

# Baugebiet "Haidwiesen", Maxhütte-Haidhof Bahn-Immissionen

Erschütterungs- und Sekundärluftschalltechnische Untersuchung

### imb-dynamik-Bericht Nr. B433251a vom 07.12.2017

Auftraggeber: Profesbau GmbH

Herr Sami Kanaaneh Sauerzapfstr. 10 **D-92507 Nabburg** 

kanaaneh@profesbau.de

Bearbeitet von: Dr.-Ing. Holger Molzberger

Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Honikel



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

#### Zusammenfassung

#### Situation

In Maxhütte-Haidhof soll das Baugebiet "Haidwiesen" entstehen. Die geplante Bebauung liegt in unmittelbarer Nähe der Bahnstrecke Regensburg – Hof.

Die vorbeifahrenden Züge tragen in das Erdreich und in benachbarte Gebäude Körperschallwellen ein, die von den Bewohnern und Nutzern der Gebäude als Erschütterungen bzw. als sogenannter "sekundärer Luftschall" wahrgenommen werden können. Es ist sicherzustellen, dass

- be die in der geplanten Bebauung gegebenen (sekundären) Luftschall- und Erschütterungsimmissionen die Grenzwerte der einschlägigen Richtlinien einhalten, und
- b die Eigentümer/Nutzer unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und konstruktiver Aspekte möglichst wenig bzw. keinen wahrnehmbaren Immissionen ausgesetzt werden.

Für diese Aussagen wurden Messungen auf dem geplanten Baugebiet durchgeführt. Die Ergebnisse sind Gegenstand des vorliegenden Berichts.

#### Ergebnisse

In den nachfolgenden Tabellen sind die Ergebnisse des jeweils maßgebenden Messpunktes dargestellt. Körperschall nach DIN 4150/2

	Gebäude- eigenschaften		Wohngebiet
Erschütterungen KB <sub>Fmax</sub>		Anhaltswerte →  Prognosewerte	0,2
	ungünstig	0,36	überschritten
	günstig	0,12	eingehalten

Die ungünstigen Gebäudeparameter stellen eine Kombination aus Estrich und Deckeneigenfrequenzen dar, die durchaus typisch für Gebäude der geplanten Größenordnungen sind. Das Maximalwertkriterium wird insgesamt an den Messpunkten 01G und 02G überschritten.

Durch die Überschreitung des Maximalwertkriteriums sind die Anhaltswerte der DIN 4150/2 an diesen Messpunkten somit nicht eingehalten. An allen anderen Messpunkten sind die Anhaltswerte der DIN 4150/2 eingehalten.

#### Sekundärluftschall nach VDI-Richtlinie 2719

	Gebäude- eigenschaften		Mindest- anforderung	Komfort- anforderung
Sekundärluftschall Mittlere Maximalpegel		Anhaltswerte  → Prognosewerte	40 dB(A)	35 dB(A)
	ungünstig	20 dB(A)	eingehalten	eingehalten
	günstig	16 dB(A)	eingehalten	eingehalten

Die Anhaltswerte der VDI – Richtlinie werden im gesamten geplanten Bebauungsgebiet mit Abstand eingehalten.



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

Durch die Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150/2 an den Messpunkten 01G und 02G sind beim Bau der in der nachfolgenden Abbildung hervorgehobenen Gebäude Erschütterungsschutzmaßnahmen zu berücksichtigen.





Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

#### Maßnahmenempfehlung

Die Überschreitungen im oben dargestellten Bereich sind nicht gravierend. Es ist zu überprüfen, ob ggf. bauliche Maßnahmen ausreichen, oder ob eine elastische Gebäudelagerung zur Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150/2 erforderlich ist. Denkbar ist auch eine Kombination aus Außenwandlagerung und baulichen Maßnahmen.

Es muss mit einer geeigneten rechnerischen Modellierung überprüft werden, ob und in welcher Form sich die genannten Erschütterungsschutzmaßnahmen so ausführen lassen, dass die Anforderungen erreicht werden. Das Ergebnis ist stark von den Gebäudekonstruktionen abhängig, die momentan unseres Wissens nach noch nicht im Detail festliegen.

Evtl. sind Eingriffe in die grundlegende Ausführungsart der betroffenen Gebäude erforderlich (Unterkellerung, Fundament, Wände betreffend).

Die Auslegung der hier genannten Maßnahmen sollte individuell angepasst durch einen unabhängigen Baudynamiker erfolgen. So ist es möglich, die Maßnahmen auf die notwendigen Bereiche zu beschränken und im Fall des Einsatzes von elastischen Materialien eine sehr wirtschaftliche Lösung zu erhalten, da die Möglichkeit zur Kostenersparnis in diesem Bereich immens ist.

Die empfohlenen Maßnahmen sind Stand der Technik, in ihrer Wirksamkeit gut anpassbar, wirtschaftlich ausführbar und hinsichtlich des zu erwartenden Ergebnisses gut prognostizierbar. Für die Auslegung und den erschütterungstechnischen Nachweis bei Ausführung steht unser Ingenieurbüro Ihnen gerne zur Verfügung.

Dr.-Ing. Holger Molzberger

Geschäftsführer imb-dynamik GmbH Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Honikel

Jagan Horiba

Anerkannte Messstelle nach §29b BlmSchG Akkreditiertes Prüflabor gemäß DIN 17025 QM-System entsprechend ISO 9001, seit 1998.



Dokument erstellt von JH



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

### Inhaltsverzeichnis

Zusan	mmenfassung	2
Inhalt	sverzeichnis	4
1	Situation und Aufgabenstellung	6
2	Grundlagen	6
3	Beurteilungskriterien	6
3.1	Körperschall nach DIN 4150/2, siehe (5)	6
3.1.1	Beurteilungsgrößen	6
3.1.2	Prognose	7
3.1.3	Beurteilungsverfahren	7
3.2	Sekundärer Luftschall nach VDI 2719, siehe (6)	9
3.3	Bestimmung der Maximalwerte	10
3.4	Bestimmung der Beurteilungswerte	10
3.5	imb-dynamik-Empfehlung	11
3.6	Zusammenfassung Anhaltswerte	11
4	Messungen	12
4.1	Lage der Messpunkte	12
4.2	Messtechnisch erfasste Zugfahrten	12
4.3	Durchführung der Messungen	13
5	Auswertung	14
5.1	Spektrale Auswertung jeder Zugfahrt	14
<i>5.2</i>	Auswertung im Zeitbereich	14
6	Prognoseergebnisse und Beurteilung	16
6.1	Allgemein	16
6.2	Immissionssituation	16
6.2.1	Vergleich der Messpunkte	17
6.2.2	Vergleich der Zuggattungen	18
<i>6.3</i>	Prognostizierte Erschütterungen	19
6.4	Prognostizierter Sekundärluftschall	19
7	Gesamtbeurteilung und Angaben zur baulichen Ausführung	20
7.1	Beurteilung der Prognosewerte	20
7.2	Prinzipielle Minderungsmaßnahmen	20
7.3	Angaben zur baulichen Ausführung	21



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

#### 1 Situation und Aufgabenstellung

In Maxhütte-Haidhof soll das Baugebiet "Haidwiesen" entstehen. Die geplante Bebauung liegt in unmittelbarer Nähe der Bahnstrecke Regensburg – Hof.

Die vorbeifahrenden Züge tragen in das Erdreich und in benachbarte Gebäude Körperschallwellen ein, die von den Bewohnern und Nutzern der Gebäude als Erschütterungen bzw. als sogenannter "sekundärer Luftschall" wahrgenommen werden können. Es ist sicherzustellen, dass

- b die in der geplanten Bebauung gegebenen (sekundären) Luftschall- und Erschütterungsimmissionen die Grenzwerte der einschlägigen Richtlinien einhalten, und
- b die Eigentümer/Nutzer unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und konstruktiver Aspekte möglichst wenig bzw. keinen wahrnehmbaren Immissionen ausgesetzt werden.

Für diese Aussagen wurden Messungen auf dem geplanten Baugebiet durchgeführt. Die Ergebnisse sind Gegenstand des vorliegenden Berichts.

#### 2 Grundlagen

- (1) imb-dynamik-Messungen vom 15.11.2017
- (2) DIN IEC 60263: Skalen und Größenverhältnisse zur Darstellung von frequenzabhängigen Kennlinien und Polardiagrammen, vom August 1999
- (3) DIN 45669: Messungen von Schwingungsemissionen; Teil 1, Anforderungen an die Schwingungsmesser, Juni 1995
- (4) DIN 45669: Messungen von Schwingungsemissionen;Teil 2, Messverfahren, Juni 2005
- (5) DIN 4150: Erschütterungen im BauwesenTeil 2, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- (6) VDI-Richtlinie 2719: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen, Aug. 1987
- (7) VDI-Richtlinie 3837: Erschütterungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen, Spektrales Prognoseverfahren, März 2006
- (8) Bebauungsplan "Haidwiesen", Preihsl & Schwan, Beraten und Planen GmbH, vom 26.01.2017
- (9) Bebauungsplan "Haidwiesen", Preihsl & Schwan, Beraten und Planen GmbH, vom 16.11.2017

#### 3 Beurteilungskriterien

#### 3.1 Körperschall nach DIN 4150/2, siehe (5)

#### 3.1.1 Beurteilungsgrößen

Zur Bewertung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen wird die bewertete Schwingstärke KBF(t) herangezogen.

Die Bewertete Schwingstärke KBF(t) ist dabei nach DIN 45669 als gleitender Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals (Zeitbewertung 0,125 s, "FAST") definiert.

Die Beurteilung erfolgt anhand von zwei Beurteilungsgrößen:

- KB<sub>Fmax</sub>, die maximale bewertete Schwingstärke
- KB<sub>FTr</sub>, die Beurteilungsschwingstärke.

Die maximale bewertete Schwingstärke KB<sub>Fmax</sub> ist der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke KB<sub>F</sub>(t), der während der jeweiligen Beurteilungszeit (einmalig oder wiederholt) auftritt.



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

Die Beurteilungsschwingstärke  $KB_{FTr}$  berücksichtigt die Häufigkeit und Dauer der Erschütterungsereignisse. Die Beurteilungsschwingstärke  $KB_{FTr}$  wird mit Hilfe eines Taktmaximalwertverfahrens (Taktzeit = 30 s) ermittelt.

