



**Öffentlich bestellte und vereidigte
Sachverständige und Prüfsachver-
ständige für Erd- und Grundbau**

Darwinstraße 13 · 10589 Berlin
Tel. +49-30-78 90 89-0 · Fax -89
E-Mail office@gudconsult.de
www.gudconsult.de

Standorte
| Hamburg | Leipzig | Athen
| Köln | Michendorf | New Delhi

Gutachten

Prognose der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen aus dem Bahnverkehr

BV: Am Annafließ

in 15344 Strausberg

**Gutachten
Beratung
Planung
Bauüberwachung**

Auftraggeber: ABR Grundstücksgesellschaft mbH
Eichenstraße 7

13156 Berlin

Geschäftsleitung
Dr. rer. nat. Götz Hirschberg
Dr.-Ing. Fabian Kirsch¹
Dr.-Ing. Jens Mittag¹
Dipl.-Ing. Univ. Nikolaus Schneider
Dr.-Ing. Silke Appel (ppa.)
Dipl.-Ing. Kerstin Deterding (ppa.)⁵
Dipl.-Ing. Hilmar Leonhardt (ppa.)
Dipl.-Ing. Josef A. Patron (ppa.)

Bearbeiter: ppa. Dr.-Ing. S. Appel
M. Sc. Th. Liesig
M. Sc. E. Paraire
Dipl. Geophys. P. Kortsch

Senior-Partner
Prof. Dr.-Ing. Kurt-M. Borchert²
Dipl.-Ing. Hans L. Hebener^{1 3}
Prof. Dr.-Ing. Thomas Richter^{1 4}
Univ. Prof. Dr.-Ing. Stavros Savidis

Berlin, den 30.07.2015

Gutachtennummer: G 118/15

Dieses Gutachten umfasst einschließlich Deckblatt 29 Seiten und 7 Anlagen.

K:\Anna_G118.15\BERICHTE-GUTACHTEN\Anna_G118.15_ThL.docx

¹ Anerkannter Prüfsachverständiger für den Erd- und Grundbau.
² von der IHK Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Baugruben, Injektionen und Bauwerksabdichtungen im Untergrund.
³ von der Baukammer Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Spezialtiefbau, Schwingungen im Baugrund und Bauwerk, Gründungsschäden.
⁴ von der IHK Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Gründungen, Wasserhaltungen, Erschütterungen im Baugrund.
⁵ EBA-Gutachter für Geotechnik bei Bau-maßnahmen im Eisenbahnbau.

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG	3
2	VERANLASSUNG UND SITUATION AN DER MESSSTELLE	5
3	UNTERLAGENVERZEICHNIS	6
4	BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN	8
	4.1 Erschütterungsimmissionen	8
	4.2 Sekundärluftschallimmissionen	10
	4.3 Zugzahlen	13
5	SCHWINGUNGSMESSUNGEN	14
	5.1 Ablauf der Messungen	14
	5.2 Messapparatur	14
	5.3 Lage der Messpunkte	15
6	AUSWERTUNG UND MESSERGEBNISSE	16
7	PROGNOSEVERFAHREN	17
	7.1 Erschütterungsimmissionen	17
	7.2 Sekundärluftschallimmissionen	18
8	PROGNOSEERGEBNISSE UND BEWERTUNG	20
	8.1 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden	20
	8.2 Sekundäre Luftschallimmissionen	22
9	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	25

1 ZUSAMMENFASSUNG

Auf dem Baugrundstück „Am Annafließ“ in 15344 Straußberg (**Anlage 1**) sollen mehrere Wohngebäude errichtet werden. Das Baugrundstück grenzt im Osten an ein Bahngelände mit einem in Nord-Süd-Richtung verlaufendem S-Bahn-Gleis.

Ausgehend von Messungen im Baugrund war zu untersuchen, welche Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen sich aus dem S-Bahn-Verkehr für die geplanten Gebäude ergeben können. Aus den vor Ort, im Baugrund, bei Bahnverkehr gemessenen Schwingungsgeschwindigkeiten wurden Schwingschnelle-Spektren der Anregung ermittelt. Zur Berechnung der Schwingungsübertragung auf die Geschossdecken der Gebäude wurden frequenzabhängige Übertragungsfunktionen nach den Empfehlungen der Deutschen Bahn AG für die Erschütterungsprognose an Gleisstrecken angesetzt. Im Ergebnis liegen Prognosedaten für KB-Werte auf Geschossdeckenfeldern (Beton- bzw. Stahlbetondecken) und für Pegel des sekundären Luftschalls im Rauminneren vor.

Die Bewertung der Prognoseergebnisse nach gültigen Normen und Vorschriften führt zu folgenden Ergebnissen:

Erschütterungsimmissionen: Die Anforderungen der DIN 4150-2 für "Wohnungen und vergleichbar genutzte Räume" in Wohngebieten sind erfüllt. Erschütterungsbedingte Beeinträchtigungen von Personen im Sinne der DIN 4150-2 ("Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden") sind demnach in den geplanten Gebäuden nicht zu erwarten. Auch die empfohlenen Anhaltswerte für erhöhten Komfortanspruch werden eingehalten (s. **Abschnitt 4.1**).

Sekundärluftschallimmissionen: Für Neubauten mit einem Abstand von mindestens ca. 50 m zur Bahnanlage sind Sekundärluftschallpegel zu erwarten, die die für das BV angesetzten Anhaltswerte sowohl für die Tag- als auch die Nachtzeit einhalten. In einem Abstand zwischen ca. 35 m bis 50 m zur Bahnanlage muss damit gerechnet werden, dass Anhaltswerte für die Nachtzeit überschritten werden. Für Neubauten mit einem Abstand ≤ ca. 35 m muss mit der Überschreitung der Anhaltswerte sowohl für die Tag- als auch für die Nachtzeit gerechnet werden (s. **Abschnitt 4.2**).

Aus gutachterlicher Sicht wird auf Grundlage der Prognoseergebnisse empfohlen, Maßnahmen zur Reduktion der Sekundärluftschallimmissionen aus dem Schienenverkehr für Gebäude mit einem Abstand < ca. 50 m zur Bahnanlage zu treffen. Im Hinblick auf eine genaue Ermittlung des Erschütterungseintrags und für eine optimierte Dimensionierung von Dämmmaßnahmen müssen strukturdynamische Berechnungen vorgenommen werden. Auf diese Weise können Maßnahmen zur Immissionsminderung rechnerisch untersucht und auch hinsichtlich der resultierenden Kosten optimierte Varianten erarbeitet werden (**Abschnitt 9**).

2 VERANLASSUNG UND SITUATION AN DER MESSSTELLE

Auf einem Grundstück an der Straße "Am Annafließ" in Strausberg wird der Bau mehrerer Wohngebäude geplant. Östlich des Grundstückes verläuft die eingleisige Bahnstrecke der S-Bahn-Linie S5. Einen Überblick zeigt **Bild 2-1**.



Bild 2-1 Städtebaulicher Entwurf, Auszug aus dem Bebauungsplan Nr. 54/14 „Am Annafließ“ [U 15]

In dieser Situation werden über den Baugrund die Erschütterungen aus dem Bahnverkehr auf Gründungen, tragende Wände und die Geschossdecken der geplanten Gebäude übertragen. Aufgrund der gegebenen Abstandsverhältnisse können Störungen durch hohe Schwingungs- und Körperschallpegel nicht ohne nähere Prüfung ausgeschlossen werden.

Im vorliegenden Gutachten sollten anhand von Schwingungsmessungen vor Ort die maßgeblichen Schwingungsanregungen ermittelt werden. Das Büro GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH wurde von BBP Berlin – Brandenburger Projektgesellschaft mbH (Platanenstraße 112, 13156 Berlin) beauftragt, die Prognoseuntersuchungen zum Erschütterungs- und Sekundärluftschalleintrag für das Bauvorhaben vorzunehmen.

3 UNTERLAGENVERZEICHNIS

- [U 1] Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen im Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) vom 10. Mai 2000
- [U 2] DIN 4150-2 „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ vom Juni 1999
- [U 3] DIN 4150-3 „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ vom Februar 1999
- [U 4] DIN 45672-2 „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen, Auswerteverfahren“ vom September 1994
- [U 5] VDI 2057, Blatt 3 „Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen in Gebäuden“, vom Juni 2006
- [U 6] VDI 2719 "Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen“ vom August 1987
- [U 7] VDI 4100 „Schallschutz im Hochbau – Wohnungen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz“ vom Oktober 2012
- [U 8] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 24. BImSchV) vom 04.02.1997
- [U 9] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anweisung zum Schutz gegen Lärm - TA-Lärm) vom 26.08.1998
- [U 10] Rüdiger Borgmann: „Schutz vor Erschütterungen und sekundärem Luftschall an Schienenverkehrswegen“, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Schriftenreihe „Umwelt und Verkehr“, Heft 147 (2001)
- [U 11] Matthias Hintzsche: „Rechtliche Aspekte, Beurteilung von Erschütterungsimmissionen“, Getzner Werkstoffe, Seminar „Erschütterungen und Erschütterungsschutz – Bauen in der Umgebung von Bahnlagen“, Mai 2005
- [U 12] VGH Baden-Württemberg, Urteil vom 6.4.2006, 5 S 847/05, Rz. 117-126
- [U 13] „Erschütterungen und sekundärer Luftschall, Messung und Prognose“, Richtlinie 800.2502 der Deutsche Bahn AG (Entwurf vom 27.11.2006)

- [U 14] G. Vollberg: „Tieffrequenter Luftschall in Gebäuden“, DAGA '80 in: Hrsg. M. Heckl, H.A. Müller, Taschenbuch der Technischen Akustik, 2. Auflage, 1994, Springer-Verlag, Berlin
- [U 15] Städtebaulicher Entwurf, Auszug aus dem Bebauungsplan 54/14 „Am Annafließ“, Planergemeinschaft Kohlbrenner eG vom 26.02.2015
- [U 16] Bebauungsplan Nr. 54/14 „Am Annafließ“, Stadtverwaltung Strausberg, Fachgruppe Stadtplanung vom Oktober 2014
- [U 17] Fahrplan der S-Bahn Berlin GmbH für die S-Bahn-Linie S5,
<http://www.s-bahn-berlin.de>
- [U 18] Bauinformationen der S-Bahn Berlin GmbH für die S-Bahn-Linie S5,
http://bauarbeiten.bahn.de/docs/berlin-bb/infos/S5_2007-28092015_fahrplan.pdf

4 BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN

4.1 Erschütterungsimmissionen

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) [U 1] wird jedoch 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.

Zur Beurteilung erschütterungsbedingter Belästigungen von Personen finden i.d.R. die Normen DIN 4150-2 [U 2] und VDI 2057 Blatt 3 [U 5], Anwendung. Während für die Einschätzung von Schwingungen, die aus Industrieanlagen, Verkehr, Baustellen usw. auf nahegelegene Gebäude mit Wohnungen oder vergleichbar genutzten Räumen übertragen werden, die DIN 4150-2 verwendet wird, werden Schwingungen an Arbeitsplätzen i.allg. nach VDI 2057 bewertet.

Die im vorliegenden Fall interessierende Beurteilung nach DIN 4150-2 [U 2] erfordert einen Vergleich von messtechnisch oder durch Prognoseberechnungen für Fußböden ermittelten KB_{Fmax} -Werten mit Schwingstärke-Anhaltswerten A aus der Norm. Die Bestimmung der KB_{Fmax} -Werte erfolgt aus den Schwinggeschwindigkeiten $v(t)$ durch:

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

mit: $H_{KB} \Rightarrow$ Amplitudenfrequenzgang
 $f_0 = 5,6 \text{ Hz} \Rightarrow$ Grenzfrequenz d. Hochpasses
 $f = 1 \dots 80 \text{ Hz} \Rightarrow$ Frequenz

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

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

- Ermittlung der Maxima aus den gleitenden Effektivwerten (KB_{FTi}) für Zeittakte mit jeweils 30 s Dauer und Bestimmung der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} 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

$$KB_{FTr} = KB_{FTm} \sqrt{T_e / T_r}$$

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 [U 2] wie folgt aufgelistet.

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

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		$A_u^{(3)}$	A_o	$A_r^{(3)}$	$A_u^{(3)}$	A_o	$A_r^{(3)}$
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 ⁽¹⁾	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 ⁽¹⁾	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 ^(1,2)	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 ^(1,2)	0,05

1) für oberirdischen Schienenverkehr gilt nachts $A_o = 0,6$

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

3) für oberirdischen Schienenverkehr des ÖPNV gilt: A_u und $A_r \times 1,5$

Überschreitungen um 15% sind nach Abschnitt 5.4 und Anhang C (C.3.3 und C.5.4) der Norm [U 2] zu tolerieren.

Laut Bebauungsplan [U 16] ist das Baugelände als allgemeines Wohngebiet (§ 4 BauNVO) eingestuft. Demnach werden für die Beurteilung der Schwingungsimmissionen die Anhaltswerte der DIN 4150-2, Tabelle 1, Zeile 4, angewendet:

- tags: $A_u = 0,225$ $A_o = 3$ $A_r = 0,105$
- nachts: $A_u = 0,15$ $A_o = 0,6$ $A_r = 0,075$.

Für erhöhten Komfortanspruch sollte nachts ein empfohlener Anhaltswert von $A_o = 0,2$ eingehalten werden.

Auf eine Beurteilung der Erschütterungseinwirkung hinsichtlich einer Gefährdung der Bausubstanz kann an dieser Stelle verzichtet werden, da die gemessenen und prognostizierten Emissionspegel so klein sind, dass sie sehr deutlich unter allen Normanhaltswerten der DIN 4150-3 [U 3] liegen.

4.2 Sekundärluftschallimmissionen

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

- Schlafräume (nachts): $L_m = 30 \text{ dB(A)}$
- Wohnräume (tags): $L_m = 40 \text{ dB(A)}$
- Büroräume: $L_m = 45 \text{ dB(A)}$.

Darüber hinaus wird zur Beurteilung von Sekundärluftschallpegeln häufig auch die Richtlinie VDI 2719 „Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen“ [U 6] angewendet. 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 können die Anhaltswerte aus der Tabelle 6 der VDI 2719 für die Beurteilung von Sekundärluftschallpegeln angesetzt werden (**Tabelle 4-2**).

Es ist zu beachten, dass die als Mindestanforderung zu bewertenden Obergrenzen der angegebenen Anhaltswerte-Bereiche der mittleren Maximalpegel 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 primären Luftschall behandelt, der direkt von außen über die Fenster eindringt, während der von schwingenden Raumbegrenzungsflächen ausgehende sekundäre Luftschall i.d.R. ein anderes, tieffrequenteres Spektrum beinhaltet.

Tabelle 4-2 Anhaltswerte für Innenschallpegel nach VDI 2719

Raumart	A-bewertete	
	Mittelungspegel L_m in dB(A)	mittl. Maximalpegel $L_{pA,max}$ in dB(A)
1. Schlafräume nachts (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
2. Wohnräume tags		
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
3. Kommunikations- u. Arbeitsräume:		
3.1 Unterrichtsräume, ruhebedürftige Einzelbüros, wissenschaftliche Arbeitsräume, Bibliotheken, Konferenz- und Vortragsräume, Arztpraxen, Operationsräume, Aulen, Kirchen	30 bis 40	40 bis 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

Als Rechtsgrundlage für die Beurteilung von Lärmsituationen steht zusätzlich das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) zur Verfügung. In der 6. Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum BImSchG mit dem Titel „Technische Anweisung zum Schutz gegen Lärm - TA-Lärm [U 9] wird im Abschnitt 6.2 unabhängig von der Lage und Nutzung folgende Immissionsrichtwerte für Innenräume genannt:

tags 35 dB(A) nachts 25 dB(A).

Die angegebenen Werte sind als Mittelungspegel L_m zu verstehen. Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen ($L_{pA,max}$) dürfen die vorgenannten Immissionsrichtwerte um nicht mehr als 10 dB(A) überschreiten.

Die Verwendung der TA-Lärm für die Beurteilung des tieffrequenten sekundären Luftschalls aus Schienenverkehrswegen wird in der Rechtsprechung unterschiedlich bewertet. Nach Auffassung des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz [U 10] und des Umweltbundesamtes Berlin [U 11] kann die TA-Lärm ohne Interpretationsschwierigkeiten auf den Sekundärluftschall aus unterirdischem Bahnverkehr angewendet werden. Dagegen hat der Verwaltungsgerichtshof Baden-Württemberg [U 12] im Zusammenhang mit dem Planfeststellungsbeschluss für das Bahnprojekt Stuttgart 21 die Anwendung der TA-Lärm abgelehnt und auf die Anhaltswerte der 24. BImSchV verwiesen. Als Begründung wird angeführt, dass die TA-Lärm nach ihrem Wortlaut nur für Anlagen gilt, die dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) unterliegen, aber dort öffentliche Verkehrswege von der Anwendung des BImSchG ausdrücklich befreit sind.

Für das Bauvorhaben würden sich aus der TA-Lärm [U 9] folgende Obergrenzen für den Innenraum-Schalldruckpegel aus sekundärem Luftschall ergeben:

- Maximalpegel tags $L_{pA,max} = 45$ dB(A), nachts $L_{pA,max} = 35$ dB(A)
- Mittelungspegel tags $L_m = 35$ dB(A), nachts $L_m = 25$ dB(A).

Weiterhin empfiehlt die VDI 4100 „Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz“ [U 7] folgende Innenraumpegel (mittlere Maximalpegel) für erhöhten Schallschutz in Mehrfamilienhäusern in Bezug auf Geräusche aus gebäudetechnischen Anlagen:

- Schallschutzstufe I $\overline{L_{pA,max}} \leq 30$ dB(A)
- Schallschutzstufe II $\overline{L_{pA,max}} \leq 27$ dB(A)
- Schallschutzstufe III $\overline{L_{pA,max}} \leq 24$ dB(A).

5 SCHWINGUNGSMESSUNGEN

5.1 Ablauf der Messungen

Die Messungen zur Untersuchung der Immissionen aus dem S-Bahn-Verkehr fanden am 14.07.2015, zwischen 12:30 Uhr und 16:40 Uhr, statt. Zu diesen Zeiten gab es weder auf dem Grundstück noch in der näheren Umgebung erschütterungsintensive Arbeiten.

