

Müller-BBM GmbH
Robert-Koch-Straße 11
82152 Planegg / München

Telefon +49 (89) 85602-0
Telefax +49 (89) 85602-111

www.MuellerBBM.de

Dipl.-Geol. Wolfgang Daiminger
Telefon +49(89)85602-276
Wolfgang.Daiminger@MuellerBBM.de

13. April 2011
M92 665/1 dai/bdi

Würzburger Straßenbahn GmbH

**Neubau einer Straßenbahnlinie in die
Stadtbezirke Frauenland und Hubland;
Messtechnische Untersuchung in der
Petrinistraße zur Ermittlung von
Referenzspektren für die
Erschütterungsprognose**

Bericht Nr. M92 665/1

Auftraggeber:	Würzburger Straßenbahn GmbH Friedrich-Spee-Str. 58 – 64 97072 Würzburg
Bearbeitet von:	Dipl.-Geol. Wolfgang Daiminger
Berichtsumfang:	Insgesamt 18 Seiten davon 7 Seiten Textteil, 9 Seiten Anhang A und 2 Seiten Anhang B

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

Müller-BBM GmbH
82152 Planegg, HRB München 86143

Geschäftsführer: Horst Christian Gass
Bernd Grözinger, Dr. Carl-Christian Hantschk
Stefan Schierer, Dr. Edwin Schorer, Norbert Suritsch

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Messtechnische Untersuchungen	3
2.1	Datum und Ort der Messungen	3
2.2	Lage der Messpunkte	3
2.3	Verwendete Messgeräte	4
2.4	Durchführung der Messung	5
2.5	Messunsicherheiten	5
3	Auswertung und Messergebnisse	6
3.1	Auswertungen	6
3.2	Ergebnisse	6
3.3	Verwendete Referenzspektren	6
4	Zitierte Unterlagen	6
5	Abgrenzung	7

1 Einleitung

Die Würzburger Straßenbahn GmbH plant die Erweiterung der Straßenbahn in die Stadtbezirke Frauenland und Hubland.

Im Rahmen einer Untersuchung für das Neubauvorhaben ist die erschütterungstechnische Verträglichkeit des Straßenbahnbetriebes mit der angrenzenden schutzbedürftigen Bebauung abzuklären. Dazu sind die vom Straßenbahnbetrieb auf der Neubaustrecke zu erwartenden Erschütterungen und die damit verbundenen sekundären Luftschallimmissionen in der angrenzenden Bebauung auf der Basis von Referenzmessungen zu prognostizieren und nach den einschlägigen Regelwerken zu beurteilen.

Der Oberbau der Neubaustrecke soll in weiten Teilen als Gleis auf einer Betontragsplatte mit untergossenen Stützpunkten (Untergussmasse Icosit KC330U) und einer Eindeckung mit Natur- bzw. Betonsteinen ausgeführt werden. Die vorgesehene Bauform ist in ähnlicher Form bereits auch in der Petrinistraße in Betrieb. Der Oberbau in der Petrinistraße unterscheidet sich vom Oberbau der geplanten Strecke nur in der Art der Eindeckung (Asphalt bzw. Pflaster), die dynamischen Eigenschaften der Oberbauverhältnisse sind jedoch vergleichbar.

Es waren daher in der Petrinistraße Erschütterungsmessungen in verschiedenen Abständen zum Straßenbahngleis zur Ermittlung von Referenzspektren für die Erschütterungsprognosen an der geplanten Strecke durchzuführen.

2 Messtechnische Untersuchungen

2.1 Datum und Ort der Messungen

Die messtechnischen Untersuchungen wurden am 24.03.2011 in der Zeit von 11:00 bis 13:00 Uhr durchgeführt.

2.2 Lage der Messpunkte

Die Messungen wurden an der eingleisig geführten Straßenbahnstrecke in der Petrinistraße durchgeführt. In den Hofeinfahrten zwischen den Gebäuden Petrinistraße 36 und 38 wurde ein Ausbreitungsmessquerschnitt senkrecht zum Straßenbahngleis angeordnet. Die Abstände zum Gleis wurden so gewählt, dass sie auch typische Abstandsbereiche der geplanten Neubaustrecke abdecken.

Die Anordnung der Messpunkte auf dem Untersuchungsgelände können der Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1. Lage der Messpunkte

Messpunkt	Beschreibung	Abstand zum Gleis in [m]	Ankopplung an den Boden	Messrichtung
Mp1	Messquerschnitt 1	4	geklebt	vertikal, z
Mp2	Messquerschnitt 1	6	geklebt	vertikal, z
Mp3	Messquerschnitt 1	8	geklebt	vertikal, z
Mp4	Messquerschnitt 1	16	geklebt	vertikal, z

2.3 Verwendete Messgeräte

Die zur Messung verwendeten Messgeräte sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Die verwendeten und nachfolgend aufgeführten Messgeräte wurden vor und nach der Messung auf ihre einwandfreie Funktion überprüft. Im Rahmen des hauseigenen Qualitätssicherungssystems werden die Geräte zusätzlich in regelmäßigen Abständen überwacht und kalibriert.

Tabelle 2. Verwendete Messgeräte

Gerät	Hersteller	Typ	Seriennummer
Piezelektrische Schwingbeschleunigungsaufnehmer, Empfindlichkeit 0,1 V/ms ⁻²	PCB	393A03	Mp1: 6211
Empfindlichkeit 1 V/ms ⁻²	PCB	393B03	Mp2: 6212 Mp3: 10013 Mp4: 10560
Kalibrator für Schwingungsaufnehmer	Metra	VC 12	950148
Messdatenerfassungssystem MKII Bestehend aus: Controller Messdateneingangskarte Messkarteneingangsmodul	Mecal	PQ11 SC42 ICPMD429	Alle Mp: 0802M2062 Alle Mp: 0609M7626 Alle Mp: 0910M0260
Messwerverfassungs- und Auswertesoftware	Müller-BBM VAS	PAK	Version 5.6 SR3

2.4 Durchführung der Messung

Die Durchführung der Messungen richtete sich nach den Vorgaben der einschlägigen Regelwerke und Normen [1][2][3][4].