Die Beurteilungsschwingstärke KBFTr ergibt sich dabei nach folgender Gleichung:

$$KB_{FTr} = KB_{FTm} \sqrt{\frac{T_e}{T_r}}$$
 (1)

mit  $T_r$  = Beurteilungszeit (tags 16 h, nachts 8 h)

T<sub>e</sub> = Einwirkungszeit

KB<sub>FTm</sub> = Taktmaximal-Effektivwert, wobei der Taktmaximal-Effektivwert die Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte (KB<sub>Fmax</sub>-Werte) der Einzelereignisse (hier Zugfahrten) ist.

#### 3.1.2 Prognose

Für die Beurteilung der Schwingungssituation in zukünftigen Gebäuden ist eine Prognose erforderlich. Diese wird im Frequenzbereich durchgeführt:

- Berechnung von FAST-bewerteten Terzschnellespektren mit der Charakteristik "Fast-max-hold" (d.h. der Maximalwert jeder einzelnen Terz wird in ein Ergebnisspektrum übernommen, unabhängig vom Zeitpunkt seines Auftretens).
- Terzschnellespektren für jedes gemessene Einzelereignis, Obere und Untere Einhüllende, Energetisches Mittel über Zuggattungen und Fahrtrichtungen
- Multiplikation mit spektralen Übertragungsfunktionen, die die Gebäudeeigenschaften beschreiben

Aus den Immissionsspektren wird dann ein spektraler Summenpegel (4 bis 80 Hz) gebildet, der einem im Zeitbereich ermittelten KB-Wert weitgehend entspricht.

Für den Sekundärluftschall wird die Prognose in analoger Weise durchgeführt.

#### 3.1.3 Beurteilungsverfahren

Die Beurteilung erfolgt nach untenstehend beschriebener Vorgehensweise:

Es ist die maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{Fmax}$  zu ermitteln und mit den Anhaltswerten  $A_U$  und  $A_O$  zu vergleichen:

- Ist KBFmax kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert Au, dann ist die Anforderung der Norm eingehalten.
- Ist KBFmax größer als der (obere) Anhaltswert Ao, dann ist die Anforderung nicht eingehalten.
- Ist KBFmax größer als Au aber kleiner, höchstens gleich Ao, gilt die Anforderung dieser Norm dann als eingehalten, wenn die Beurteilungs-Schwingstärke KBFTr nicht größer als Ar ist.



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

Die in der DIN 4150/2 angegebenen Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen sind in der folgenden Tabelle angegeben:

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

Für oberirdischen Schienenverkehr des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) gelten die um den Faktor 1,5 angehobenen  $A_u$ - und  $A_r$ -Werte der obigen Tabelle.

Für oberirdischen Schienenverkehr außer des öffentlichen Personennahverkehrs ( $\ddot{O}PNV$ ) gelten die  $A_u$ - und  $A_r$ -Werte der obigen Tabelle.

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



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

In den Erläuterungen zur Norm werden Zusammenhänge zwischen bewerteten Schwingstärken und subjektiver Wahrnehmung angegeben.

Die folgende Tabelle beschreibt den Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung:

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

#### 3.2 Sekundärer Luftschall nach VDI 2719, siehe (6)

Infolge von Körperschall-Einwirkungen werden die Raumbegrenzungsflächen (Wände, Geschoßdecken) zu Schwingungen angeregt. Diese strahlen ähnlich Lautsprechermembranen Luftschall ab. Bei ausreichend hohen Pegeln wird dieser "Sekundärluftschall" vom Menschen hörbar wahrgenommen.

Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Schwingschnelle in den Raumbegrenzungsflächen, den jeweiligen Abstrahl- und Absorptionsverhältnissen im Raum und den daraus resultierenden Schalldruckpegeln im Raum. Für den mittleren Maximalpegel nach VDI 2719 kann abgeleitet werden:

$$\overline{L}_{max} = L_{vA. \, FAST} - 3 \, dB + 10 \cdot \log (4 \cdot S/A) + 10 \cdot \log \sigma$$
 (2)

Dabei bedeuten:

 $\overline{L}_{max}$  = A-bewerteter mittlerer maximaler Schalldruckpegel im Raum in dB(A)

 $L_{_{VA,\;FAST}}$  = A- und FAST-bewerteter Schnellepegel der Raumbegrenzungsflächen

in dB(A), re 5 · 10<sup>-8</sup> m/s

S = Größe der schwingerregten Fläche in m²

A = Absorptionsvermögen des Raumes in m²

 $\sigma$  = Abstrahlgrad

- 3 dB = Korrekturterm für Berücksichtigung der Phasenlage verschiedener Übertragungswege und schallabstrahlender Bauteile

Aufgrund von Erfahrungswerten für raumakustische Verhältnisse in Wohnräumen und mit Wohnräumen vergleichbar ausgestatteten Räumen können folgende Werte für S, A und σ angesetzt werden:

S ≈ 2 x Grundrissfläche G

A ≈ 0,8 x Grundrissfläche G

 $\sigma$  = 1 für Frequenzen > 63 Hz. Für tiefere Frequenzen (< 63 Hz) erfolgt eine Absenkung.

Die Berechnung erfolgte im Frequenzbereich von 10 bis 400 Hz.

Für die Beurteilung der Sekundärluftschallimmissionen liegen derzeit noch keine verbindlichen Richtwerte vor. Im Allgemeinen wird meist auf die VDI-Richtlinie 2719 "Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen" zurückgegriffen und die darin genannten Anhaltswerte zur Beurteilung herangezogen.



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

Aus der VDI-Richtlinie 2719 ergeben sich folgende zulässige mittlere Maximalpegel für Schlafräume nachts:

Gebiet	sog. Komfortanforderung	Mindestanforderung
Reine und Allgemeine Wohngebiete	35 dB(A)	40 dB(A)
Sonstige Gebiete	40 dB(A)	45 dB(A)

#### 3.3 Bestimmung der Maximalwerte

In den meisten Fällen ist der Nachtzeitraum aufgrund strengerer Richtwerte für die Beurteilung der Schwingungssituation maßgebend. Innerhalb des Nachtzeitraumes ergibt sich aus dem Unterschied zwischen zulässigem Maximalwert und zulässigem Mittel (= Beurteilungspegel) sowie aus der im Nachtzeitraum vorhandenen Zugdichte, dass häufig der Maximalwert KB<sub>Fmax</sub> bei den Erschütterungen maßgebend ist – nur bei sehr hoher Zugdichte ist auch der Beurteilungspegel zu berücksichtigen.

Beim Sekundärluftschall wird ohnehin ausschließlich eine Beurteilung des (regelmäßig erreichten) Maximalwertes durchgeführt.

In der DIN (4) wird festgeschrieben, dass ein "seltenes Überschreiten" des Maximalwertkriteriums zulässig ist. Diese Formulierung trägt dem Umstand Rechnung, dass z.B. der Erschütterungsschutz von Gebäuden an der Strecke nicht auf der Basis von Messwerten eines einzelnen Zuges mit extrem schlechten Rädern (Unrundheiten, Flachstellen) dimensioniert wird. In (4) wird keine genaue Vorgehensweise der Aussonderung "extremer" Zugfahrten vorgeschrieben.

Für die Bestimmung des zu beurteilenden Maximalwertes für den Zugverkehr wird im Folgenden diese Vorgehensweise gewählt:

- Auswahl der maßgebenden Zuggattung und Fahrtrichtung
- Mittel aller gemessenen Züge dieser Zuggattung ergibt den "maxKB<sub>FTm</sub>" (Bez. bei imb-dynamik)
- Beaufschlagung dieses maßgebenden Immissionswertes "maxKB<sub>FTm</sub>" für Streuungen des Rollmaterials im üblichen Rahmen:
  - +50 % für die Erschütterungen
  - keine Beaufschlagung des Sek.-Luftschalls (nur bei Bewertung nach TA-Lärm + 3 dB)

Sollten einzelne Zugfahrten mit noch höheren Werten gemessen werden, gehen diese nicht in die Bewertung ein, sondern werden gemäß (4) als Züge eingestuft, bei welchen die Ursache für starke Erschütterungen an den Zugeinheiten selbst zu suchen ist.

#### 3.4 Bestimmung der Beurteilungswerte

Es wird bzgl.

- Lage der Messpunkte
- Größe der Immissionen der einzelnen Zuggattungen und Fahrtrichtungen

ein für das geplante Gebäude maßgebendes Immissionsspektrum ermittelt. Mit diesem Spektrum wird zunächst die Prognose wie beschrieben durchgeführt (siehe oben). Ergebnis ist der KB<sub>Fmax</sub> Wert im zukünftigen Gebäude.



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

Anschließend wird auf Basis dieses Prognoseergebnisses, das i.d.R. nur für die maßgebende Zuggattung erstellt wird, der prognostizierte KB<sub>FTm</sub> Wert im Verhältnis der gemessenen mittleren KB-Werte zu den gemessenen maximalen KB-Werten errechnet:

$$KB_{FTm,Prog} := KB_{Fmax,Prog} \cdot \frac{KB_{FTm,Messung}}{KB_{Fmax,Messung}}$$
(3)

Die Beurteilungswerte (KB<sub>FTr</sub> nachts und tags) ergeben sich nach Gleichung (1).

#### 3.5 imb-dynamik-Empfehlung

Über die in (5) und (6) geforderten Anhaltswerte hinaus empfehlen wir für ein neues hochwertiges Wohngebäude, dass <u>durchschnittliche Zugfahrten der lautesten Zuggattung und Fahrtrichtung</u> nicht wahrnehmbar sein sollten:

Einhaltung der Fühlgrenze von KB = 0,1

Einhaltung der Hörgrenze von ca. 30 dB(A) unter großstädtischen Umgebungsbedingungen.