Den Vorgaben der DIN 4150-2 [U 2] und DIN 45 672 [U 3] entsprechend wurden vertikale und horizontale Schwinggeschwindigkeiten

$$v(t) = ds / dt \quad (s = \text{Schwingweg, } t = \text{Zeit})$$

gemessen. Jede Einzelmessung erfasste den vollständigen Schwingungsverlauf, vom Anschwellen der Schwingungsamplituden bei der Zugannäherung bis zum Abklingen nach der Überfahrt, an allen Messpunkten gleichzeitig.

5.2 Messapparatur

Die eingesetzte Messapparatur bestand aus folgenden Komponenten:

- elektrodynamische Geschwindigkeitsaufnehmer SM-6/U (Sensor Nederland BV, Holland)
- Messverstärker GeoLin mit Frequenzganglinearisierung (J.E.T. Systemtechnik GmbH)
- 15-Bit A/D-Wandler-System μ MUSYCS (imc Berlin)
- Notebook zur Messdatenerfassung.

Das Messsystem wurde mit den folgenden Grundeinstellungen betrieben:

- Messkanalanzahl: 14 Kanäle
- Abtastrate: 1 kHz pro Kanal
- Messsignalaufbereitung: Verstärkung 250-fach.

Die Messeinrichtung gestattet die digitale Registrierung des zeitlichen Verlaufs der Schwinggeschwindigkeit im Frequenzbereich von ca. 1 Hz bis mindestens 300 Hz und ermöglicht eine sichere Aufzeichnung der hier interessierenden Schwingungssignale, entsprechend den Anforderungen der DIN 4150-2 [U 2] und DIN 45 672 [U 3].

Die für die Schwingungsmessungen eingesetzten Geräte entsprechen den Vorgaben für Schwingungsmesser nach DIN 45669-1. Auf Basis der zulässigen Abweichungen der Schwingungsmessgeräte können bei der Erfassung von Schwingungsgrößen messtechnisch bedingte Unsicherheiten bis zu 15% auftreten.

5.3 Lage der Messpunkte

Die Messpunkte waren entlang zweier Profile (A und B) in verschiedenen Abständen zum Gleis in ca. 1,5 m tiefen Schürfen verteilt. Die Lage der Messpunkte MP1 und MP8 entsprach etwa dem Minimalabstand des Bauvorhabens zur Gleisanlage. In der **Tabelle 5-1** sowie im **Bild 5-1** ist die Lage der Messpunkte angegeben.

Tabelle 5-1 Lage der Messpunkte (MP)

Profil	MP Nr.	Orientierung ¹⁾	Abstand zum Gleis
A nördliche Seite des Baufeldes	1 _{z,x,y}	3D	16,5 m
	2 _z	vertikal	26,5 m
	3 _{z,x,y}	3D	51,5 m
B südliche Seite des Baufeldes	4 _{z,x,y}	3D	16,5 m
	5 _z	vertikal	26,5 m
	6 _{z,x,y}	3D	51,5 m

¹⁾ Die Orientierung der Aufnehmer bestimmt die Richtung der gemessenen Schwingungskomponente: vertikal = Vertikalkomponente (z), 3D = Vertikalkomponente (z), Horizontalkomponente quer zum Gleis (x) und Horizontalkomponente parallel zum Gleis (y)

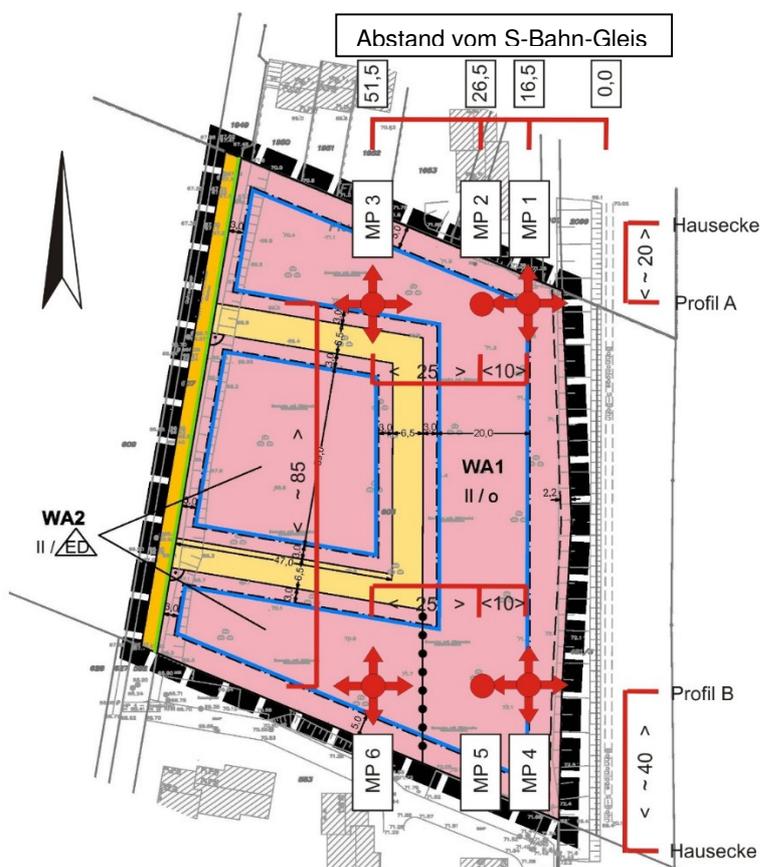


Bild 5-1 Übersicht der Messpunkte, Planerstellung auf Basis des Bebauungsplan Nr. 54/14 „Am Annafliß“ [U 16]

6 AUSWERTUNG UND MESSERGEBNISSE

Für die weitere Bearbeitung wurden folgende Verkehrssituationen mit der genannten Zahl an Einzelmessungen berücksichtigt:

- S-Bahn-Fahrten in Richtung Norden: 6 Registrierungen
- S-Bahn-Fahrten in Richtung Osten: 6 Registrierungen.

Aus den Messwertregistrierungen wurden Signalabschnitte entnommen, in denen möglichst ausschließlich die einzelnen S-Bahn-Fahrten registriert wurden. Die Zeitdauer dieser Signalauschnitte wurde mit $T = 10$ s festgelegt.

Exemplarisch sind einzelne Schwingungsregistrierungen in der **Anlage 2** als Zeitverläufe (Zeitabschnitt T in grün) mit den für die Zeitabschnitte berechneten Amplitudenspektren dargestellt.

Für jeden ausgewerteten Zeitabschnitt T wurden die absoluten Maxima der gemessenen Schwinggeschwindigkeit ermittelt. Die **Anlage 3** enthält eine Auflistung der Maximalwerte, die an den einzelnen Messpunkten registriert wurden. Ebenfalls angegeben sind die Höchstwerte und die arithmetisch gemittelten Maximalwerte aus allen ausgewerteten Zeitabschnitten je Verkehrssituation. Erwartungsgemäß nehmen die Schwinggeschwindigkeiten mit größer werdendem Abstand zum Gleis ab. Die größte Amplitude der Schwinggeschwindigkeit in vertikaler Richtung wurde am Messpunkt MP 1 mit 0,24 mm/s und in horizontaler Richtung am Messpunkt MP 4 mit 0,33 mm/s registriert.

Aus allen ausgewerteten Messungen wurden, für beide Verkehrssituationen, die mittleren linearen Spektren der Schwinggeschwindigkeit sowie unbewertete mittlere Terzspektren der Schwingschnelle berechnet und in der **Anlage 4** dargestellt. Die Schwingungsimmersionen aus dem S-Bahn-Verkehr enthalten tiefe Frequenzinhalte unterhalb von 50 Hz, die i.d.R. aus periodischer Krafteinleitung durch Achs- und Schwellenabstände in Verbindung mit der Fahrgeschwindigkeit des jeweiligen Zuges resultieren. Die Immissionsspektren aus den Registrierungen an den vorderen Profilmesspunkten in geringem Abstand zu dem Gleis weisen auch hochfrequente Schwingungsanteile bis ca. 130 Hz auf, die mit zunehmender Entfernung deutlich abnehmen.

7 PROGNOSEVERFAHREN

7.1 Erschütterungsimmissionen

Aus den im Baugrund gemessenen Schwinggeschwindigkeiten können die Schwingstärken auf den Geschosdecken des geplanten Bauwerks rechnerisch abgeschätzt werden. Beim Übergang vom Baugrund auf die Gründung und tragende Bauwerksteile sowie auf die Decken erfahren die Schwingungen 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 der vorliegenden Begutachtung waren die detaillierte Beschaffenheit der geplanten Baukonstruktion und ihre dynamischen Eigenschaften lediglich anhand pauschaler Ansätze zu berücksichtigen. Daher wurden für die Berechnung der Schwingungsübertragung vom Baugrund auf die Geschosdecken mittlere Übertragungsfunktionen angewendet. Die Unterlage [U 13] enthält empirisch ermittelte Übertragungsfunktionen für den Schwingungsübergang vom Baugrund auf Beton- oder Stahlbetondecken mit Resonanzüberhöhungen bis 9,5 bis 15 dB (s. **Anlage 5.1**). Diese Übertragungsfunktionen gelten für Deckenfelder in erster Linie als Reaktion auf vertikale Schwingungsanregungen.

Die aus den Signalausschnitten (Cuts) berechneten „fast“-bewerteten Peak Hold Terzspektren der Einzelmessungen an den vertikalen Messpunkten wurden mit den mittleren Übertragungsfunktionen Baugrund → Geschosdecke nach [U 13] beaufschlagt und folgend die resultierenden Deckenschwingungen berechnet. Um dabei alle bautechnisch möglichen Deckensteifigkeiten des Bauwerks einzubeziehen, wurden mehrere Übertragungsfunktionen angewendet, deren Maxima in den Terzbändern zwischen $10 \text{ Hz} < f_e < 40 \text{ Hz}$ liegen. Dadurch konnten alle relevanten Deckeneigenfrequenzen und damit i.d.R. verbundenen Resonanzeffekte in einem Gebäude innerhalb der Prognoseberechnung berücksichtigt werden. Die **Anlage 5.2** veranschaulicht den Rechenvorgang an vier Beispielen.

Zur Berechnung des KB-Wertes wird, wie im **Abschnitt 4.1** erläutert, der KB-bewertete Maximalwert des Zeitverlaufes benötigt. Im Ergebnis des Prognoseverfahrens liegen jedoch nur die Terzspektren der Schwingschnelle ohne Phaseninformationen vor. Eine Rücktransformation in den Zeitbereich ist somit nicht möglich.

Die Berechnung der KB Werte erfolgt entsprechend der Ausführungen der DIN 4150-2 [U 2] 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:

$$KB = \sqrt{\sum_f KB(f)^2}$$

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 anhand der Anhaltswerte hinsichtlich erschütterungsbedingter Beeinträchtigungen von Personen nach DIN 4150-2 bewertet (**Abschnitt 4.1**).

Nach der oben beschriebenen Verfahrensweise wurden aus den registrierten Messwerten Prognosewerte für die Schwingstärken (KB-Werte) im geplanten Gebäude berechnet. Eine Zusammenfassung und Bewertung hinsichtlich erschütterungsbedingter Beeinträchtigungen von Personen nach DIN 4150-2 wird in **Abschnitt 8.1** des vorliegenden Berichtes vorgenommen.

7.2 Sekundärluftschallimmissionen

Da ein direkter Zusammenhang zwischen der Schwingschnelle an den Raumbegrenzungsflächen (insbesondere auf den Fußböden und Decken) und abgestrahltem Luftschall besteht, lassen sich die sekundären Luftschallpegel aus den Summenpegeln L_{VA} der A-bewerteten Terzspektren der Schwingschnelle L_v ableiten.

Schätzwerte für den sekundären Luftschallpegel erhält man nach [U 14] über die Beziehung:

$$L_{pA}(f) = L_{vA}(f) + 10 \lg(4 S/A) + 10 \lg \sigma(f) \quad \text{in dB(A)} \quad (1)$$

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

$L_{vA}(f)$ = A-bewerteter Schnellepegel der Raumbegrenzungsflächen in dB(A)
bezogen auf 5×10^{-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 σ angesetzt werden:

S \approx 2 x Grundrissfläche G des Raumes

A \approx 0,8 x Grundrissfläche G des Raumes

σ (f) = 1 für Frequenzen > 63 Hz, für tiefere Frequenzen erfolgt eine Absenkung.

Für jede Einzelmessung und jeden Messpunkt wurden die „fast“-bewerteten Peak Hold Terzspektren im Frequenzbereich bis 250 Hz berechnet. Durch Anwendung der Übertragungsfunktionen nach Unterlage [U 13], anschließender A-Bewertung und Raumschallkorrektur nach Formel (1) erhält man die Terzspektren für die Sekundärluftschallprognose. Die Summenpegel liefern Schätzwerte für die zu erwartenden Maximalpegel des Sekundärluftschalls in Abhängigkeit von Deckeneigenfrequenzen. Eine Zusammenfassung und Beurteilung wird in **Abschnitt 9** vorgenommen.

8 PROGNOSEERGEBNISSE UND BEWERTUNG

8.1 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Die Beurteilung der Geschossdeckenschwingungen hinsichtlich der Belästigung von Personen erfolgt auf der Grundlage der DIN 4150-2 [U2]. Danach sind die prognostizierten maximalen bewerteten Schwingstärken KB_{Fmax} auf den Geschossdecken der geplanten Gebäude den in der Norm genannten Anhaltswerten A_u und A_o gegenüberzustellen.

Aus den Prognoseberechnungen mit den Terzspektren aus den Registrierungen der einzelnen Fahrten ergeben sich die in **Anlage 6** aufgelisteten und in **Tabelle 8-1** zusammengestellten maximalen bewerteten Schwingstärken auf Geschossdecken KB_{Fmax} . Des Weiteren sind die Anhaltswerte der DIN 4150-2 [U2] in der Tabelle eingetragen. Bei den Berechnungen wurden mögliche Deckenresonanzen im Frequenzbereich $10 \text{ Hz} \leq f_e \leq 40 \text{ Hz}$ berücksichtigt. Im Folgenden werden nur die aus den Registrierungen der vertikalen Messpunkte im Baugrund resultierenden Prognosewerte bewertet.

Tabelle 8-1 Prognoseergebnisse für die maximalen bewerteten Schwingstärken KB_{Fmax} und Anhaltswerte der DIN 4150-2

Profil	Messpunkt	Abstand zum Gleis	maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} aus der Prognoseberechnung	Anhaltswerte A_u / A_o
A	1 _z	16,5 m	0,15	für die Tagzeit (6-22 Uhr): 0,225 / 3,0 für die Nachtzeit: (22-6 Uhr): 0,15 / 0,6
	2 _z	26,5 m	0,18	
	3 _z	51,5 m	0,08	
B	4 _z	16,5 m	0,13	
	5 _z	26,5 m	0,19	
	6 _z	51,5 m	0,13	

Aus dem Vergleich der prognostizierten KB_{Fmax} -Werte mit den Anhaltswerten in der rechten Spalte geht hervor, dass bei S-Bahn-Verkehr die oberen Anhaltswerte für die Tag- und Nachtzeit eingehalten werden.

Am Messpunkt MP 1 wird der untere Anhaltswert A_u für die Nachtzeit erreicht und an den Messpunkten MP 2 und MP 5 überschritten.

In diesem Fall müssen aus den Taktmaximal-Effektivwerten KB_{FTm} (**Anlage 6**, rechte Spalten) unter Berücksichtigung der Einwirkungszeiten bzw. Zugzahlen die Beurteilungs-Schwingstärken KB_{FTr} berechnet und mit den Anhaltswerten A_r für die Tag- und Nachtzeit verglichen werden.

Für den gesamten Zugverkehr auf der Bahnstrecke ergeben sich die Beurteilungs-Schwingstärken KB_{FTr} nach der Gleichung

$$KB_{FTr} = \sum_{\text{Richtung}} \sqrt{\frac{1}{T_r} (N_{\text{Richtung}} \cdot T_{e,\text{Richtung}} \cdot KB_{FTm,\text{Richtung}}^2)}$$

mit $T_r = 16 \text{ h} = 960 \text{ min}$ für die Tagzeit und $T_r = 8 \text{ h} = 480 \text{ min}$ für die Nachtzeit,

N_{Richtung} = die im Abschnitt 4.3 angegebenen Zugzahlen,

$T_{e,\text{Richtung}}$ = 0,5 min für jede S-Bahn-Vorbeifahrt, gemäß den Vorgaben der DIN 4150-2.

Unter Zugrundelegung der prognostizierten Taktmaximal-Effektivwerte KB_{FTm} und der im **Abschnitt 4.3** angegebenen Zugzahlen ergeben sich folgende Höchstwerte der Beurteilungs-Schwingstärke:

- $KB_{FTr,\text{Tag}} = 0,03$ an den Messpunkten MP 1, MP 2 und MP 5 und
- $KB_{FTr,\text{Nacht}} = 0,03$ am Messpunkt MP 2.

Demzufolge wird sowohl der Anhaltswert $A_r = 0,1$ für die Tagzeit, als auch $A_r = 0,075$ für die Nachtzeit deutlich eingehalten.

Damit sind die Anforderungen der DIN 4150-2 für reine und allgemeine Wohngebiete für die angesetzten Zugzahlen erfüllt. Erschütterungsbedingte Störungen im Sinne der Norm sind demnach in den geplanten Gebäuden nicht zu erwarten.

Auch der oberer Anhaltswert $A_o = 0,2$ für erhöhte Komfortansprüche wurde an allen Messpunkten eingehalten.

Zu berücksichtigen ist, dass sich nach der aktuellen Planung der Abstand zwischen den Gebäuden und der Bahnanlage durch den Neubau eines zweiten Gleises noch verringern kann. Die Bewertungen sind auf die aktuellen Abstandsverhältnisse bezogen.

