

Müller-BBM GmbH  
Niederlassung BFB Stuttgart  
Schwieberdinger Str. 62  
70435 Stuttgart

Telefon +49(711)136757 0  
Telefax +49(711)136757 9

Dipl.-Ing. Friederike Busch  
Telefon +49(711)136757 12  
Friederike.Busch@mbbm.com

20. August 2014  
M115713/01 BSF/BSF

**BV Pariser Straße 300,  
östlicher Teilbereich,  
Kaiserslautern**

**Prognose von Schwingungs- und  
Sekundärluftschallimmissionen infolge  
des oberirdischen Schienenverkehrs**

**Bericht Nr. M115713/01**

Auftraggeber:	F.K. Horn Bauunternehmung GmbH & Co. KG
Bearbeitet von:	Dipl.-Ing. Friederike Busch Timo Pietz
Berichtsumfang:	Insgesamt 50 Seiten, davon 29 Seiten Textteil, 5 Seiten Anhang A 6 Seiten Anhang B und 10 Seiten Anhang C

Zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9001  
Akkreditiertes Prüflaboratorium nach ISO/IEC 17025

Müller-BBM GmbH  
Niederlassung BFB Stuttgart  
HRB München 86143  
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:  
Joachim Bittner, Walter Grotz,  
Dr. Carl-Christian Hantschk, Stefan Schierer,  
Elmar Schröder, Norbert Suritsch

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Verwendete Unterlagen</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Bemessungsgrundlagen</b>	<b>4</b>
3.1	Deckenschwingungen	4
3.2	Sekundärer Luftschall	6
<b>4</b>	<b>Schwingungsmessungen</b>	<b>8</b>
4.1	Ablauf	8
4.2	Messpunkte	8
4.3	Messtechnik	11
4.4	Messergebnisse	12
<b>5</b>	<b>Prognoseberechnungen</b>	<b>20</b>
5.1	Prognoseverfahren	20
5.2	Prognoseergebnisse	22
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen</b>	<b>27</b>

## 1 Aufgabenstellung

Auf dem ehemaligen Grundstück der Deutschen Bahn AG in der Pariser Straße 300 in Kaiserslautern ist u.a. der Bau von Ein- und Mehrfamilienhäusern geplant. Unmittelbar an das Baugrundstück angrenzend verlaufen die Gleisanlagen der Deutschen Bahn AG. Hier verkehren sowohl Züge des öffentlichen Nah- und Fernverkehrs als auch Güterverkehr. Der minimale Abstand zwischen den geplanten Wohnhäusern und dem nächstgelegenen Gleis beträgt weniger als 20 m.

Infolge der Anregung durch den Schienenverkehr sind störende Erschütterungs- und sekundäre Luftschallimmissionen nicht ohne vorherige Überprüfung auszuschließen. Daher wurde die Müller-BBM GmbH durch die F.K. Horn Bauunternehmung GmbH & Co. KG, über die firu mbH, beauftragt, Prognoseuntersuchungen zum Erschütterungs- und Sekundärluftschalleintrag in die geplante Bebauung vorzunehmen.

## 2 Verwendete Unterlagen

- [1] VDI 2719 "Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen" vom August 1987
- [2] VDI 2057 Blatt 4.1 „Einwirkungen mechanischer Schwingungen auf den Menschen“ vom Mai 1987
- [3] Körperschall- und Erschütterungsschutz, Leitfaden für den Planer, Deutsche Bahn AG (Ausgabe: August 1996 und RIL 800.2501\_5\_Leitfaden von 2006, unveröffentlicht)
- [4] DIN 4150-2 „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ vom Juni 1999
- [5] DIN 45672-2 „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen, Auswerteverfahren“ vom September 1994
- [6] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 04.02.1997
- [7] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anweisung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26.08.1998
- [8] Rüdiger Borgmann: „Schutz vor Erschütterungen und sekundärem Luftschall an Schienenverkehrswegen“, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Schriftenreihe „Umwelt und Verkehr“, Heft 147 (2001)
- [9] G. Müller, M. Möser: „Handbuch der Technischen Akustik“, 3. Auflage, 2004
- [10] DIN 45669-1 „Messung von Schwingungsimmissionen - Teil 1: Schwingungsmesser - Anforderungen und Prüfungen“ vom September 2009

### 3 Bemessungsgrundlagen

#### 3.1 Deckenschwingungen

Nach geltenden Gesetzen, insbesondere nach § 3 BImSchG, zählen Erschütterungen und Geräusche je nach ihrer Stärke zu für den Menschen schädlichen Umwelteinwirkungen, wenn sie Gefahren, erhebliche Nachteile oder Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft, hier also für die Bewohner bzw. Nutzer des Neubaus, mit sich bringen.

Zur Beurteilung der Schädlichkeit der Immissionen aus Schienenverkehr sind in Regelwerken und Verordnungen, insbesondere der DIN 4150, Teil 2 [4] und der 24. BImSchV [6], einzuhaltende Grenzwerte angegeben. Zur Beurteilung erschütterungsbedingter Belästigungen von Personen finden darüber hinaus die VDI 2057, Blatt 4.1 [2] oder die TA Lärm [7] Anwendung.

Eine bundesweit rechtsverbindliche Klärung der Frage, wann Erschütterungsimmissionen für bauliche Anlagen und Menschen in Gebäuden als schädliche oder störende Einwirkungen anzusehen sind, existiert nicht. Im Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) wird jedoch ebenfalls auf die Normen DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ und auf die VDI 2057 „Einwirkungen mechanischer Schwingungen auf Menschen“ verwiesen. Im Streitfall ziehen Gerichte i. d. R. diese Normen zur Entscheidungsfindung heran.

Die Beurteilung nach DIN 4150-2 erfordert einen Vergleich von messtechnisch bestimmten oder anhand von Prognoseberechnungen für Fußböden ermittelten  $KB_{F\max}$ -Werten mit Schwingstärke-Anhaltswerten  $A$  aus der Norm. Die Bestimmung der  $KB_{F\max}$ -Werte erfolgt aus den Schwinggeschwindigkeiten  $v(t)$  durch:

##### 1. Frequenzbewertung

$$|H_{KB}(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (f_0/f)^2}} \quad (1)$$

mit:  $|H_{KB}(f)|$  Amplitudenfrequenzgang  
 $f_0 = 5,6\text{Hz}$  Grenzfrequenz des Hochpasses  
 $f$  Frequenz

##### 2. Berechnung gleitender Effektivwerte mit einer Zeitkonstante $\tau = 0,125\text{s}$ :

$$v_{\text{eff}}(t) = KB_{FTi} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^t e^{-\frac{t-\xi}{\tau}} v(\xi)^2 d\xi} \quad (2)$$

##### 3. Ermittlung der Maxima aus den gleitenden Effektivwerten $KB_{FTi}$ für Zeittakte mit jeweils 30 s Dauer und Bestimmung der maximalen bewerteten Schwingstärke $KB_{F\max}$ als Maximum aus allen $KB_{FTi}$ -Werten.

Sofern der Wert  $KB_{F_{\max}}$  die unteren Anhaltswerte  $A_u$  nicht überschreitet, gilt die Norm als eingehalten und erhebliche Störungen gelten als ausgeschlossen. Werden die oberen Anhaltswerte  $A_o$  überschritten, so gelten die Normanforderungen als nicht eingehalten.

Liegt  $KB_{F_{\max}}$  zwischen  $A_u$  und  $A_o$ , so ist aus dem quadratischen Mittelwert der Taktmaximalwerte  $KB_{FTi}$  der Taktmaximal-Effektivwert  $KB_{FTm}$  zu bilden und aus diesem unter Berücksichtigung des Verhältnisses der Schwingungs-Einwirkungszeit  $T_e$  zu einer Beurteilungszeit ( $T_r$ : tags von 6 bis 22 Uhr, nachts von 22 bis 6 Uhr, ggf. zusätzliche Berücksichtigung von Ruhezeiten) nach der Beziehung

$$KB_{Ftr} = KB_{Ftm} \sqrt{\frac{T_e}{T_r}} \quad (3)$$

eine Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTr}$  zu errechnen und einem zulässigen Wert  $A_r$  gegenüberzustellen. Die Anhaltswerte  $A_u$ ,  $A_o$  und  $A_r$  für die Tagzeit (6 bis 22 Uhr) und die Nachtzeit (22 bis 6 Uhr) sind in der Tabelle 1 der Norm wie folgt aufgelistet:

Tabelle 1. Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen (DIN 4150-2, Tabelle 1) [4].

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		$A_u$	$A_o$	$A_r$	$A_u$	$A_o$	$A_r$
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und ggf. ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber u. Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- u. Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vgl. Industriegebiete BauNVO, § 9).	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vgl. Gewerbegebiete BauNVO, § 8).	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 Bau-NVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5).	0,2	5	0,1	0,15	0,3 <sup>*1</sup>	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vgl. reines Wohngebiet Bau-NVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2).	0,15	3	0,07	0,1	0,2 <sup>*2</sup>	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 <sup>*2</sup>	0,05

\*1 für Schienenverkehr gilt für seltene Überschreitungen nachts  $A_o = 0,6$

\*2 für unterirdischen Schienenverkehr gilt nachts  $A_o = 0,3$

Im vorliegenden Fall wurde das Plangebiet als Mischgebiet ausgewiesen, so dass als Mindestanforderung die Anhaltswerte der DIN 4150-2, Tabelle 1, Zeile 3, für „Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vgl. Kerngebiete Bau-NVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5)“ angesetzt wird. Ist jedoch ein erhöhter Wohnkomfort vom Bauträger gewünscht, sollte die Beurteilung nach Zeile 4, für „Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vgl. reines Wohngebiet Bau-NVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2)“, erfolgen.

### 3.2 Sekundärer Luftschall

Zur Beurteilung von sekundären Luftschallpegeln in Innenräumen infolge der Anregung aus umliegendem Schienenverkehr wird die 24. BImSchV [6] herangezogen. Danach können für den Beurteilungspegel (Mittelungspegel über die Beurteilungszeit, tags 16 h, nachts 8 h) folgende Anhaltswerte abgeleitet werden:

Schlafräume:  $L_m = 30 \text{ dB(A)}$   
 Wohnräume (tags):  $L_m = 40 \text{ dB(A)}$   
 Büros:  $L_m = 45 \text{ dB(A)}$

Darüber hinaus wird zur Beurteilung von Sekundärluftschallpegeln häufig auch die Richtlinie VDI 2719 „Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen“ [1] herangezogen. In der Richtlinie werden, abhängig von der Raumnutzung, Anhaltswerte für Innenschallpegel genannt, auf deren Grundlage das notwendige Schalldämm-Maß für die Fenster errechnet werden kann. Geht man davon aus, dass der von den Raumbegrenzungsflächen abgestrahlte Sekundärluftschall nicht lauter sein soll als der von außen, durch die Fenster eindringende direkte Luftschall, so kann man die Richtwerte aus der Tabelle 6 der VDI 2719 ansetzen.

Tabelle 2. Richtwerte für Innenschallpegel nach VDI 2719 [1].

Raumart	A-bewertet	
	Mittelungspegel $L_m$ in dB(A)	mittl. Maximalpegel $L_{pA,\Sigma}$ in dB(A)
<b>1. Schlafräume nachts</b> (in der lautesten Nachtstunde zwischen 22.00 - 06.00 Uhr)		
1.1 in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten	25 bis 30	35 bis 40
1.2 in allen übrigen Gebieten	30 bis 35	40 bis 45
<b>2. Wohnräume tags</b>		
2.1 in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten	30 bis 35	40 bis 45
2.2 in allen übrigen Gebieten	35 bis 40	45 bis 50
<b>3. Kommunikations- u. Arbeitsräume:</b>		
3.1 Unterrichtsräume, ruhebedürftige Einzelbüros, wissenschaftliche Arbeitsräume, Bibliotheken, Konferenz- und Vortragsräume, Arztpraxen, Operationsräume, Aulen, Kirchen	30 bis 40	40 – 50
3.2 Büros für mehrere Personen	35 bis 45	45 bis 55
3.3 Großraumbüros, Gaststätten, Schalterräume, Läden	40 bis 50	50 bis 60

Es ist zu beachten, dass die als Mindestanforderung zu bewertenden Obergrenzen der angegebenen Werte häufig als zu laut empfunden werden. Daher sollte für einen Neubau die Einhaltung der unteren Grenzen angestrebt werden. Zu berücksichtigen ist darüber hinaus, dass die VDI 2719 [1] primären Luftschall behandelt, der wie bereits beschrieben, direkt von außen über die Fenster eindringt, während der von schwingenden Raumbegrenzungsflächen ausgehende sekundäre Luftschall i. d. R. ein anderes, tieferfrequentes Spektrum beinhaltet. In der TA Lärm [7] werden unabhängig von der Lage und Nutzung folgende Immissionsrichtwerte für Innenräume genannt:

Mittelungspegel: tags:  $L_m = 35 \text{ dB(A)}$   
 nachts:  $L_m = 25 \text{ dB(A)}$

Die angegebenen Werte sind als Mittelungspegel  $L_m$  zu verstehen. Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen ( $L_{\max}$ ) dürfen die vorgenannten Immissionsrichtwerte um nicht mehr als 10 dB(A) überschreiten. Damit sind die Forderungen der TA Lärm deutlich strenger einzuschätzen als die Anforderungen der VDI 2719 und der 24. BImSchV. Streng genommen gelten diese Richtwerte jedoch nicht für die Anregung aus Schienenverkehr sondern hauptsächlich für Sekundärluftschallimmissionen infolge der Anregung aus gewerblichen Anlagen. Nach Auffassung des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz [8] und des Umweltbundesamtes Berlin kann die TA Lärm jedoch ohne Interpretationsschwierigkeiten für die Beurteilung des sekundären Luftschalls an Schienenverkehrswegen angewendet werden.

Die Deutsche Bahn AG lässt zur Beurteilung der Sekundärluftschallimmissionen dagegen ausschließlich die Vorgaben der 24. BImSchV zu, siehe Unterlage [6]. In dieser Verordnung bleiben jedoch Einzelereignisse unberücksichtigt. Lediglich über den Tag- bzw. Nachtzeitraum gemittelte Pegel, bezogen auf die Gesamtbeurteilungsdauer, werden bewertet. Für eine Wohn- bzw. Schlafraumnutzung wird demgegenüber dringend empfohlen, zumindest gemittelte Pegel von Einzelereignissen, unabhängig der Häufigkeit dieser Ereignisse, in die Beurteilung einzubeziehen. Aufgrund der geplanten höherwertigen Wohn- bzw. Schlafraumnutzung wird empfohlen, für das Bauvorhaben folgende Obergrenzen nach TA Lärm für den Schalldruckpegel aus sekundärem Luftschall anzusetzen:

Tabelle 3. Beurteilungsrichtwerte für den sekundären Luftschall.

	$L_m$ [dB(A)]	$L_{pA,\Sigma}$ [dB(A)]	$L_{AF,\max}$ [dB(A)]
tags	35	45	45
nachts	25	35	40

## 4 Schwingungsmessungen

### 4.1 Ablauf

Die Schwingungsmessungen wurden am Mittwoch, dem 25.06.2014, in der Zeit zwischen 16:00 Uhr und 21:45 Uhr durchgeführt. Den Vorgaben der DIN 4150 und DIN 45669 folgend wurden vertikale und horizontale Schwinggeschwindigkeiten erfasst. Insgesamt wurden 42 Einzelmessungen über eine Dauer von bis zu 15 min aufgezeichnet. Jede dieser Messungen erfasste bis zu drei Zugvorbeifahrten sowohl des Güter-, Fern- (ICE, TGV, IC) und Nahverkehrs (RB, S-Bahn). Es wurde darauf geachtet, den vollständigen Schwingungsverlauf, vom Anschwellen der Amplituden bei der Fahrzeugannäherung bis zum Abklingen nach der Überfahrt, an allen neun Messpunkten zu registrieren. Im Zuge der Messdatenaufbereitung wurden die Einzelereignisse aus den Messungen, die teilweise mehrere Zugvorbeifahrten umfassten, ermittelt und separat abgespeichert. Für die weitere Auswertung wurden insgesamt 44 Einzelaufzeichnungen wie folgt verwendet.

- 8 Güterzüge in Richtung Kaiserslautern
- 6 Güterzüge aus Kaiserslautern kommend
- 1 ICE in Richtung Kaiserslautern
- 2 TGV bzw. ICE aus Kaiserslautern kommend
- 3 IC aus Kaiserslautern kommend
- 3 Regionalbahnen in Richtung Kaiserslautern
- 2 Regionalbahnen aus Kaiserslautern kommend
- 10 S-Bahnen in Richtung Kaiserslautern
- 9 S-Bahnen aus Kaiserslautern kommend

### 4.2 Messpunkte

Zur Abschätzung der Schwingungsimmissionen in die geplanten Gebäude wurden die Schwinggeschwindigkeiten im Baugrund mittels neun auf Messpfählen installierten Seismometern erfasst. Die Messpfähle und Sensoren entsprechen dabei den Vorgaben der DIN 45669-1 [10].

Die Tabelle 4 und Abbildung 1 beinhalten Informationen über die Lage der Messpunkte auf dem Baugrundstück und zu den Bahngleisen. Die Abbildung 2 zeigt einen Schwinggeschwindigkeitssensor auf einem Messpfahl (MP3), die Abbildung 3 den Messpunkt MP9. Im Anhang A sind die Standorte der Sensoren dokumentiert.

Tabelle 4. Lage der Messpunkte.