Die beschleunigungsproportionalen Messsignale wurden mittels Kabelverbindung zeitgleich für alle Messpunkte über ein rechnergesteuertes digitales Messdatenerfassungssystem (Verstärker, Filter, 24-Bit-AD-Wandler) erfasst und als unbewertete Zeitsignale während der einzelnen Zugfahrten auf Festplatte gespeichert.

Die Erschütterungssignale wurden im Frequenzbereich zwischen 1 und 315 Hz erfasst.

Das Messsystem und die Software für Messdatenerfassung und Auswertung entspricht den Anforderungen der DIN 45669/1 [1], die Aufnehmerbefestigungen den Vorgaben der DIN 45669/2 [2].

Parallel zu der Aufzeichnung der Messsignale wurden diese zeitgleich über digitale Terzfilter mit der Zeitbewertung "FAST" über die gesamte Aufzeichnungszeit gefiltert und ebenfalls zur weiteren Auswertung gespeichert.

Während jeder Messung wurden die gemessenen Daten über Monitoreinrichtungen hinsichtlich der Aussteuerung der einzelnen Messkanäle und der Störgeräuschfreiheit überprüft.

Erfasst wurden die auf der Strecke verkehrenden Regelzüge der in Würzburg verwendeten Typen GTN und GTE. Die normale Streckengeschwindigkeit beträgt am Untersuchungsort zwischen 25 und 30 km/h. Es wurden gezielt jeweils 5 Fahrten für jeden Typ mit Geschwindigkeiten von 25 und 30 km/h durchgeführt. Die konstante Einhaltung dieser Geschwindigkeiten am Messquerschnitt wurde jeweils durch einen im Fahrzeug mitfahrenden Mitarbeiter der WSB sichergestellt. Daneben wurde jeweils auch eine Fahrt mit 45 km/h für jeden Typ durchgeführt, aus betrieblichen Gründen waren hier mehr Fahrten, bzw. noch höhere Geschwindigkeiten nicht möglich.

2.5 Messunsicherheiten

Die für die Schwingungsmessungen in Verbindung mit den MKII Wandlerkarten und der PAK - Analysesoftware eingesetzten Geräte entsprechen den Vorgaben für Schwingungsmesser nach DIN 45669 [1]. Entsprechend den zulässigen Abweichungen der Schwingungsmessgeräte muss bei der Ermittlung von Schwingungsgrößen von einer Messunsicherheit von ca. 15 % ausgegangen werden.

3 Auswertung und Messergebnisse

3.1 Auswertungen

Entsprechend der Vorbeifahrdauer einzelner Straßenbahnfahrten wurden in den Einzelmessungen für jeden Messpunkt die aufgezeichneten Messsignale in Zeitfenster unterteilt. Die als Terzspektren vorliegenden Beschleunigungssignale jeder Zugfahrt wurden innerhalb dieser Zeitfenster in Form von Max-Hold-Terzspektren zusammengefasst und zur Schwingschnelle integriert. Damit wurde die Obergrenze der maximalen Schnellepegel der jeweils ausgewerteten Zugfahrten festgehalten.

In einem weiteren Schritt wurden die einzelnen Schnellepegel-Terzspektren für jeden Zugtyp und jedes Geschwindigkeitskollektiv energetisch gemittelt.

Alle Messergebnisse wiesen im immissionsrelevanten Frequenzbereich (4 Hz bis 315 Hz) einen ausreichenden Grundgeräuschabstand auf.

3.2 Ergebnisse

Im Anhang auf den Seiten 2 bis 9 sind die Schnellepegel-Terzspektren für alle Messpunkte getrennt nach Zugarten, Fahrtrichtungen und Geschwindigkeiten dargestellt.

Auffällig ist der deutliche Unterschied zwischen den beiden Fahrzeugtypen. So weisen die Züge des Typs GTN im Frequenzbereich zwischen der 16 Hz- und der 31 Hz-Terz um bis zu 15 dB höhere Schnellepegel auf als die Züge des Typs GTE. Als Grund sind die wesentlich höheren ungefederte Massen im Fahrwerksbereich des Typs GTN anzusehen.

Die Schwingungsemissionen bei Geschwindigkeiten von 25 und 30 km/h unterscheiden sich nicht erheblich.

3.3 Verwendete Referenzspektren

Für die Prognoseuntersuchungen der Neubaustrecken wurden die Referenzspektren für die Fahrten beider Zugtypen mit 30 und 45 km/h ausgewählt.

Zusätzlich wurden für eine feinere Abstufung der Prognoseuntersuchungen auch aus den Ergebnissen der verschiedenen Abstände auf die zusätzlichen Abstände von 12 und 12 m interpoliert. Die tatsächlich für die Prognoseuntersuchungen verwendeten Spektren sind in der Tabelle in Anhang B dargestellt.

4 Zitierte Unterlagen

Folgende Unterlagen wurden zitiert:

- [1] DIN 45669-1: Messung von Schwingungsimmissionen. Teil 1: Schwingungsmesser; Anforderungen, Prüfung. September 2010
- [2] DIN 45669-2: Messung von Schwingungsimmissionen. Teil 2: Messverfahren. Juni 2005
- [3] DIN 45672-1: Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen. Teil 1: Messverfahren. Dezember 2009

- [4] DIN 45672-2: Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen. Teil 2: Auswerteverfahren Juli 1995
- [5] DIN 4150-1 Erschütterungen im Bauwesen - Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen; Juni 2001
- [6] Müller BBM Messungen vom 24.03.2011

5 Abgrenzung

Der vorliegende Bericht bezieht sich ausschließlich auf die am Messtage vorliegenden Verhältnisse.