8.2 Sekundäre Luftschallimmissionen

Die A-bewerteten Schwingschnellespektren L_{vA} ermöglichen die Berechnung von A-bewerteten Schalldruckpegeln L_{pA} in Gebäuden nach der in **Abschnitt 7.2** angegebenen Beziehung (1). Die **Anlage 7** enthält eine Auflistung dieser Schalldruckpegel, wie sie aus den Prognoseberechnungen mit den Terzspektren der einzelnen Fahrten ermittelt wurden. Bei den Berechnungen wurden mögliche Deckenresonanzen im Frequenzbereich $10 \text{ Hz} \leq f_e \leq 40 \text{ Hz}$ berücksichtigt. In **Tabelle 8-2** bzw. **Tabelle 8-3** wurden die Prognosewerte für die Maximalpegel $L_{pA,max}$ bzw. mittleren Maximalpegel $\overline{L_{pA,max}}$ den empfohlenen Anhaltswerten gegenübergestellt (**Abschnitt 4.2**).

Tabelle 8-2 Prognoseergebnisse für den Sekundärluftschall und Anhaltswerte (Maximalpegel)

Profil	Messpunkt	Abstand zum Gleis	Maximalpegel $L_{pA,max}$ [dB(A)] aus der Prognoseberechnung	empfohlene Anhaltswerte für Maximalpegel [dB(A)]
A	1z	16,5 m	50,4	für die Tagzeit (6-22 Uhr): 45 für die Nachtzeit: (22-6 Uhr): 35
	2z	26,5 m	49,3	
	3z	51,5 m	33,1	
B	4z	16,5 m	55,4	
	5z	26,5 m	43,2	
	6z	51,5 m	27,2	

Tabelle 8-3 Prognoseergebnisse für den Sekundärluftschall und Anhaltswerte (mittlere Maximalpegel)

Profil	Messpunkt	Abstand zum Gleis	Mittlere Maximalpegel $\overline{L_{pA,max}}$ [dB(A)] aus der Prognoseberechnung	empfohlene Anhaltswerte für mittlere Maximalpegel [dB(A)]
A	1z	16,5 m	47,8	für die Tagzeit (6-22 Uhr): 40 für die Nachtzeit: (22-6 Uhr): 30-33
	2z	26,5 m	44,8	
	3z	51,5 m	30,7	
B	4z	16,5 m	50,1	
	5z	26,5 m	38,5	
	6z	51,5 m	25,5	

Aus der Gegenüberstellung der prognostizierten Maximalpegel und der Anhaltswerte ergibt sich, dass die empfohlenen Anhaltswerte für die Tag- und die Nachtzeit an den Messpunkten MP 1, MP 2, MP 4 und MP 5 überschritten werden. Erst an den Messpunkten MP 3 und MP 6 in einem Abstand von 51,5 m von der Bahnanlage ergeben sich Prognosepegel, die die Anhaltswerte sowohl für die Tag- als auch die Nachtzeit einhalten.

Des Weiteren sollen die Mittelungspegel L_m für den gesamten S-Bahn-Verkehr in beide Richtungen ermittelt werden. Sie ergeben sich aus der energetischen Mittelung nach

$$L_m = 10 \cdot \lg \left[\sum_{\text{Richtung}} \frac{1}{T_r} \left(N_{\text{Richtung}} \cdot T_{e,\text{Richtung}} \cdot 10^{\overline{L_{pA,\text{max,Richtung}}}/10} \right) \right]$$

mit $T_r = 16 \text{ h} = 57600 \text{ s}$ für die Tagzeit

und $T_r = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$ für die lauteste Stunde zur Nachtzeit

N_{Richtung} = die im Abschnitt 4.3 angegebenen Zugzahlen,

$T_{e,\text{Richtung}} = 10 \text{ s}$ für jede S-Bahn-Vorbeifahrt.

Eine Übersicht über die Mittelungspegel und die empfohlenen Anhaltswerte (**Abschnitt 4.2**) enthält **Tabelle 8-4**.

Tabelle 8-4 Prognoseergebnisse für den Sekundärluftschall und Anhaltswerte (Mittelungspegel)

Profil	Messpunkt	Abstand zum Gleis	Mittelungspegel L_m [dB(A)] aus der Prognoseberechnung		empfohlene Anhaltswerte für Mittelungspegel [dB(A)]
			Tagzeit (6-22 Uhr)	Nachtzeit (lauteste Stunde)	
A	1z	16,5 m	30,2	30,0	für die Tagzeit (6-22 Uhr): 35 für die Nachtzeit (lauteste Stunde): 25
	2z	26,5 m	27,2	27,0	
	3z	51,5 m	13,1	12,9	
B	4z	16,5 m	32,5	32,4	
	5z	26,5 m	20,8	20,7	
	6z	51,5 m	7,9	7,7	

Aus der Gegenüberstellung der prognostizierten Mittelungspegel und der Anhaltswerte ergibt sich, dass der empfohlene Anhaltswert für Mittelungspegel für die Tagzeit eingehalten wird. Der Anhaltswert für die Nachtzeit wird im Abstandsbereich der Messpunkten MP 1 und MP 4 (jeweils 16,5 m vom Gleis entfernt) überschritten. Dieser wird erst mit einem Abstand > ca. 30 m eingehalten.

9 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Ausgehend von den gemessenen Baugrundschrwingungen wurden die Schwingstärken auf den Geschossdecken der geplanten Gebäude und die abgestrahlten Sekundärluftschallpegel prognostiziert. Das angewendete Verfahren ermöglicht dabei eine überschlägige Vorabschätzung der Deckenschwingungen, ohne dass auf Details der Baukonstruktion eingegangen wird. Innerhalb der Prognoseberechnungen wird stets vom ungünstigsten Fall ausgegangen; d.h., es wurde angenommen, dass die dominierenden Frequenzen der Schwingungsemissionen mit den ersten Biegeeigenfrequenzen der Geschossdeckenfelder übereinstimmen (Resonanzfall).

Die Bewertung der Prognoseergebnisse nach gültigen Normen und Vorschriften führt zu folgenden Ergebnissen:

Erschütterungsmissionen: Die Anforderungen der DIN 4150-2 für "Wohnungen und vergleichbar genutzte Räume" in Wohngebieten sind erfüllt. Erschütterungsbedingte Beeinträchtigungen von Personen im Sinne der DIN 4150-2 ("Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden") sind demnach in den geplanten Gebäuden nicht zu erwarten. Auch die empfohlen Anhaltswerte für erhöhten Komfortanspruch werden eingehalten (s. **Abschnitt 4.1**).

Sekundärluftschallmissionen: Für Neubauten mit einem Abstand von mindestens ca. 50 m zur Bahnanlage sind Sekundärluftschallpegel zu erwarten, die die für das BV angesetzten Anhaltswerte sowohl für die Tag- als auch die Nachtzeit einhalten. In einem Abstand zwischen ca. 35 m bis 50 m zur Bahnanlage muss damit gerechnet werden, dass Anhaltswerte für die Nachtzeit überschritten werden. Für Neubauten mit einem Abstand < ca. 35 m muss mit der Überschreitung der Anhaltswerte sowohl für die Tag- als auch für die Nachtzeit gerechnet werden (s. **Abschnitt 4.2**).

Aus gutachterlicher Sicht wird auf Grundlage der Prognoseergebnisse empfohlen, Maßnahmen zur Reduktion der Sekundärluftschallimmissionen aus dem Schienenverkehr für Gebäude mit einem Abstand ≤ ca. 50 m zur Bahnanlage zu treffen.

Zur Reduktion der höherfrequenten Schwingungsanteile, die den abgestrahlten sekundären Luftschall bestimmen, besteht im vorliegenden Fall nicht die Möglichkeit einer Reduzierung der Schwingungsanregung direkt an der Quelle, d.h. an den Gleisen selbst. Der Einbau von Unterschottermatten auf oberirdischen Strecken weist im Vergleich zu Tunnelabschnitten eine sehr geringe Schwingungsminderung auf. Alternativ können die Erschütterungseinträge im Bereich des Empfängers, also am Gebäude, vermindert werden. Beispielsweise kann eine hoch wirksame elastische Gebäudelagerung umgesetzt werden. Unter Zugrundelegung der hier vorgestellten Prognosewerte müsste die Maßnahme die höherfrequenten Schwingungsimmissionen um ca. 15-20 dB reduzieren, um die Einhaltung der empfohlenen Anhaltswerte (basierend auf den Anforderungen der VDI 2719, 24. BImSchV und TA-Lärm) zu gewährleisten. Wie bereits beschrieben, stellt jedoch das angewendete Prognoseverfahren eine Abschätzung nach oben dar. Die tatsächlich in geplanten Gebäuden auftretenden Schwingungspegel können, je nach Konstruktion, geringer ausfallen.

Die hohen Sekundärluftschallpegel resultieren teilweise aus Frequenzanteilen über 100 Hz. Für diesen Frequenzbereich weist das Prognoseverfahren der DB AG darüber hinaus eine größere Unschärfe auf. Daher wird empfohlen die Prognose anhand von strukturdynamischen Berechnungen zu verbessern.

Darüber hinaus kann auch die Wirksamkeit von elastischen Gebäudelagerungen oder auch von einer Modifikation der Gebäudegründung anhand von FE-Modellen sowie unter Ansatz zusätzlicher Halbraummodelle untersucht werden. Grundsätzlich kommen in der Variantenbildung sowohl flächige Lagerungen unterhalb der Fundamentplatte mittels Elastomermatten als auch diskrete Einzellager, wie Stahlfederelemente oder Elastomerstreifen auf den Untergeschoss- bzw. Erdgeschosswänden, innerhalb des Gebäudes infrage. Zur optimalen Dimensionierung werden im Zuge der Berechnungen Parameter, wie die Steifigkeiten von Fundament- und Impedanzplatten bzw. der elastisch gelagerten Geschossdecke, der Geschosswände sowie des elastischen Materials, variiert. Die dreidimensionale Modellrechnung berücksichtigt die Interaktion zwischen dem nachgiebigen Bauwerk mit seinen Bauteileigenschwingungen und der für die Schwingungsisolation erforderlichen elastischen Lagerelemente. Nur unter Betrachtung dieser Effekte ist eine hinsichtlich ihrer Wirksamkeit aber auch der entstehenden Kosten effektive Dimensionierung der Dämmmaßnahme zielführend.

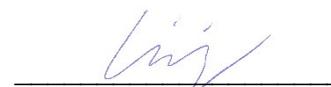
Die bauliche Möglichkeit der untersuchten Varianten wird im Vorfeld mit Architekten, Tragwerksplanern und ggf. sonstigen Gutachtern sowie der TGA abgeklärt.

Es wird auch empfohlen, einen Bauakustiker in die Planung des Gebäudes zu involvieren, um insbesondere beim Innenausbau (Auslegung des schwimmenden Estrichs, leichter Trennwände, abgehängter Decken usw.) Resonanzen, die im Bereich der Bahnanregung liegen, zu vermeiden. Vor allem ist zu beachten, dass durch Resonanzeffekte eines schwimmenden Estrichs um bis zu 10 dB höhere Sekundärluftschallpegel auftreten können. Im Zuge des Innenausbaus sollten daher für Gebäude in einem Abstand > ca. 50 m zur Bahnanlage darauf geachtet werden, dass Estricheigenfrequenzen unterhalb 80 Hz vermieden werden. Für Gebäude in geringerem Abstand muss die Abstimmung unter Berücksichtigung der Maßnahme zur Schwingungsreduktion erfolgen.

Für ergänzende Hinweise und Erläuterungen stehen wir gern zur Verfügung.



ppa. Dr.-Ing. S. Appel



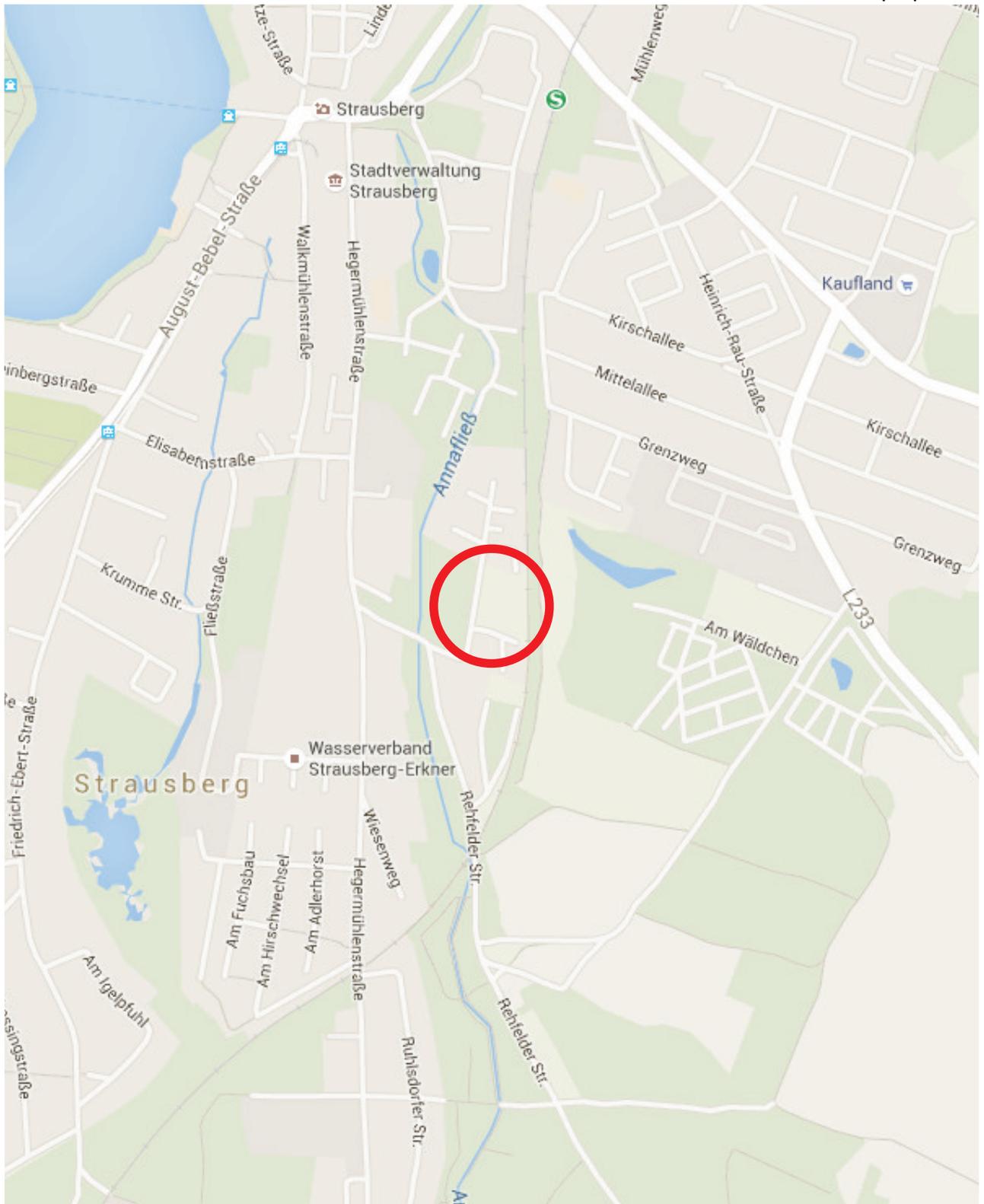
M. Sc. Th. Liesig

Verzeichnis der Anlagen

	Seiten- anzahl
1 Übersichtsplan	1
2 Zeitverläufe und Spektren der Schwinggeschwindigkeit	8
3 Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit	2
4 Mittlere Spektren der Schwinggeschwindigkeit	4
5 Prognose der Deckenschwingungen	
5.1 Übertragungsfunktion	1
5.2 Prognoserechenvorgang	4
6 Prognoseergebnisse: Taktmaximalwerte der Schwingstärke	1
7 Prognoseergebnisse: sekundäre Luftschallpegel	1