Messpunkt	Messrichtung	Lage auf dem Grundstück	ungefähre Entfernung zur Grundstücksgrenze
1	z x y	Achse 1 – Schurf 1	~15 m
2	z	Achse 1 – Schurf 2	~75 m
3	z x y	Achse 1 – Schurf 3	~115 m
4	z x y	Achse 2 – Schurf 1	~10m
5	z	Achse 2 – Schurf 2	~30m
6	z x y	Achse 2 – Schurf 3	~60m
7	z	Achse 2 – Schurf 4	~90m
8	z x y	Achse 2 – Schurf 5	~135m
9	z x y	Achse 3 – Schurf 1	~15m

z = vertikal, x = horizontal, längs der Messachse, y = horizontal, quer zur Messachse

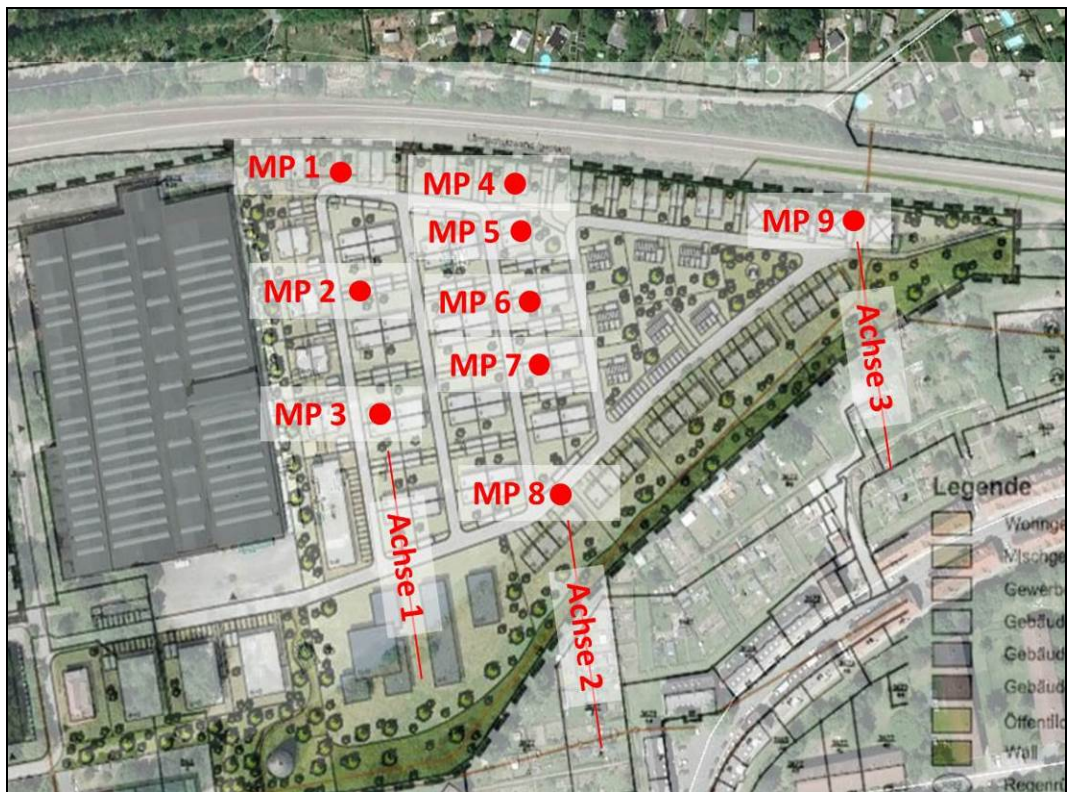


Abbildung 1. Lage der Messpunkte und –achsen auf dem Baufeld.



Abbildung 2. Messpunkt 3 (Achse 1) auf dem Messpfahl in Schürfe 3 - Blick in Richtung Bahngleise.



Abbildung 3. Messpunkt 9 (Achse 3) auf dem Messpfahl in Schürfe 1 – Blick in Richtung Messachsen 1 und 2 entlang der Bahngleise.

### 4.3 Messtechnik

Tabelle 5. Verwendetes Messequipment und Auswertesoftware.

Beschreibung	Hersteller	Typ	Seriennummer	Messpunkt
Triaxialer Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer	Lennartz electronic	Le3D DIN	DIN B067	1
			DIN A038	2
			DIN A049	3
			DIN B072	4
			DIN B066	5
			DIN B071	6
			DIN B065	7
			DIN A058	8
			DIN A056	9
Mehrkanalmesssystem für Vibrationsmessungen bestehend aus: Controller (MKII12-7927) Messdateneingangskarte Messkarteneingangsmodu le	MECALC / Müller-BBM VAS	PAK Mobile MKII		---
		PQ12	0109M6186	
		SC42	0609M7409	
		ICP429	0909M8025	
		ICP429	0610M9747	
		ICP429	0610M9750	
		ICP429	0610M9844	
		ICP429	0610M9762	
		ICP429	0610M9763	
Messsoftware	Müller-BBM VAS	PAK 5.7		---
Auswertesoftware	National Instruments	DIAdem 12.0		---

Die für die Schwingungsmessungen in Verbindung mit der Messdatenerfassung und der PAK Auswertesoftware eingesetzten Geräte entsprechen den Vorgaben für Schwingungsmesser nach DIN 45669 [10]. Entsprechend der zulässigen Abweichungen der Schwingungsmessgeräte können bei der Ermittlung von Schwingungsgrößen messtechnisch bedingte Unsicherheiten von bis zu 15 % auftreten.

Die Messapparatur wurde mit folgenden Einstellungen betrieben:

- Abtastrate: 1.024 Hz
- Messkanalanzahl: 21 Kanäle
- Auflösung: 16 bit

Durch die gewählte Abtastrate und die eingesetzten Schwingungssensoren wird eine Registrierung der Schwingungssignale im Frequenzbereich von ca. 2 Hz bis mindestens 315 Hz gewährleistet.

#### 4.4 Messergebnisse

Die aufgezeichneten Zeitverläufe der Schwinggeschwindigkeit wurden getrennt nach Fahrrichtung aufbereitet. Exemplarisch beinhalten die nachfolgenden Abbildungen für je eine Einzelmessung der neun Szenarien

- Güterzüge in Richtung Kaiserslautern,
- Güterzüge aus Kaiserslautern,
- ICE in Richtung Kaiserslautern,
- TGV bzw. ICE aus Kaiserslautern,
- IC aus Kaiserslautern kommend,
- Regionalbahnen in Richtung Kaiserslautern,
- Regionalbahnen aus Kaiserslautern,
- S-Bahnen in Richtung Kaiserslautern,
- S-Bahnen aus Kaiserslautern kommend

und für einen ausgewählten Messpunkt die aufgezeichneten Schwingungsgrößen im Zeit- und Frequenzbereich.

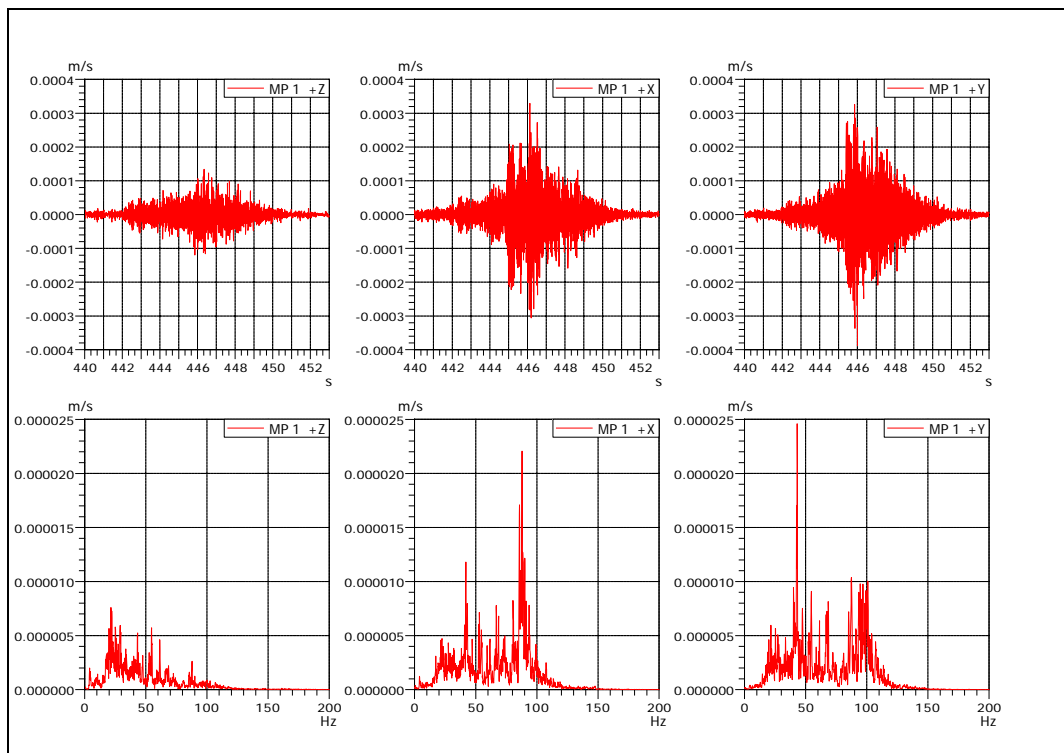


Abbildung 4. Vorbeifahrt eines Güterzuges in Rtg. Kaiserslautern – Messung M20 – MP1 MP1z,x,y (von links nach rechts), oben Zeitverläufe der Schwinggeschwindigkeit, unten: zugehörige Schmalbandspektren.

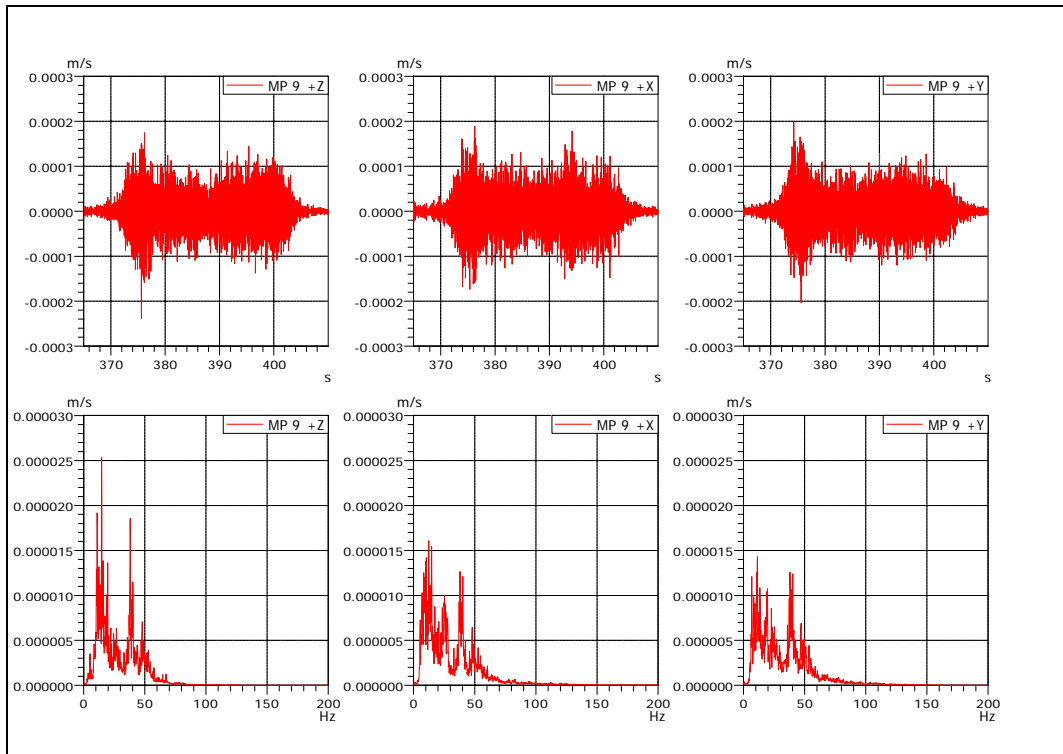


Abbildung 5. Vorbeifahrt eines Güterzuges aus Kaiserslautern – Messung M45 – MP9 MP9MP1z,x,y (von links nach rechts), oben Zeitverläufe der Schwingungsschnelle, unten: zugehörige Schmalbandspektren.

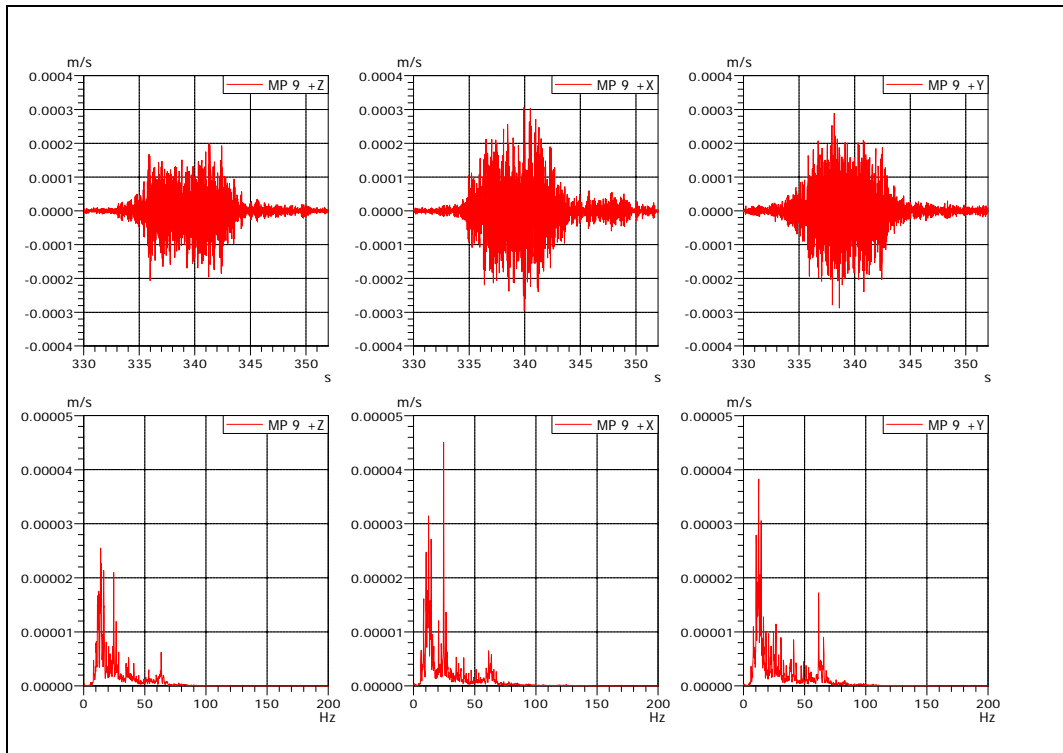


Abbildung 6. Vorbeifahrt eines TGVs in Rtg. Kaiserslautern – Messung M29 – MP9 MP9z,x,y (von links nach rechts), oben Zeitverläufe der Schwingungsschnelle, unten: zugehörige Schmalbandspektren.

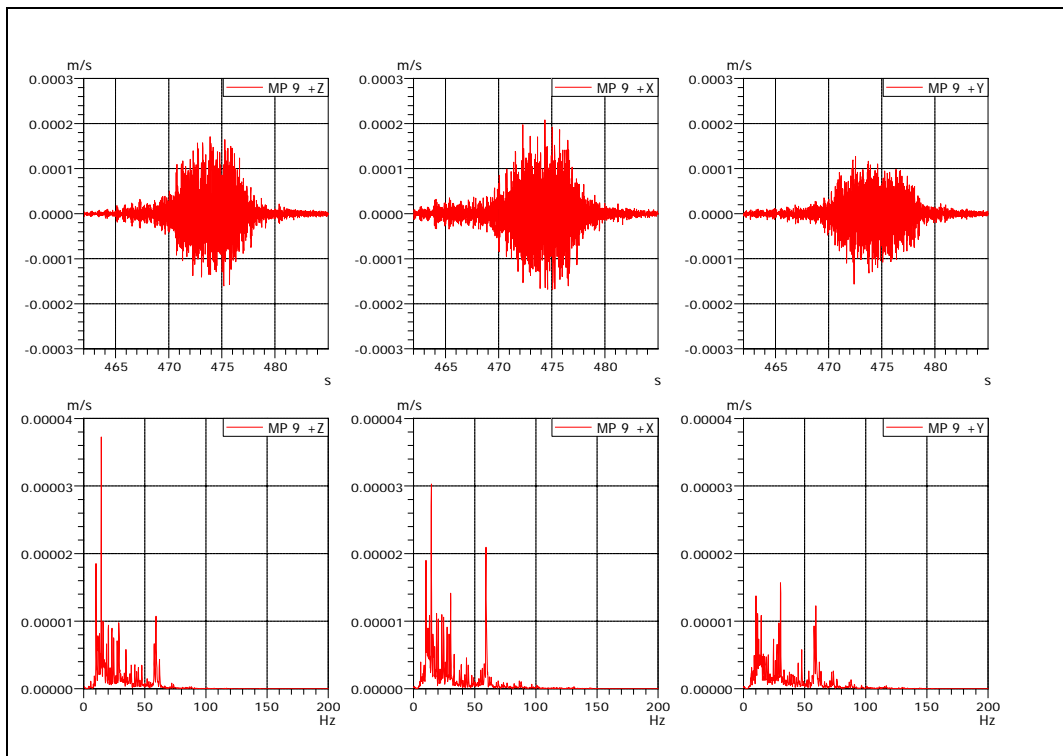


Abbildung 7. Vorbeifahrt eines ICEs aus Kaiserslautern – Messung M36 – MP9  
MP9z,x,y (von links nach rechts), oben Zeitverläufe der Schwingschnelle, unten: zugehörige  
Schmalbandspektren.

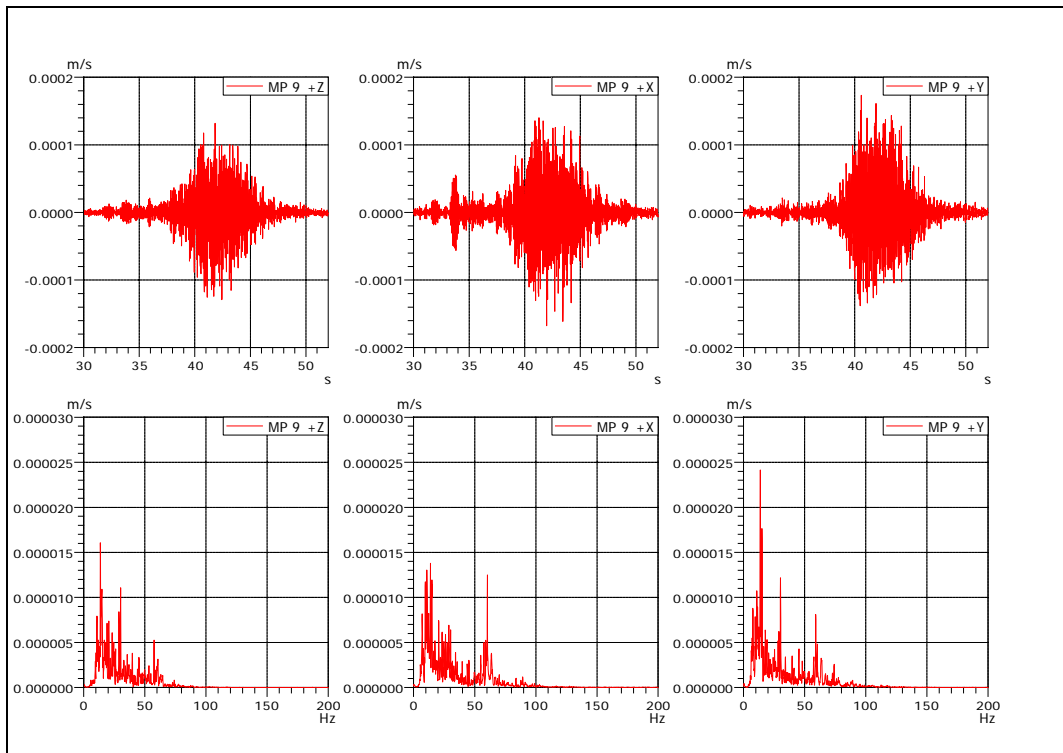


Abbildung 8. Vorbeifahrt eines ICs aus Kaiserslautern – Messung M29 – MP9  
MP9z,x,y (von links nach rechts), oben Zeitverläufe der Schwingschnelle, unten: zugehörige  
Schmalbandspektren.