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

Für den technischen Inhalt verantwortlich:



Dipl. Geol. Wolfgang Daiminger
Telefon 0 89 / 8 56 02 - 276

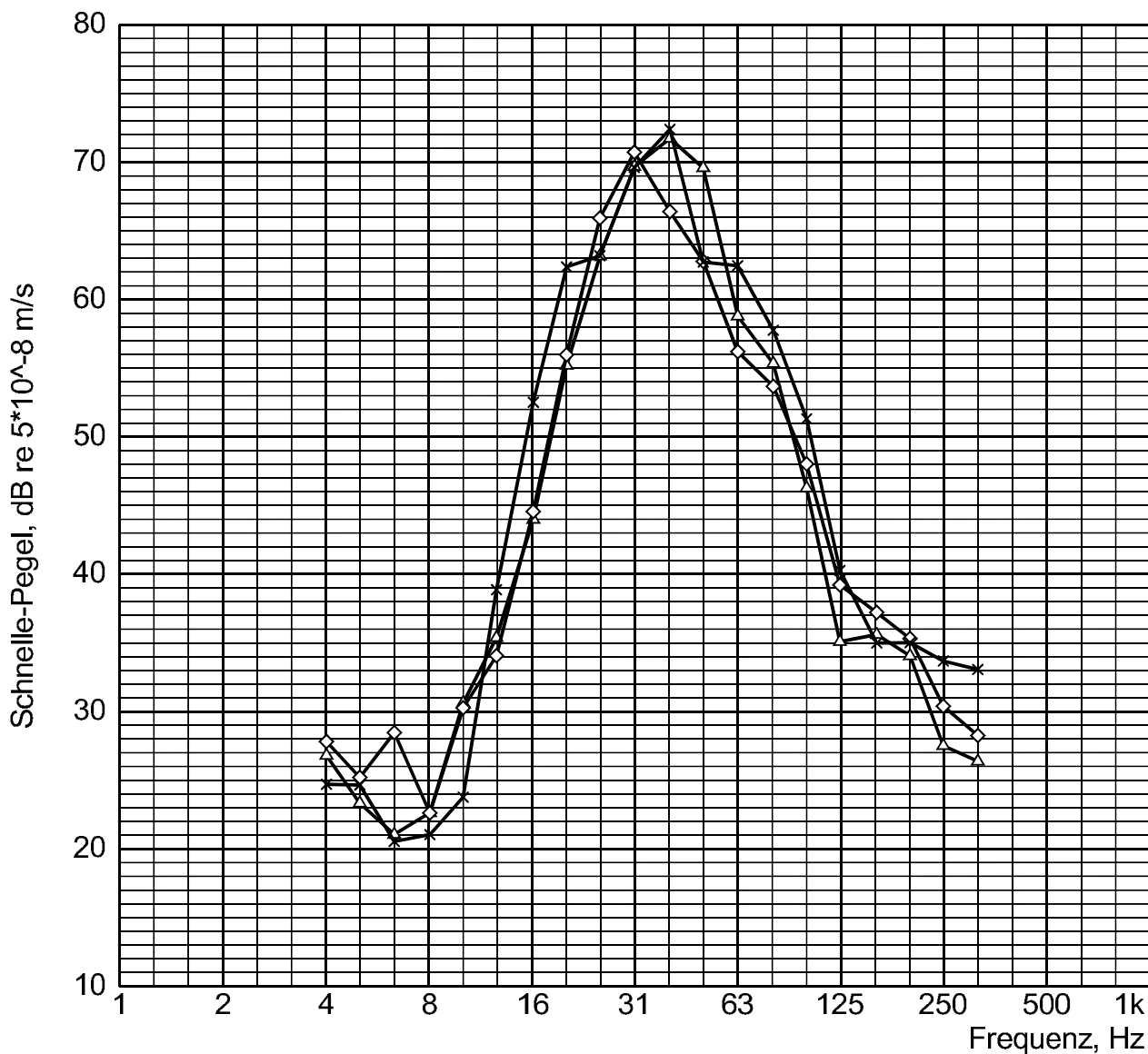


Durch die DGA Deutsche Gesellschaft für Akkreditierung mbH
nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

Anhang A

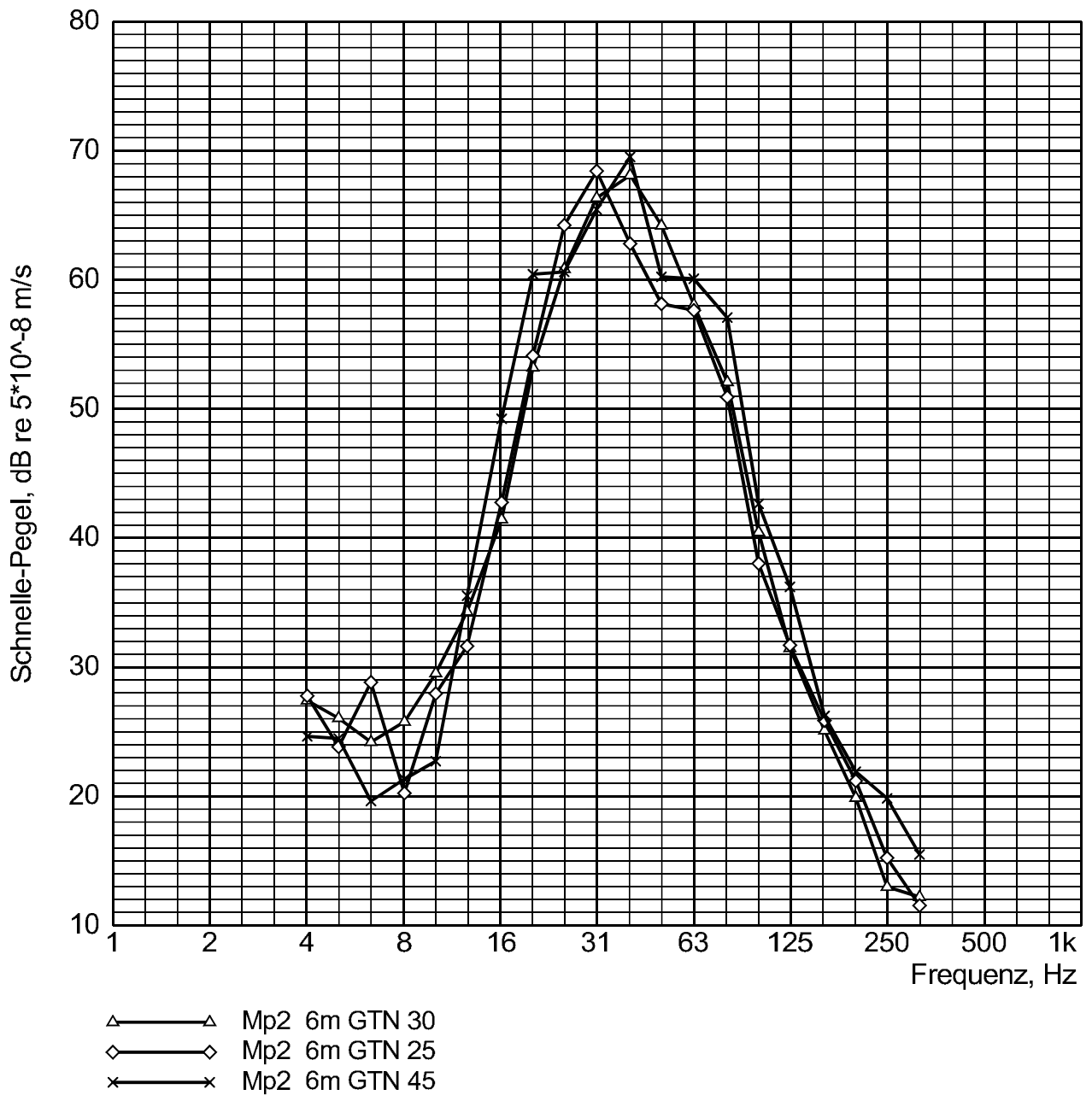
Schnellepegel-Terzspektren der Referenzmessungen