Übersichtsplan

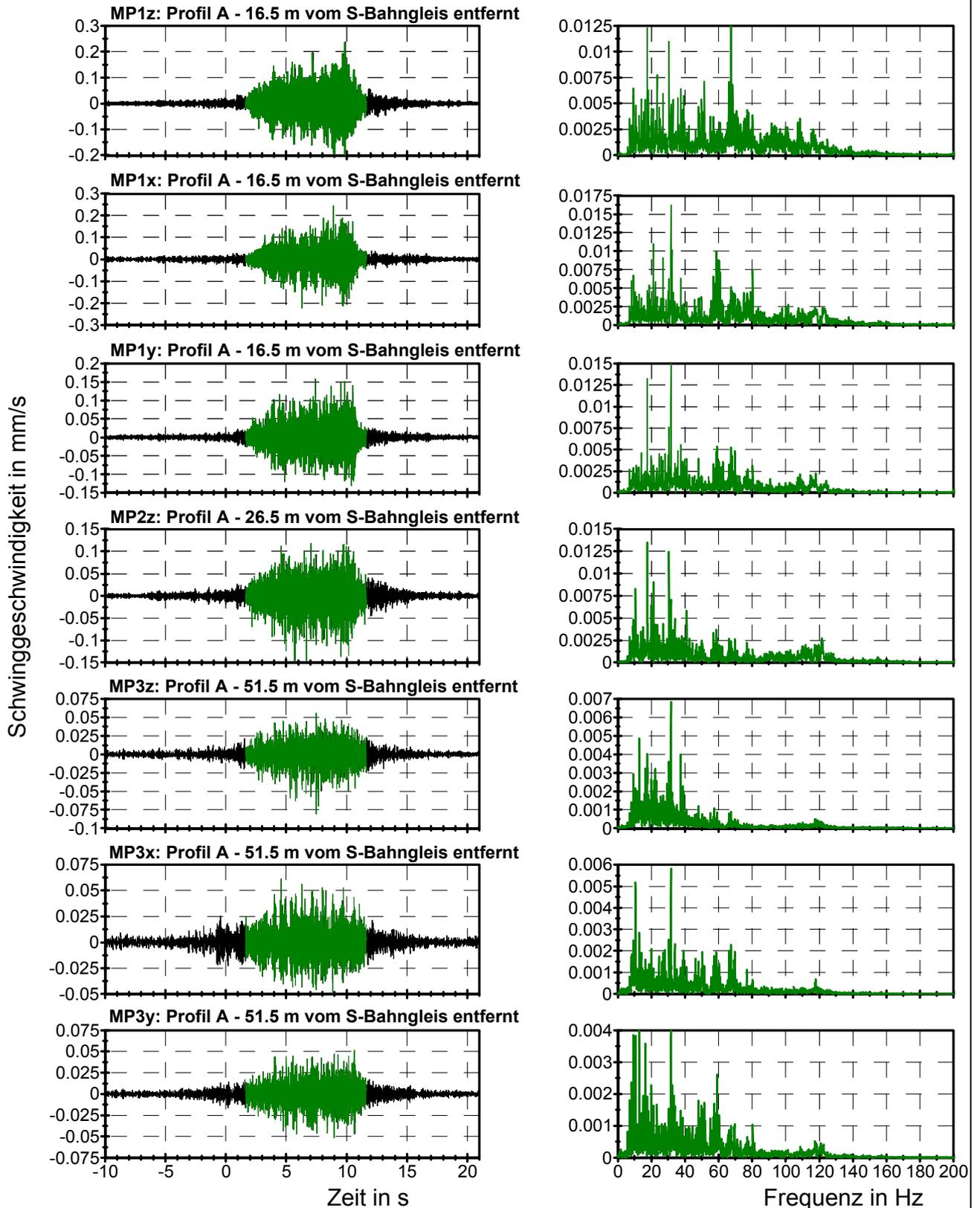


Quelle: Kartendaten © 2015 GeoBasis-DE/BKG (© 2009), Google



Zeitverläufe

Spektren

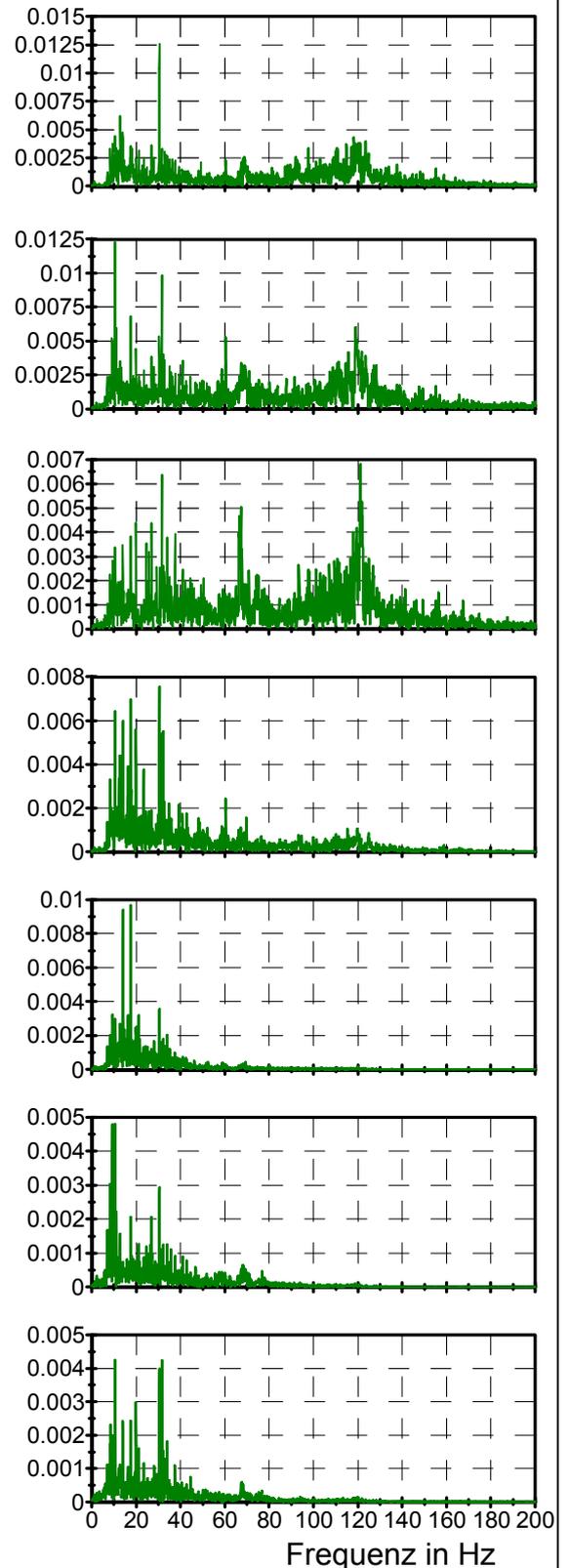
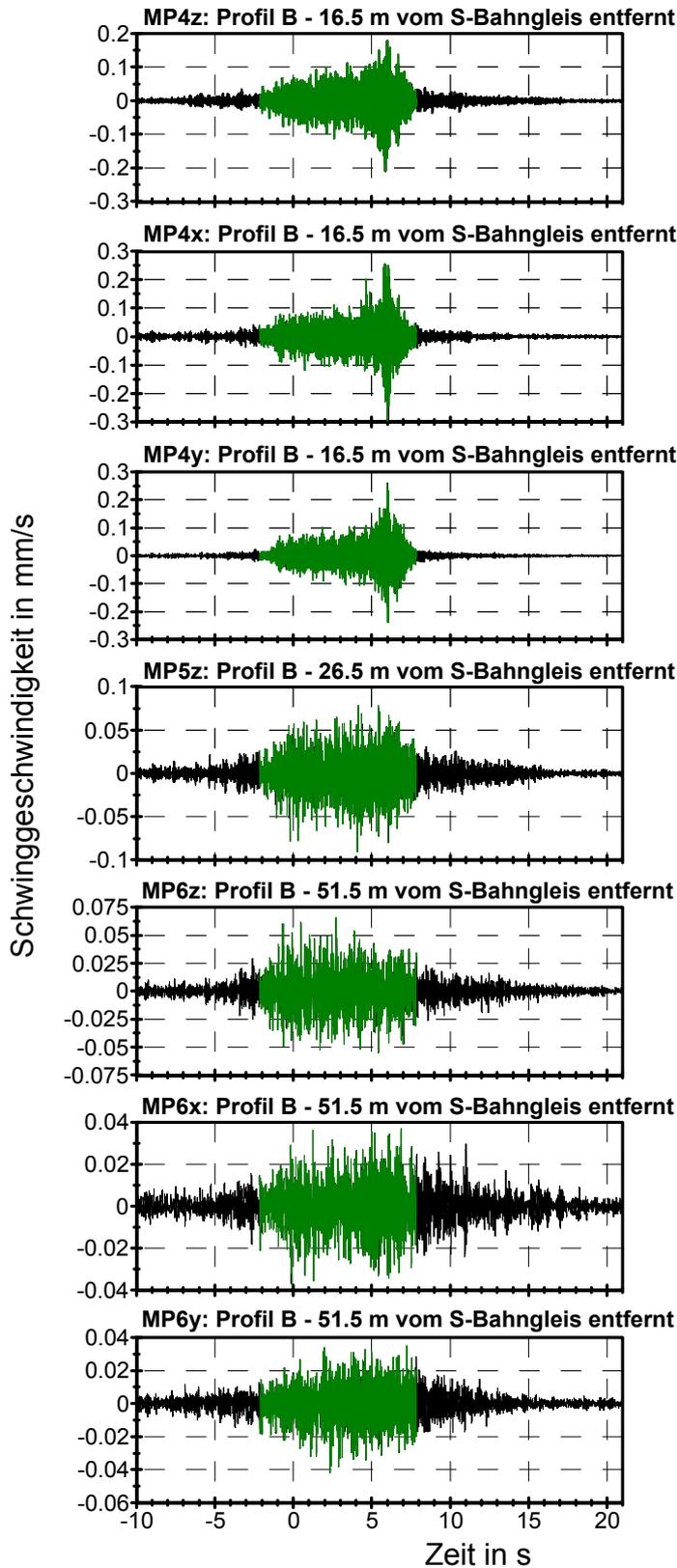


S-Bahn in Richtung Nord, Messung M11, Cut 2
Zeitverläufe und Spektren der Schwingungsgeschwindigkeit
Profil A (MP1-3)



Zeitverläufe

Spektren



S-Bahn in Richtung Nord, Messung M11, Cut 2
Zeitverläufe und Spektren der Schwingungsgeschwindigkeit
Profil B (MP4-6)



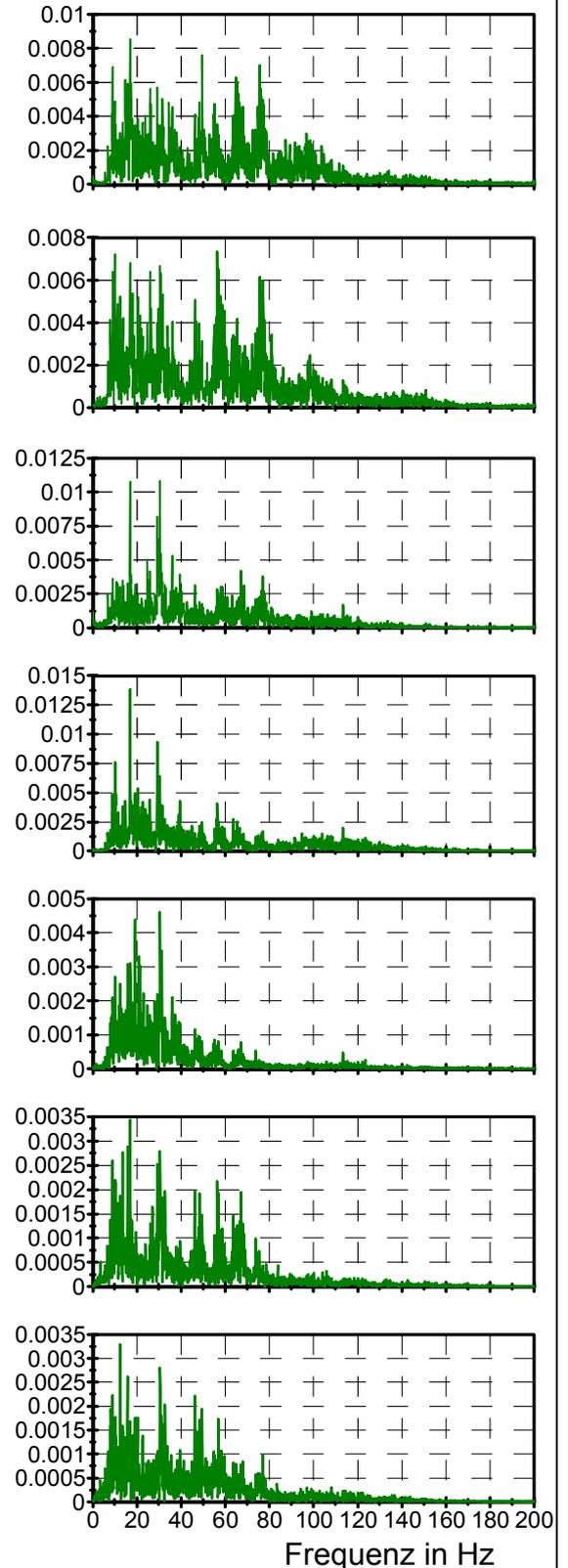
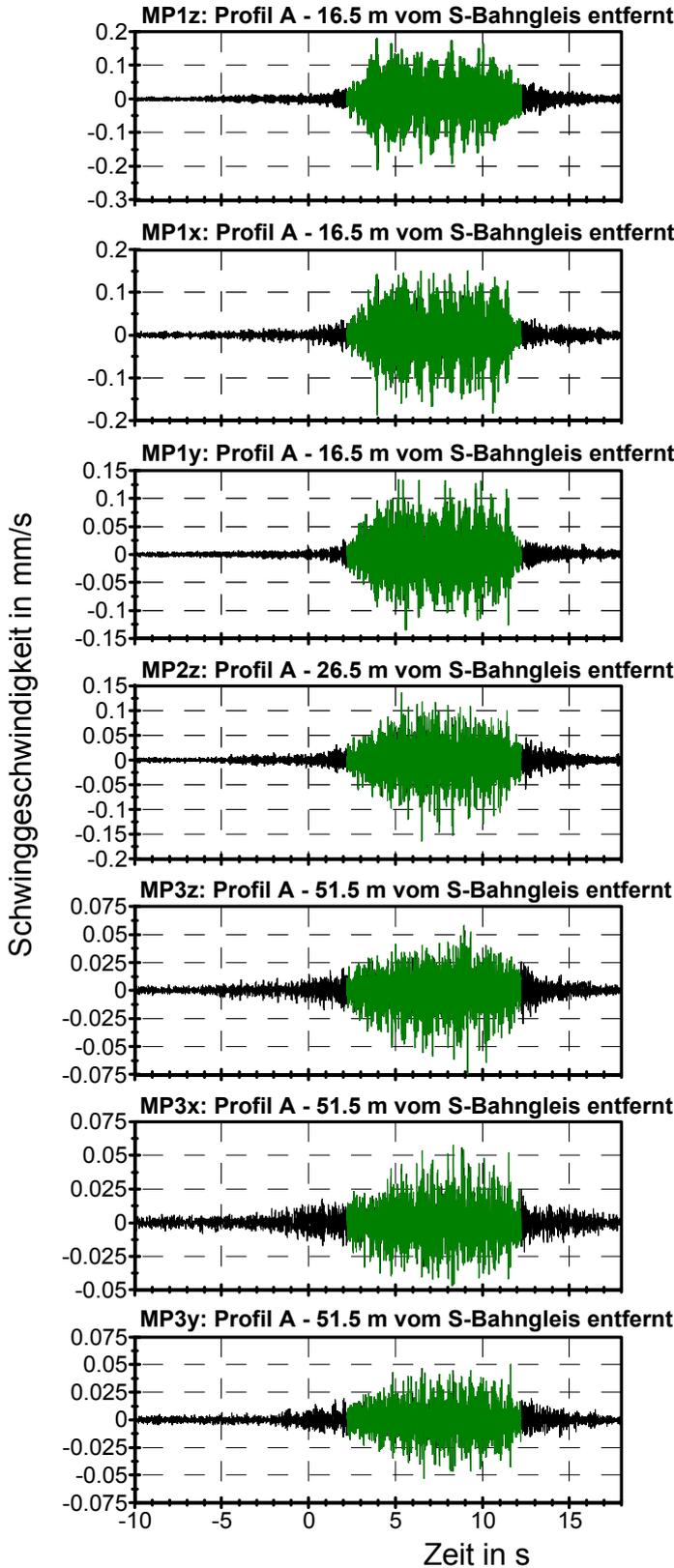
PROJEKT

Schwingungstechnische Untersuchungen für das BV
Am Annafieß in Strausberg

Projekt-Nr. G 118/15

Zeitverläufe

Spektren



S-Bahn in Richtung Nord, Messung M22, Cut 5
Zeitverläufe und Spektren der Schwingungsgeschwindigkeit
Profil A (MP1-3)



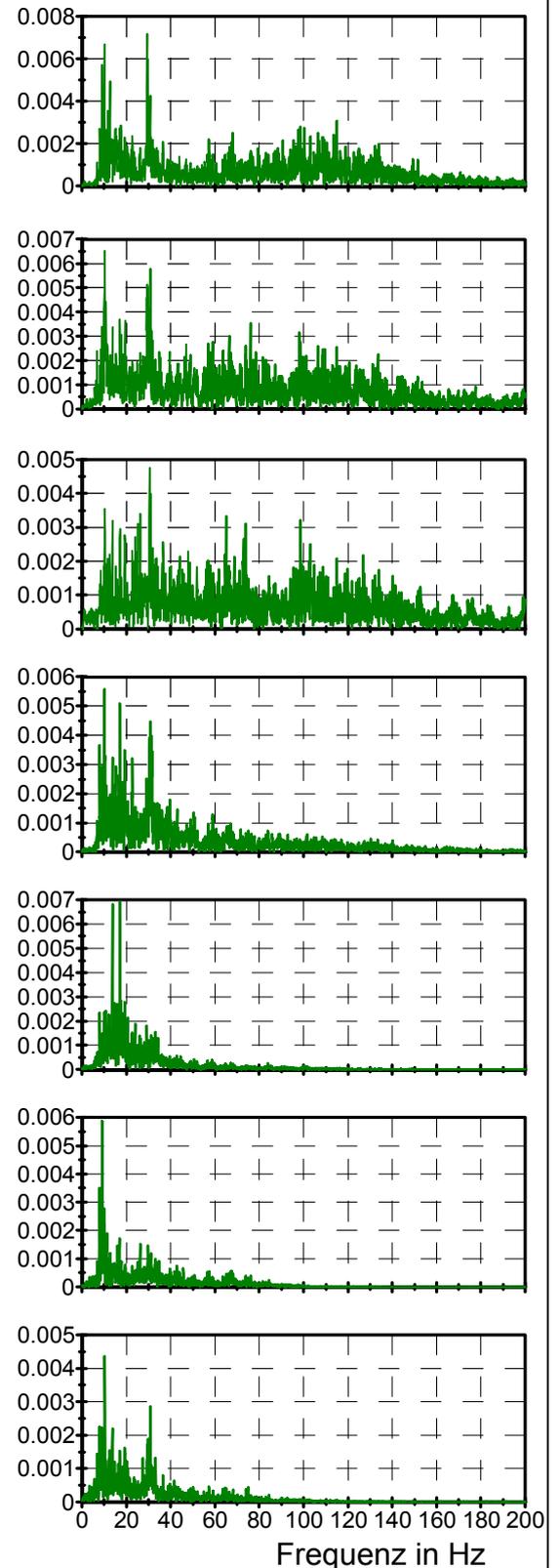
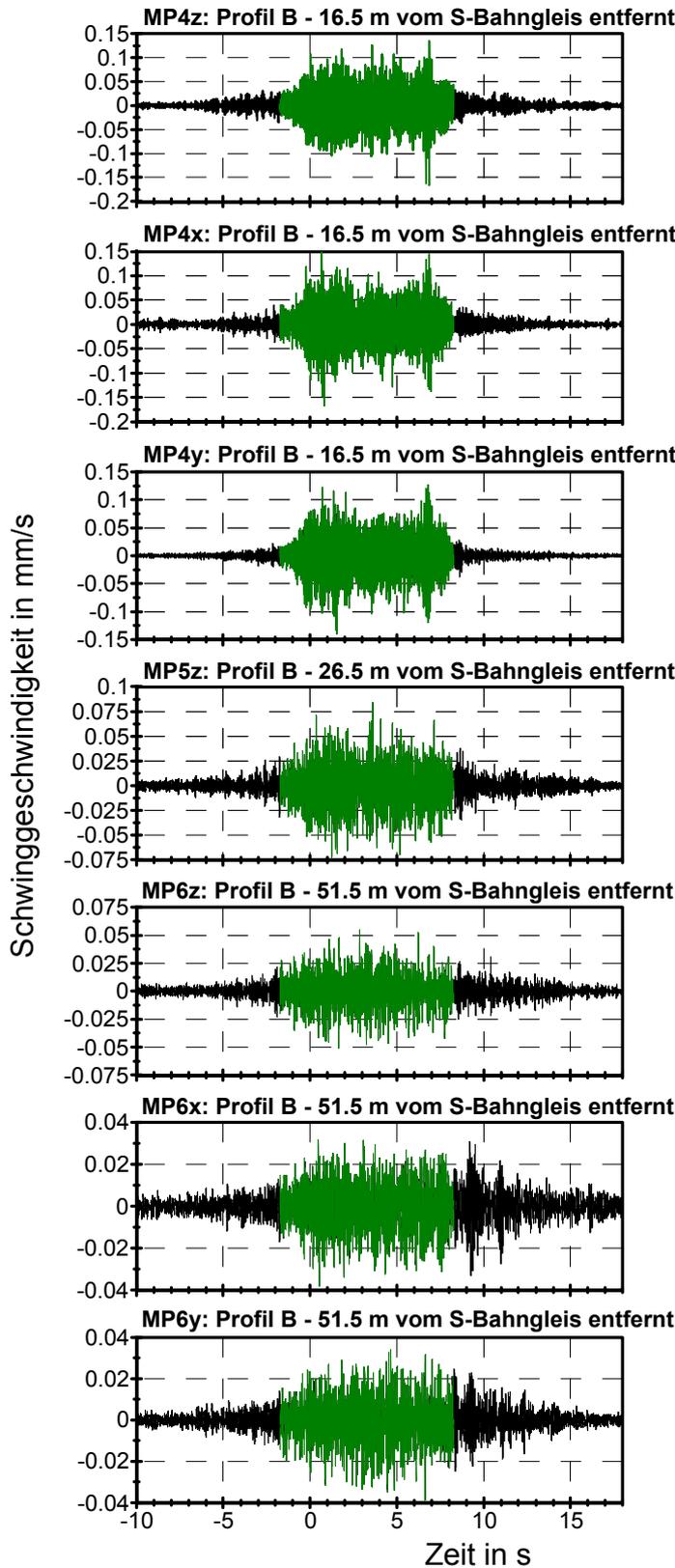
PROJEKT