Für eine einheitliche Beurteilungsgrundlage wird die Forderung von durchschnittlich KB = 0,1 für die maßgebende Zuggattung und Fahrtrichtung in einen KB<sub>Fmax</sub> Wert umgerechnet (+ 50% s.o.). Empfehlung imbdynamik:

- $KB_{Fmax} \le 0.15$
- $\overline{L}_{max} \leq 30 \text{ dB(A)}$

#### 3.6 Zusammenfassung Anhaltswerte

#### Erschütterungen

	Wohngebiet	imb-Empfehlung gehobene Wohnqualität
Maximalwert KB <sub>Fmax</sub>	tags 3 nachts 0,2	0,15
Beurteilungspegel <sup>1</sup> KB <sub>Ftr</sub>	tags 0,07 nachts 0,05	keine zusätzliche Anforderung

#### Sekundärluftschall

	Mindestanforderung	Komfortanforderung	imb-Empfehlung ge- hobene Wohnqualität		
Mittlerer Maximalpegel $\bar{L}_{max}$	40 dB(A)	35 dB(A)	30 dB(A)		
Beurteilungspegel	wird nicht herangezogen				

Die von uns empfohlene Beurteilungsweise ist am "Mittelwert" der lautesten (immissionsstärksten) Zuggattung ausgerichtet. So werden stabile Ergebnisse erzielt, die nur wenig von den zufällig am Messtag angetroffenen einzelnen Zügen abhängen.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Aufgrund der Güterzugfahrten dürfen die Werte nach DIN4150/2 nicht um 50% erhöht werden



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

#### 4 Messungen

Verwendete Mess- und Auswertungsgeräte sowie Software:

Gerät / Programm	Тур	Hersteller
Beschleunigungsaufnehmer 10 pC/m/s <sup>2</sup>	4370	Brüel&Kjaer
Ladungsverstärker	2635	Brüel&Kjaer
Vielkanal-Messsystem	CS-1016	IMC
Analyseprogramm	Famos	IMC

#### 4.1 Lage der Messpunkte

Die Lage der Messpunkte wurde unter Berücksichtigung des Lageplans (8) festgelegt.

Die Messpunkte wurden mit unterschiedlichem Abstand zur Bahnlinie eingerichtet. Die acht Messpunkte befanden sich in ca. 60 m bis 120 m Abstand zur Gleismitte.

Die Lage und Position der Messpunkte ist aus folgender Tabelle ersichtlich. Eine schematische Darstellung der Lage der Messpunkte zeigt die Abbildung 4.1.

Messpunkt	Messrichtung	Position	Art der Befestigung
01G	Vertikal	Abstand ca. 70 m zur Gleismitte	Erdspieß
02G	Vertikal	Abstand ca. 70 m zur Gleismitte	Erdspieß
03G	Vertikal	Abstand ca. 64 m zur Gleismitte	Erdspieß
04G	vertikal	Abstand ca. 62 m zur Gleismitte	Erdspieß
11G	vertikal	Abstand ca. 108 m zur Gleismitte	Erdspieß
12G	vertikal	Abstand ca. 104 m zur Gleismitte	Erdspieß
13G	vertikal	Abstand ca. 118 m zur Gleismitte	Erdspieß
14G	vertikal	Abstand ca. 116 m zur Gleismitte	Erdspieß

#### 4.2 Messtechnisch erfasste Zugfahrten

Die Messungen wurden am Mittwoch, den 15.11.2017 in der Zeit von 11:30 Uhr bis 18:00 Uhr durchgeführt.

Die Signale aller Messpunkte wurden bei den Zug-Vorbeifahrten im o.g. Zeitraum synchron aufgezeichnet. Es wurden 14 Regionalzüge (Triebwagen), 4 IC-Züge (Lokbespannt) und 2 Güterzüge beider Fahrtrichtungen aufgezeichnet.



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

Die folgende Übersicht gibt die gemessenen Zugfahrten wieder. Die zur Auswertung herangezogenen Zugfahrten sind kursiv und fett dargestellt.

Fahrtrichtung	Uhrzeit	Kurzzeichen	Zuggattung
Regensburg	12:51	GA	Güterzug
Bhf. Maxhütte-Haidhof	13:16	RA	Regionalzug
Regensburg	13:20	IA	Intercity
Regensburg	13:24	IB	Intercity
Regensburg	13:30	RB	Regionalzug
Regensburg	13:45	GB	Güterzug
Bhf. Maxhütte-Haidhof	13:49	RC	Regionalzug
Bhf. Maxhütte-Haidhof	14:15	RD	Regionalzug
Regensburg	14:17	RE	Regionalzug
Bhf. Maxhütte-Haidhof	14:35	IC	Intercity
Regensburg	14:42	RF	Regionalzug
Bhf. Maxhütte-Haidhof	14:48	RG	Regionalzug
Regensburg	15:11	RH	Regionalzug
Bhf. Maxhütte-Haidhof	15:15	RI	Regionalzug
Regensburg	15:19	ID	Intercity
Bhf. Maxhütte-Haidhof	15:48	RJ	Regionalzug
Regensburg	16:11	RK	Regionalzug
Bhf. Maxhütte-Haidhof	16:14	RL	Regionalzug
Bhf. Maxhütte-Haidhof	16:38	IE	Intercity
Regensburg	16:44	RM	Regionalzug
Bhf. Maxhütte-Haidhof	16:49	RN	Regionalzug

#### 4.3 Durchführung der Messungen

Die an den einzelnen Messpunkten angebrachten Beschleunigungsaufnehmer erzeugen eine beschleunigungsproportionale Ladung.

Die Ladungen werden mit Hilfe von extrem rauscharmen Ladungsverstärkern

- proportional in Spannung umgewandelt,
- analog bandpassgefiltert im Frequenzbereich von 2 1000 Hz und
- verstärkt.



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

Die Signale von ausgewählten Messpunkten wurden vor und während der Messungen frequenzanalysiert und im Zeit- und im Frequenzbereich kontrolliert.

Die Beschleunigungszeitverläufe wurden zeitsynchron mit dem Messsystem CS-1016 während den Zug-Vorbeifahrten erfasst. Die Messketten wurden kalibriert.

#### 5 Auswertung

#### 5.1 Spektrale Auswertung jeder Zugfahrt

Für die spektrale Auswertung wurden folgende Arbeitsschritte für jeden Kanal und jede Fahrtrichtung ausgeführt:

- Schritt 1 Bestimmung des Zeitausschnittes der Zugvorbeifahrt
- Schritt 2 Berechnung der FAST-Max-Hold Schnelle-Spektren (Zeitkonstante FAST = 0,125 s)
- Schritt 3 Berechnung der A-bewerteten, prognostizierten Sekundärluftschall-Spektren gem. Gl. (2)
- Schritt 4 Energetische Mittelung der Einzelspektren für alle Zugfahrten getrennt nach den Messpunkten und den Fahrtrichtungen
- Schritt 5 Berechnung der effektiven Schwingschnellen und Summenpegel aus den jeweiligen Spektren und den energ. Mitteln (Körperschall: eff v [mm/s], Luftschall: Pegel  $L_{AF}$  [dB(A)]  $\approx \overline{L}_{max}$ )

Die Ergebnisse sind in den Abb. 5.1.KS.1 bis 5.2.LS.6 grafisch dargestellt. Folgende Zusatzinformationen sind in den Abbildungen jeweils enthalten:

- Energetisches Mittel der Spektren der ausgewerteten Zugfahrten für den Körperschall und den prognostizierten sekundären Luftschall
- Obere und untere Einhüllende der dargestellten Fahrten für Körperschall und den prognostizierten sekundären Luftschall
- Effektive Schwingschnellen für den Körperschall
- Summenpegel für den prognostizierten sekundären Luftschall:
   Kenngrößen für die Luftschalleinwirkung auf den Menschen

Die Einzahlwerte dienen für Vergleiche der Züge untereinander und stellen – ohne Prognosemodell – an sich noch keinen beurteilungsrelevanten Wert dar.

#### 5.2 Auswertung im Zeitbereich

Für die Auswertung im Zeitbereich wurden folgende Arbeitsschritte für jeden Kanal und jede Einzelfahrt ausgeführt:

- Schritt 1 Bestimmung des Zeitausschnittes der Zugvorbeifahrt
- Schritt 2 Berechnung der bewerteten Schwingstärke KB<sub>F</sub>(t) nach Abschnitt 3.1.
- Schritt 3 Ermittlung der Taktmaximalwerte KB<sub>FTi</sub>
- Schritt 4 Berechnung der maximal Bewerteten Schwingstärke KB<sub>Fmax</sub> für jeden Messpunkt (Kenngröße für die Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen)

Die folgende Tabelle enthält die im Zeitbereich berechneten Taktmaximalwerte KB $_{FTi}$  für alle ausgewerteten Zugvorbeifahrten und die sich ergebende maximale Bewertete Schwingstärke KB $_{Fmax}$  sowie das energetische Mittel aller Zugfahrten, KB $_{FTm}$ .



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

In der folgenden Tabelle werden die ausgewerteten und spektral im Anhang dargestellten Zugfahrten dargestellt.

Ereignis	Zuggattung	01GA	02GA	03GA	04GA	11GA	12GA	13GA	14GA
GA	Güterzug	0,035	0,031	0,025	0,024	0,009	0,018	0,016	0,009
RA	Regionalzug	0,016	0,029	0,013	0,011	0,006	0,006	0,008	0,003
IA	IC-Zug	0,007	0,009	0,010	0,008	0,005	0,005	0,003	0,002
IB	IC-Zug	0,008	0,010	0,011	0,008	0,005	0,005	0,010	0,009
RB	Regionalzug	0,007	0,013	0,008	0,006	0,006	0,006	0,004	0,004
GB	Güterzug	0,010	_2	0,012	0,016	0,006	0,008	0,007	0,005
RC	Regionalzug	0,020	0,028	0,016	0,014	0,006	0,007	0,011	0,004
RE	Regionalzug	0,007	0,011	0,010	0,006	0,005	0,006	0,004	-
IC	IC-Zug	0,018	0,036	0,017	0,017	0,005	0,011	0,009	0,004
RF	Regionalzug	0,006	0,016	0,009	0,005	0,004	0,005	0,004	0,002
RG	Regionalzug	0,023	0,038	0,019	0,014	0,005	0,009	0,011	0,004
RH	Regionalzug	0,008	0,020	0,011	0,007	0,005	0,006	0,007	0,004
ID	IC-Zug	0,016	0,029	0,016	0,017	0,007	0,008	0,016	0,009
RJ	Regionalzug	0,017	0,028	0,015	0,011	0,005	0,007	0,010	0,003
RK	Regionalzug	0,006	-	0,013	0,005	0,005	0,006	0,009	0,003
RL	Regionalzug	0,016	-	0,016	0,013	0,005	0,006	0,007	0,004
IE	IC-Zug	0,020	0,048	0,023	0,014	0,006	0,009	0,013	0,004
RM	Regionalzug	0,007	-	0,013	0,006	0,006	0,005	0,005	0,003
RN	Regionalzug	0,014	0,030	0,014	0,011	0,005	0,007	0,008	0,003
F	(B <sub>FTm</sub>	0,016	0,027	0,015	0,012	0,006	0,008	0,009	0,005
K	B <sub>Fmax</sub>	0,035	0,048	0,025	0,024	0,009	0,018	0,016	0,009
Verh	ältnis [%]	45%	57%	60%	51%	63%	44%	58%	54%

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Messung gestört

Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

#### 6 Prognoseergebnisse und Beurteilung

#### 6.1 Allgemein

Die folgende Analyse geht davon aus, dass sich der gegenwärtige Streckenzustand und das erfasste Wagenmaterial nicht wesentlich ändern.