Neubau einer Straßenbahnlinie in die Stadtbezirke Frauenland und Hubland
 Ermittlung von Referenzspektren für die Prognose
 von Straßenbahnerschütterungen

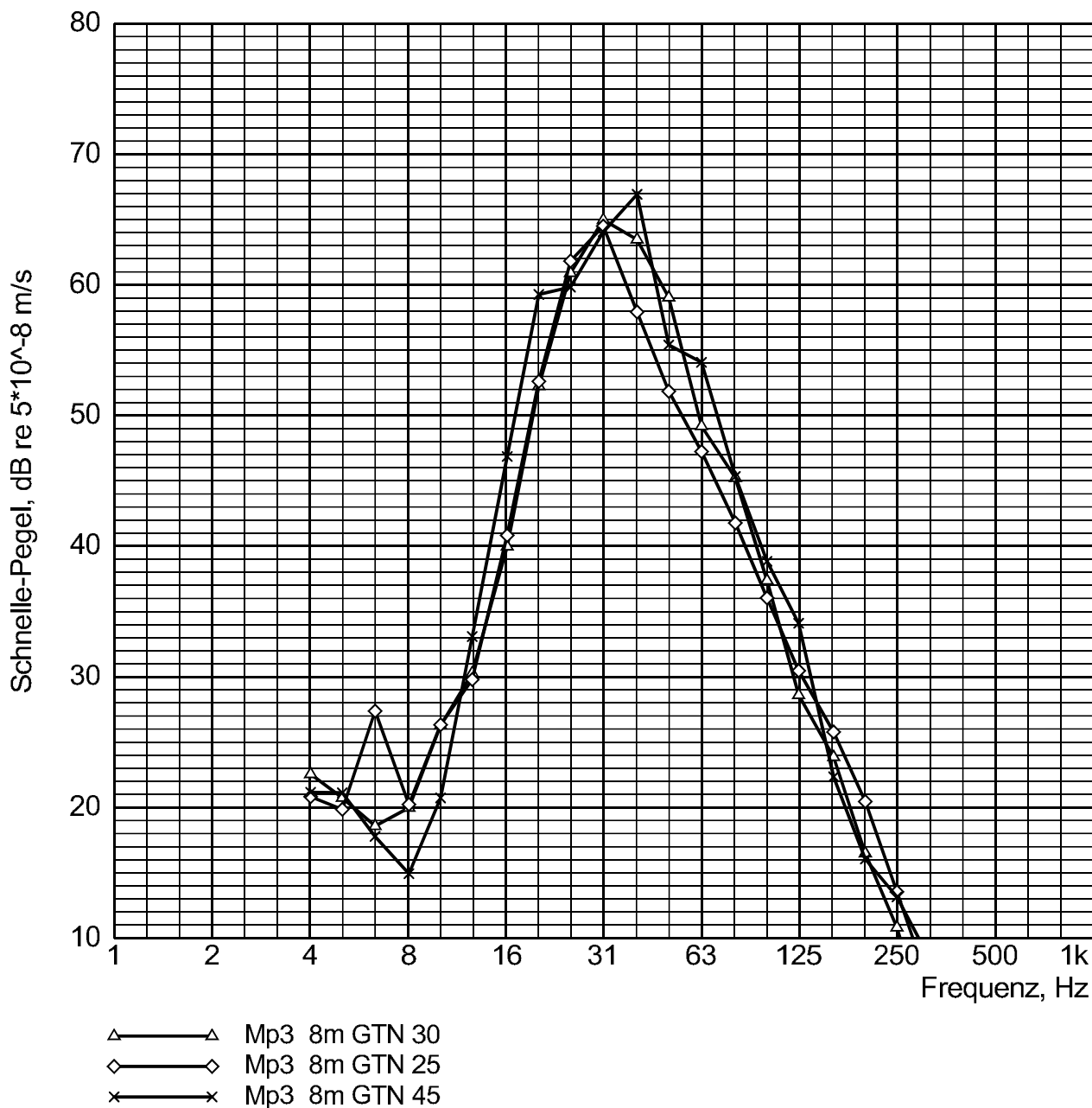


- △ — △ Mp1 4m GTN 30
- ◇ — ◇ Mp1 4m GTN 25
- × — × Mp1 4m GTN 45

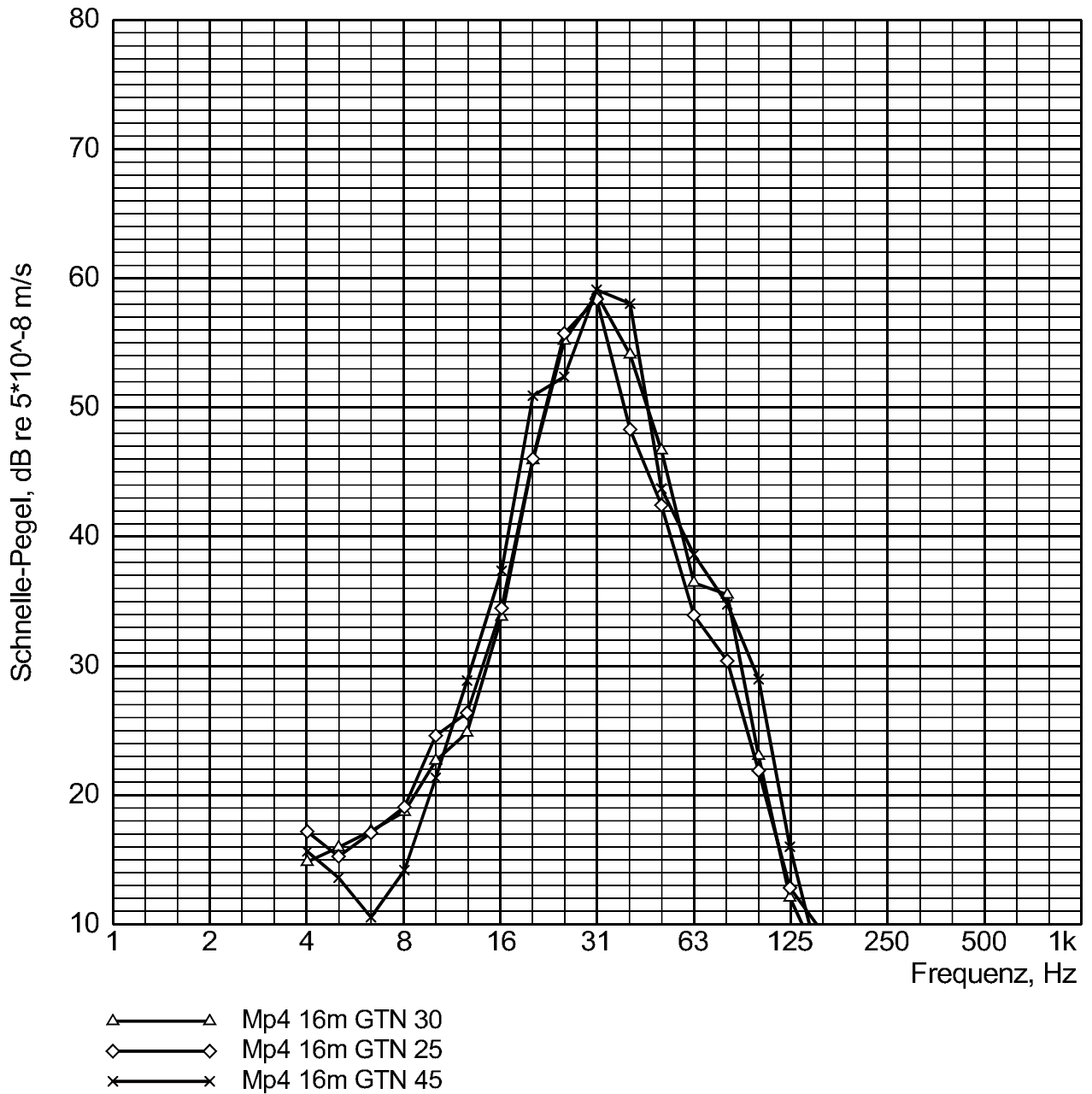