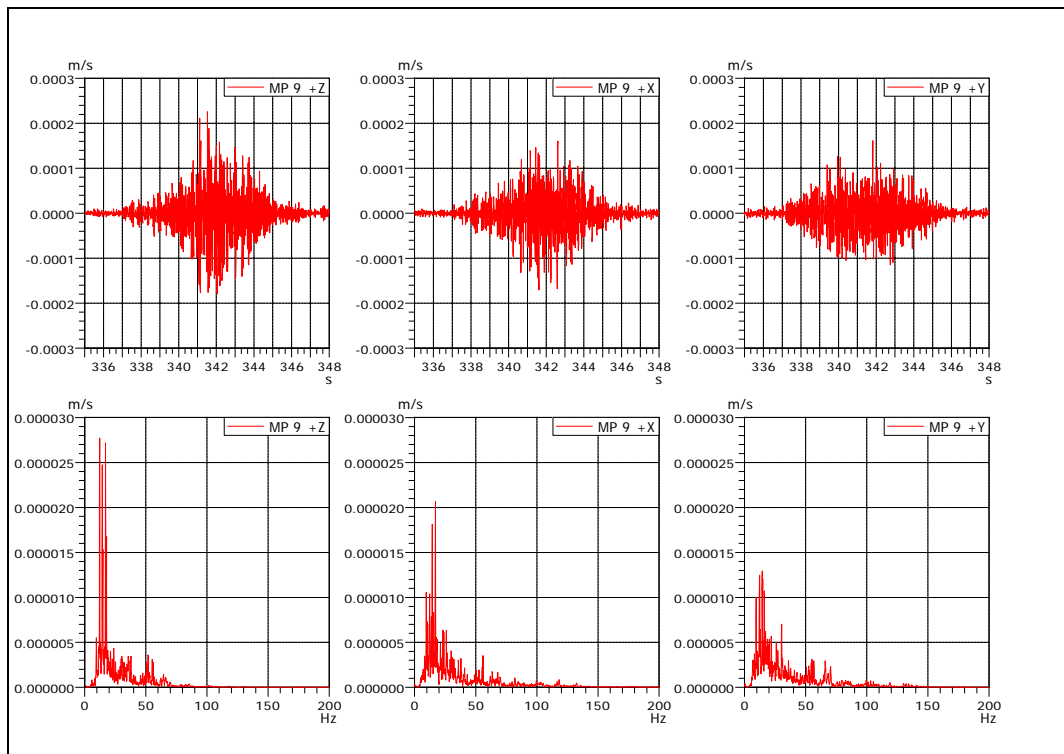


Abbildung 9. Vorbeifahrt einer Regionalbahn in Rtg. Kaiserslautern – Messung M19 – MP9 MP9z,x,y (von links nach rechts), oben Zeitverläufe der Schwingungsschnelle, unten: zugehörige Schmalbandspektren.

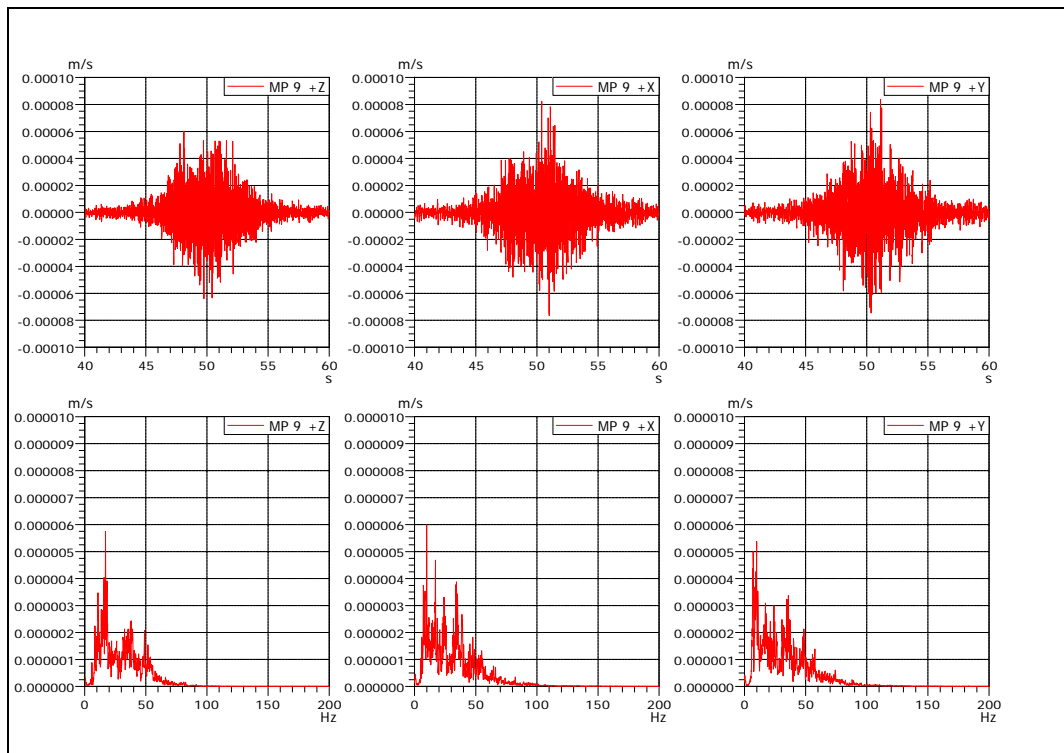


Abbildung 10. Vorbeifahrt einer Regionalbahn aus Kaiserslautern – Messung M39 – MP9 MP9z,x,y (von links nach rechts), oben Zeitverläufe der Schwingungsschnelle, unten: zugehörige Schmalbandspektren.

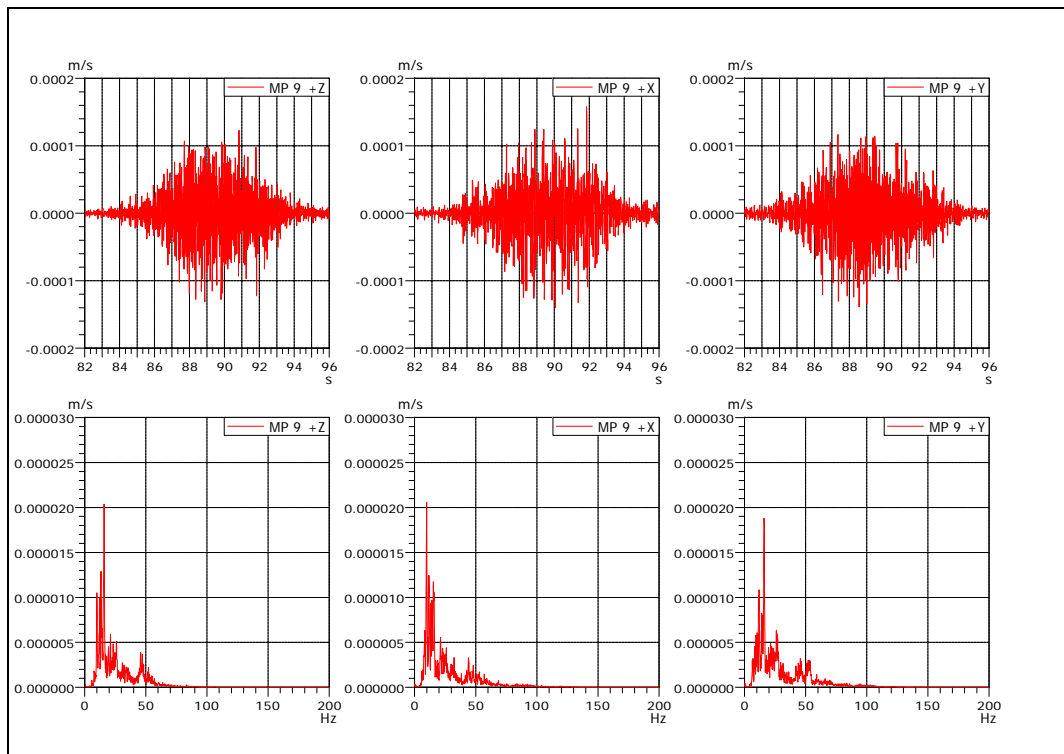


Abbildung 11. Vorbeifahrt einer SBahn in Rtg. Kaiserslautern – Messung M32– MP9 MP9z,x,y (von links nach rechts), oben Zeitverläufe der Schwingungsschnelle, unten: zugehörige Schmalbandspektren.

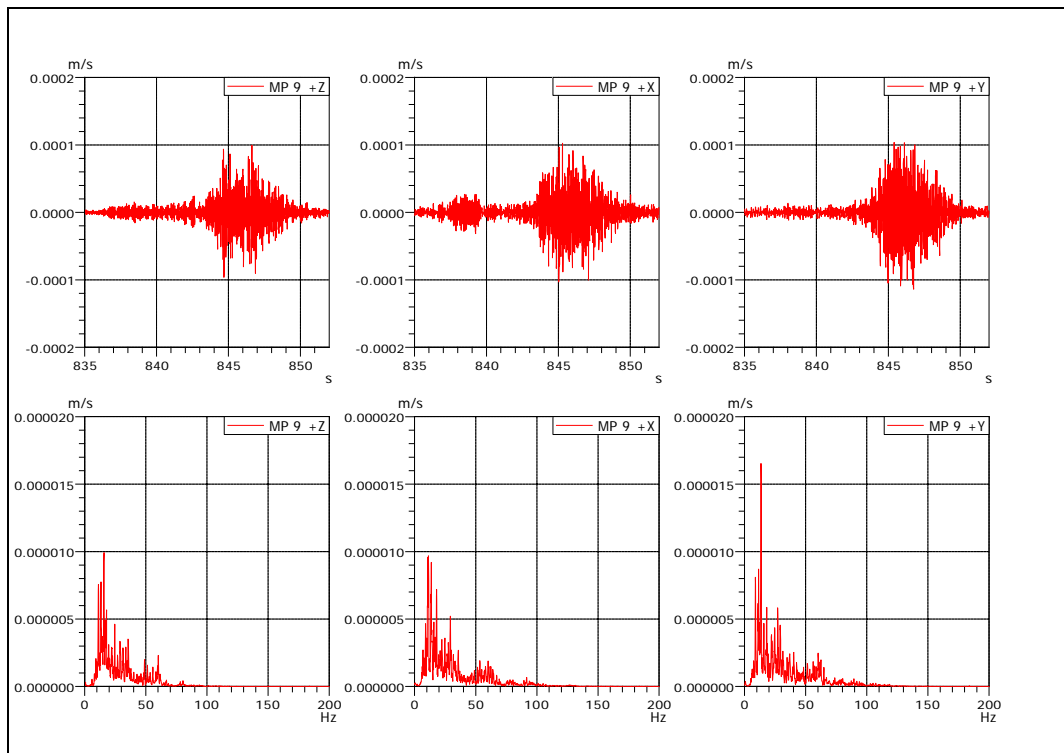


Abbildung 12. Vorbeifahrt einer SBahn in Rtg. Kaiserslautern – Messung M11– MP9 MP9z,x,y (von links nach rechts), oben Zeitverläufe der Schwingungsschnelle, unten: zugehörige Schmalbandspektren.

In der weiteren Auswertung wurden für jede Einzelmessung und jeden Messpunkt die „fast“-bewerteten Peak-Hold-Spektren im Terzfrequenzbereich berechnet. Die folgenden Grafiken zeigen für die 44 Einzelmessungen der Bahnfahrten getrennt nach den neun untersuchten Szenarien eine Gegenüberstellung der so berechneten Terzspektren der Schwingsschnelle für Messpunkt 9 (Abbildung 13 bis Abbildung 15).

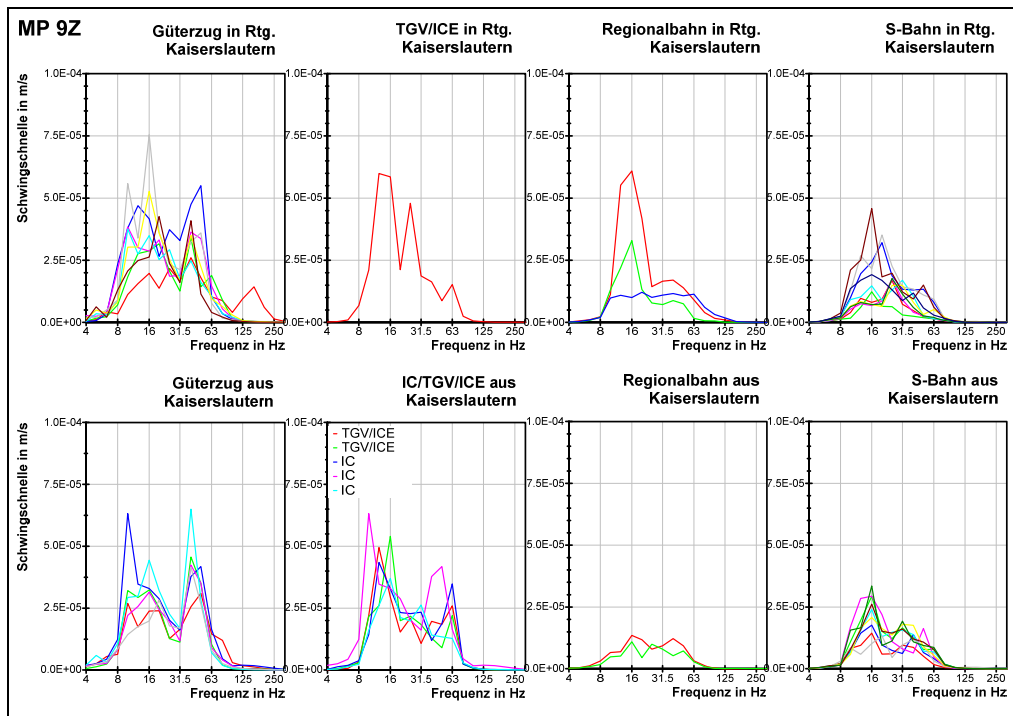


Abbildung 13. Terzspektren für alle Zugvorbeifahrten, Messpunkt MP9z.

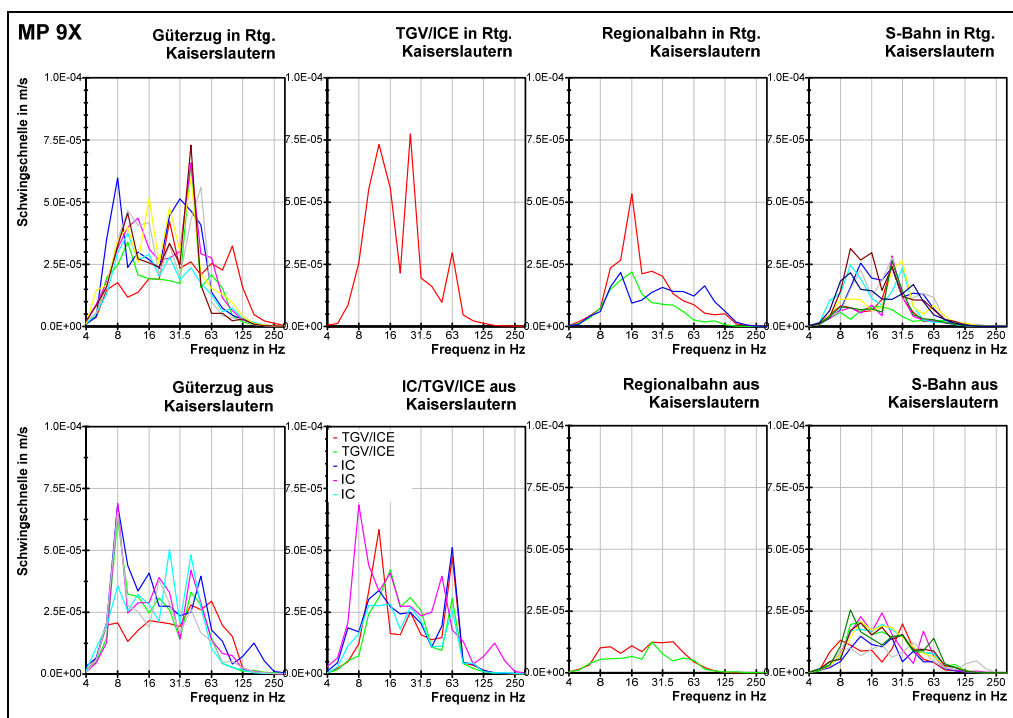


Abbildung 14. Terzspektren für alle Zugvorbeifahrten, Messpunkt MP9x.