Datenbasis für die folgenden Prognosen und Beurteilungen bildet das am Messtag angetroffene Zugkollektiv. Es können daher durch einzelne Zugfahrten (z.B. Züge mit starken Radunrundheiten und Flachstellen) gelegentlich höhere Immissionswerte erreicht werden.

Da am Messtag leider keine Güterzugfahrt in Fahrtrichtung Bhf. Maxhütte – Haidhof (nächstgelegenes Gleis) gemessen werden konnte, wurde eine Güterzugfahrt in diese Richtung mit Hilfe einer Übertragungsfunktion rechnerisch ermittelt. Datengrundlage hierfür waren die energetischen Mittelwerte der gemessenen IC – Fahrten in beiden Fahrtrichtungen, welche im Vergleich zu den Regionalzügen aus Lok und Wagen bestanden.

Als Grundlage für die Berechnung der Beurteilungsschwingstärke KB<sub>FTr</sub> wurde mit folgendem Verkehrsaufkommen, It. (10), gerechnet:

Kategorie / Fahrtrichtung	Anzahl der Züge tags	Anzahl der Züge nachts
IC beider Richtungen	28	4
RE, RB beider Richtungen	112	12
GZ beider Richtungen	55	41
Summe	195	57

#### 6.2 Immissionssituation

Die gemessenen und errechneten Freifeldimmissionen werden hier folgendermaßen dargestellt:

- Alle Messpunkte, energetisches Mittel der maßgebenden Zuggattung (und Fahrtrichtung)
- Maßgebender Messpunkt, energetisches Mittel aller Zuggattungen

Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

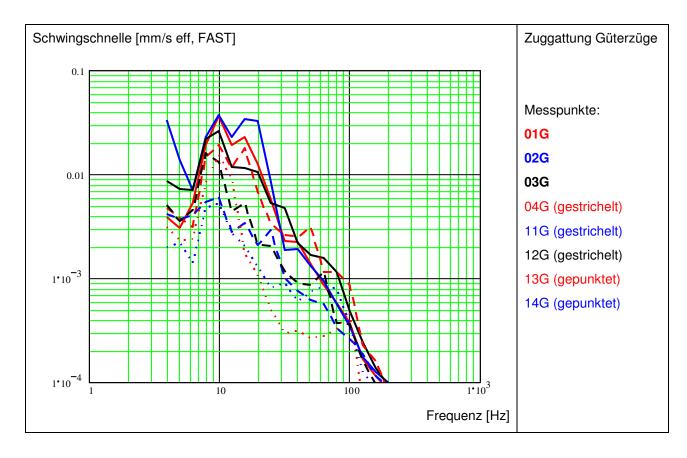
82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

#### 6.2.1 Vergleich der Messpunkte

Maßgebende Zuggattung<sup>3</sup> sind Güterzüge Richtung Bhf. Maxhütte - Haidhof



Insgesamt liegt die maßgebende Anregung in einem Frequenzbereich von 8 Hz bis 25 Hz. In diesem liegen auch typische Deckeneigenfrequenzen, welche durch die Erschütterungsimmissionen in Resonanz angeregt werden können.

Die Anregung ab 8 Hz lässt auf einen sehr weichen Baugrund schließen. Dieser weist mit größerem Abstand zur Bahnlinie eine gute Abnahme auf. Besonders die Anteile im Frequenzbereich von 16 Hz bis 20 Hz sind an den Messpunkten "in zweiter Reihe" (11G bis 14G) sehr stark abgemindert bzw. nicht mehr messbar. Von Messpunkt 01G auf Messpunkt 11G, Abstand ca. 38 m, beträgt die Abnahme hier mehr als Faktor 6.

sentliche.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Erst nach erfolgter Prognose steht die maßgebende Zuggattung zweifelsfrei fest. Je nachdem, ob die Problematik in den Erschütterungen oder im Sek.-LS zu sehen ist, erfolgt hier eine Datenreduktion auf das We-



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

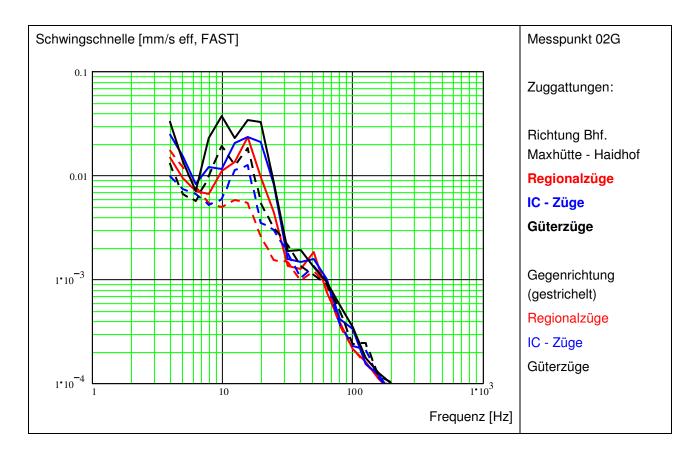
82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

#### 6.2.2 Vergleich der Zuggattungen

Maßgebender Messpunkt für die Beurteilung der geplanten Bebauung ist der Messpunkt 02G.



Maßgebend sind die Zugfahrten auf den näher gelegenen Gleisen Richtung Bhf. Maxhütte - Haidhof.

Im Vergleich zu den anderen Zuggattungen weisen die Güterzüge die breitbandigsten und maximalen Erschütterungen in beiden Fahrtrichtungen auf.

Der Unterschied in den Fahrtrichtungen ist bei den Regionalzügen, Triebwagenfahrten der Oberpfalzbahn und der DB AG, am größten. Bei 16 Hz beträgt dieser am oben dargestellten Messpunkt ca. Faktor 4.



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

#### 6.3 Prognostizierte Erschütterungen

Die Prognose wird für

- ein unterkellertes Gebäude
- in Massivbauweise (Betondecken, übliche Spannweiten, schwimmende Estriche)

druchgeführt.

Mit Deckeneigenfrequenzen zwischen 12,5 und 31,5 Hz, Estricheigenfrequenzen zwischen 40 Hz und 125 Hz und dem oben erläuterten Aufschlag von + 50% für alle Prognosewerte für die Erschütterungen für den KBFmax-Wert ergeben sich folgende KB<sub>Fmax</sub>-Werte für die Erschütterungen:

#### Maximalwerte

Maßgebender Messpunkt 02G Zuggattung Güterzüge Richtung Bhf. Maxhütte - Haidhof	Prognose KB <sub>Fmax</sub>	Anhaltswerte Ao		
		Wohngebiet	imb-Empfehlung	
Maximalwerte ungünstige Gebäudeparameter	0,36	0,2	0.15	
Maximalwerte günstige Gebäudeparameter	0,12	0,2	3,10	

Insgesamt werden die Anhaltswerte der DIN 4150/2 an den Messpunkten 01G und 02G im Maximalwertkriterium überschritten. Durch die Überschreitung des Maximalwertkriteriums wird der Beurteilungswert hier nicht maßgebend.

#### 6.4 Prognostizierter Sekundärluftschall

Mit Deckeneigenfrequenzen zwischen 12,5 und 25 Hz, Estricheigenfrequenzen zwischen 40 Hz und 125 Hz ergibt sich:

#### Mittlere Maximalwerte

Maßgebender Messpunkt 03G Zuggattung Güterzüge Richtung Regensburg	Prognose	Anhaltswerte		
		Mindestanf.	Komfortanf.	imb-Empfehlung
Mittlere Maximalwerte ungünstige Gebäudeparameter	20 dB(A)	40 dB(A)	35 dB(A)	30 dB(A)
Mittlere Maximalwerte günstige Gebäudeparameter	16 dB(A)	40 db(A)	00 dB(/1)	33 42(7)

Die Anhaltswerte nach VDI-Richtlinie und die imb-Empfehlung werden bei der obenstehend beschriebenen angesetzten Gebäudeausführung mit Abstand eingehalten.



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

#### 7 Gesamtbeurteilung und Angaben zur baulichen Ausführung

#### 7.1 Beurteilung der Prognosewerte

In den nachfolgenden Tabellen sind die Ergebnisse des jeweils maßgebenden Messpunktes dargestellt. Körperschall nach DIN 4150/2

	Gebäude- eigenschaften		Wohngebiet
Erschütterungen KB <sub>Fmax</sub>		Anhaltswerte →  Prognosewerte	0,2
	ungünstig	0,36	überschritten
	günstig	0,12	eingehalten

Die ungünstigen Gebäudeparameter stellen eine Kombination aus Estrich und Deckeneigenfrequenzen dar, die durchaus typisch für Gebäude der geplanten Größenordnungen sind. Das Maximalwertkriterium wird insgesamt an den Messpunkten 01G und 02G überschritten.

Durch die Überschreitung des Maximalwertkriteriums sind die Anhaltswerte der DIN 4150/2 an diesen Messpunkten somit nicht eingehalten. An allen anderen Messpunkten sind die Anhaltswerte der DIN 4150/2 eingehalten.