Schwingungstechnische Untersuchungen für das BV
Am Annafieß in Strausberg

Projekt-Nr. G 118/15

Zeitverläufe

Spektren



S-Bahn in Richtung Nord, Messung M22, Cut 5
Zeitverläufe und Spektren der Schwingungsgeschwindigkeit
Profil B (MP4-6)



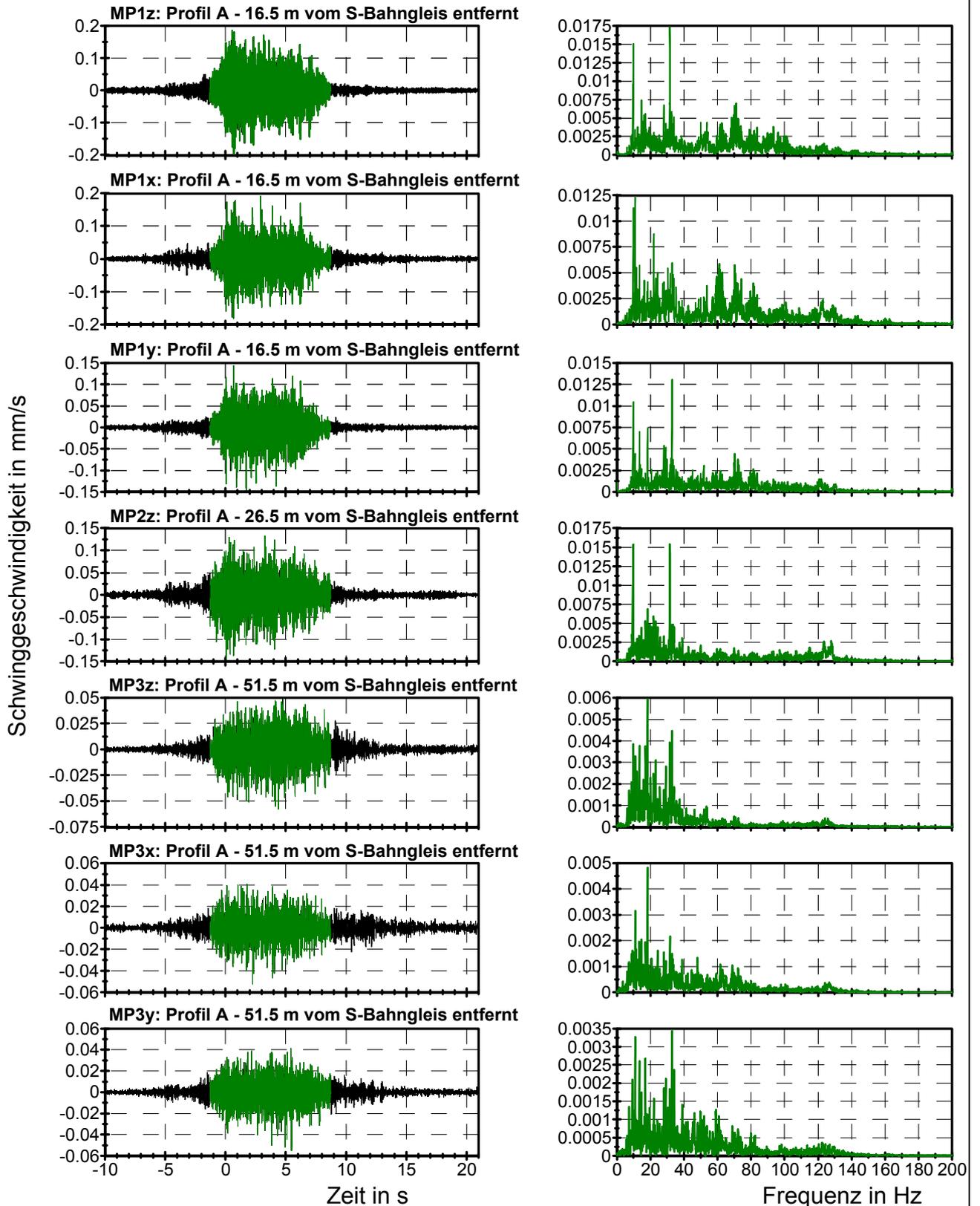
PROJEKT

Schwingungstechnische Untersuchungen für das BV
Am Annafieß in Strausberg

Projekt-Nr. G 118/15

Zeitverläufe

Spektren



S-Bahn in Richtung Süd, Messung M12, Cut 2
Zeitverläufe und Spektren der Schwingungsgeschwindigkeit
Profil A (MP1-3)



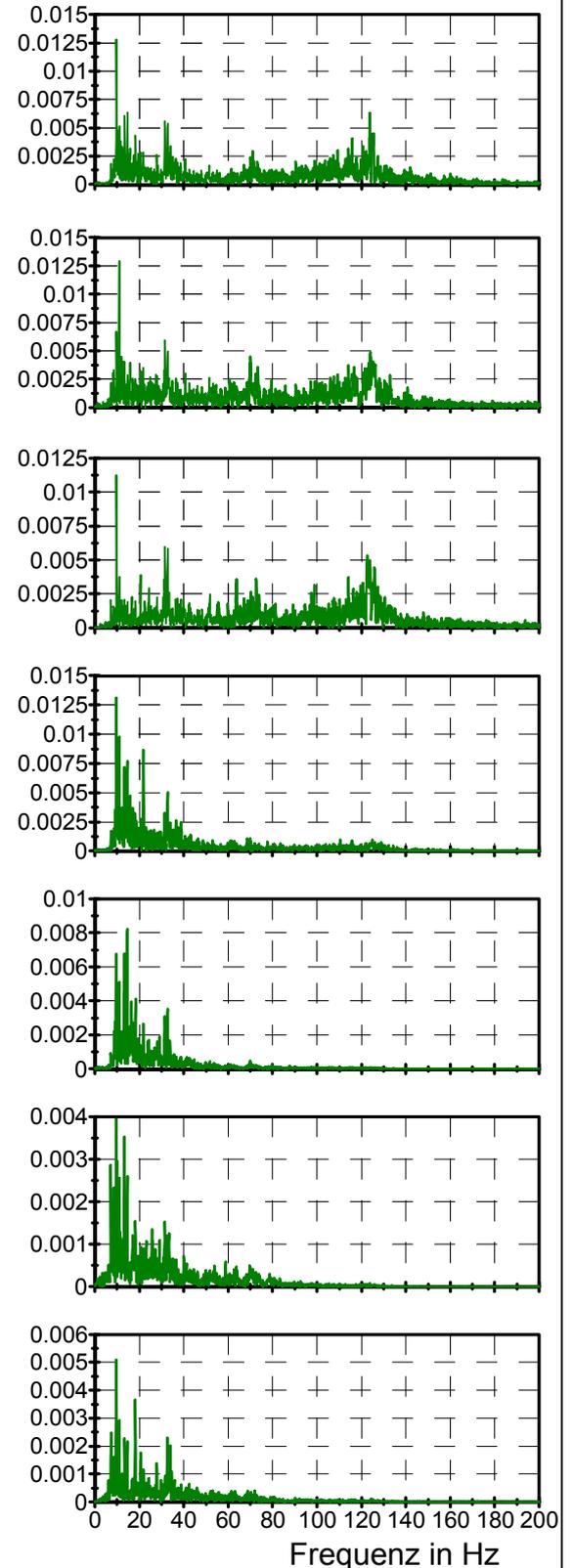
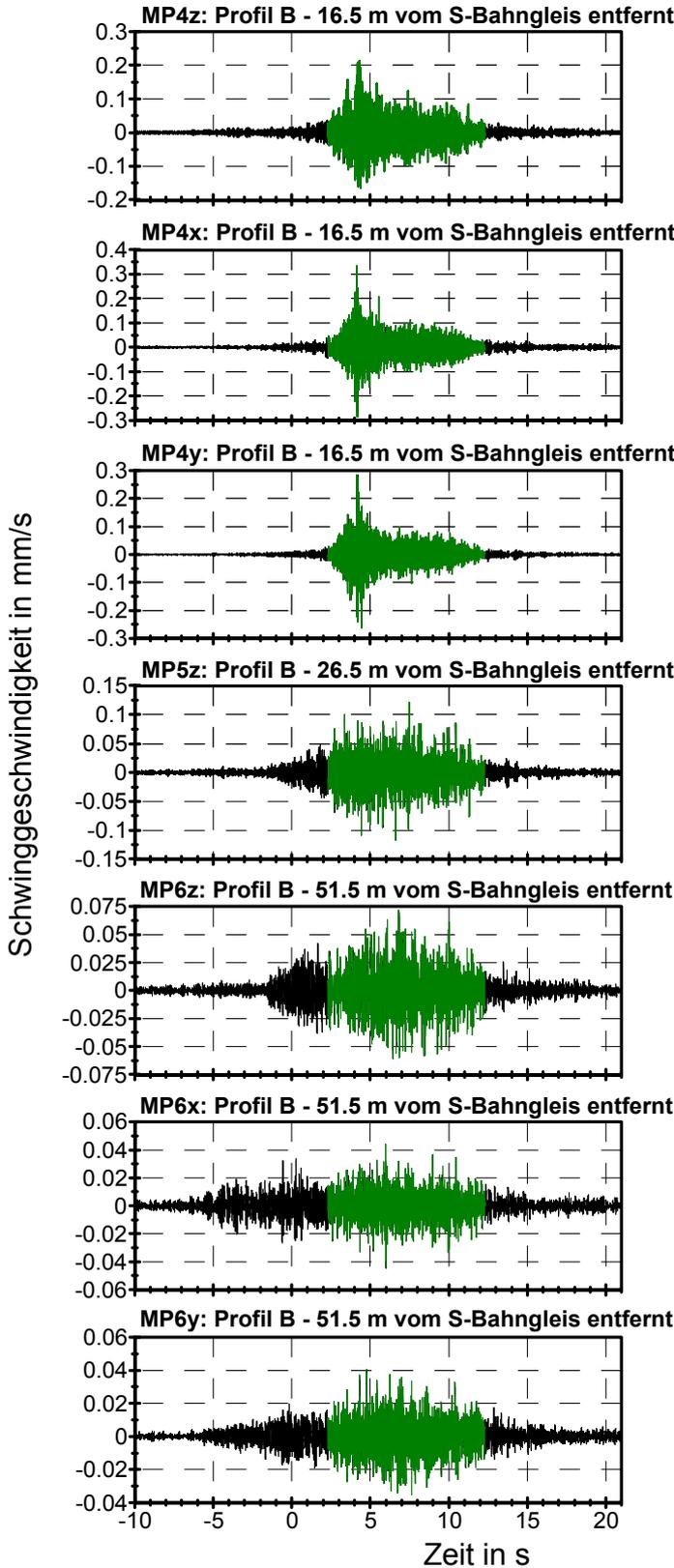
PROJEKT

Schwingungstechnische Untersuchungen für das BV
Am Annafieß in Strausberg

Projekt-Nr. G 118/15

Zeitverläufe

Spektren



S-Bahn in Richtung Süd, Messung M12, Cut 2
Zeitverläufe und Spektren der Schwingungsgeschwindigkeit
Profil B (MP4-6)



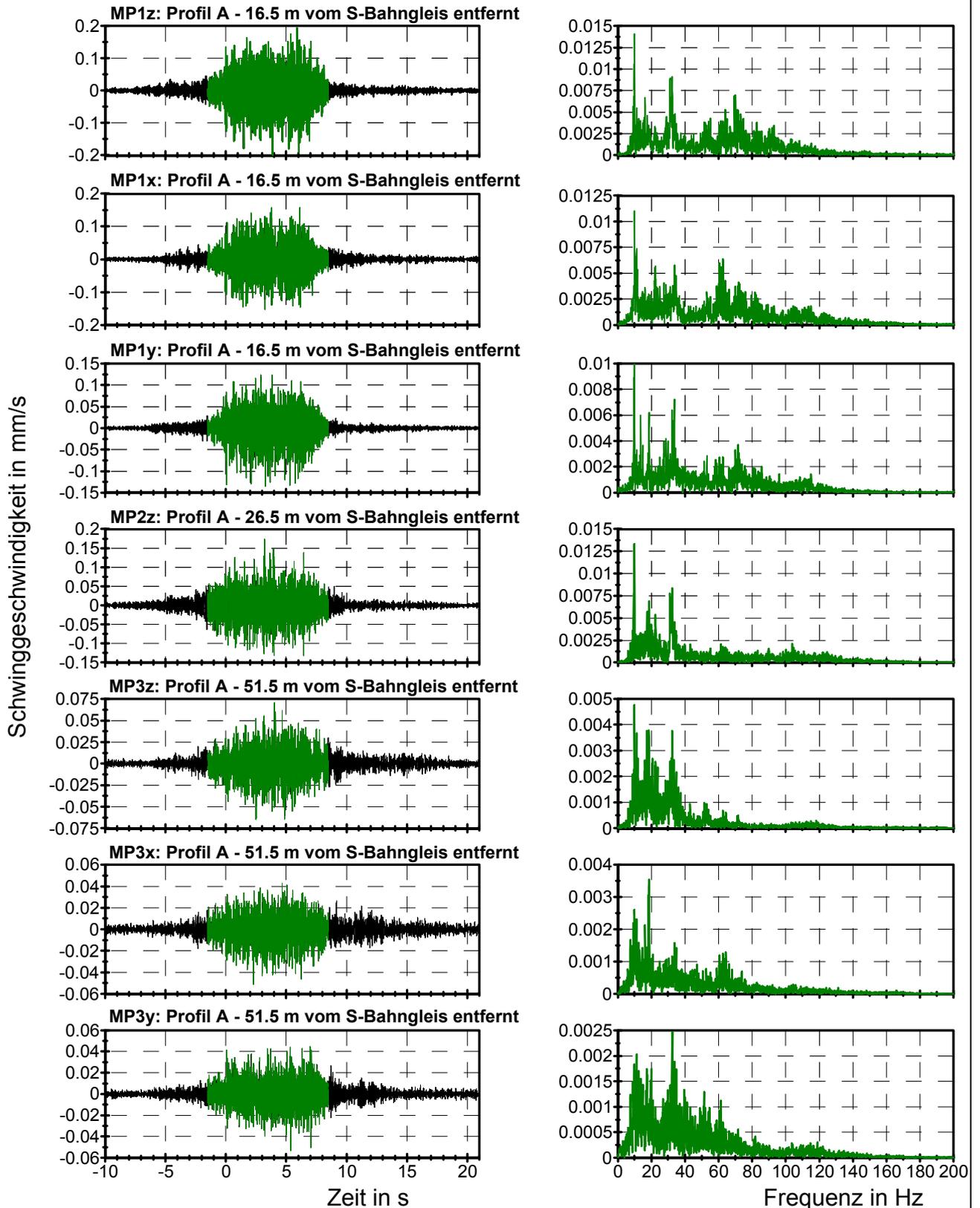
PROJEKT

Schwingungstechnische Untersuchungen für das BV
Am Annafieß in Strausberg

Projekt-Nr. G 118/15

Zeitverläufe

Spektren



S-Bahn in Richtung Süd, Messung M25, Cut 6
Zeitverläufe und Spektren der Schwinggeschwindigkeit
Profil A (MP1-3)