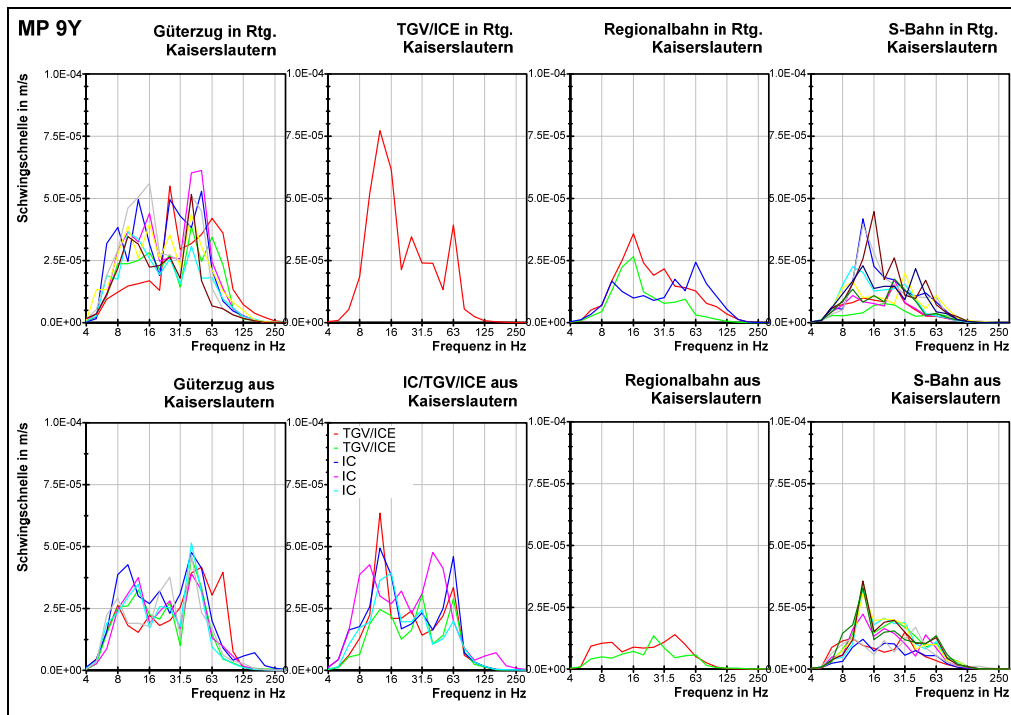


Abbildung 15. Terzspektren für alle Zugvorbeifahrten, Messpunkt MP9y.

Aus den Messergebnissen wird folgendes deutlich:

- Die Anregungscharakteristik ist für die verschiedenen Zugtypen sehr unterschiedlich. Die höchsten Anregungen durch die Züge erfolgen in einem Frequenzbereich zwischen 8 Hz und 63 Hz. Somit werden sowohl höherfrequente Bereiche, die für den abgestrahlten sekundären Luftschall in den geplanten Bauwerken maßgebend sind, als auch niederfrequente Bereiche, die zu spürbaren Schwingungen auf den Geschossdecken führen können, angeregt.
- Einzelne erhöhte Terzspektren, wie sie z.B. am Messpunkt MP8 (siehe Abbildung 16, Entfernung zu den Bahngleisen ca. 150 m) durch eine ICE-Vorbeifahrt in Richtung Kaiserslautern auftreten, werden vermutlich durch eine Störstelle am Gleis im Bereich MP9 (z.B. eine Weiche) hervorgerufen. Eine Klärung vor Ort war nicht möglich, da sonst der Gleisbereich hätte betreten werden müssen.
- Die horizontale Schwingungsanregung liegt mindestens in der gleichen Größenordnung wie die vertikale Anregung. Teilweise fallen die Pegel sogar höher aus, (siehe x-Richtung für die Vorbeifahrt ICE in Richtung Kaiserslautern, Abbildung 14).

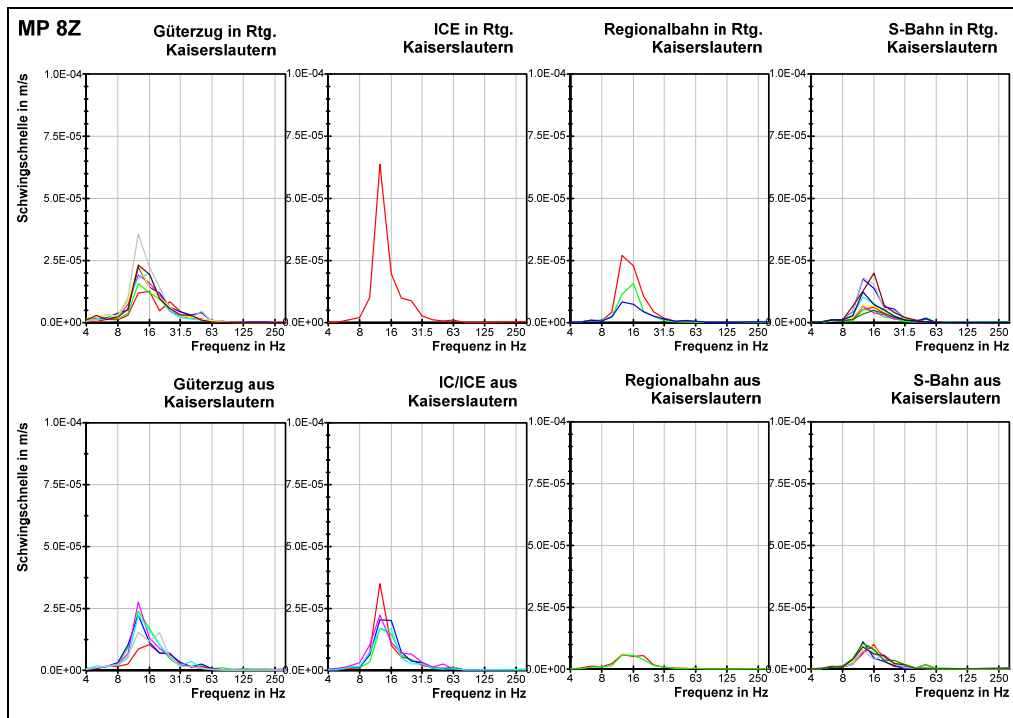


Abbildung 16. Terzspektren für alle Zugvorbeifahrten, Messpunkt MP8z.

## 5 Prognoseberechnungen

### 5.1 Prognoseverfahren

#### 5.1.1 Erschütterungsimmissionen/Deckenschwingungen

Aus den Schwinggeschwindigkeiten, gemessen an der Geländeoberkante (auf den Messspießen) können die Schwingstärken auf den Geschossdecken des geplanten Bauwerks rechnerisch abgeschätzt werden. Beim Übergang vom Baugrund auf die Gründung und tragende Bauwerksteile sowie auf die Decken erfahren die Pegel frequenzabhängige Veränderungen. Während der Übergang vom Baugrund auf die Gründung i. d. R. mit einer Reduzierung der Amplituden verbunden ist, sind auf den Deckenfeldern resonanzbedingte Verstärkungen zu erwarten.

Im Rahmen dieser Begutachtung waren die detaillierte Beschaffenheit der Baukonstruktion und ihre dynamischen Eigenschaften lediglich anhand pauschaler Ansätze zu berücksichtigen. Daher wurden für die Schwingungsübertragung vom Baugrund auf die Geschossdecken empirisch ermittelte Übertragungsfunktion aus Unterlage [3] angewendet. Die berechneten Terzspektren der Einzelmessungen der vertikalen Baugrundmesspunkte wurden mit den empirisch ermittelten Übertragungsfunktionen „Baugrund → Geschossdecke“ beaufschlagt und folgend die resultierenden Deckenschwingungen berechnet. Um dabei alle bautechnisch möglichen Deckensteifigkeiten des Gebäudes einzubeziehen, wurden mehrere Übertragungsfunktionen angewendet, deren Maxima in den Terzbändern zwischen  $8 \text{ Hz} < f_e < 40 \text{ Hz}$  liegen. Dadurch konnten alle relevanten Deckeneigenfrequenzen (Grundharmonische und die ersten Höherharmonischen) und somit auftretende Resonanzeffekte in einem Gebäude innerhalb der Prognoseberechnung berücksichtigt werden. Die Maxima der Übertragungsfunktionen fallen für die niedrigeren Terzbänder höher aus, da aufgrund geringerer Dämpfung weitgespannte Deckenfelder mit Eigenfrequenzen unter 30 Hz i. d. R. zu höheren Schwingungsantworten führen. Die Ergebnisse der Prognoseberechnungen für den Ansatz unterschiedlicher Deckeneigenfrequenzen sind in den Diagrammen der Abbildung 17 für den Baugrundmesspunkt MP 9z unter Anregung durch einen Güterzug in Fahrtrichtung Kaiserslautern. Diese Messung liefert die höchsten Prognosewerte bzgl. der KB-Werte.

Zur Berechnung des KB-Wertes wird, wie in Kapitel 3 erläutert, der KB-bewertete Maximalwert des Zeitverlaufes benötigt. Im Ergebnis des Prognoseverfahrens liegen jedoch nur die Terzspektren der Schwingungsschnelle ohne Phaseninformationen vor. Eine Rücktransformation in den Zeitbereich ist somit nicht eindeutig möglich. Die Berechnung der KB-Werte erfolgt entsprechend der Ausführungen in Unterlage [3] durch eine Frequenzbewertung der Körperschall-Schnelle auf den Deckenfeldern. Die Berechnung wird spektral für jede Einzelmessung und jedes ermittelte Deckenantwortspektrum durchgeführt. Der gesamte KB-Wert ergibt sich aus der energetischen Addition der spektralen KB-Werte:

$$KB = \sqrt{\sum KB^2(f)} \quad (4)$$

Die Maximalwerte der aus den Einzelmessungen berechneten KB-Werte stellen den  $KB_{Fmax}$ -Wert dar. Die quadratische Mittelung der  $KB_{Fmax}$ -Werte über die Einzelmessungen für jeden Messpunkt und jede mögliche anzunehmende Deckeneigenfrequenz ergibt die  $KB_{Ftm}$ -Werte. Die ermittelten Prognosewerte ( $KB_{Fmax}$  und  $KB_{Ftm}$ ) werden dann hinsichtlich erschütterungsbedingter Beeinträchtigungen von Personen nach DIN 4150-2 bewertet (siehe Absatz 3.1).

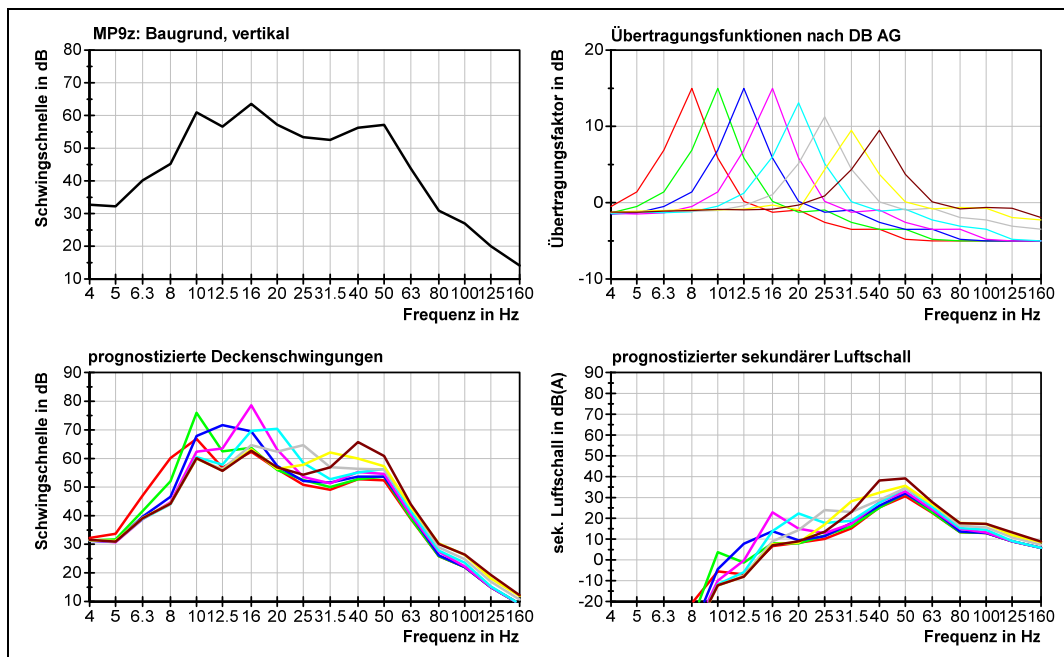


Abbildung 17. Beispiel einer Prognoseberechnung für den Messpunkt MP9 (vertikal), Anregung durch Vorbeifahrt eines Güterzuges in Fahrtrichtung Karlsruhe

### 5.1.2 Sekundärer Luftschall

Durch Beaufschlagung der Schwingungen vom freien Baugrund mit den Übertragungsfunktionen nach Unterlage [3] werden, wie unter Punkt 5.1.1 beschrieben, die unbewerteten Deckenantwortspektren errechnet. Durch anschließende A-Bewertung erhält man die Terzspektren für die Sekundärluftschallprognose. Zwischen der Schwingungsschnelle an den Raumbegrenzungsflächen, insbesondere auf dem Fußboden, und dem sekundären Luftschall besteht ein direkter Zusammenhang, den man nach der folgenden Beziehung erhält:

$$L_{pA}(f) = L_{vA}(f) + 10 \cdot \lg(4 \cdot S / A) + 10 \cdot \lg \sigma(f) \quad (5)$$

mit:

$L_{pA}(f)$  = A-bewerteter Schalldruckpegel im Raum

$L_{vA}(f)$  = A-bewerteter Schnellepegel der Raumbegrenzungsflächen in dB(A) bezogen auf  $5 \cdot 10^{-8}$  m/s

$S$  = Größe der schwingungserregten Fläche in  $m^2$

$A$  = Absorptionsvermögen des Raumes in  $m^2$

$\sigma(f)$  = Abstrahlgrad

Aufgrund von Erfahrungswerten für raumakustische Verhältnisse können folgende Werte für  $S$ ,  $A$  und  $\sigma$  angesetzt werden:

$S \approx 2 \times$  Grundrissfläche  $G$  des Raumes  
 $A \approx 0,8 \times$  Grundrissfläche  $G$  des Raumes  
 $\sigma = 1$  für Frequenzen  $> 63$  Hz, für tiefere Frequenzen erfolgt frequenzabhängig eine Absenkung (z.B. bei 8 Hz um 13,5 dB)

Die Berechnungen erfolgen spektral. In Abbildung 17, Diagramm rechts unten, wurden für den Messpunkt MP9z (vertikal) die in Abhängigkeit der angesetzten Deckeneigenfrequenz ermittelten sekundären Luftschallpegel, abgebildet.

Durch Bildung der Summenpegel kann aus den spektralen Werten der Maximalpegel für jede Einzelmessung und jede mögliche Deckeneigenfrequenz berechnet werden. Durch energetische Mittelung wird aus diesen maximalen Pegeln der mittlere Maximalwertpegel bestimmt und den Anhaltswerten der VDI 2719 [2] gegenübergestellt. Unter Berücksichtigung der Einwirkungszeiten, d. h. der Länge des Erschütterungssignals und der Anzahl der Zugüberfahrten, können folgend die Mittelungspegel berechnet und anhand der gestellten Vorgaben nach VDI 2719 sowie nach 24. BImSchV [6] bewertet werden.

## 5.2 Prognoseergebnisse

### 5.2.1 Erschütterungsimmissionen/Deckenschwingungen

Die Beurteilung der Schwingungen von Geschosdecken hinsichtlich der Belästigung von Personen erfolgt auf der Grundlage der DIN 4150-2 vom Juni 1999 [4]. Danach sind die prognostizierten maximalen bewerteten Schwingstärken  $KB_{F_{max}}$  auf den Geschosdecken des geplanten Neubaus den in der Norm genannten Anhaltswerten  $A_u$  und  $A_o$  gegenüberzustellen. Die Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Prognoseergebnisse. Angegeben sind die „worst case“-Prognosewerte, d. h. die größten berechneten Werte unter Variation der möglichen Deckeneigenfrequenzen. Die ermittelten  $KB$ -Werte für die ausgewerteten Einzelmessungen können dem Anhang B und C entnommen werden.

Tabelle 6. Maximale KB-Werte (rot: KB-Werte &gt; 0,3, orange: KB-Werte &gt; 0,2).

Messpunkt	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6	MP7	MP8	MP9
Güterzug in Rtg. KL	0,13	0,07	0,04	0,27	0,15	0,29	0,11	0,19	0,42
Güterzug aus KL	0,14	0,05	0,03	0,17	0,14	0,10	0,10	0,15	0,32
ICE in Rtg. KL	0,12	0,05	0,04	0,15	0,10	0,17	0,15	0,33	0,34
ICE/TGV aus KL	0,11	0,05	0,03	0,13	0,08	0,13	0,10	0,18	0,30
IC aus KL	0,14	0,04	0,03	0,17	0,09	0,18	0,10	0,12	0,32
RB in Rtg. KL	0,12	0,06	0,04	0,09	0,08	0,16	0,08	0,15	0,35
RB aus KL	0,04	0,02	0,01	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,08
S-Bahn in Rtg. KL	0,10	0,06	0,03	0,10	0,07	0,09	0,06	0,11	0,25
S-Bahn aus KL	0,08	0,02	0,02	0,07	0,05	0,07	0,04	0,06	0,18

Die einzuhaltenden, oberen Anhaltswerte der DIN 4150-2 liegen bei:

Tabelle 7. Anhaltswerte der DIN 4150-2

Tageszeit	normaler Standard	gehobener Standard
tags	5,0	3,0
nachts	0,3	0,2

Es wird deutlich, dass die Anhaltswerte zumindest in den Nachtzeiten für die Prognose der Deckenschwingungen auf Basis der gemessenen Baugrunderschütterungen für die Messpunkte MP8 und MP9 auch für den normalen Standard überschritten werden. Für den gehobenen Standard treten zusätzlich auch Überschreitungen der Anhaltswerte für die Messpunkte MP4 und MP6 auf.

Die hohen prognostizierten KB-Werte an den, zu den Bahngleisen verhältnismäßig weit entfernten, Messpunkten MP6 und MP8 resultieren aus einer Anregung zwischen 12 Hz und 16 Hz. Da dieser Frequenzanteile auch am Messpunkt MP9, jedoch nicht an MP4 zu finden ist, kann davon ausgegangen werden, dass im Bereich der Gleise nahe Messpunkt MP9 eine Störstelle, wie z.B. eine Weiche, vorliegt. Die nachfolgende Grafik beinhaltet die Prognoseberechnung für die zugehörige Messung eines ICEs in Richtung Kaiserslautern am Messpunkt 9z. Zusätzlich zeigt die Tabelle 8, dass die Überschreitung der Anhaltswerte nicht auf ein Einzelereignis zurückzuführen ist.