Neubau einer Straßenbahnlinie in die Stadtbezirke Frauenland und Hubland
 Ermittlung von Referenzspektren für die Prognose
 von Straßenbahnerschütterungen



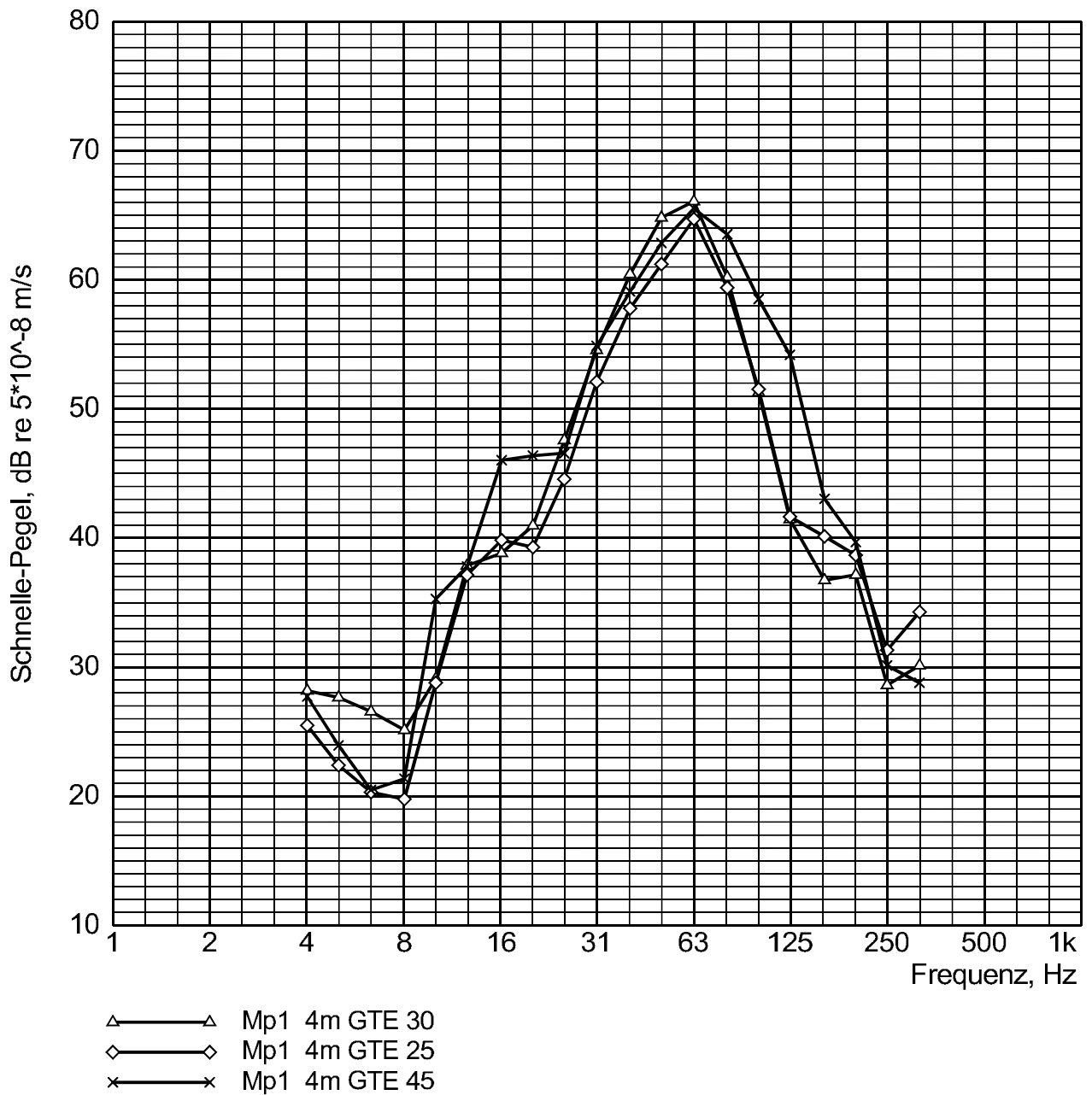
Neubau einer Straßenbahnlinie in die Stadtbezirke Frauenland und Hubland
 Ermittlung von Referenzspektren für die Prognose
 von Straßenbahnerschütterungen