#### Sekundärluftschall nach VDI-Richtlinie 2719

	Gebäude- eigenschaften		Mindest- anforderung	Komfort- anforderung
		Anhaltswerte  → Prognosewerte	40 dB(A)	35 dB(A)
	ungünstig	20 dB(A)	eingehalten	eingehalten
	günstig	16 dB(A)	eingehalten	eingehalten

Die Anhaltswerte der VDI – Richtlinie werden im gesamten geplanten Bebauungsgebiet mit Abstand eingehalten.

#### 7.2 Prinzipielle Minderungsmaßnahmen

Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungsimmissionen sind prinzipiell an drei Stellen möglich:

- am Emissionsort (Gleis),
- am Übertragungsweg (Boden) und
- am Immissionsort (Gebäude).

Allgemein sind Maßnahmen am Emissionsort sowie am Übertragungsweg wirtschaftlich meist nicht realisierbar.

Demnach verbleiben als technisch sinnvolle und wirtschaftliche Maßnahmen nur solche an den zu schützenden Gebäuden selbst.



Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

#### 7.3 Angaben zur baulichen Ausführung

Durch die Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150/2 an den Messpunkten 01G und 02G sind beim Bau der in der nachfolgenden Abbildung hervorgehobenen Gebäude Erschütterungsschutzmaßnahmen zu berücksichtigen.





Fax 08152-999 27 82

Mühlfelder Str. 18a

82211 Herrsching

info@imb-dynamik.de

www.imb-dynamik.de

Die Überschreitungen im oben dargestellten Bereich sind nicht gravierend. Es ist zu überprüfen ob ggf. bauliche Maßnahmen ausreichen, oder ob eine elastische Gebäudelagerung zur Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150/2 erforderlich ist. Denkbar ist auch eine Kombination aus Außenwandlagerung und baulichen Maßnahmen.

Es muss mit einer geeigneten rechnerischen Modellierung überprüft werden, ob und in welcher Form sich die genannten Erschütterungsschutzmaßnahmen so ausführen lassen, dass die Anforderungen erreicht werden. Das Ergebnis ist stark von den Gebäudekonstruktionen abhängig, die momentan unseres Wissens nach noch nicht im Detail festliegen.

Evtl. sind Eingriffe in die grundlegende Ausführungsart der betroffenen Gebäude erforderlich (Unterkellerung, Fundament, Wände betreffend).

Die Auslegung der hier genannten Maßnahmen sollte individuell angepasst durch einen unabhängigen Baudynamiker erfolgen. So ist es möglich, die Maßnahmen auf die notwendigen Bereiche zu beschränken und im Fall des Einsatzes von elastischen Materialien eine sehr wirtschaftliche Lösung zu erhalten, da die Möglichkeit zur Kostenersparnis in diesem Bereich immens ist.

Die empfohlenen Maßnahmen sind Stand der Technik, in ihrer Wirksamkeit gut anpassbar, wirtschaftlich ausführbar und hinsichtlich des zu erwartenden Ergebnisses gut prognostizierbar. Für die Auslegung und den erschütterungstechnischen Nachweis bei Ausführung steht unser Ingenieurbüro Ihnen gerne zur Verfügung.

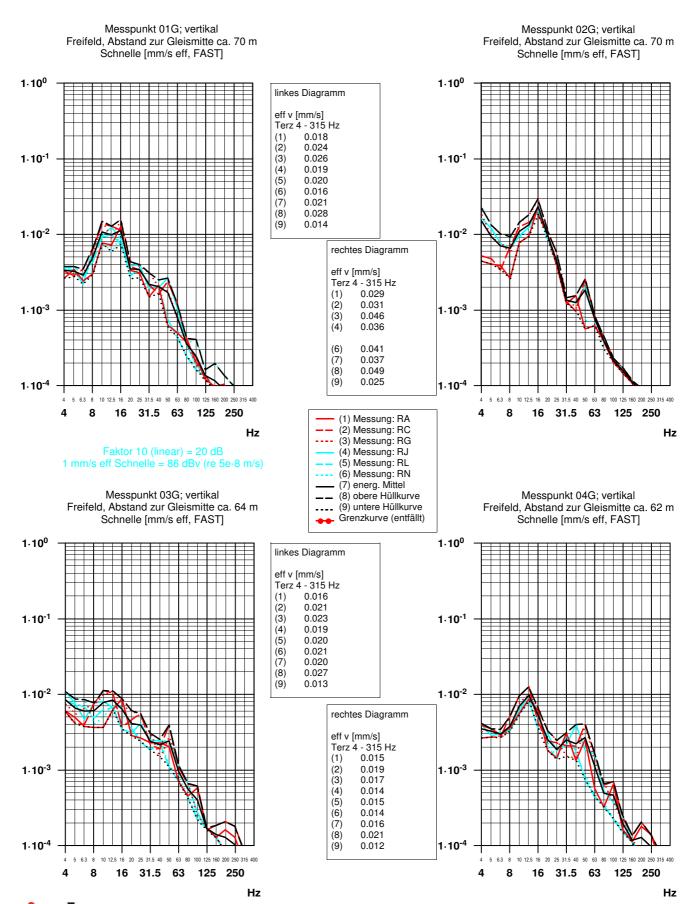
Messung, Auswertung durchgeführt und Bericht erstellt von:

Dr.-Ing. Holger Molzberger Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Honikel Messpunkt vertikal:



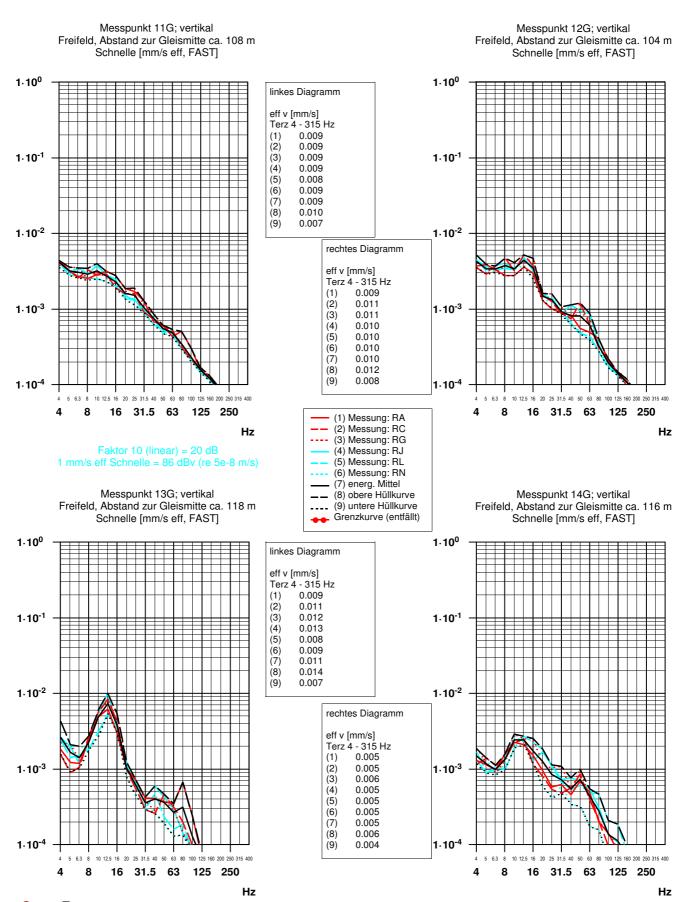




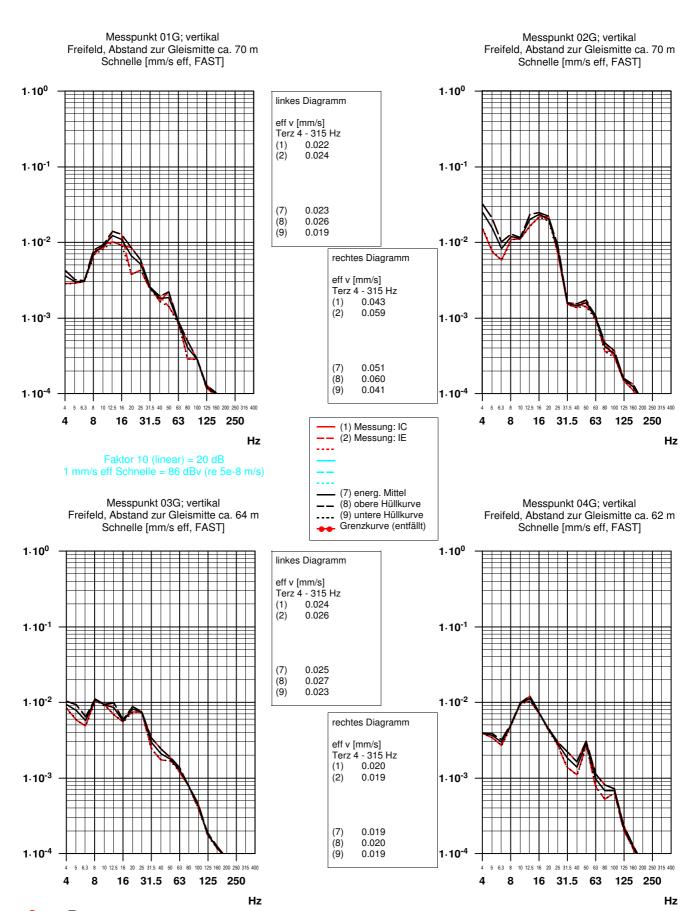




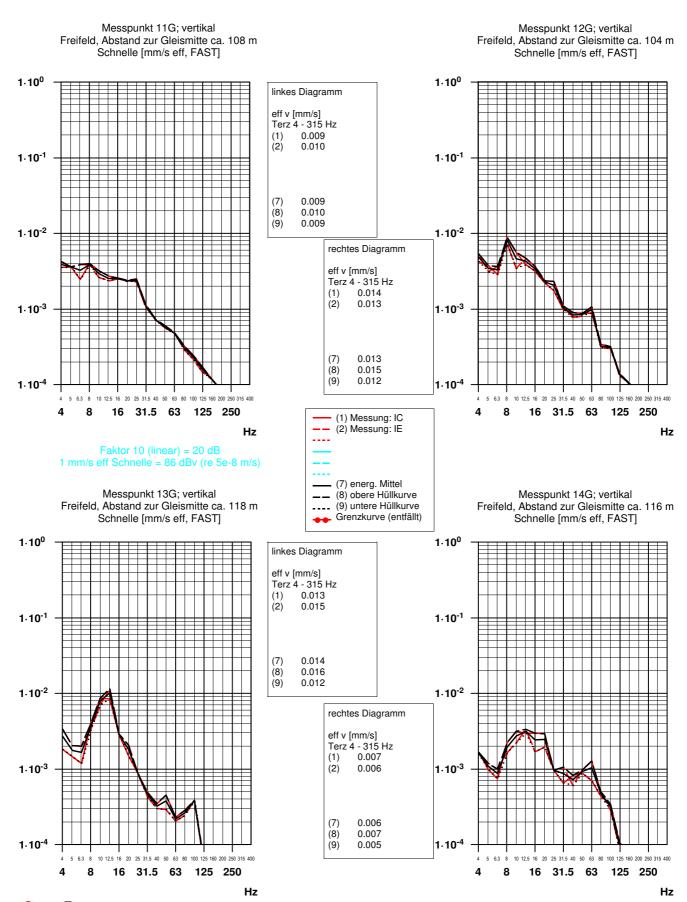
Körperschall, Regionalzüge Richtung Bhf. Maxhütte - Haidhof