Weitere Berechnungsergebnisse wurden im Anhang B und C zusammengestellt.

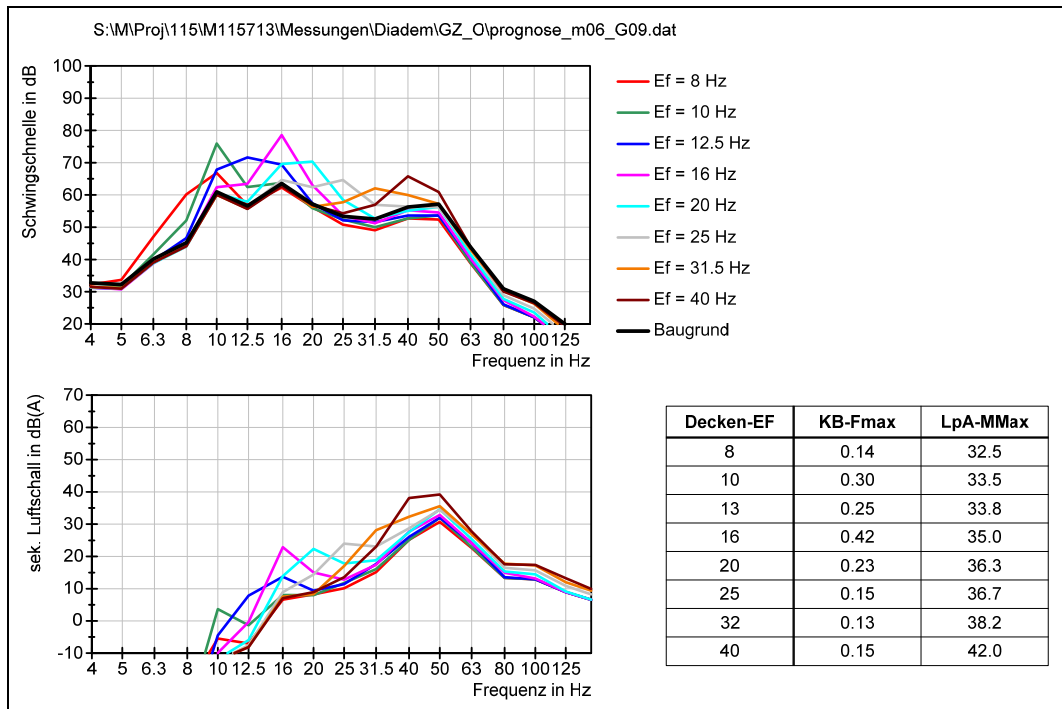


Abbildung 18. Ergebnisse der Prognoseberechnungen für M06: Güterzug in Richtung Kaiserslautern, Messpunkt 9z.

Tabelle 8. KB-Werte für alle Messpunkte und alle Vorbeifahrten von Güterzügen in Richtung Karlsruhe.

		Messungen							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Messpunkte	1	0.09	0.11	0.13	0.12	0.11	0.13	0.13	0.11
	2	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.07	0.06	0.05
	3	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
	4	0.14	0.14	0.19	0.27	0.11	0.13	0.22	0.19
	5	0.07	0.12	0.11	0.15	0.09	0.12	0.15	0.10
	6	0.06	0.09	0.12	0.13	0.14	0.29	0.11	0.09
	7	0.04	0.06	0.11	0.05	0.08	0.10	0.07	0.06
	8	0.07	0.09	0.12	0.11	0.11	0.19	0.13	0.13
	9	0.12	0.18	0.27	0.21	0.21	0.42	0.30	0.20

Aus den Kurvenverläufen der Abbildung 18 wird ersichtlich, dass ausgehend von den gemessenen Baugrundschwingungen der Anhaltswert der DIN 4150-2 für den normalen Wohnstandard ( $A_0 = 0,3$ ) für die Variation möglicher Deckeneigenfrequenzen für 10 Hz und 16 Hz überschritten wird. Setzt man den gehobenen Standard an, so wird der Anhaltswert für einen Frequenzbereich zwischen 10 Hz und 20 Hz überschritten. Die größten Prognosewerte ergeben sich für den Ansatz einer Deckeneigenfrequenz von 16 Hz.

### 5.2.2 Sekundärer Luftschall

Ausgehend von den prognostizierten Deckenschwingungen im geplanten Bauvorhaben wurden die abgestrahlten sekundären Luftschallpegel abgeschätzt. Die nachfolgende Tabelle beinhaltet eine Zusammenstellung der größten Maximalwertpegel für die unterschiedlichen Anregungsszenarien, aufgeteilt wiederum für die Baugrundmesspunkte MP1z bis MP9z.

Der Richtwert für den Maximalwertpegel des sekundären Luftschalls nach VDI 2719 von 40 dB(A) (nachts) wird je nach Zugtyp an den drei der Bahn nächstgelegenen Messpunkten (MP1, MP4, MP9) überschritten. Für einzelne Vorbeifahrten von Güterzügen wird auch an Messpunkt MP5 der Richtwert knapp nicht eingehalten. Für den normalen Wohnstandard kann dies jedoch noch als gerade akzeptabel eingestuft werden, jedoch nicht für einen gehobenen Standard.

Die Abbildung 19 zeigt die Prognoseergebnisse für den Messpunkt MP4z infolge der Anregung eines Güterzuges in Richtung Kaiserslautern. Die Auswertung zeigt, dass der Richtwert von 40 dB(A) für den sekundären Luftschallpegel zwischen 12.5 Hz und 40 Hz überschritten wird.

Tabelle 9. Maximalwertpegel des sekundären Luftschalls in dB(A) (rot:  $L_{vA} > 40\text{dB(A)}$ , orange:  $L_{vA} > 35\text{dB(A)}$ ).

Messpunkt	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6	MP7	MP8	MP9
Güterzug in Rtg. KL	40,9	28,0	19,8	48,7	40,3	33,3	24,6	24,5	46,9
Güterzug aus KL	39,7	27,4	15,6	45,3	36,8	29,9	24,1	24,2	43,9
ICE in Rtg. KL	40,2	26,7	16,8	41,7	34,4	28,8	19,8	19,8	36,8
ICE/TGV aus KL	41,4	26,5	31,9	42,5	34,0	26,6	22,4	19,7	40,6
IC aus KL	41,2	27,4	17,3	45,3	36,8	30,4	20,9	21,5	43,9
RB in Rtg. KL	37,6	18,7	11,6	39,5	29,4	25,2	16,1	18,6	36,5
RB aus KL	24,2	12,1	6,3	31,7	23,7	16,2	11,5	14,4	32,2
S-Bahn in Rtg. KL	33,7	19,7	13,6	36,6	29,1	31,4	15,4	21,0	34,8
S-Bahn aus KL	30,2	18,9	10,1	33,5	27,4	18,9	12,0	19,3	34,7

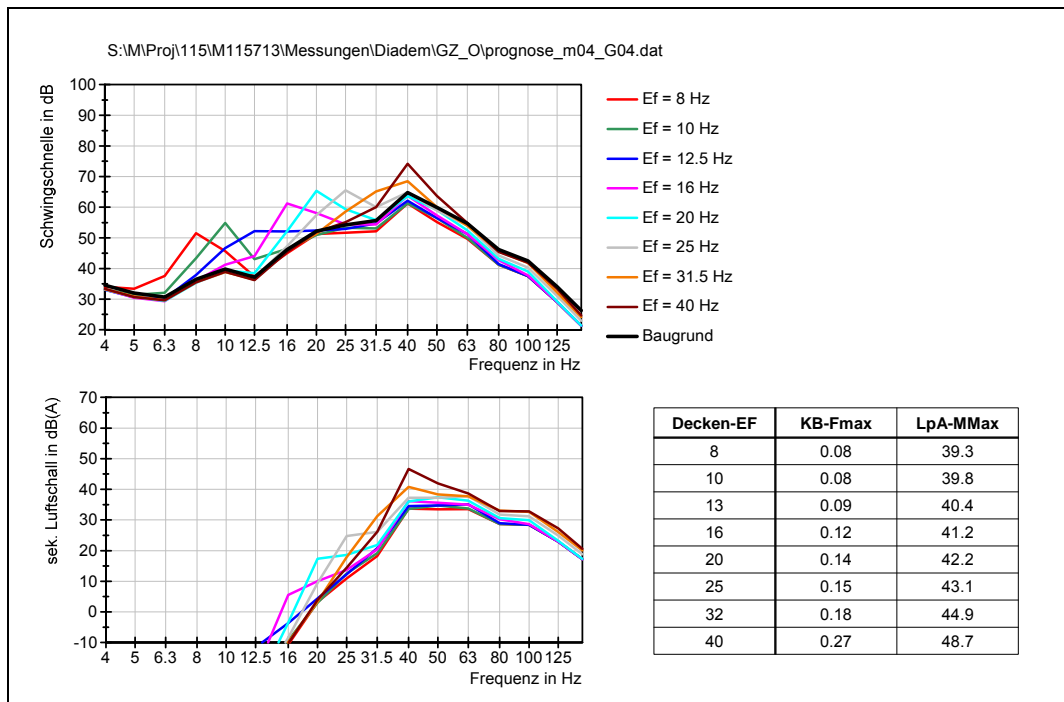


Abbildung 19. Ergebnisse der Prognoseberechnungen für M06: Güterzug in Richtung Kaiserslautern, Messpunkt 4z.

## 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Ausgehend von den gemessenen Schwingungen an der Geländeoberkante wurden Schwingstärken auf den Geschossdecken der geplanten Bauvorhaben sowie die abgestrahlten sekundären Luftschallpegel mittels eines überschläglichen Prognoseverfahrens ohne genaue Berücksichtigung der Tragwerksstrukturen prognostiziert. Nach dieser Abschätzung ist davon auszugehen, dass die Anforderungen der DIN 4150-2 hinsichtlich erschütterungsbedingter Beeinträchtigungen aus dem Bahnverkehr zumindest in der den Bahngleisen nächstgelegenen Gebäudereihe nicht eingehalten werden. Gleiches gilt für die prognostizierten, sekundären Luftschallpegel. Unter Ansatz eines gehobenen Wohnstandards wird auch in den dahinterliegenden Gebäudereihen der Richtwert für den sekundären Luftschallpegel überschritten.

Die Bewertung der horizontalen Anteile der Schwingungsemissionen führen, trotz den verhältnismäßig hohen Anregungsamplituden, zu maximal prognostizierten sekundären Luftschallpegeln in den geplanten Wohngebäuden von knapp unter 40 Hz . Damit wird der Richtwert der TA Lärm für die Nacht unterschritten.

Ausgehend von diesen Prognoseergebnissen, die verfahrensbedingt als auf der „sicheren Seite“ liegend bewertet werden können, werden Minderungsmaßnahmen an den Gebäuden nahe den Bahngleisen notwendig. Diese betreffen sowohl den Bereich der u.U. spürbaren Bauteil- bzw. Deckenschwingungen, mit wesentlichen Frequenzanteilen um 12 Hz, als auch den sekundären Luftschall, wobei hier die Frequenzanteile oberhalb von 30 Hz maßgebend sind.

In Abbildung 20 sind die Bereiche markiert, in denen mit Überschreitungen der Richt- bzw. Anhaltswerte zu rechnen ist und somit Minderungsmaßnahmen erforderlich werden. Dabei wird zwischen einem normalen und gehobenen Wohnstandard unterschieden.



Abbildung 20. Übersicht der Planbereiche, in denen mit spürbaren Schwingungen bzw. sekundären Luftschallabstrahlungen zu rechnen ist (rot: Ansatz eines normalen Wohnstandards, rot+orange: Ansatz eines gehobenen Wohnstandards).

Bezüglich der Maßnahmen an den Gebäuden bietet sich hinsichtlich der Minderung des sekundären Luftschalls eine Lagerung der Gebäude auf elastischen Matten im Gründungsbereich an. Entsprechend der Prognosewerte ist eine Dämmwirkung von mindestens 10-15 dB erforderlich, um die empfohlenen Richtwerte im Gebäude einzuhalten. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass auch die Außen-, d. h. Kellerwände, durch Elastomermatten vom umgebenden Baugrund zu entkoppeln sind. In jedem Fall sollten die maßgebenden Parameter einer elastischen Gebäudelagerung im Vorfeld anhand von detaillierten strukturdynamischen Modellen und unter Einbeziehung des Baugrundes mittels Halbraummodellen rechnerisch überprüft und dimensioniert werden.

Alternativ kann eine Schwingungsentkopplung im Bereich der Untergeschosswände vorgenommen werden. Auch eine solche Variante ist kostenintensiv und muss darüber hinaus in den statischen Berechnungen wegen der veränderten Lastabtragung berücksichtigt werden. In der Regel müssen aufgrund der konzentrierten Lastabtragung zur Umsetzung dieser Maßnahme die Kellerwände verstärkt werden. Auch zur Dimensionierung einer solchen Maßnahme ist eine rechnerische Überprüfung der Wirkungsweise anhand der die Bauwerksstruktur abbildenden Modelle notwendig.

Eine Reduzierung der tieffrequenten Bauteilschwingungen im Gebäude, die sich mit Frequenzanteilen unter 30 Hz u. U. spürbar bemerkbar machen, ist i. d. R. nur durch konstruktive Änderungen am Tragwerk zu erreichen, um z.B. Resonanzeffekte der Tragwerksdecken in stark angeregten Frequenzbereichen zu vermeiden. Für effektiv ausgelegte Konstruktionsänderungen innerhalb der Planungsphase sind strukturdynamische Berechnungen erforderlich. Mit Hilfe von Finite-Elemente-Berechnungen können gezielt schwingungstechnisch sensible Punkten identifiziert und damit Verbesserungsmaßnahmen entwickelt werden. Dadurch ist es möglich, die in diesem Fall besonders störenden Bauteil- bzw. Deckenschwingungen um 12 Hz durch Versteifungen, z. B. durch höhere Deckenstärken oder Anordnung zusätzlicher Unterzüge, zu reduzieren. Darüber hinaus können die Schwingungspegel in den Wohnräumen u.U. durch die Ausbildung eines sehr massiven UG vermindert werden. Auch hierfür sollte ein rechnerischer Nachweis erfolgen. Um die verhältnismäßig hohen KB-Werte, wie sie in den hinteren Gebäudereihen infolge der Anregung um 12-16 Hz prognostiziert werden, zu reduzieren, sollte generell darauf geachtet werden, die Geschossdecken so auszubilden, dass die Eigenfrequenzen oberhalb von 20 Hz liegen.

Für den Innenausbau des Bauwerkes sollte darauf geachtet werden, dass die Eigenfrequenzen von Trockenbauwänden und Estrichen oberhalb von 80 Hz liegen. Durch eine Auslegung des schwimmenden Estrichs mit einer Abstimmfrequenz z.B. um 60 Hz sind Verstärkungen bis zu 10 dB und somit noch deutlich höhere als die hier prognostizierten sekundären Luftschallpegel möglich.

Abschließend weisen wir darauf hin, dass das angewendete Prognoseverfahren unter Verwendung der Übertragungsfunktionen nach den Empfehlungen der Deutschen Bahn AG eine überschlägige und pauschale Vorabschätzung der Schwingungseinträge in den geplanten Neubauten ermöglicht. I. d. R. liegen die prognostizierten Werte auf der „sicheren Seite“. Durch strukturdynamische Berechnungen und der Berücksichtigung der detaillierten Gebäudekonstruktion können genauere Ergebnisse mit einem geringeren Sicherheitsabstand zu den tatsächlich zu erwarten-

den Erschütterungs- und Sekundärluftschallwerten ermittelt werden. Im Ergebnis dieser strukturdynamischen Berechnungen kann dann auch entschieden werden, inwieweit Minderungsmaßnahmen überhaupt notwendig bzw. zielführend sind.

Für Rückfragen und Erläuterungen stehen wir Ihnen gern zur Verfügung.

*F. Busch*

Dipl.-Ing. Friederike Busch

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM.



