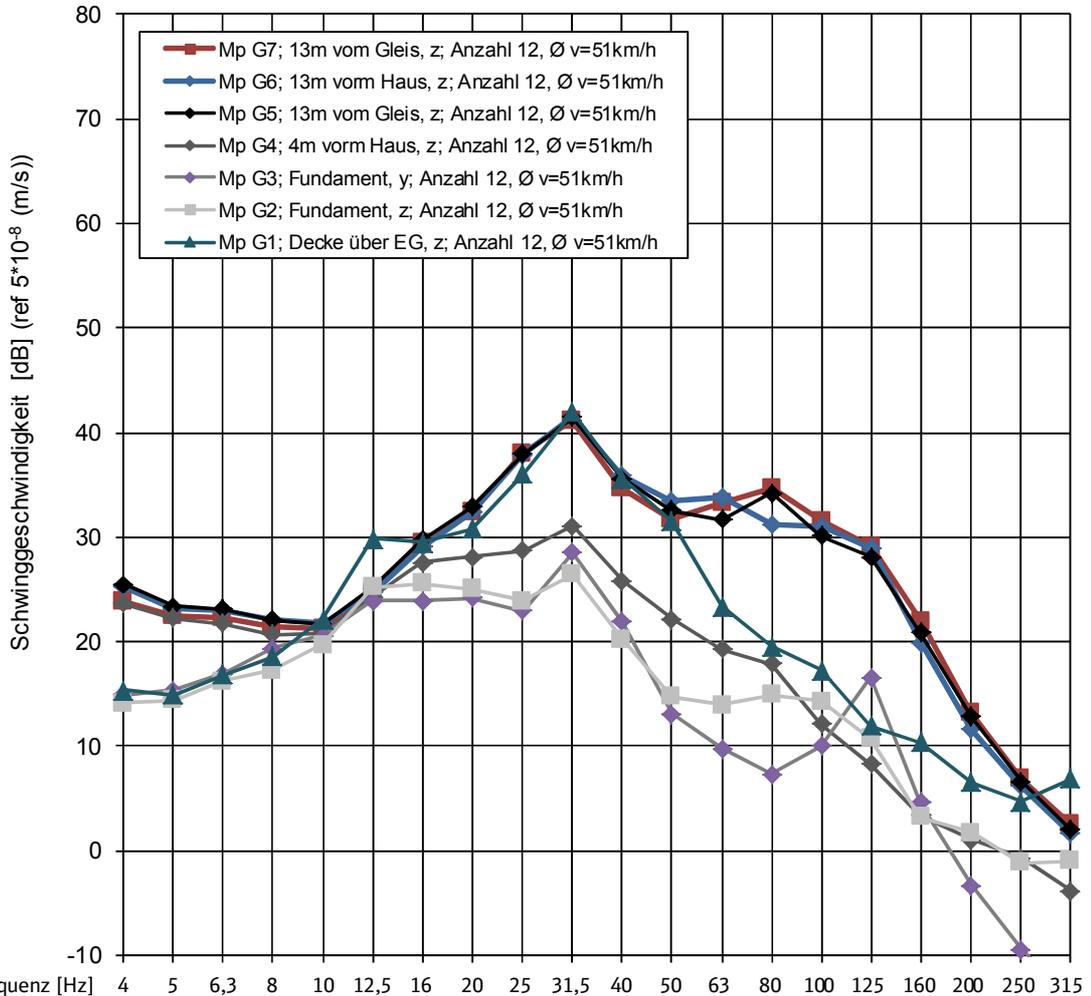


Terzfrequenz [Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Mp G7, σ	3,3	3,3	3,4	3,2	3,0	1,7	2,1	1,9	1,4	2,6	2,2	1,4	2,6	1,3	1,2	1,2	2,1	1,3	0,9	0,9
Mp G6, σ	3,2	3,1	3,3	3,2	3,0	2,6	2,2	2,2	1,4	3,2	2,5	1,6	2,1	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	0,8	0,5
Mp G5, σ	3,8	3,8	4,1	3,8	3,6	2,1	1,9	2,0	1,2	2,7	2,1	1,8	1,7	1,5	1,3	0,9	1,7	1,1	0,9	0,8
Mp G4, σ	2,8	2,3	2,9	1,3	1,4	1,6	1,6	1,9	1,6	3,4	2,3	1,3	2,3	1,5	0,8	1,1	0,9	0,7	0,8	0,5
Mp G3, σ	1,3	1,7	2,2	2,6	2,7	1,8	0,9	1,4	1,8	4,6	3,5	2,1	2,2	1,5	1,0	1,2	1,1	0,8	0,8	0,9
Mp G2, σ	1,1	1,2	2,4	2,0	1,7	1,8	1,7	1,7	2,0	4,5	3,1	1,7	2,4	1,2	0,9	1,0	0,9	1,6	1,2	2,1
Mp G1, σ	1,3	1,7	2,0	2,4	1,2	1,9	1,4	1,4	1,8	3,1	2,2	1,1	2,4	1,8	0,9	1,9	3,0	2,2	2,0	1,7