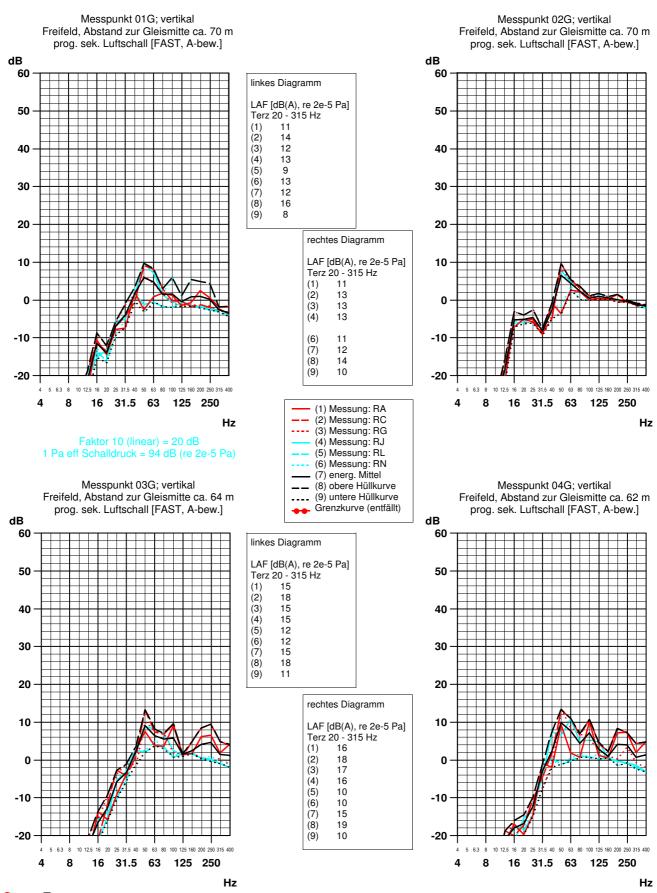


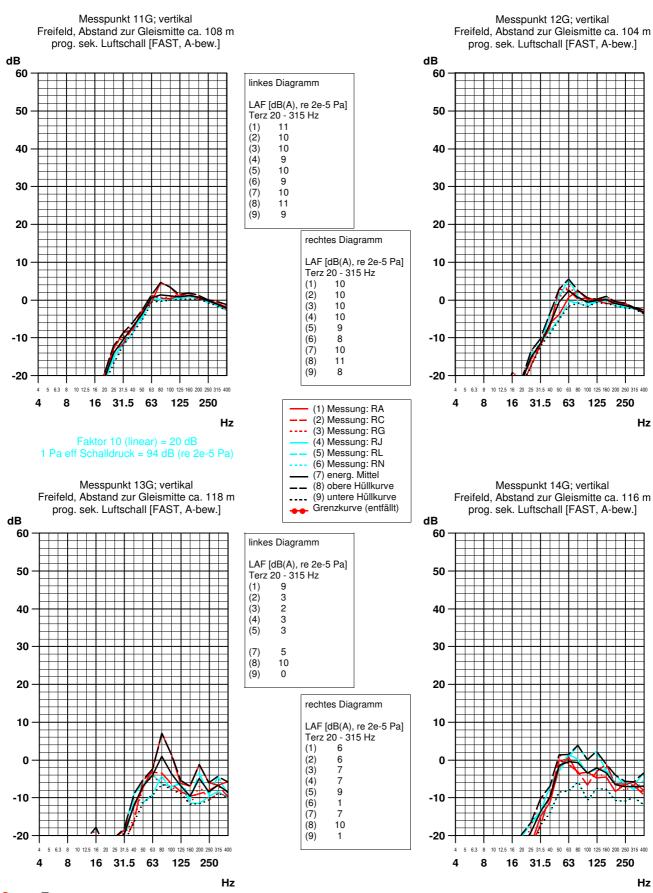


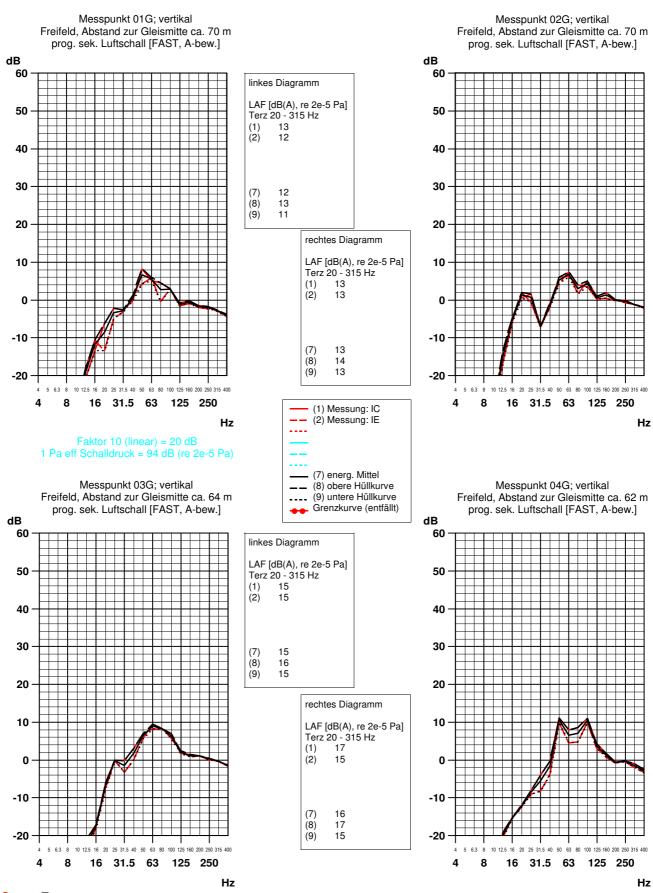


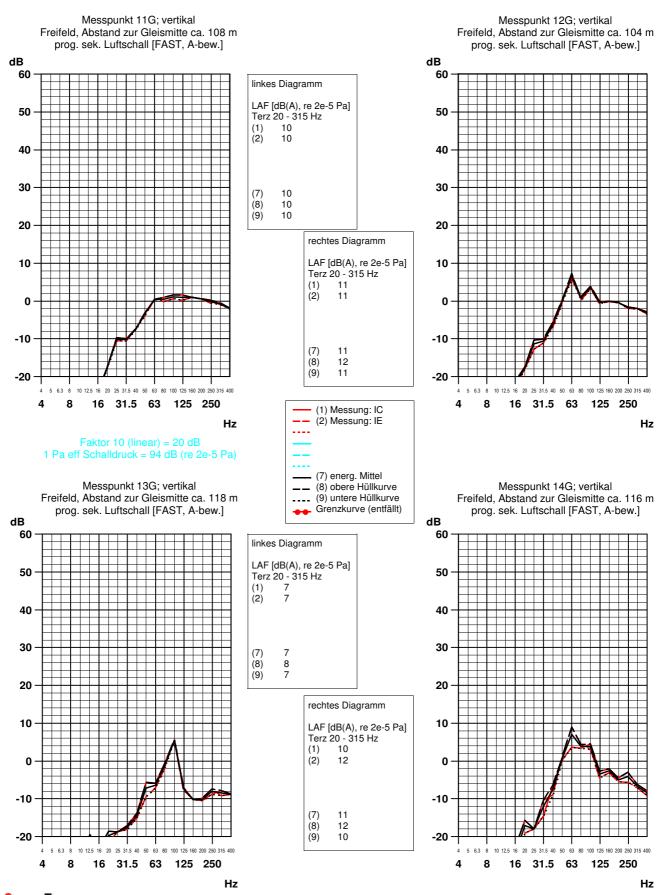


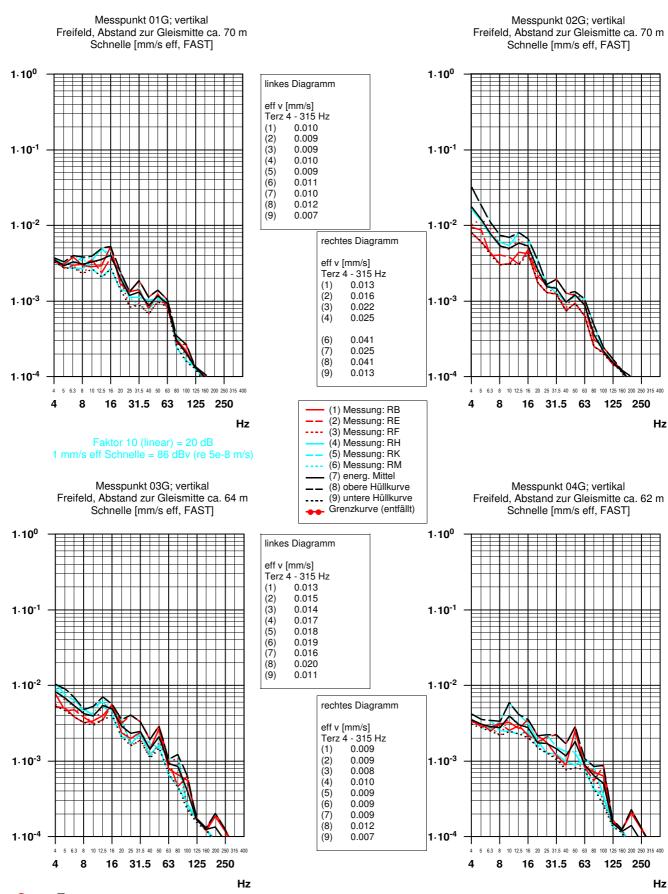




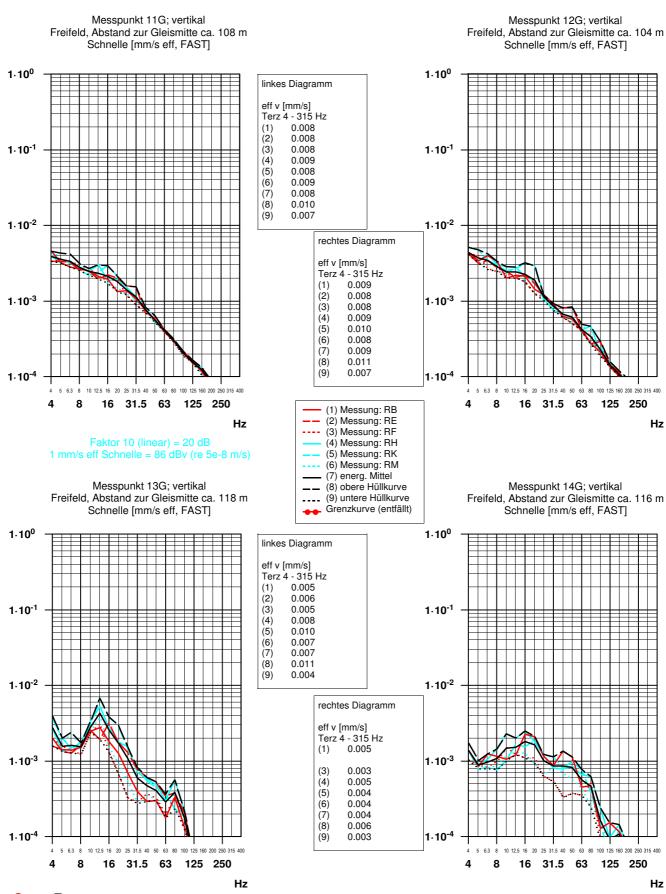




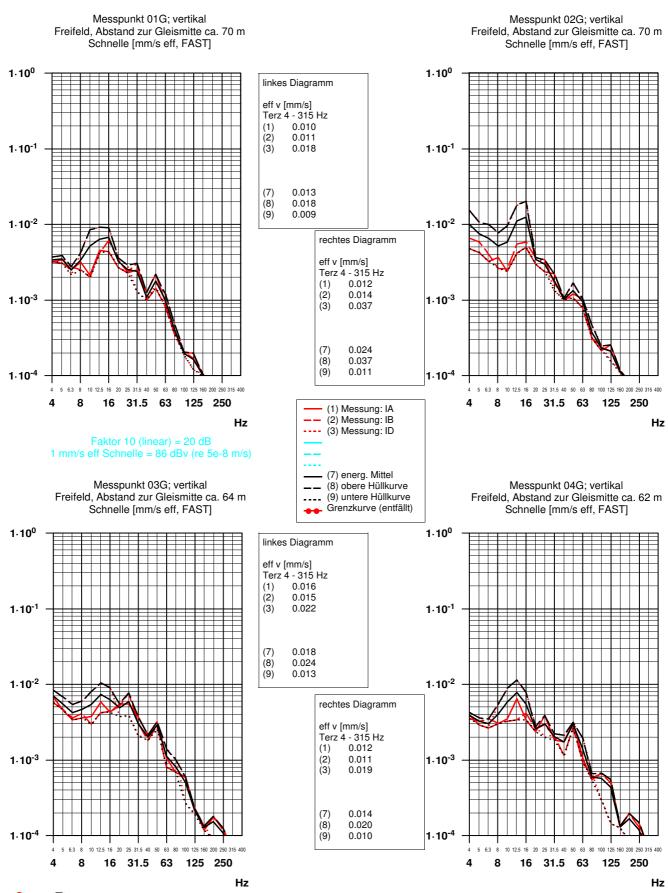




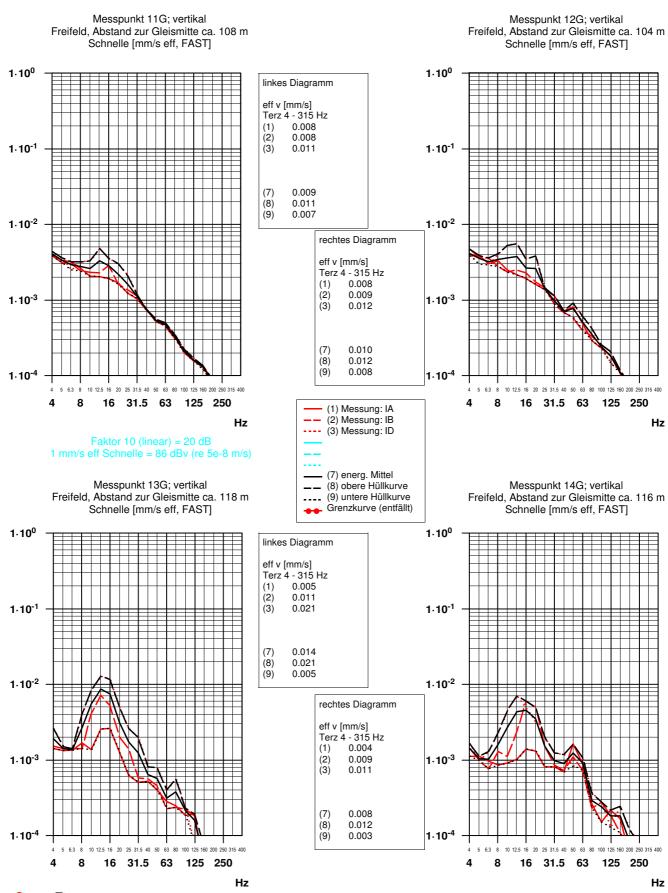




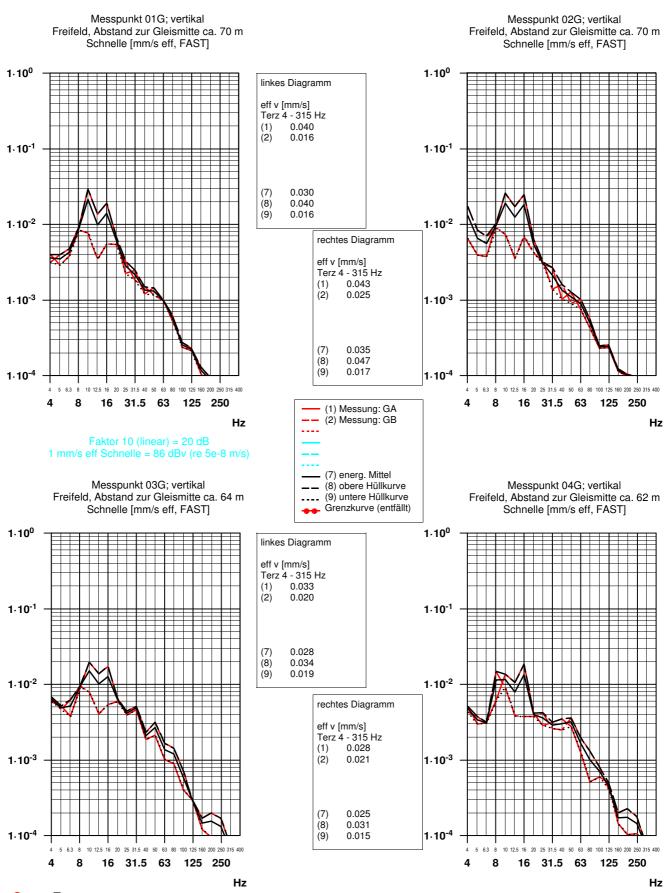