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

## Anhang A

### Fotos zur Lage der Messpunkte

S:\MIPROJ\115\M115713\M115713\_01\_BER\_2D.DOC:20.08.2014



Abbildung 21. Messpunkt MP1



Abbildung 22. Messpunkt MP2



Abbildung 23. Messpunkt MP3



Abbildung 24. Messpunkt MP4



Abbildung 25. Messpunkt MP5



Abbildung 26. Messpunkt MP6



Abbildung 27. Messpunkt MP7



Abbildung 28. Messpunkt MP9

## Anhang B

**Prognoseergebnisse: KB-Werte und Maximalwertpegel in dB(A)**

Güterzug nach KL  
oben: LvA - unten: KB-Werte

		Messungen							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Meßpunkte	1	34.3	40.1	40.9	40.5	39.1	39.6	40.7	38.0
	2	19.6	27.2	28.0	27.2	21.9	27.3	25.5	25.7
	3	12.0	17.0	19.8	18.3	16.9	16.7	17.3	17.5
	4	40.9	43.4	46.5	48.7	42.0	44.6	46.7	44.5
	5	32.8	36.8	40.3	40.2	35.1	33.1	37.3	37.0
	6	28.0	30.6	33.3	33.3	30.1	29.2	32.5	30.5
	7	19.1	24.6	23.6	22.3	17.6	21.6	21.4	19.3
	8	20.6	19.7	24.5	19.3	16.9	22.7	18.8	18.8
	9	46.9	41.4	45.5	42.7	38.6	42.0	41.2	40.7

		Messungen							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Meßpunkte	1	0.09	0.11	0.13	0.12	0.11	0.13	0.13	0.11
	2	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.07	0.06	0.05
	3	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
	4	0.14	0.14	0.19	0.27	0.11	0.13	0.22	0.19
	5	0.07	0.12	0.11	0.15	0.09	0.12	0.15	0.10
	6	0.06	0.09	0.12	0.13	0.14	0.29	0.11	0.09
	7	0.04	0.06	0.11	0.05	0.08	0.10	0.07	0.06
	8	0.07	0.09	0.12	0.11	0.11	0.19	0.13	0.13
	9	0.12	0.18	0.27	0.21	0.21	0.42	0.30	0.20

Güterzug aus KL  
oben: LvA - unten: KB-Werte

		Messungen					
		1	2	3	4	5	6
Meßpunkte	1	38.5	36.1	39.7	37.1	35.8	35.8
	2	22.4	25.6	27.4	22.4	27.2	24.5
	3	13.9	21.5	17.3	15.6	15.6	16.0
	4	42.4	40.8	45.3	41.6	43.1	38.3
	5	35.6	34.2	36.8	34.0	35.9	33.6
	6	29.9	26.4	30.4	25.7	29.0	24.9
	7	21.1	24.1	20.9	19.2	19.0	17.4
	8	18.6	24.2	21.5	19.3	20.0	16.2
	9	42.1	43.4	43.9	43.1	45.1	42.1

		Messungen					
		1	2	3	4	5	6
Meßpunkte	1	0.07	0.09	0.14	0.12	0.13	0.13
	2	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04
	3	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
	4	0.11	0.10	0.17	0.12	0.17	0.13
	5	0.07	0.09	0.08	0.08	0.14	0.14
	6	0.08	0.08	0.10	0.09	0.08	0.08
	7	0.05	0.08	0.10	0.05	0.07	0.05
	8	0.06	0.13	0.12	0.15	0.12	0.08
	9	0.15	0.20	0.32	0.19	0.26	0.14

## IC aus KL

oben: LvA - unten: KB-Werte

		Messungen		
		1	2	3
Meßpunkte	1	41.2	39.7	37.2
	2	25.0	27.4	23.3
	3	14.3	17.3	13.1
	4	42.5	45.3	39.5
	5	36.1	36.8	30.8
	6	25.5	30.4	23.5
	7	17.9	20.9	17.2
	8	17.3	21.5	18.5
	9	41.9	43.9	36.6

		Messungen		
		1	2	3
Meßpunkte	1	0.10	0.14	0.09
	2	0.04	0.04	0.04
	3	0.03	0.02	0.03
	4	0.08	0.17	0.10
	5	0.09	0.08	0.07
	6	0.18	0.10	0.14
	7	0.07	0.10	0.08
	8	0.12	0.12	0.10
	9	0.24	0.32	0.21

## ICE nach KL

oben: LvA - unten: KB-Werte

Messpunkte	Messung 1
1	40.2
2	26.7
3	16.8
4	41.7
5	34.4
6	28.8
7	19.8
8	19.8
9	36.8

Meßpunkte	Messung 1
1	0.12
2	0.05
3	0.04
4	0.15
5	0.10
6	0.17
7	0.15
8	0.33
9	0.34

## TGV/ICE aus KL

oben: LvA - unten: KB-Werte

		Messungen	
		1	2
Meßpunkte	1	41.4	40.2
	2	26.5	23.8
	3	31.9	16.9
	4	42.5	40.9
	5		34.0
	6	26.6	26.0
	7	22.4	19.1
	8	19.7	16.0
	9	40.6	38.2

		Messungen	
		1	2
Meßpunkte	1	0.10	0.11
	2	0.05	0.05
	3	0.03	0.03
	4	0.10	0.13
	5		0.08
	6	0.13	0.12
	7	0.09	0.10
	8	0.18	0.09
	9	0.27	0.30

## Regionalbahn nach KL

oben: LvA - unten: KB-Werte

		Messungen		
		1	2	3
Meßpunkte	1	35.1	27.6	37.6
	2	18.4	13.7	18.7
	3	11.6	6.3	9.6
	4	37.2	31.9	39.5
	5	29.4	23.6	32.4
	6	21.5	15.2	25.2
	7	15.4	9.5	16.1
	8	15.0	11.3	18.6
	9	36.5	29.7	36.4

		Messungen		
		1	2	3
Meßpunkte	1	0.12	0.05	0.05
	2	0.06	0.03	0.02
	3	0.04	0.02	0.01
	4	0.09	0.05	0.06
	5	0.08	0.05	0.04
	6	0.16	0.08	0.05
	7	0.08	0.04	0.04
	8	0.15	0.09	0.05
	9	0.35	0.18	0.07

**Regionalbahn aus KL**  
oben: LvA - unten: KB-Werte

		Messungen	
		1	2
Meßpunkte	1	24.2	21.9
	2	12.1	9.9
	3	6.3	4.0
	4	31.7	26.0
	5	23.7	19.9
	6	16.2	15.0
	7	11.5	6.9
	8	9.8	14.4
	9	32.2	28.1

		Messungen	
		1	2
Meßpunkte	1	0.04	0.03
	2	0.02	0.02
	3	0.01	0.00
	4	0.04	0.03
	5	0.04	0.03
	6	0.04	0.04
	7	0.02	0.02
	8	0.03	0.03
	9	0.08	0.06

**S-Bahn nach KL**  
oben: LvA - unten: KB-Werte

		Messungen									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Meßpunkte	1	59.2	25.6	31.0	25.8	27.8	31.5	31.9	33.7	28.1	29.7
	2	13.5	10.1	19.3	16.4	16.4	18.9	16.1	19.7	15.1	15.7
	3	7.0	8.5	9.8	13.6	8.8	9.8	11.6	12.4	8.1	8.4
	4	30.2	26.7	36.2	29.0	31.7	36.6	34.6	35.5	32.2	34.1
	5	26.0	20.5	28.6	25.1	25.2	27.5	26.7	29.1	24.8	25.1
	6	17.8	11.1	19.6	14.7	19.3	31.4	21.2	20.4	18.9	19.1
	7	10.0	6.3	13.6	10.4	15.3	12.9	12.3	15.4	11.7	12.3
	8	17.5	21.0	18.1	12.4	16.9	13.3	12.0	13.7	16.5	11.3
	9	23.9	21.0	34.8	23.8	29.6	34.7	29.8	34.0	26.0	31.1

		Messungen									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Meßpunkte	1	0.35	0.03	0.09	0.03	0.05	0.10	0.07	0.10	0.05	0.08
	2	0.02	0.01	0.05	0.01	0.02	0.05	0.03	0.06	0.02	0.02
	3	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
	4	0.05	0.03	0.08	0.05	0.05	0.07	0.05	0.10	0.05	0.06
	5	0.03	0.02	0.07	0.04	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.04
	6	0.04	0.03	0.09	0.03	0.04	0.09	0.05	0.07	0.03	0.05
	7	0.02	0.01	0.06	0.02	0.03	0.06	0.02	0.05	0.02	0.03
	8	0.04	0.03	0.10	0.04	0.06	0.10	0.04	0.11	0.03	0.07
	9	0.07	0.07	0.15	0.07	0.09	0.17	0.06	0.25	0.07	0.11

S:\MIPROJ\115\M115713\M115713\_01\_BER\_2D.DOC:20.08.2014

## S-Bahn aus KL

oben: LvA - unten: KB-Werte

		Messungen								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Meßpunkte	1	24.1	30.0	24.6	25.9	28.9	25.7	30.2	28.1	29.1
	2	9.6	17.9	12.9	13.7	16.5	13.0	18.9	15.5	16.4
	3	2.7	10.1	10.9	7.5	9.5	8.7	9.5	8.1	7.6
	4	24.7	32.8	29.4	31.0	32.2	31.1	32.7	33.5	32.3
	5	20.2	26.2	22.2	23.7	25.1	24.0	26.3	26.5	27.4
	6	13.1	17.7	14.4	14.6	16.7	16.7	16.9	18.9	17.5
	7	8.8	11.2	9.1	10.3	11.3	10.5	10.5	12.0	10.5
	8	18.8	19.3	13.1	14.6	17.1	18.0	11.9	17.3	18.6
	9	28.6	33.4	32.3	33.6	33.4	32.4	34.7	33.9	33.6

		Messungen								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Meßpunkte	1	0.03	0.08	0.03	0.05	0.04	0.06	0.05	0.04	0.04
	2	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	3	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
	4	0.03	0.07	0.03	0.05	0.06	0.05	0.07	0.07	0.07
	5	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05
	6	0.07	0.05	0.04	0.06	0.05	0.03	0.06	0.07	0.06
	7	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03
	8	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.06	0.05	0.06
	9	0.08	0.17	0.10	0.17	0.14	0.07	0.12	0.15	0.18