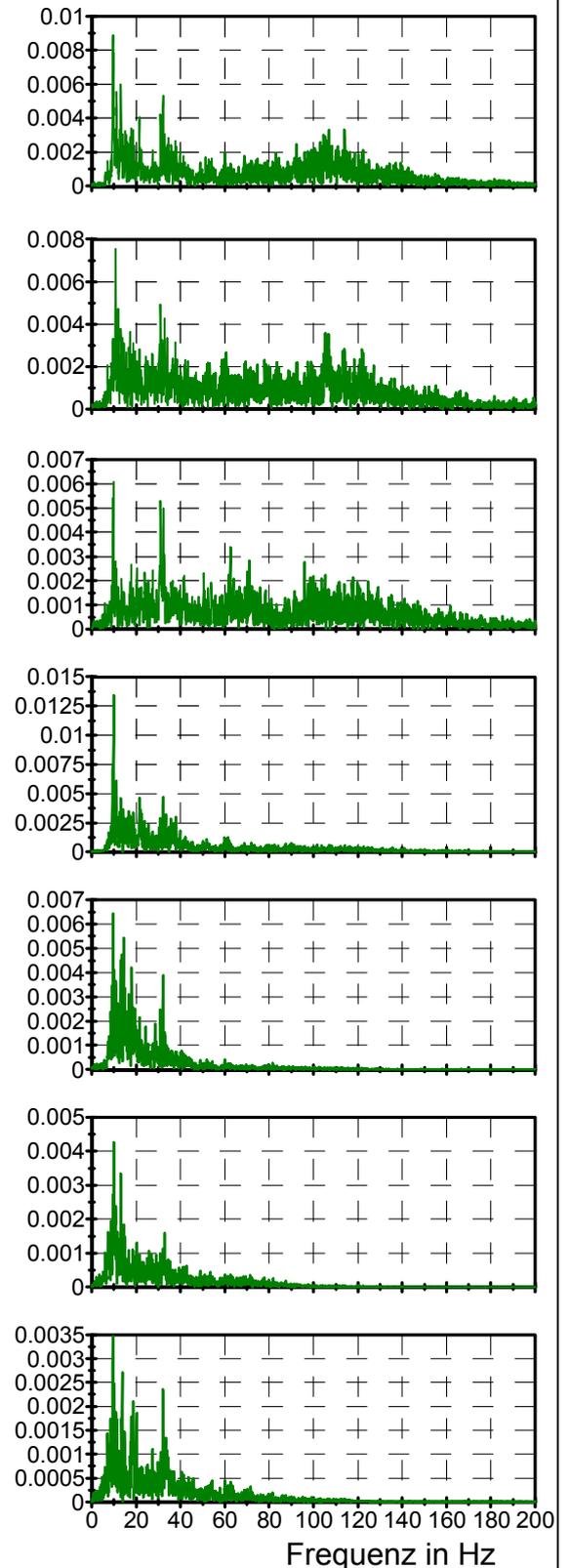
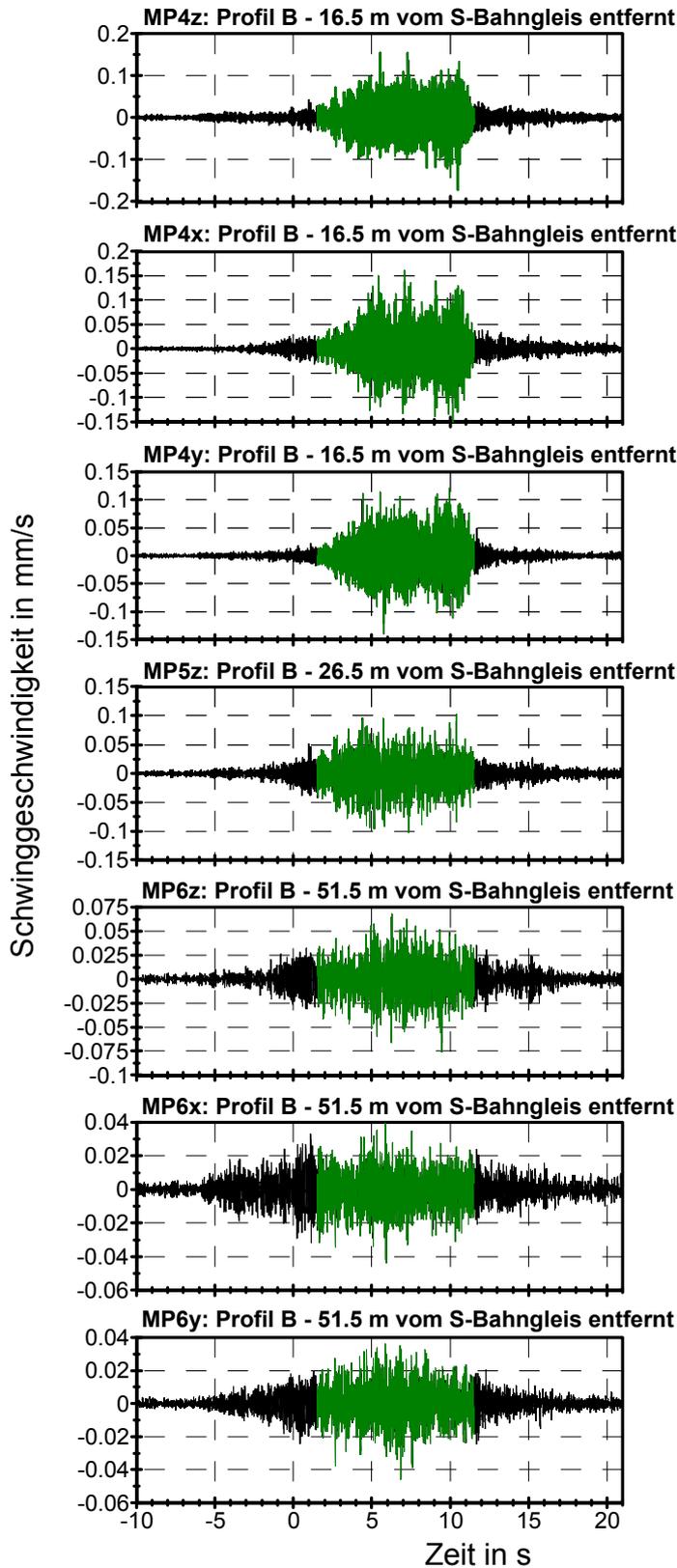
PROJEKT

Schwingungstechnische Untersuchungen für das BV
Am Annafieß in Strausberg

Projekt-Nr. G 118/15

Zeitverläufe

Spektren



S-Bahn in Richtung Süd, Messung M25, Cut 6
Zeitverläufe und Spektren der Schwingungsgeschwindigkeit
Profil B (MP4-6)



		Cut Nummer							Max	Mittel
		1	2	3	4	5	6			
Messpunkt	1z	0.19	0.24	0.16	0.18	0.21	0.20	0.24	0.20	
	1x	0.23	0.24	0.18	0.19	0.19	0.20	0.24	0.21	
	1y	0.16	0.16	0.15	0.14	0.13	0.15	0.16	0.15	
	2z	0.16	0.15	0.14	0.14	0.16	0.16	0.16	0.15	
	3z	0.08	0.08	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	
	3x	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.07	0.07	0.06	
	3y	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	
	4z	0.13	0.21	0.15	0.12	0.17	0.13	0.21	0.15	
	4x	0.17	0.30	0.20	0.15	0.17	0.16	0.30	0.19	
	4y	0.12	0.26	0.14	0.14	0.14	0.13	0.26	0.15	
	5z	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08	
	6z	0.05	0.07	0.05	0.06	0.05	0.05	0.07	0.06	
	6x	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
	6y	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	

Lage der Messpunkte

Messprofil A:

MP1: 16.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)
MP2: 26.5 m vom S-Bahngleis entfernt (vertikal)
MP3: 51.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)

Messprofil B:

MP4: 16.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)
MP5: 26.5 m vom S-Bahngleis entfernt (vertikal)
MP6: 51.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)

S-Bahnen in Richtung Nord

Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit (mm/s)



		Cut Nummer							Max	Mittel
		1	2	3	4	5	6			
Messpunkt	1z	0.17	0.20	0.18	0.18	0.18	0.20	0.20	0.19	
	1x	0.25	0.19	0.18	0.15	0.17	0.16	0.25	0.18	
	1y	0.13	0.15	0.13	0.13	0.14	0.13	0.15	0.13	
	2z	0.13	0.15	0.15	0.16	0.15	0.17	0.17	0.15	
	3z	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	
	3x	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
	3y	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	
	4z	0.14	0.21	0.15	0.14	0.15	0.17	0.21	0.16	
	4x	0.14	0.33	0.18	0.18	0.15	0.16	0.33	0.19	
	4y	0.12	0.28	0.15	0.12	0.12	0.14	0.28	0.15	
	5z	0.09	0.12	0.13	0.11	0.12	0.10	0.13	0.11	
	6z	0.06	0.07	0.08	0.07	0.06	0.08	0.08	0.07	
	6x	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.04	0.06	0.05	
6y	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04		

Lage der Messpunkte

Messprofil A:

MP1: 16.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)
MP2: 26.5 m vom S-Bahngleis entfernt (vertikal)
MP3: 51.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)

Messprofil B:

MP4: 16.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)
MP5: 26.5 m vom S-Bahngleis entfernt (vertikal)
MP6: 51.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)

S-Bahnen in Richtung Süd

Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit (mm/s)



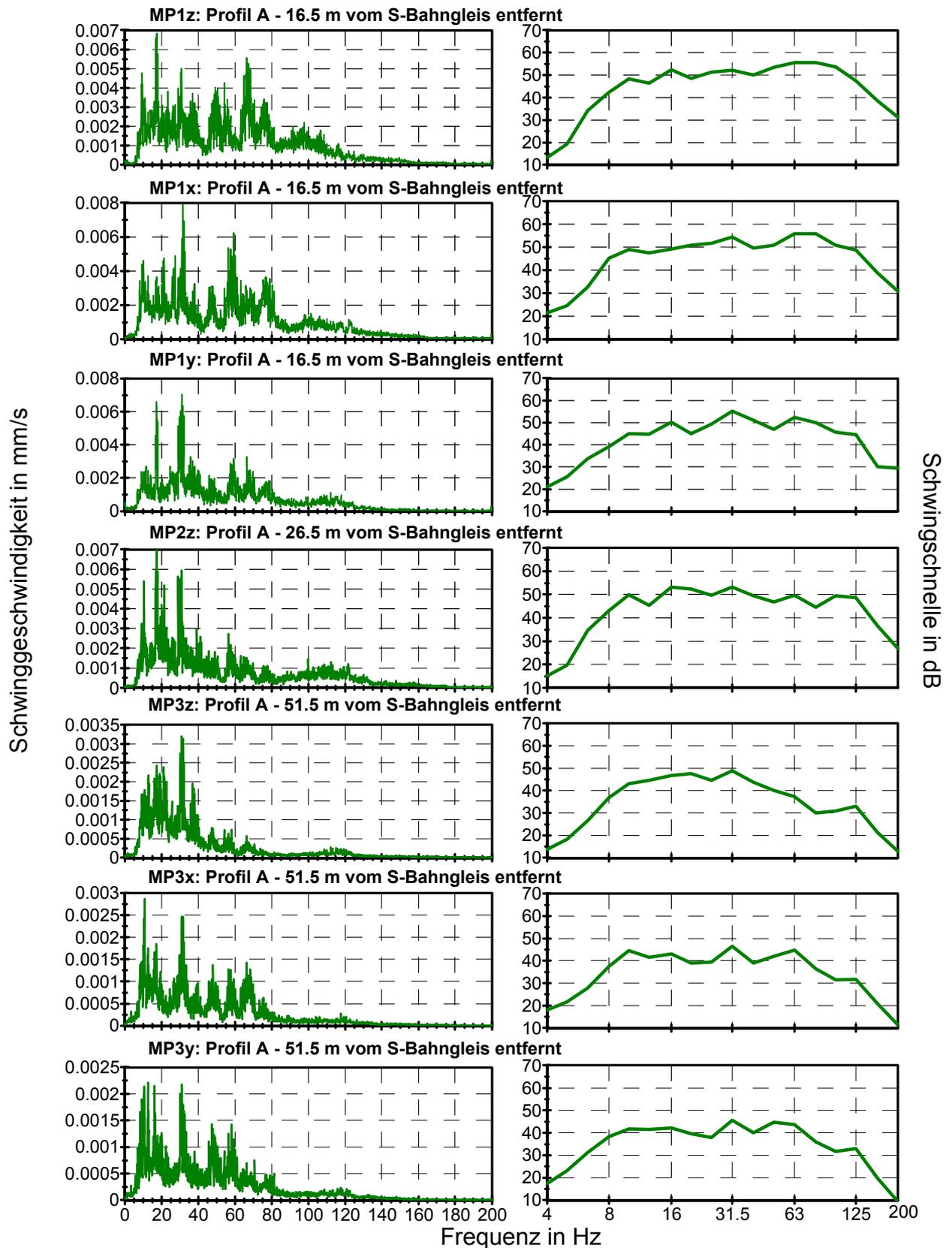
PROJEKT

Schwingungstechnische Untersuchungen für das BV
Am Annafieß in Strausberg

Projekt-Nr. G 118/15

mittlere lineare Spektren

mittlere Terzspektren



**S-Bahnen in Richtung Nord
Mittlere Spektren der Schwingungsgeschwindigkeit
Profil A (MP1-3)**



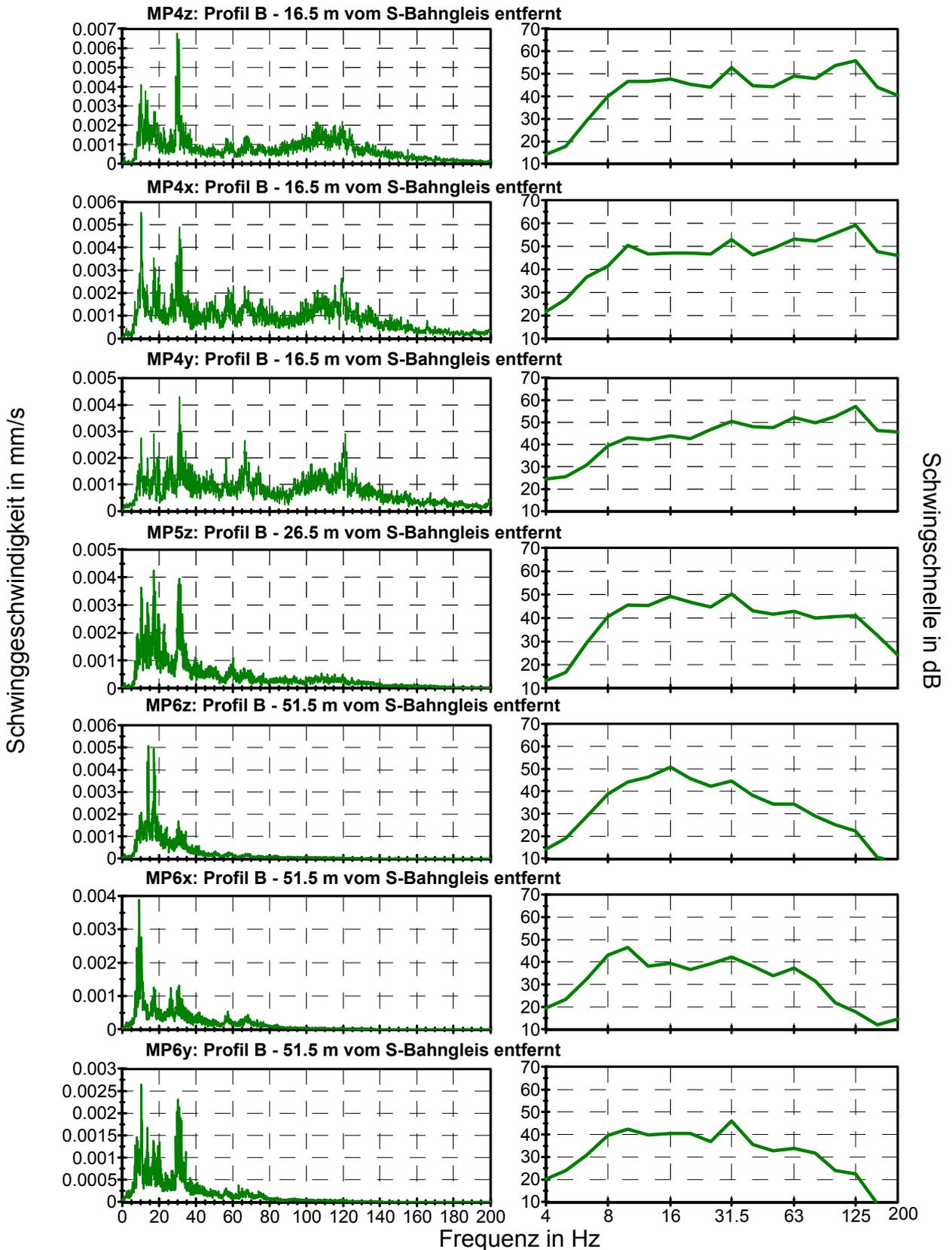
PROJEKT

Schwingungstechnische Untersuchungen für das BV
Am Annafieß in Strausberg

Projekt-Nr. G 118/15

mittlere lineare Spektren

mittlere Terzspektren



S-Bahnen in Richtung Nord
Mittlere Spektren der Schwingungsgeschwindigkeit
Profil B (MP4-6)