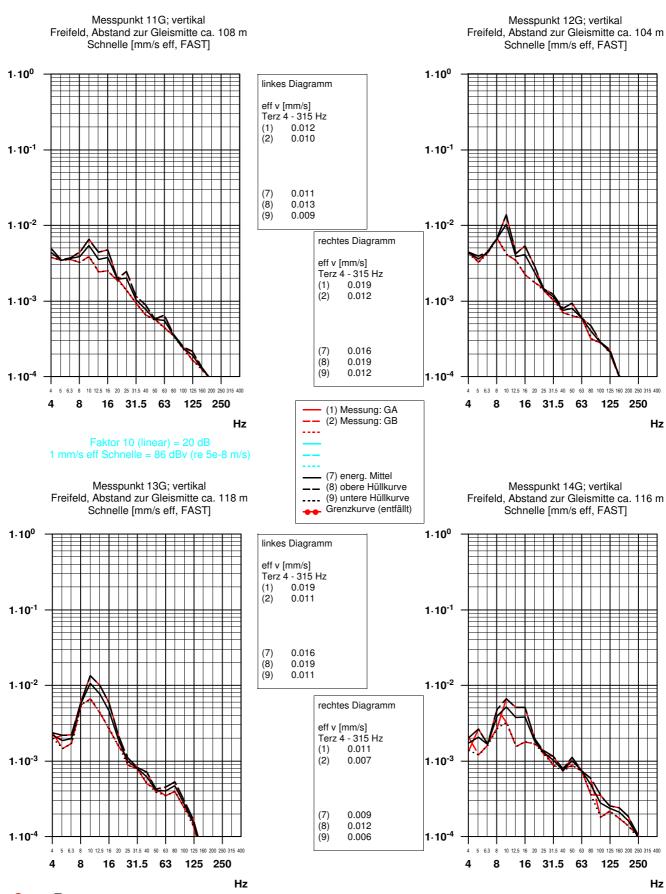






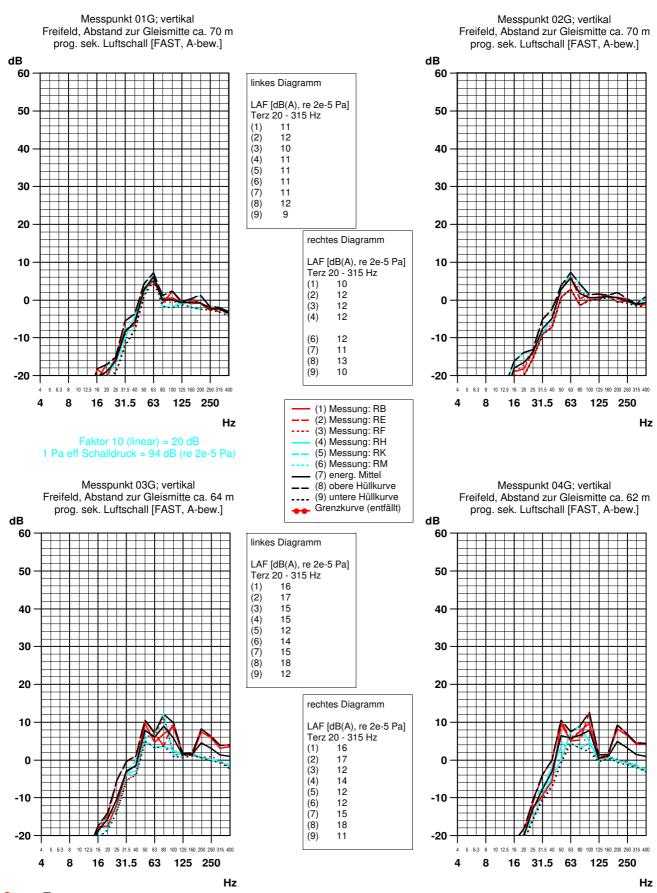




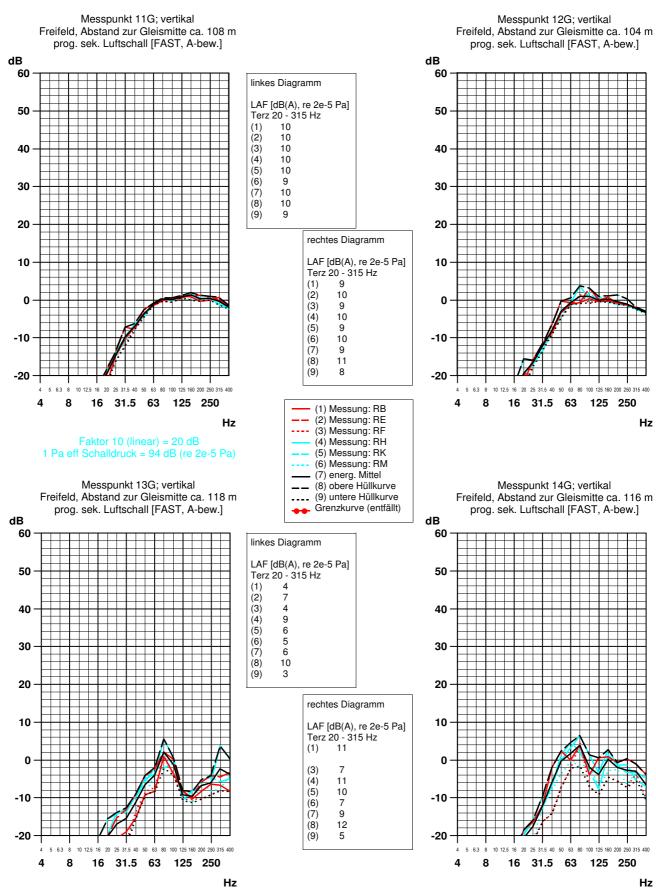




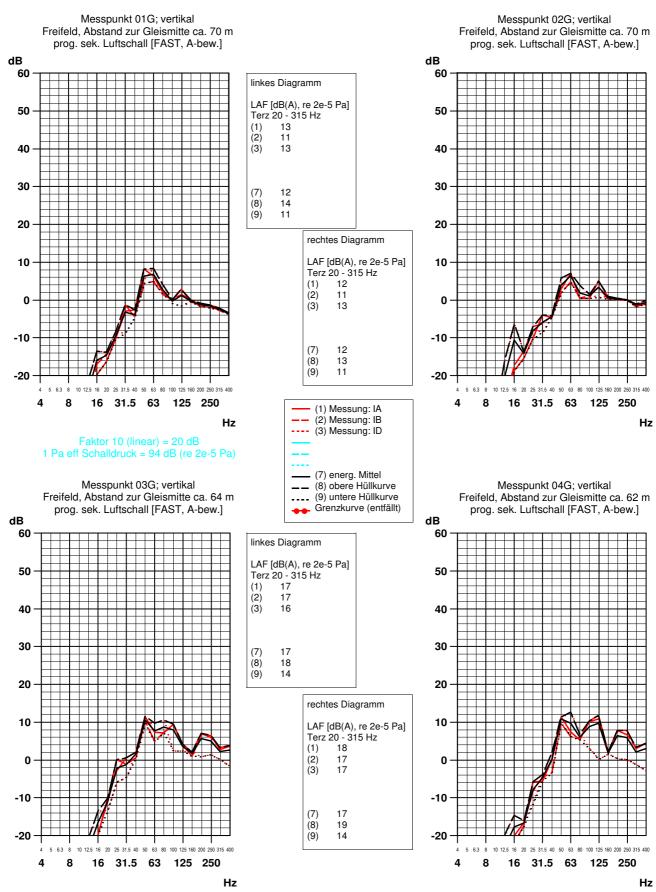
### Prognostizierter Sekundärluftschall, Regionalzüge Richtung Regensburg Triebwagen



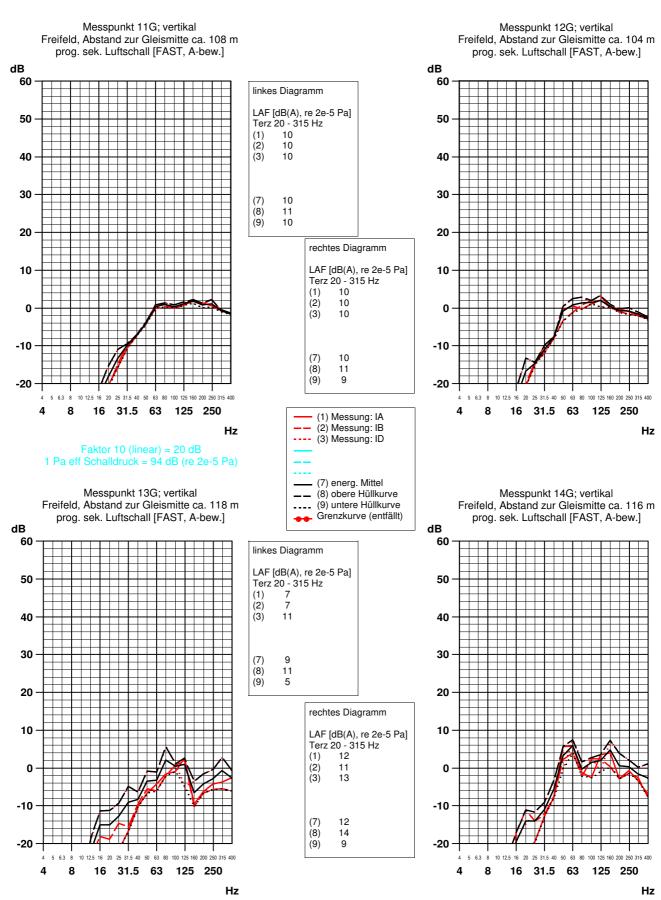
### Prognostizierter Sekundärluftschall, Regionalzüge Richtung Regensburg