## **Anhang C**

### **Prognoseergebnisse**

S:\MIPROJ\115\M115713\M115713\_01\_BER\_2D.DOC:20.08.2014

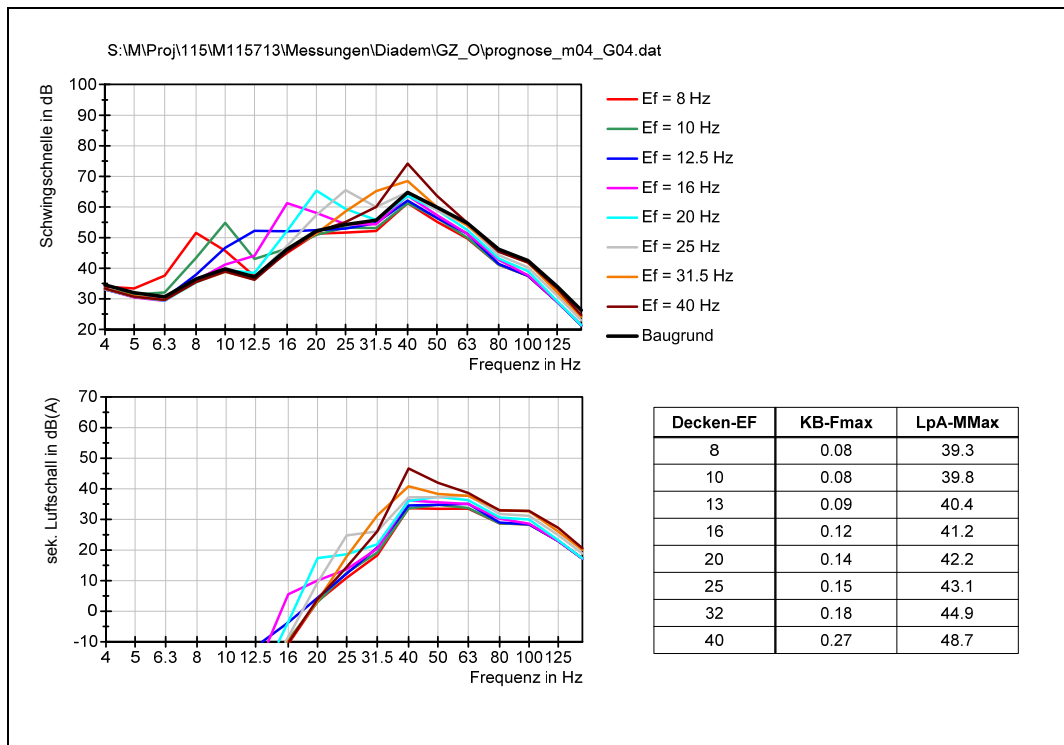


Abbildung 29. Güterzug nach Kaiserslautern – Messung M04 – MP 4z

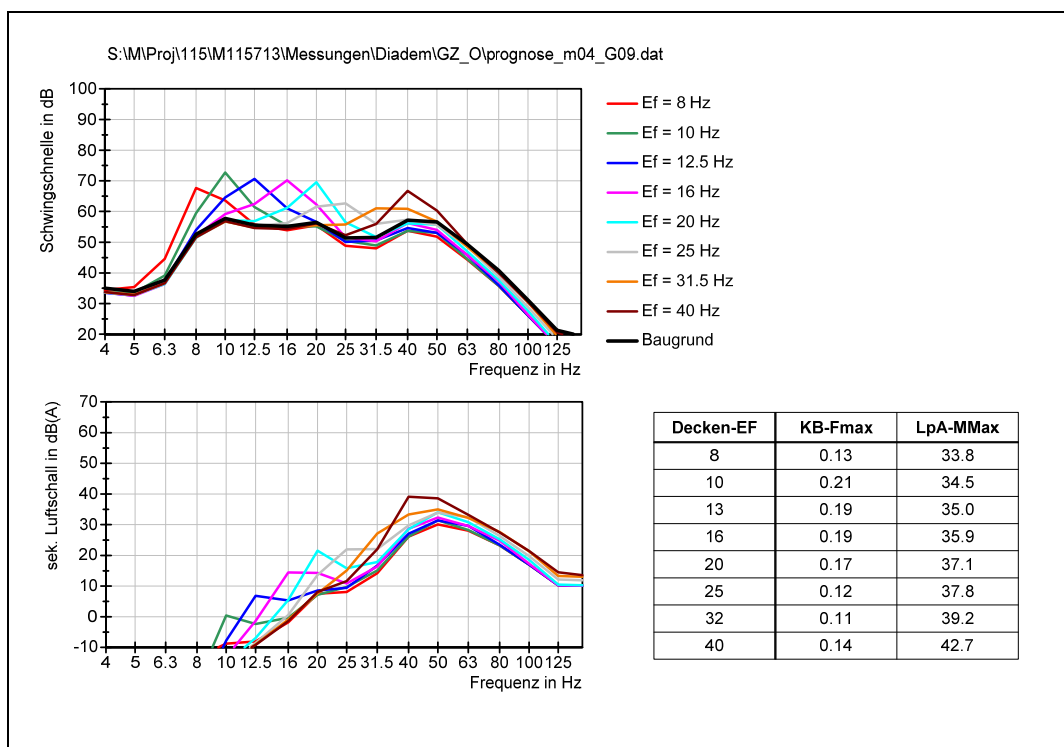


Abbildung 30. Güterzug nach Kaiserslautern – Messung M04 – MP 9z

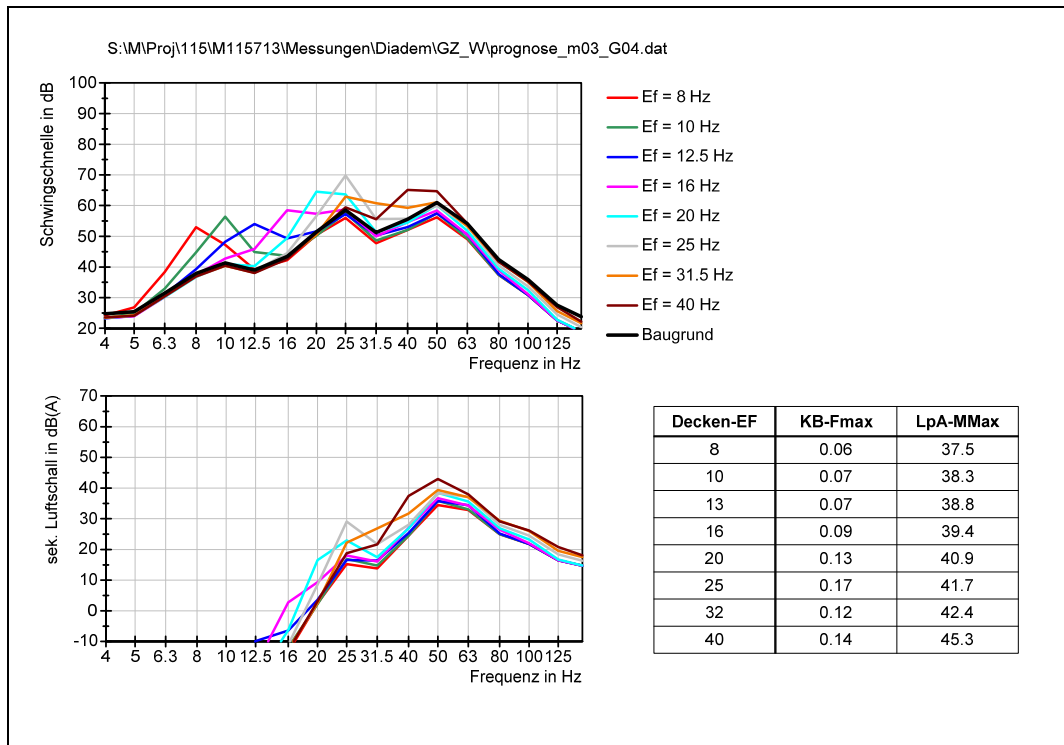


Abbildung 31. Güterzug aus Kaiserslautern – Messung M03 – MP 4z

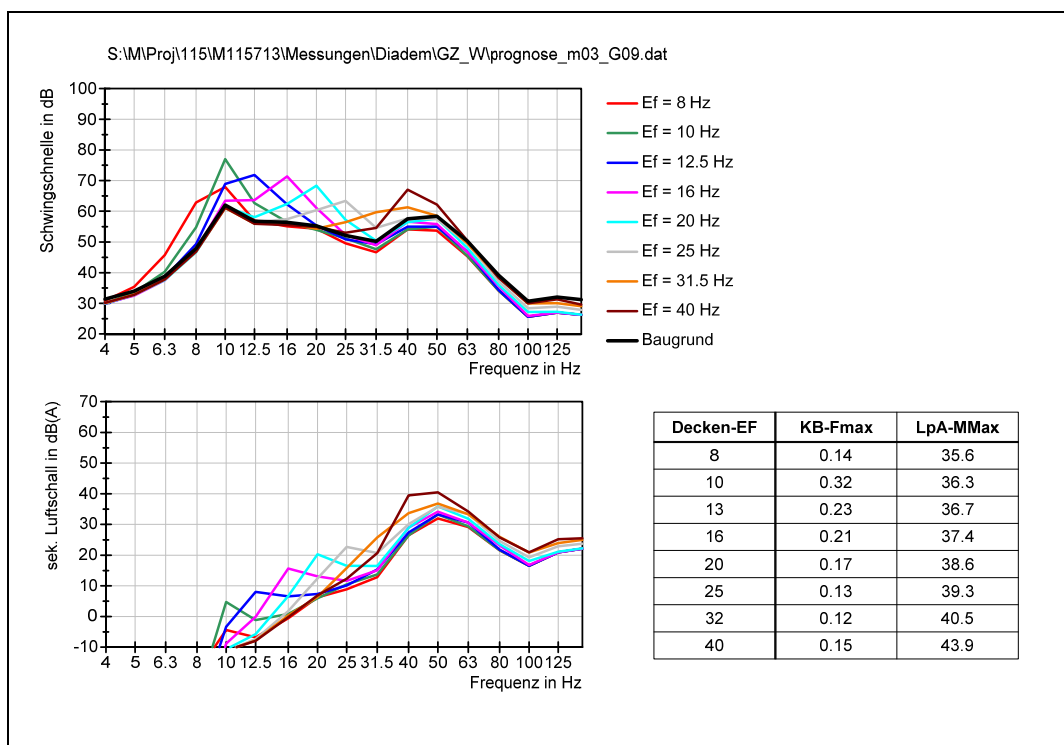


Abbildung 32. Güterzug aus Kaiserslautern – Messung M03 – MP 9z

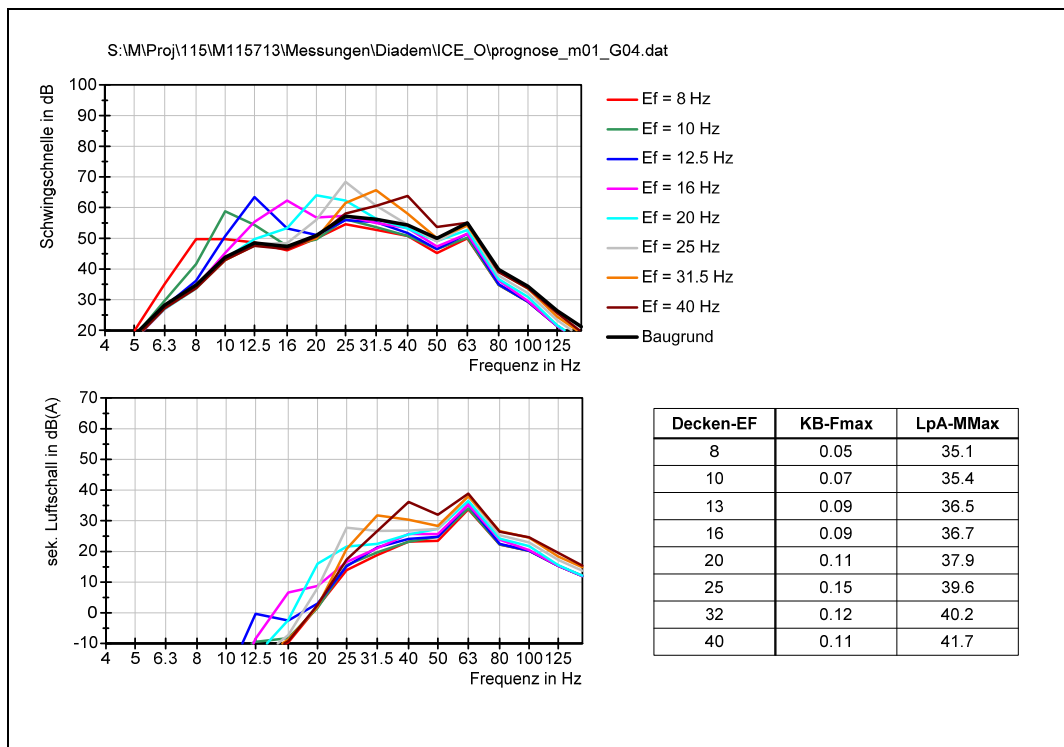


Abbildung 33. ICE nach Kaiserslautern – Messung M01 – MP 4z

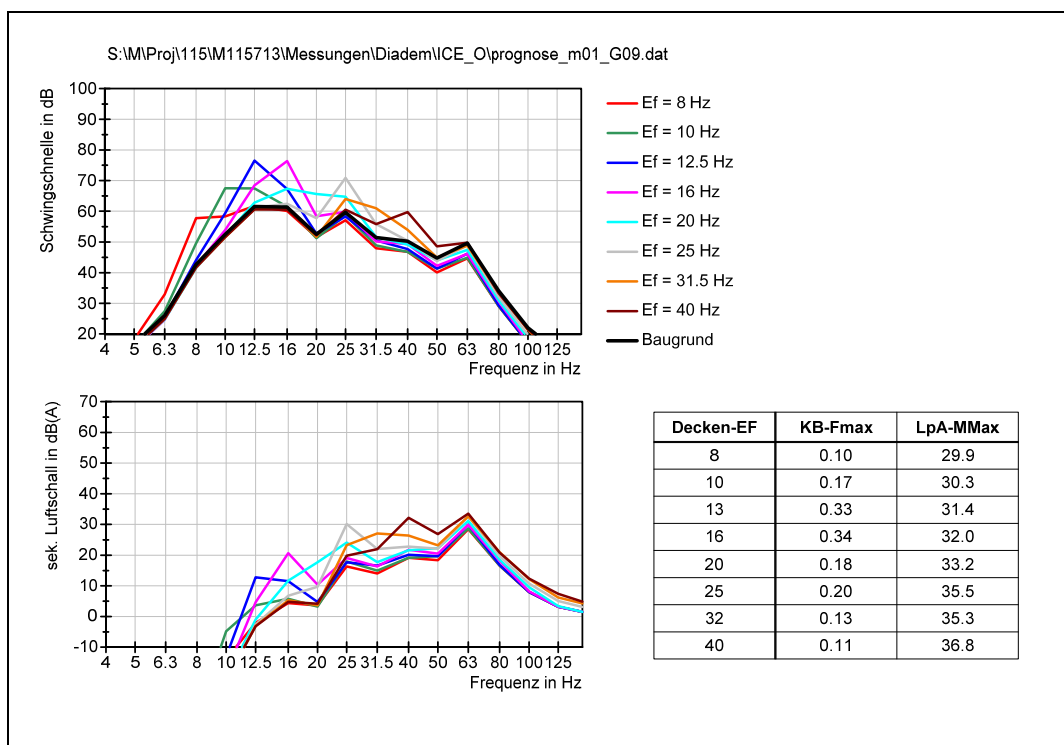


Abbildung 34. ICE nach Kaiserslautern – Messung M01 – MP 9z

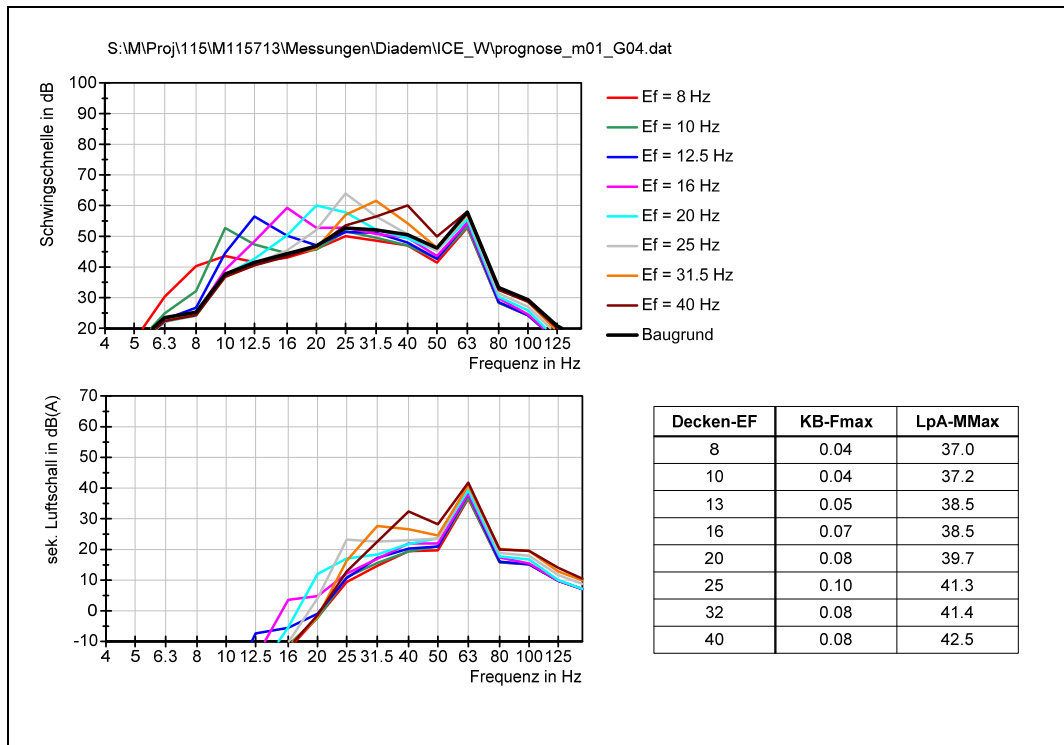


Abbildung 35. TGV/ICE aus Kaiserslautern – Messung M01 – MP 4z

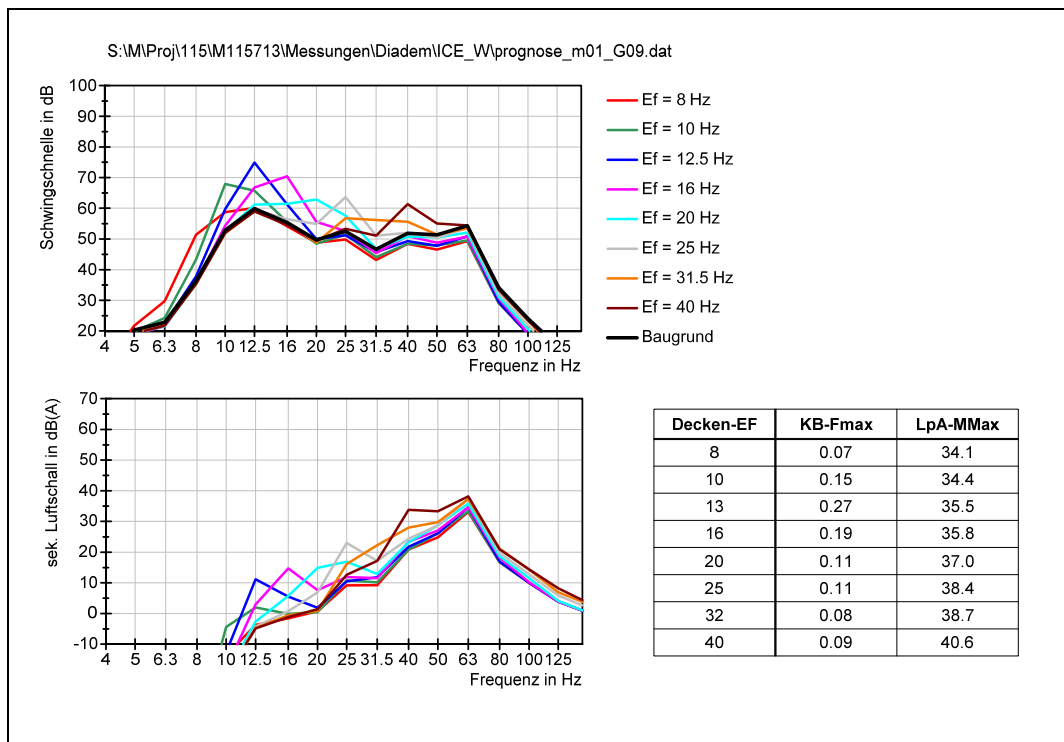


Abbildung 36. TGV/ICE aus Kaiserslautern – Messung M01 – MP 9z

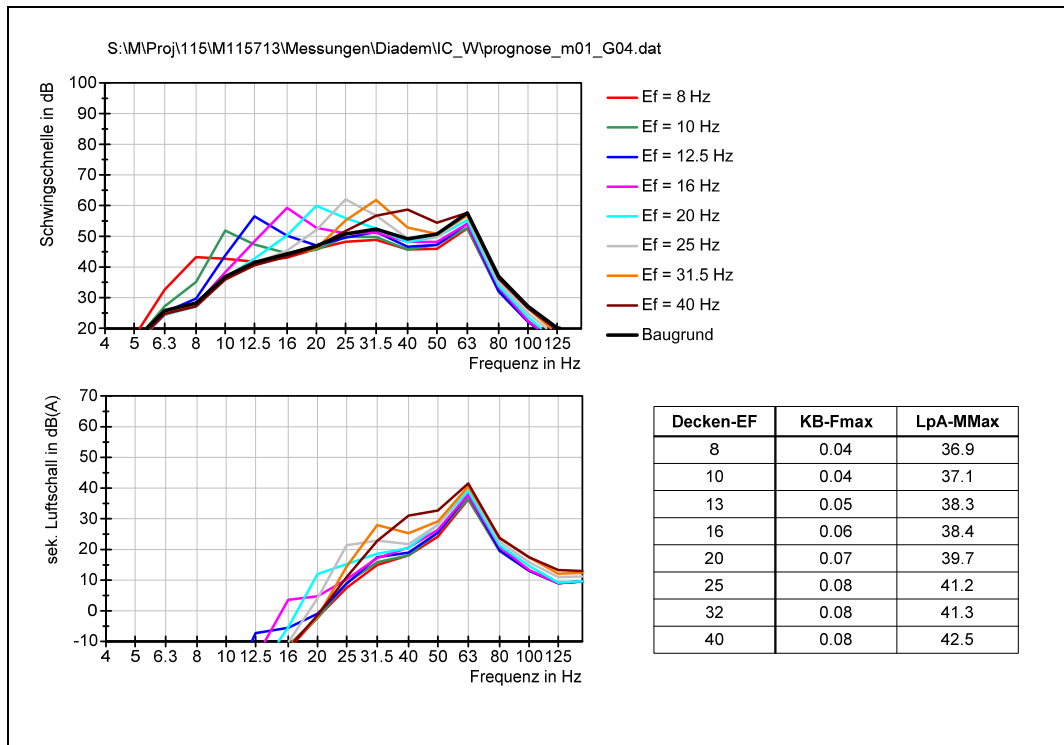