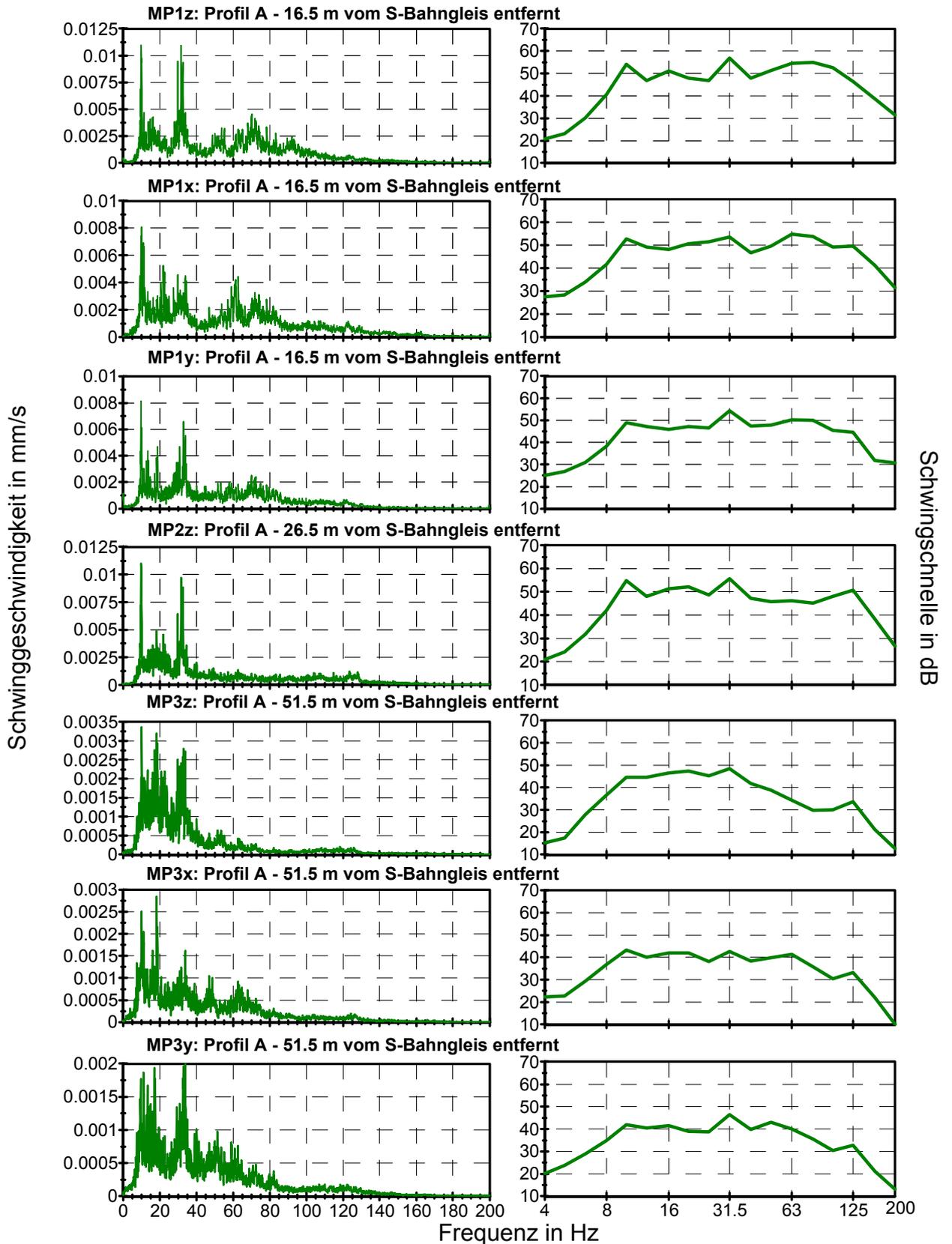
PROJEKT

Schwingungstechnische Untersuchungen für das BV
Am Annafieß in Strausberg

Projekt-Nr. G 118/15

mittlere lineare Spektren

mittlere Terzspektren



S-Bahnen in Richtung Süd
Mittlere Spektren der Schwingungsgeschwindigkeit
Profil A (MP1-3)



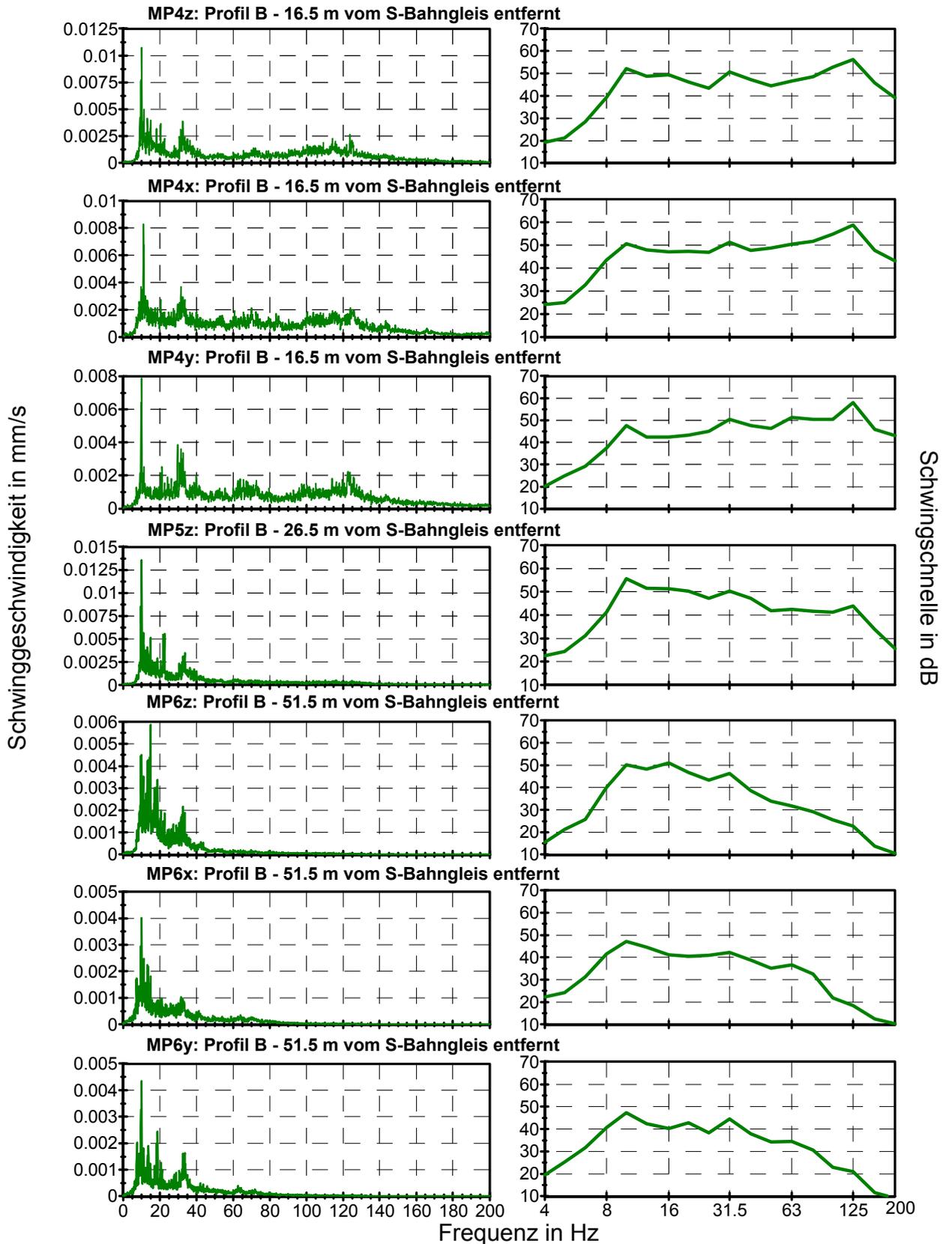
PROJEKT

Schwingungstechnische Untersuchungen für das BV
Am Annafieß in Strausberg

Projekt-Nr. G 118/15

mittlere lineare Spektren

mittlere Terzspektren

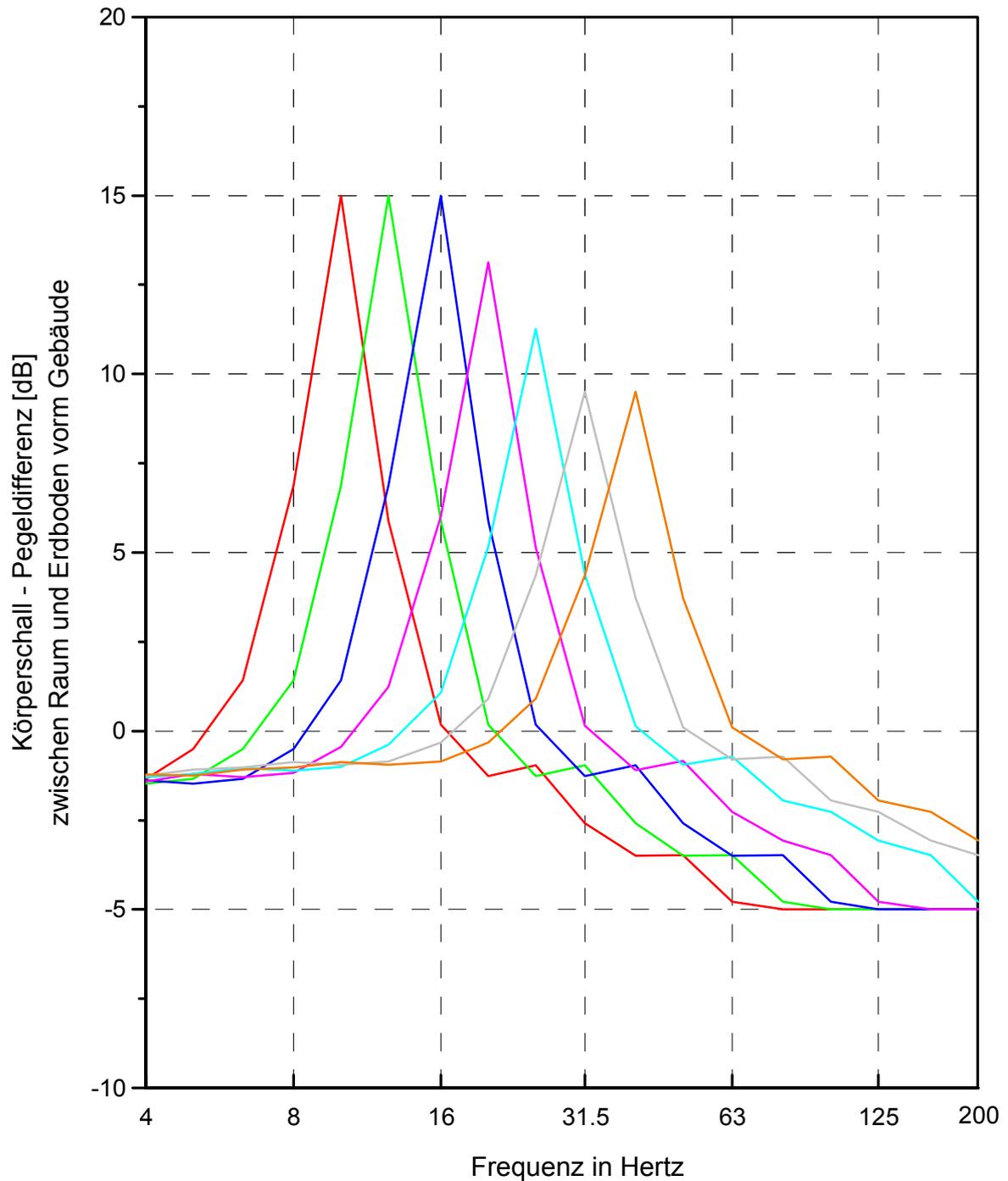


**S-Bahnen in Richtung Süd
Mittlere Spektren der Schwingungsgeschwindigkeit
Profil B (MP4-6)**

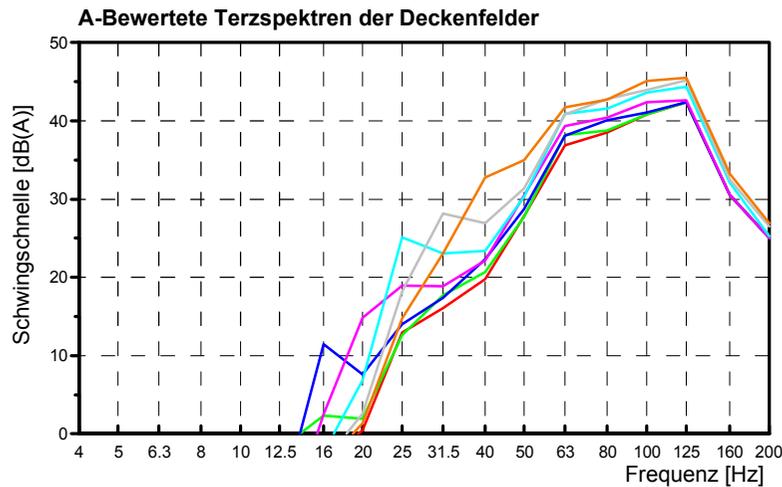
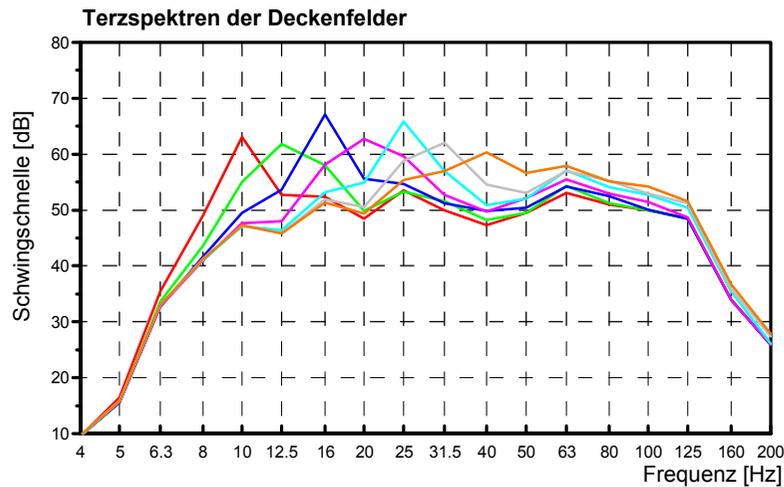
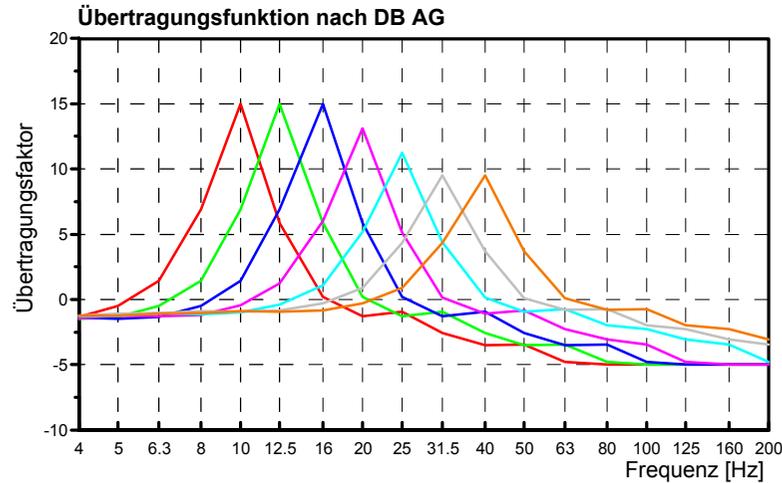
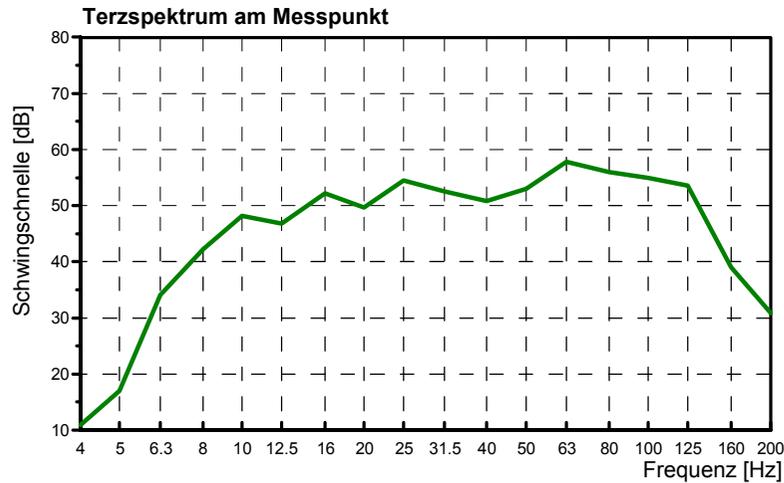