Triebwagen



### Prognostizierter Sekundärluftschall, IC-Züge Richtung Regensburg Lokbespannt

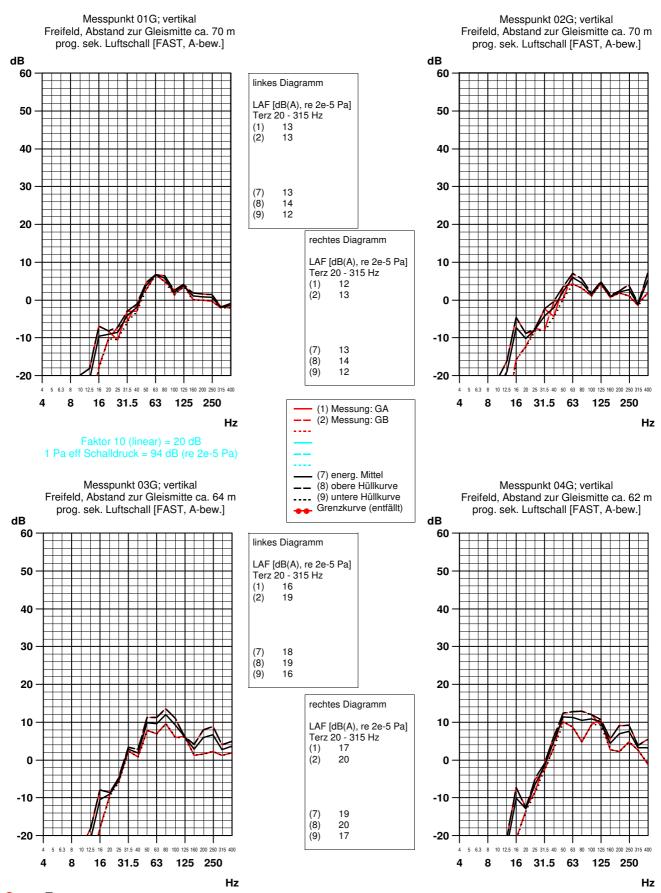


### Prognostizierter Sekundärluftschall, IC-Züge Richtung Regensburg Lokbespannt





# Prognostizierter Sekundärluftschall, Güterzüge Richtung Regensburg Lokbespannt





# Prognostizierter Sekundärluftschall, Güterzüge Richtung Regensburg Lokbespannt