Abbildung 37. IC aus Kaiserslautern – Messung M01 – MP 4z

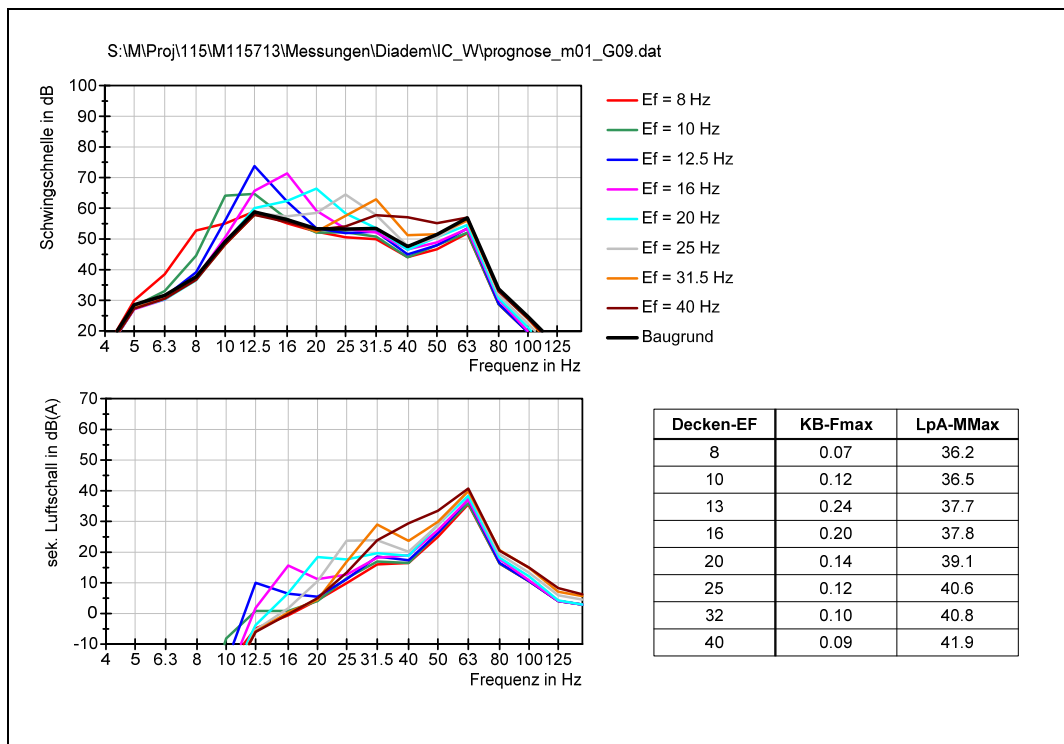


Abbildung 38. IC aus Kaiserslautern – Messung M01 – MP 9z

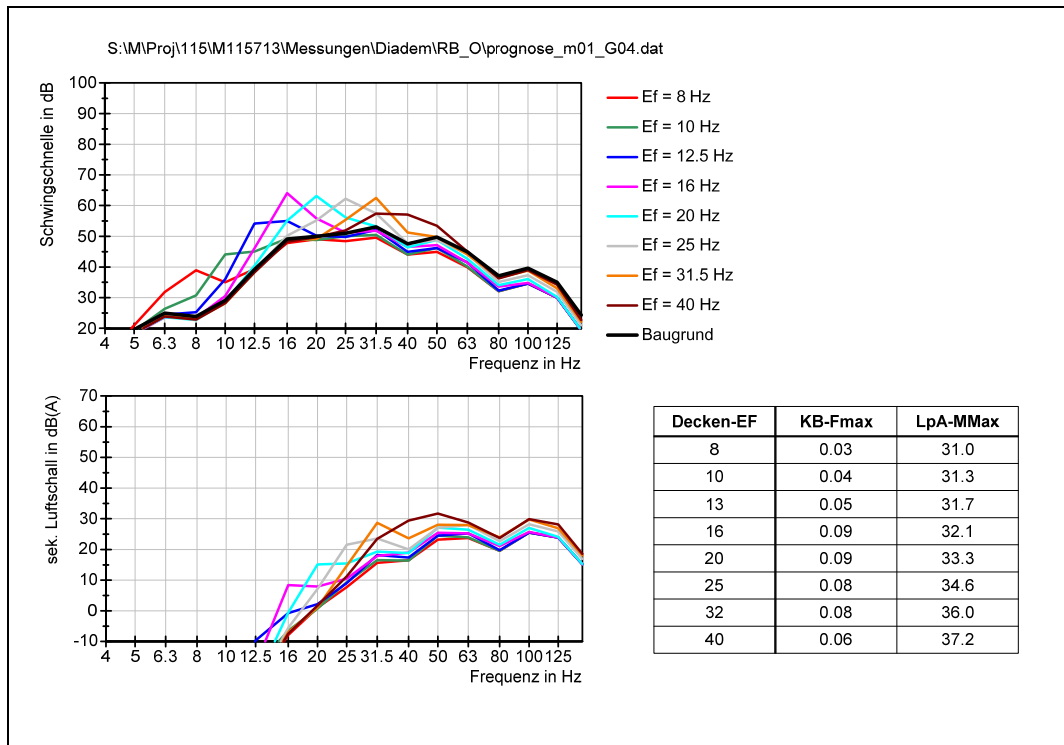


Abbildung 39. Regionalbahn nach Kaiserslautern – Messung M01 – MP 4z

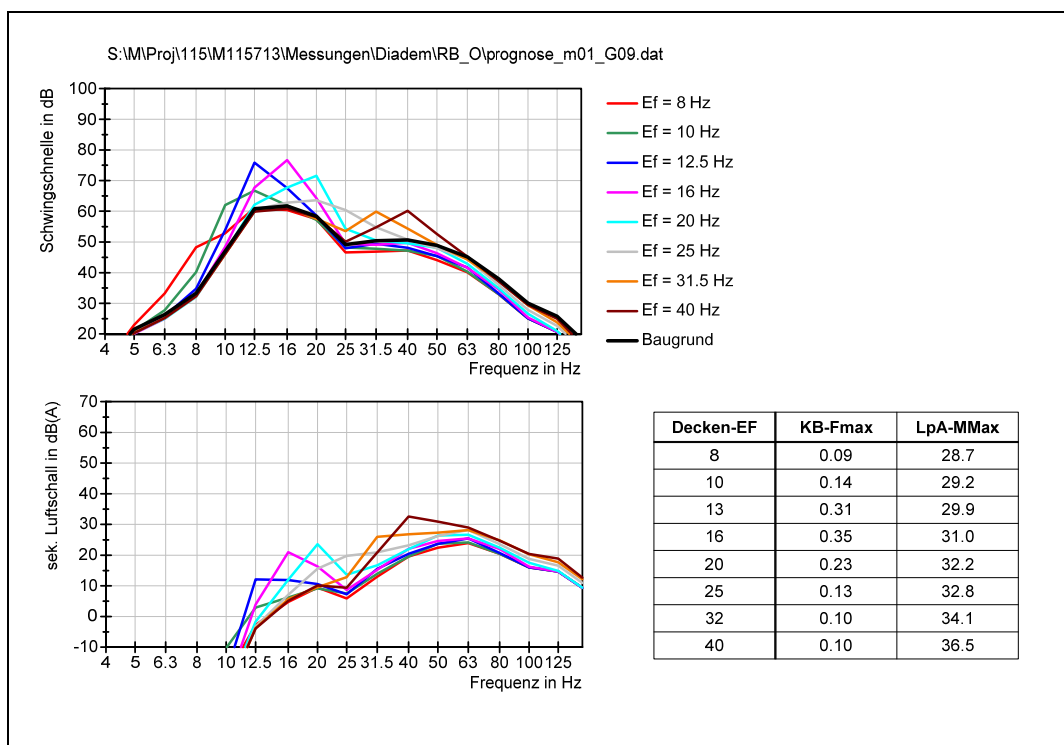


Abbildung 40. Regionalbahn nach Kaiserslautern – Messung M01 – MP 9z

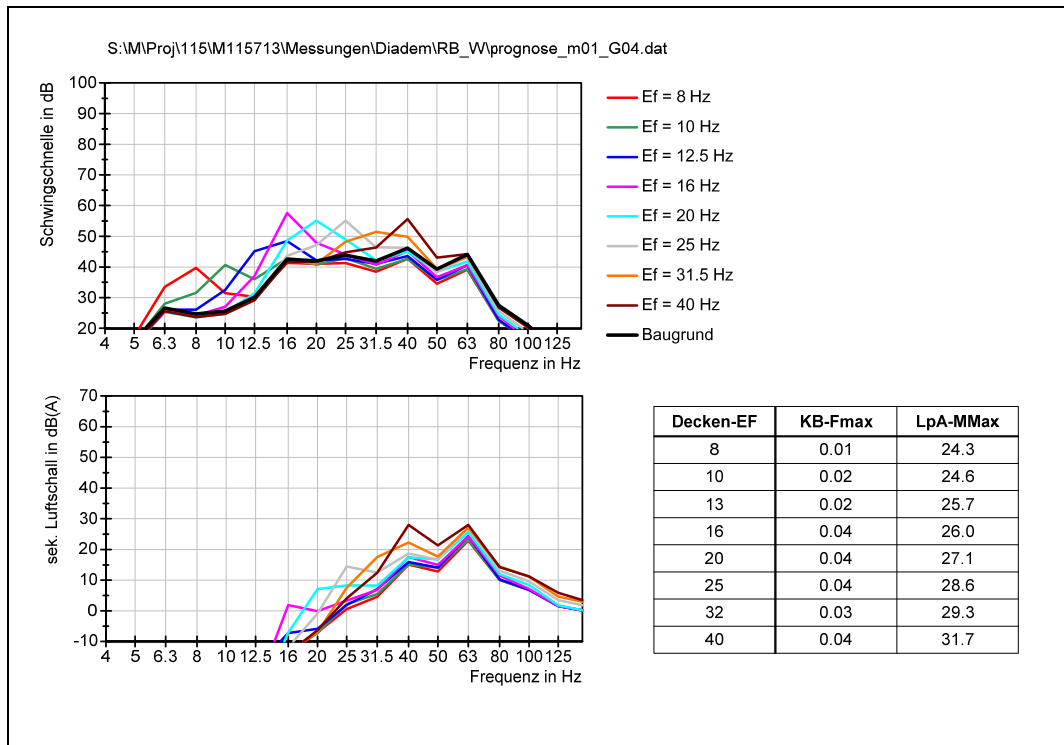


Abbildung 41. Regionalbahn aus Kaiserslautern – Messung M01 – MP 4z

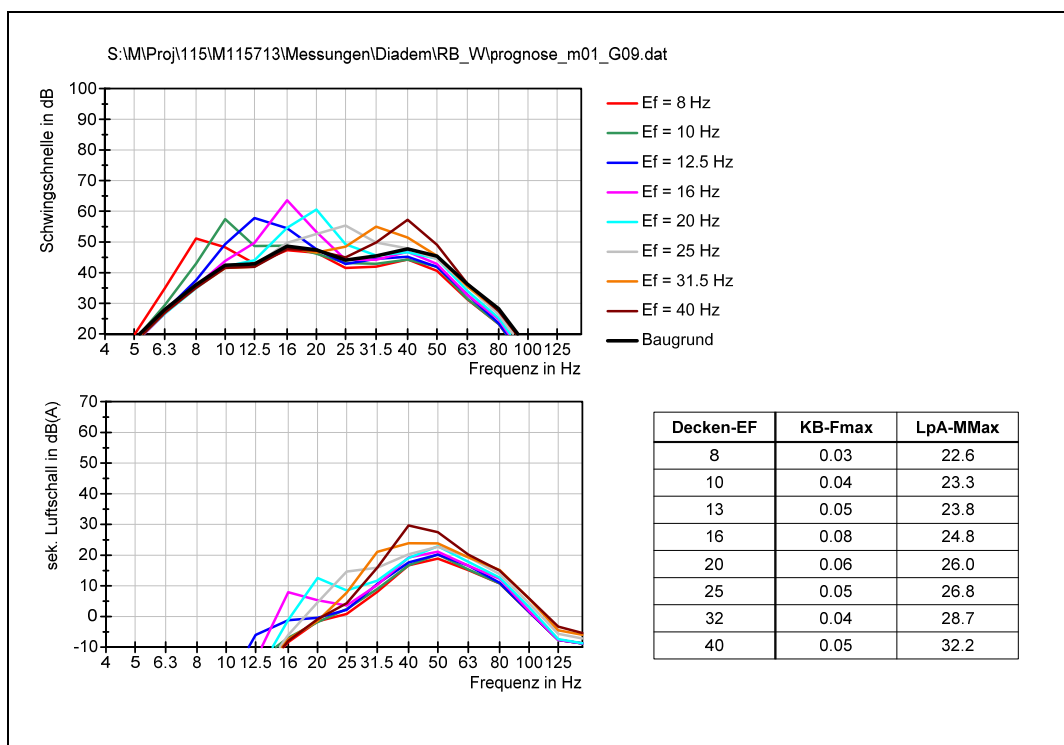


Abbildung 42. Regionalbahn aus Kaiserslautern – Messung M01 – MP 9z

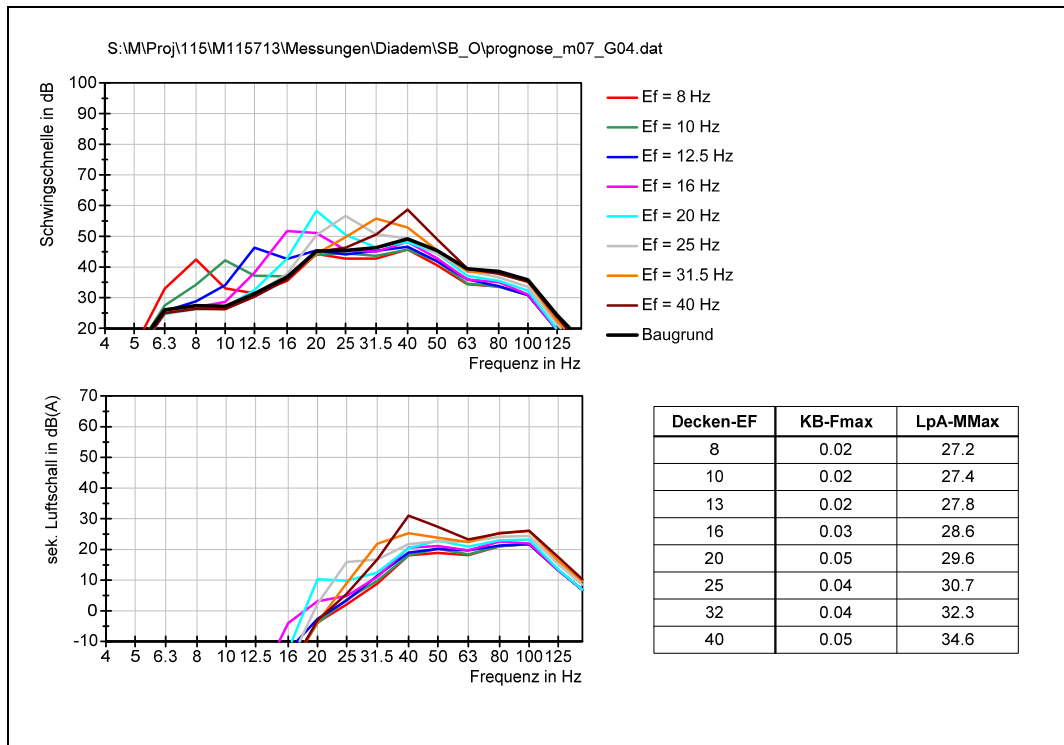


Abbildung 43. S-Bahn nach Kaiserslautern – Messung M07 – MP 4z

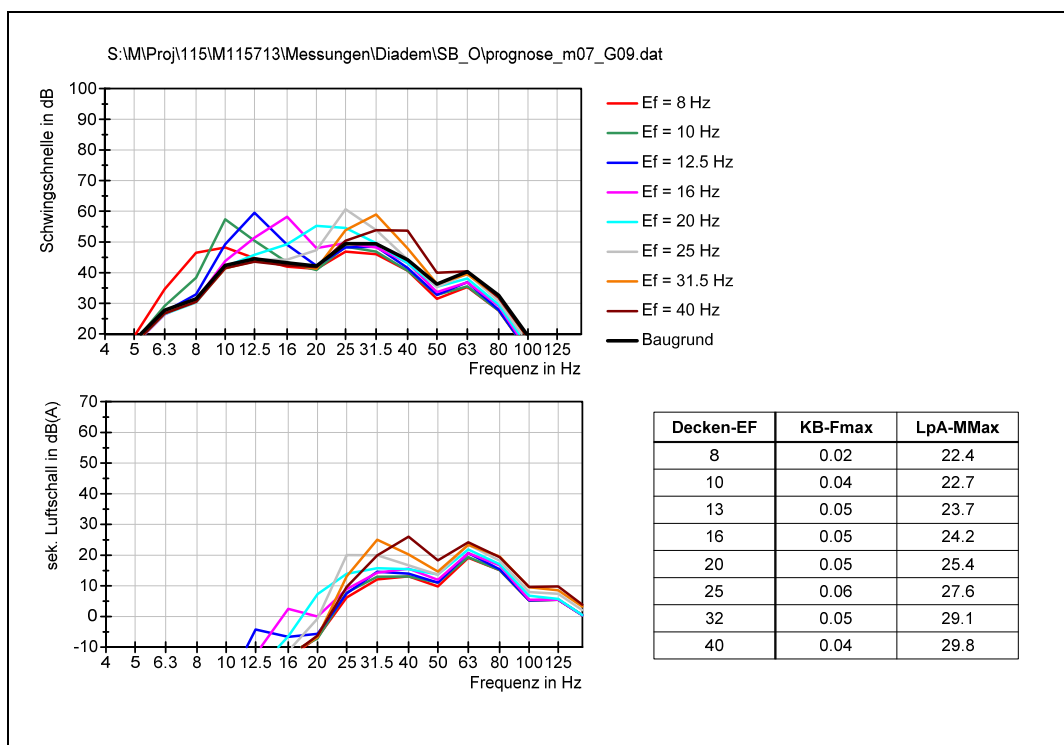


Abbildung 44. S-Bahn nach Kaiserslautern – Messung M07 – MP 9z

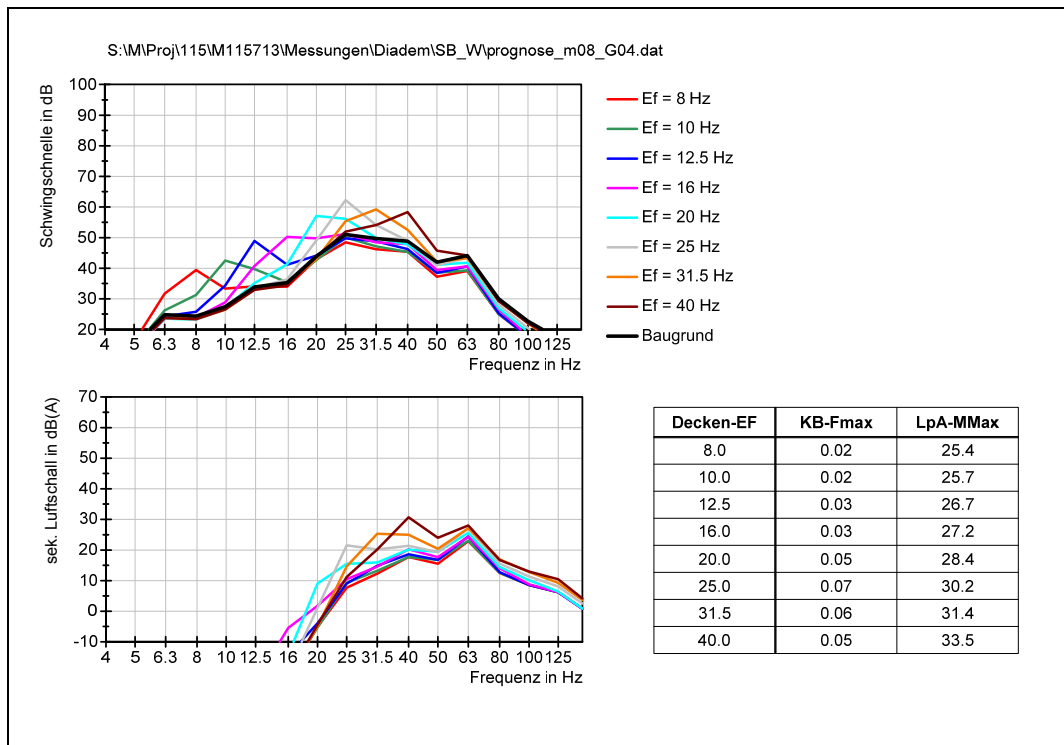


Abbildung 45. S-Bahn aus Kaiserslautern – Messung M08 – MP 4z

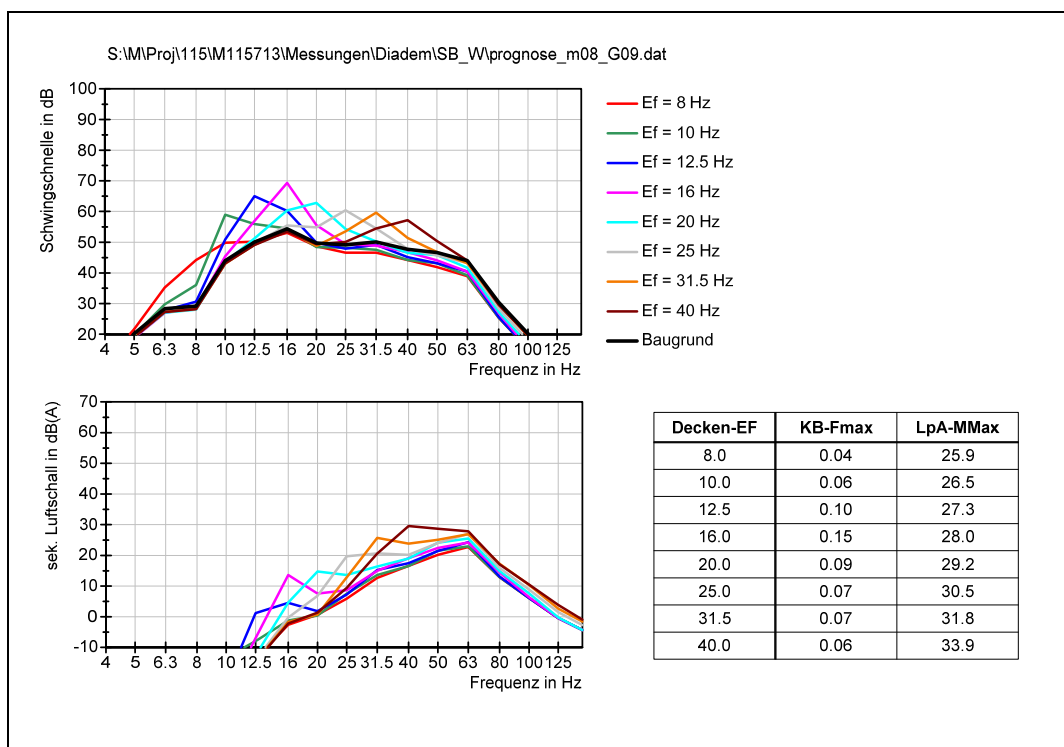


Abbildung 46. S-Bahn aus Kaiserslautern – Messung M08 – MP 9z