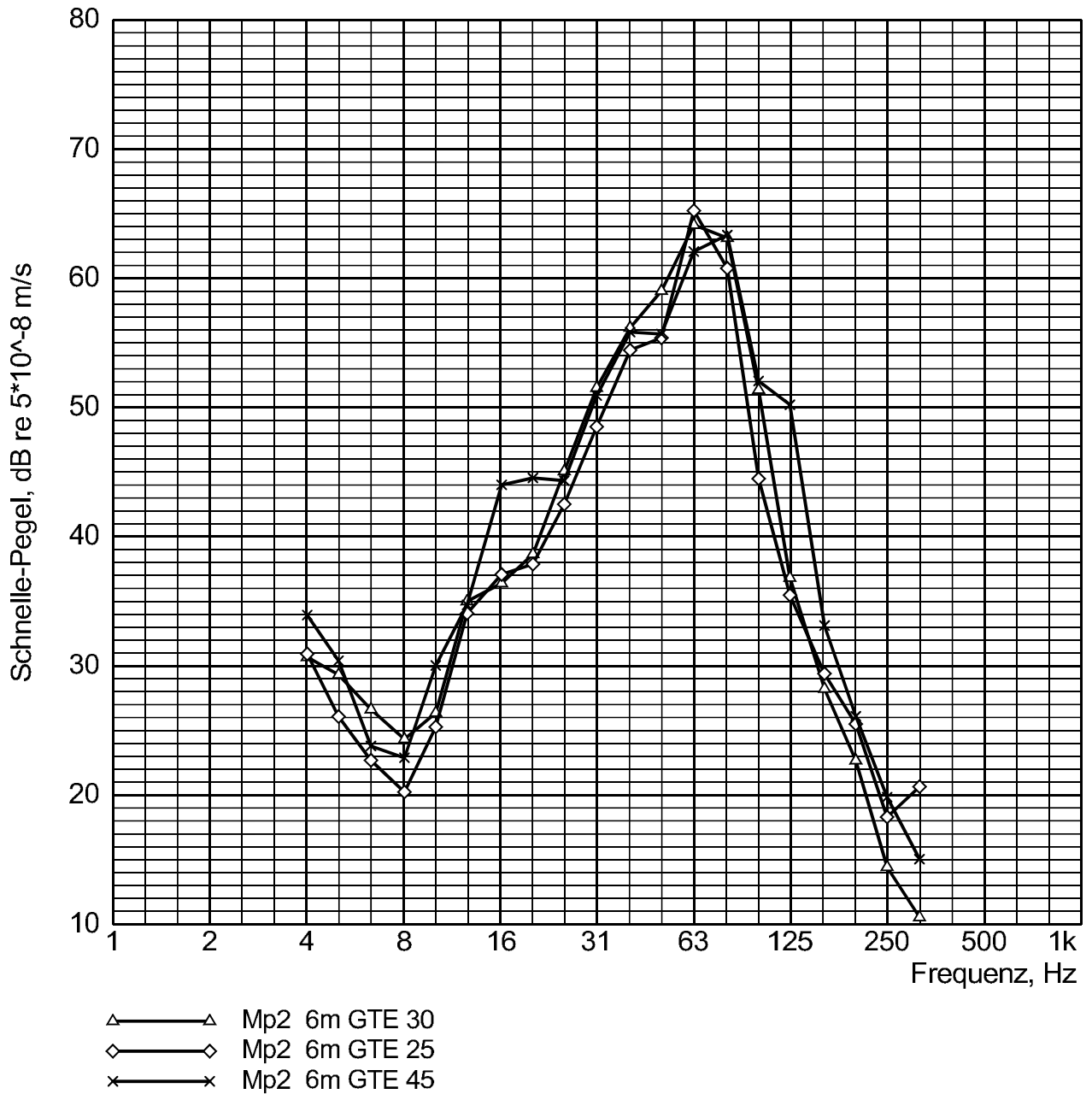
Neubau einer Straßenbahnlinie in die Stadtbezirke Frauenland und Hubland
 Ermittlung von Referenzspektren für die Prognose
 von Straßenbahnerschütterungen