**Leq Terzpegelspektren -
en. MW Zugkategorie ET423 Gleis 0**

15-22786-T.TVI32(3) - NEM17 EU Steinebach - Seefeld
Strecke 5541 - Gleis 0, Hauptstraße 39



Terzfrequenz [Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Mp G7, σ	1,6	1,4	1,3	1,3	1,1	0,8	0,8	0,8	2,0	3,2	2,2	1,7	1,5	0,9	0,9	1,0	1,5	1,2	1,0	0,8
Mp G6, σ	1,6	1,6	1,9	1,2	1,2	0,8	1,0	0,8	1,8	3,2	2,1	1,5	1,8	1,1	0,7	0,9	1,3	1,1	0,9	0,7
Mp G5, σ	2,0	1,8	1,7	1,4	1,1	0,9	0,8	0,8	2,1	3,3	2,1	1,8	1,6	1,0	0,9	1,0	1,5	1,2	1,0	0,8
Mp G4, σ	0,9	0,8	1,3	1,1	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	2,8	1,9	1,3	1,6	1,2	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,1
Mp G3, σ	1,0	1,0	1,2	1,7	1,0	0,6	0,9	0,7	1,2	4,2	3,1	2,0	1,6	0,9	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4
Mp G2, σ	0,9	0,7	1,7	1,7	0,9	0,7	0,9	0,8	1,5	4,1	3,0	1,6	1,5	1,0	0,7	0,6	0,8	1,0	1,1	0,8
Mp G1, σ	0,6	0,8	1,7	1,5	0,8	0,7	0,8	0,8	1,8	3,3	2,4	2,6	1,9	1,1	0,7	0,8	3,6	2,8	1,4	0,8

	Kurzdossier Hauptstraße 39, 82237 Wörthsee	Anlage 4 von 4 Seite 7 von 7
---	--	--

4. Messdaten ausgewerteter Versuche

Eisenbahnstrecke 5541 bei km 22,937: Gebäudemessung Hauptstraße 39
ET423, Gleis 0

Vers. Nr.	Datum	Uhrzeit	Richtung	v_mittel [km/h]	v_min [km/h]	v_max [km/h]	v abw. [%]	v abw. Zu MW [%]	KBFmax Mp G1, z-Ri.
5	28.05.2015	12:07	Herrsching	55	44	66	40	9	0,024
6	28.05.2015	12:14	München	47	36	58	47	-7	0,015
7	28.05.2015	12:34	München	44	32	55	53	-14	0,017
8	28.05.2015	12:48	Herrsching	54	46	61	28	6	0,017
10	28.05.2015	13:14	München	46	38	54	35	-9	0,011
11	28.05.2015	13:28	Herrsching	58	47	68	37	14	0,031
12	28.05.2015	13:38	München	56	43	68	45	10	0,019
13	28.05.2015	13:48	Herrsching	55	46	64	33	9	0,023
15	28.05.2015	14:09	Herrsching	49	38	60	45	-3	0,020
16	28.05.2015	14:15	München	49	35	62	56	-4	0,019
17	28.05.2015	14:30	Herrsching	54	45	62	32	6	0,022
22	28.05.2015	15:16	München	44	31	56	57	-14	0,016
V_{MW} über die Zuggattung				51	km/h				

Formeln:

$$v_{\text{abw.}} = \frac{v_{\text{max}} - v_{\text{min}}}{v_{\text{mittel}}} * 100$$

$$v_{\text{abw.zu MW}} = \frac{v_{\text{mittel}} - v_{\text{MW}}}{v_{\text{MW}}} * 100$$