Gebäudespezifische Übertragungsfunktion

Beton - Deckenaufbau

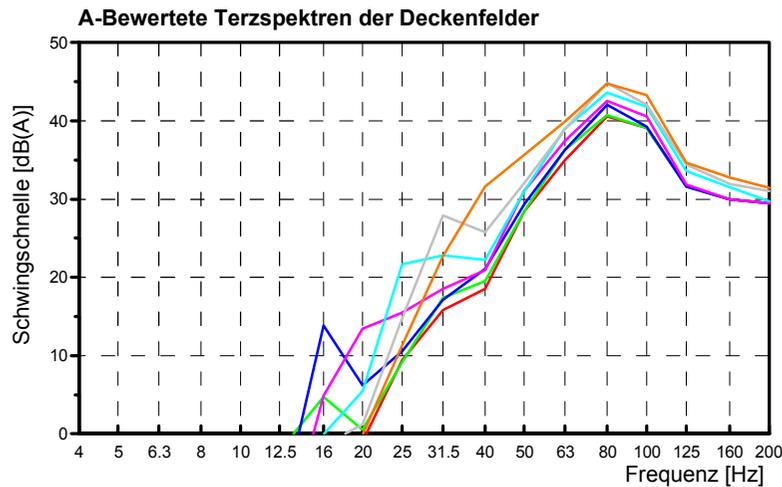
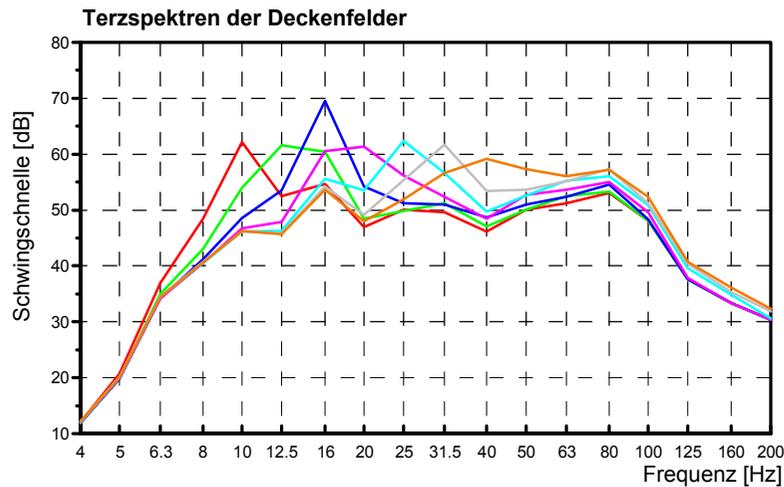
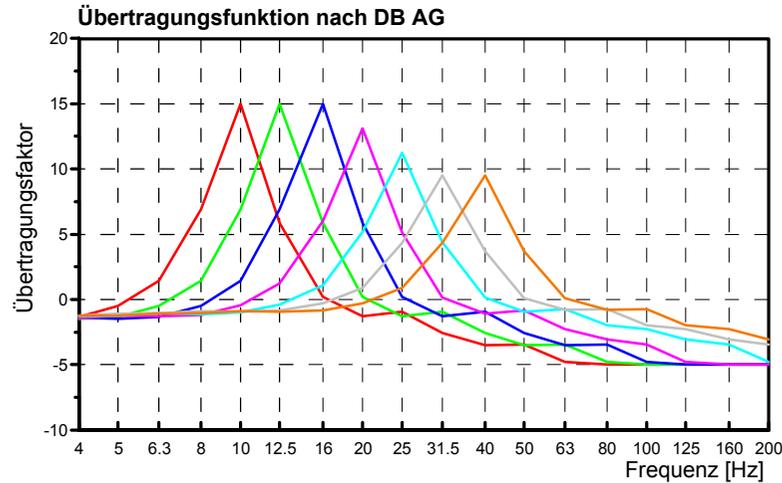
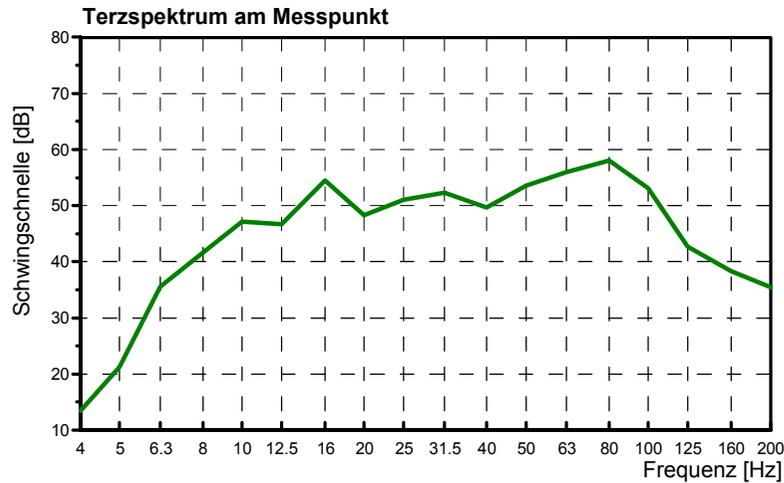


Quelle: Richtlinie 800.2502 der Deutsche Bahn AG (Entwurf vom 27.11.2006)



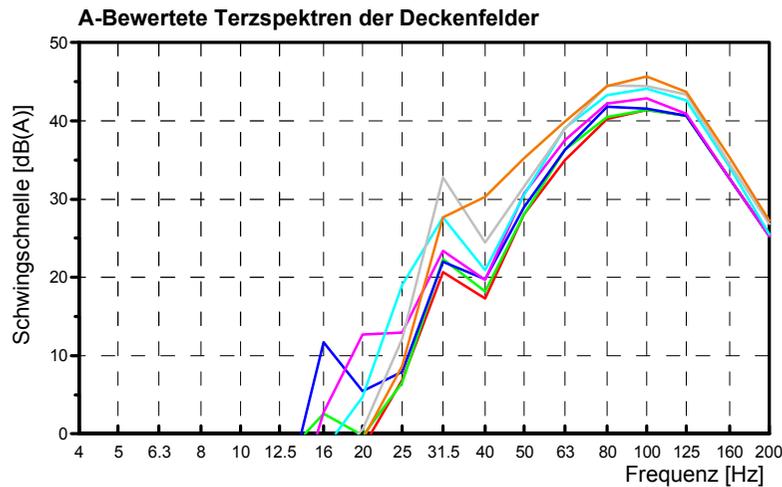
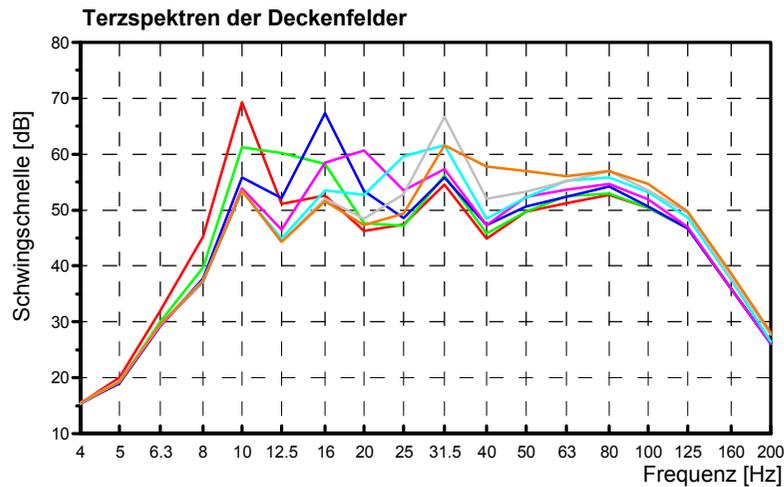
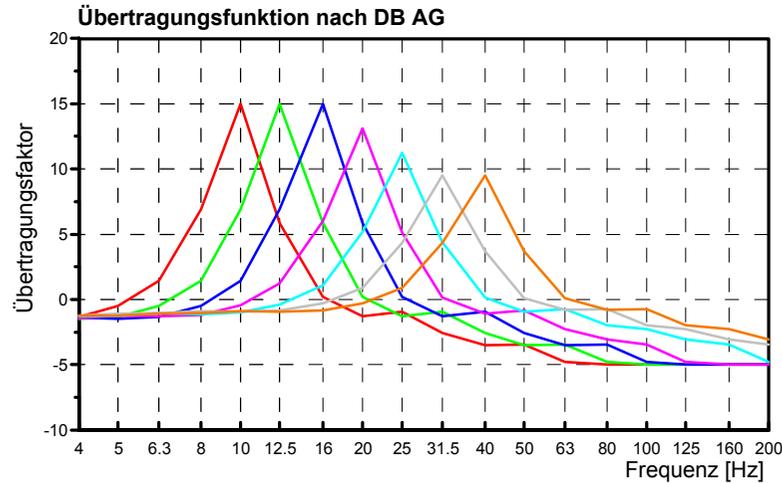
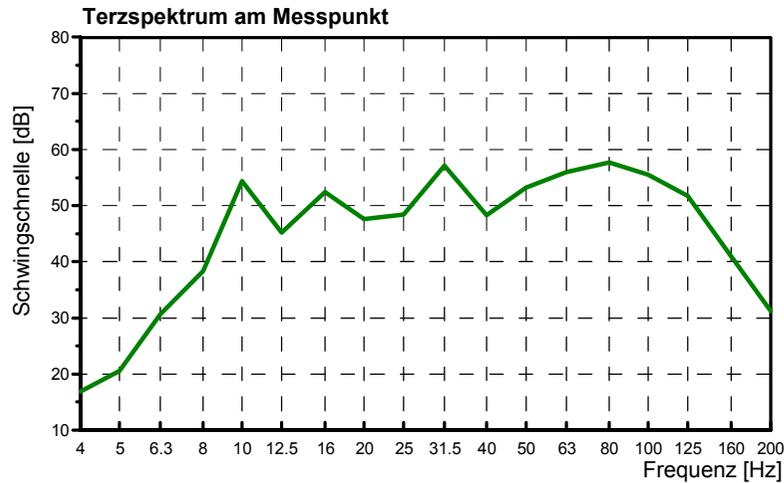
Decken-eigenfrequenz (Hz)	KB _{Fmax}	L _{pA,max} [dB(A)]
10	0.08	46.4
12.5	0.09	46.6
16	0.13	46.9
20	0.10	47.7
25	0.12	49.0
31.5	0.10	49.7
40	0.09	50.4

Prognose der Deckenschwingungen nach den Empfehlungen der DB AG
Rechenvorgang mit dem Beispiel: S-Bahn in Richtung Nord, Cut 2, MP1



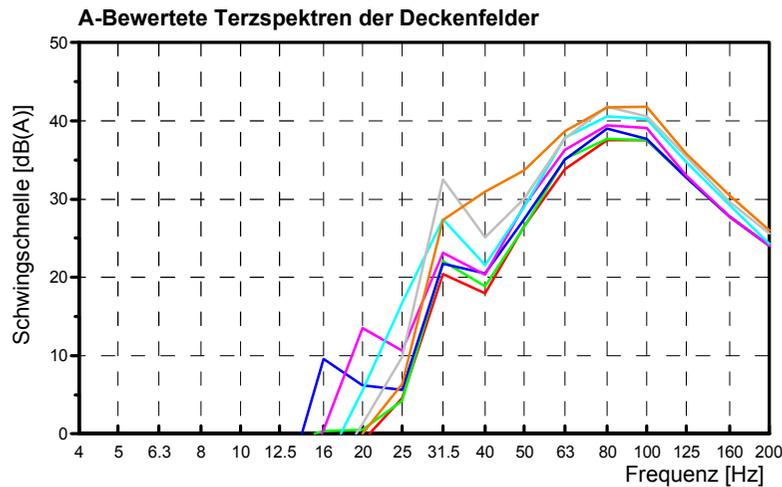
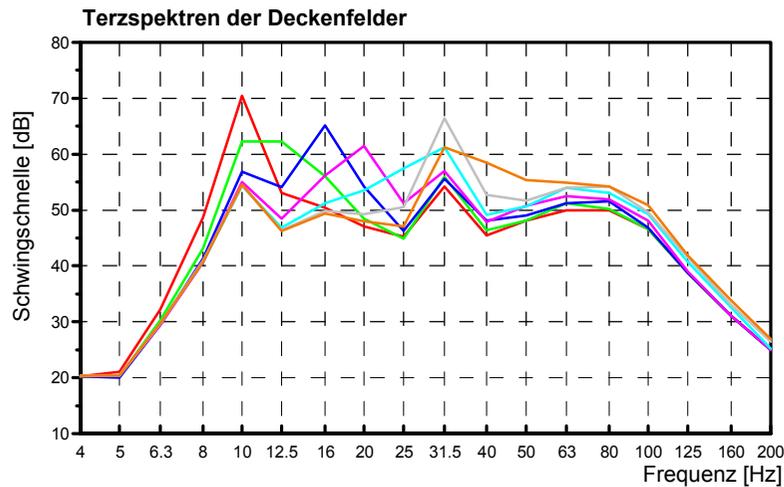
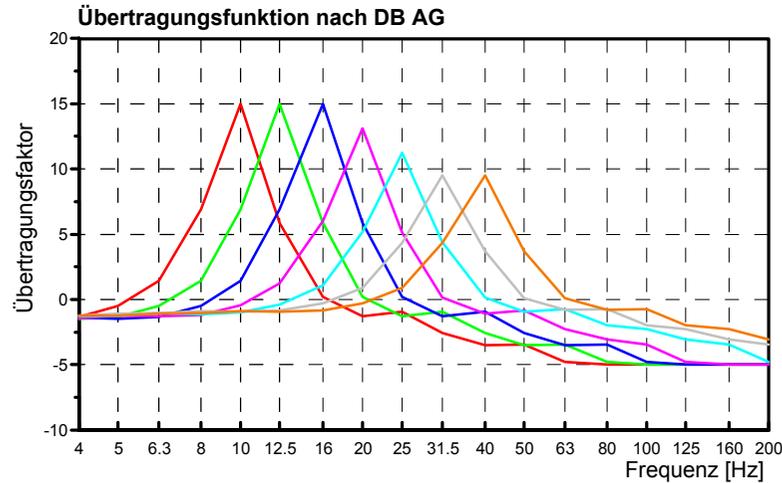
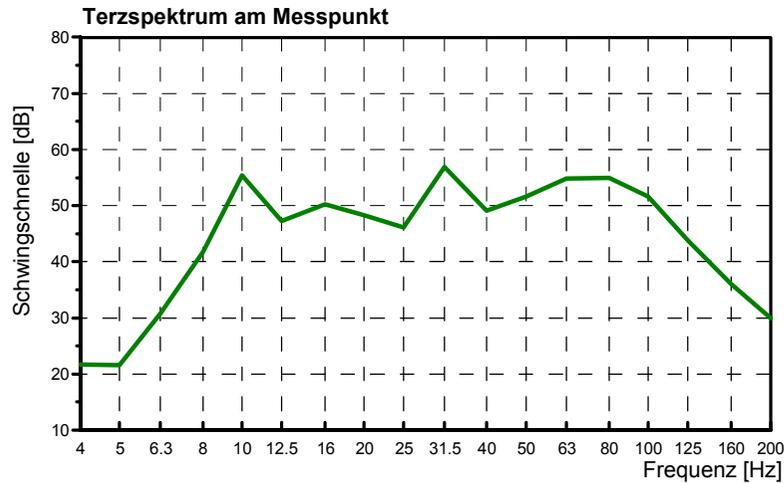
Decken-eigenfrequenz (Hz)	KB _{Fmax}	L _{pA,max} [dB(A)]
10	0.08	44.3
12.5	0.09	44.5
16	0.15	45.2
20	0.10	46.0
25	0.10	47.2
31.5	0.09	48.0
40	0.09	48.6

Prognose der Deckenschwingungen nach den Empfehlungen der DB AG
Rechenvorgang mit dem Beispiel: S-Bahn in Richtung Nord, Cut 5, MP1



Decken-eigenfrequenz (Hz)	KB _{Fmax}	L _{pA,max} [dB(A)]
10	0.14	46.2
12.5	0.09	46.4
16	0.13	46.9
20	0.09	47.6
25	0.10	48.9
31.5	0.13	49.7
40	0.10	50.3

Prognose der Deckenschwingungen nach den Empfehlungen der DB AG
Rechenvorgang mit dem Beispiel: S-Bahn in Richtung Süd, Cut 2, MP1



Decken-eigenfrequenz (Hz)	KB _{Fmax}	L _{pA,max} [dB(A)]
10	0.15	42.3
12.5	0.10	42.6
16	0.11	43.1
20	0.09	44.0
25	0.09	45.3
31.5	0.12	46.1
40	0.09	46.7

Prognose der Deckenschwingungen nach den Empfehlungen der DB AG
Rechenvorgang mit dem Beispiel: S-Bahn in Richtung Süd, Cut 6, MP1



S-Bahnen in Richtung Nord

		Cut Nummer						KB _{Fmax}	KB _{FTm}
		1	2	3	4	5	6		
Messpunkt	1z	0.12	0.13	0.11	0.10	0.15	0.13	0.15	0.13
	2z	0.15	0.10	0.13	0.12	0.15	0.17	0.17	0.14
	3z	0.08	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.07
	4z	0.07	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08
	5z	0.09	0.08	0.07	0.10	0.08	0.08	0.10	0.08
	6z	0.08	0.10	0.09	0.13	0.09	0.09	0.13	0.10

S-Bahnen in Richtung Süd

		Cut Nummer						KB _{Fmax}	KB _{FTm}
		1	2	3	4	5	6		
Messpunkt	1z	0.13	0.14	0.15	0.14	0.13	0.15	0.15	0.14
	2z	0.12	0.13	0.17	0.15	0.13	0.18	0.18	0.15
	3z	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07
	4z	0.08	0.12	0.13	0.10	0.09	0.11	0.13	0.11
	5z	0.09	0.16	0.19	0.17	0.17	0.16	0.19	0.16
	6z	0.08	0.11	0.12	0.11	0.09	0.10	0.12	0.10

Lage der Messpunkte

Messprofil A:

MP1: 16.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)
MP2: 26.5 m vom S-Bahngleis entfernt (vertikal)
MP3: 51.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)

Messprofil B:

MP4: 16.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)
MP5: 26.5 m vom S-Bahngleis entfernt (vertikal)
MP6: 51.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)

S-Bahn-Verkehr

Prognoseergebnisse aus den einzelnen Messungen : Taktmaximalwerte der Schwingstärke



S-Bahnen in Richtung Nord

		Cut Nummer						L _{pA,max}	L _{pA,max}
		1	2	3	4	5	6		
Messpunkt	1z	47.2	50.4	46.6	47.3	48.6	47.9	50.4	48.2
	2z	44.6	46.7	43.2	45.0	42.8	43.9	46.7	44.5
	3z	30.5	32.8	31.0	30.1	30.4	31.1	32.8	31.1
	4z	46.3	54.5	50.2	47.9	47.1	48.2	54.5	50.0
	5z	35.9	40.3	36.9	36.4	36.0	36.9	40.3	37.4
	6z	25.8	26.8	26.3	25.0	24.3	24.1	26.8	25.5

S-Bahnen in Richtung Süd

		Cut Nummer						L _{pA,max}	L _{pA,max}
		1	2	3	4	5	6		
Messpunkt	1z	46.8	50.3	46.0	45.1	47.0	46.7	50.3	47.3
	2z	42.9	49.3	42.4	43.9	43.4	43.1	49.3	45.0
	3z	29.1	33.1	29.1	29.8	28.4	29.8	33.1	30.2
	4z	47.5	55.4	49.2	45.4	47.7	47.7	55.4	50.2
	5z	35.8	43.2	39.4	37.0	39.1	36.8	43.2	39.3
	6z	23.8	27.2	26.1	24.3	25.0	25.6	27.2	25.5

Lage der Messpunkte

Messprofil A:

MP1: 16.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)
MP2: 26.5 m vom S-Bahngleis entfernt (vertikal)
MP3: 51.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)

Messprofil B:

MP4: 16.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)
MP5: 26.5 m vom S-Bahngleis entfernt (vertikal)
MP6: 51.5 m vom S-Bahngleis entfernt (3D)

S-Bahn-Verkehr

Prognoseergebnisse aus den einzelnen Messungen : sekundäre Luftschallpegel in dB(A)