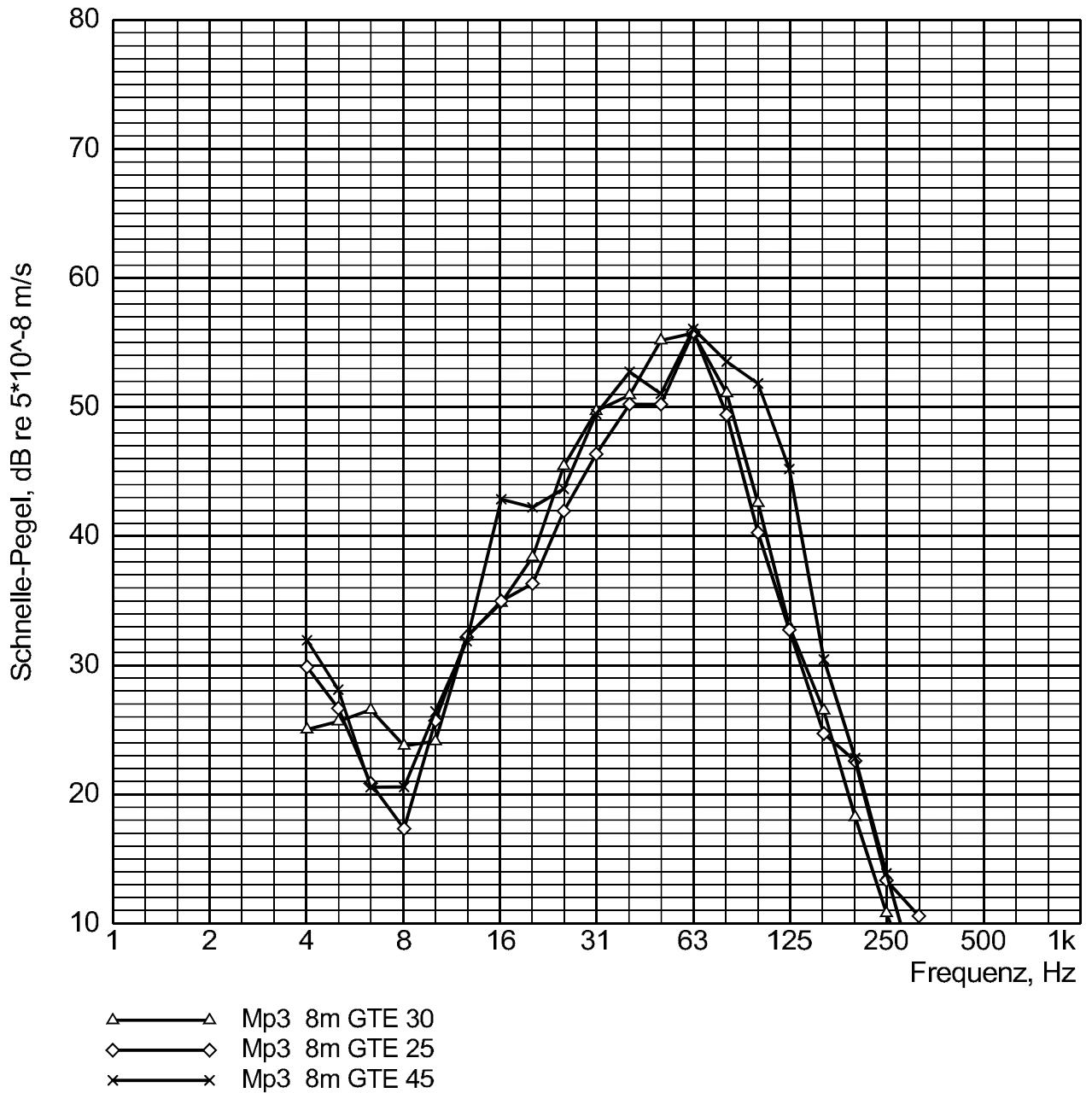
Neubau einer Straßenbahnlinie in die Stadtbezirke Frauenland und Hubland
 Ermittlung von Referenzspektren für die Prognose
 von Straßenbahnerschütterungen



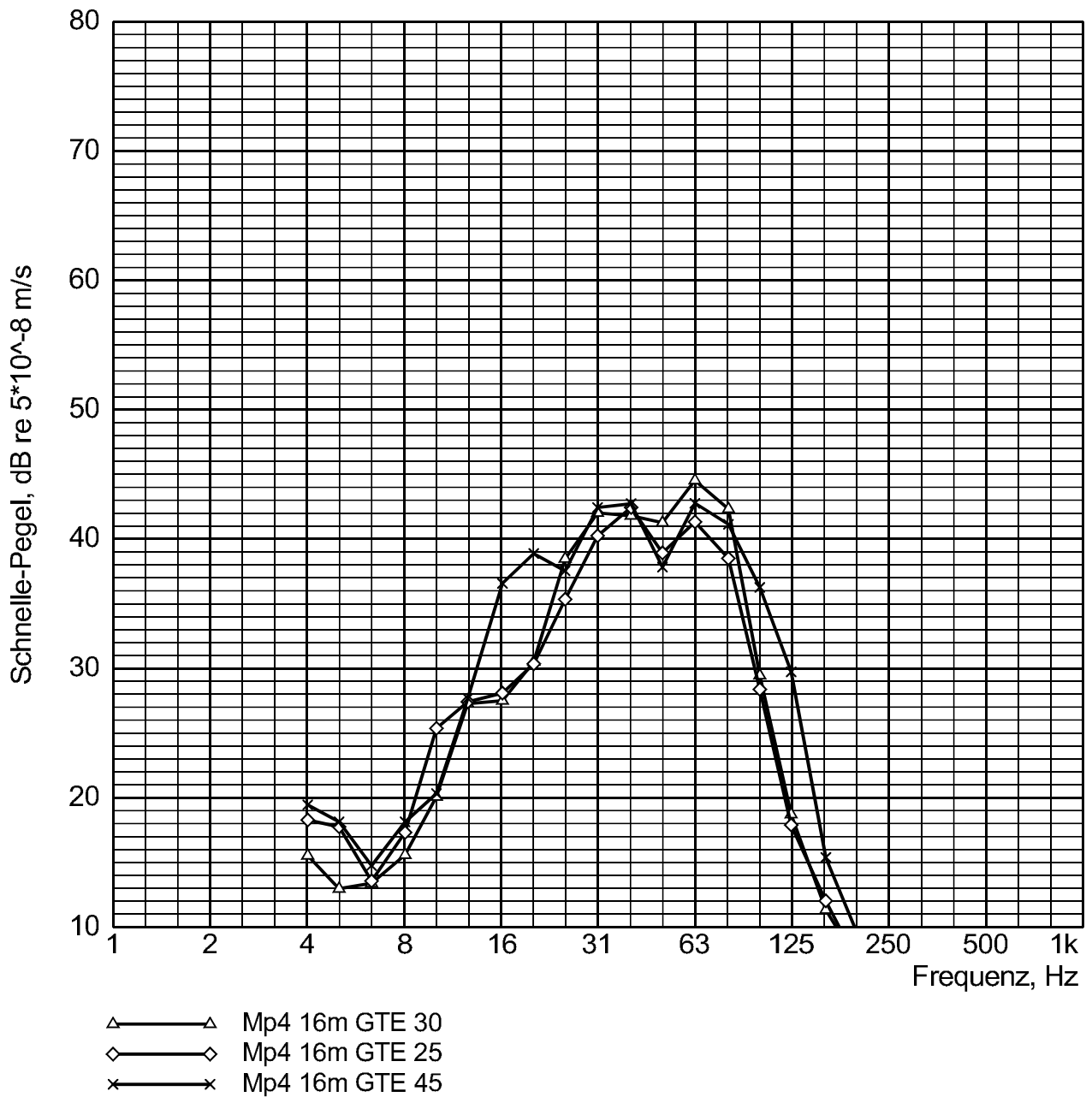
Neubau einer Straßenbahnlinie in die Stadtbezirke Frauenland und Hubland
 Ermittlung von Referenzspektren für die Prognose
 von Straßenbahnerschütterungen



Neubau einer Straßenbahnlinie in die Stadtbezirke Frauenland und Hubland
 Ermittlung von Referenzspektren für die Prognose
 von Straßenbahnerschütterungen



Neubau einer Straßenbahnlinie in die Stadtbezirke Frauenland und Hubland
 Ermittlung von Referenzspektren für die Prognose
 von Straßenbahnerschütterungen



Anhang B

Emissionsspektren für die Erschütterungsprognose

Emissionsspektren für die Erschütterungsprognose an der Neubaustrecke Frauenland/Hubland																						
Abstand	Geschwindigkeit	Zugart	Frequenz																			
			4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
4 m	30 km/h	GTN	26,80	23,33	21,05	22,63	30,62	35,38	43,99	55,20	63,16	69,67	71,72	69,59	58,79	55,34	46,26	35,09	35,60	34,05	27,51	26,37
6 m	30 km/h	GTN	27,41	26,05	24,20	25,76	29,53	34,29	41,44	53,20	60,84	66,34	68,10	64,20	58,06	52,08	40,45	31,47	25,09	19,87	12,98	12,20
8 m	30 km/h	GTN	22,55	20,74	18,58	19,97	26,27	30,29	39,97	52,25	60,91	64,97	63,48	59,04	49,19	45,23	37,36	28,60	23,86	16,49	10,81	2,32
10 m	30 km/h	GTN	20,72	19,35	17,49	19,03	22,79	27,53	34,64	46,37	53,97	59,41	61,10	57,11	50,85	44,73	32,92	23,72	17,04	11,47	4,14	2,80
12 m	30 km/h	GTN	18,33	16,95	15,09	16,62	20,37	25,10	32,20	43,91	51,48	56,90	58,55	54,51	48,20	42,00	30,11	20,80	13,96	8,22	0,68	-0,95
16 m	30 km/h	GTN	14,82	15,95	17,22	18,70	22,66	24,84	33,80	45,93	55,17	58,76	54,10	46,69	36,44	35,51	23,04	12,06	6,30	5,00	0,77	-3,62
4 m	45 km/h	GTN	24,70	24,65	20,54	21,04	23,76	38,87	52,52	62,37	63,19	69,61	72,39	62,73	62,46	57,76	51,31	40,27	34,99	35,01	33,68	33,06
6 m	45 km/h	GTN	24,64	24,47	19,63	21,32	22,71	35,53	49,24	60,44	60,61	65,45	69,52	60,24	60,08	57,08	42,65	36,22	26,22	21,90	19,84	15,49
8 m	45 km/h	GTN	21,16	21,12	17,78	14,93	20,73	33,08	46,86	59,27	59,83	64,06	66,93	55,40	54,07	45,33	38,84	34,10	22,35	16,05	13,15	8,40
10 m	45 km/h	GTN	17,95	17,77	12,92	14,59	15,97	28,77	42,44	53,61	53,74	58,52	62,52	53,15	52,87	49,73	35,12	28,47	18,17	13,50	11,00	6,09
12 m	45 km/h	GTN	15,56	15,37	10,52	12,18	13,55	26,34	40,00	51,15	51,25	56,01	59,97	50,55	50,22	47,00	32,31	25,55	15,09	10,25	7,54	2,34
16 m	45 km/h	GTN	15,64	13,60	10,54	14,18	21,33	28,86	37,36	50,91	52,37	59,11	58,04	43,72	38,62	34,77	28,97	16,00	5,38	5,15	4,22	0,15
4 m	30 km/h	GTE	28,17	27,65	26,56	25,13	29,10	37,86	38,82	40,96	47,58	54,56	60,44	64,81	66,08	60,20	51,27	41,45	36,74	37,15	28,60	30,12
6 m	30 km/h	GTE	30,68	29,31	26,62	24,32	26,36	35,00	36,39	38,65	45,06	51,52	56,18	59,02	64,12	63,12	51,36	36,81	28,22	22,67	14,43	10,54
8 m	30 km/h	GTE	25,03	25,65	26,55	23,76	24,11	32,22	34,84	38,37	45,44	49,70	50,93	55,18	55,74	51,07	42,57	33,03	26,50	18,24	10,80	4,40
10 m	30 km/h	GTE	23,99	22,61	19,91	17,59	19,62	28,24	29,59	31,82	38,19	44,59	49,18	51,93	56,91	55,77	43,83	29,06	20,17	14,27	5,59	1,14
12 m	30 km/h	GTE	21,60	20,21	17,51	15,18	17,20	25,81	27,15	29,36	35,70	42,08	46,63	49,33	54,26	53,04	41,02	26,14	17,09	11,02	2,13	-2,61
16 m	30 km/h	GTE	15,52	12,96	13,39	15,57	20,07	27,28	27,50	30,51	38,48	42,03	41,80	41,26	44,54	42,33	29,45	18,71	11,32	7,35	1,69	-1,18
4 m	45 km/h	GTE	27,73	23,94	20,49	21,36	35,28	37,80	46,03	46,38	46,57	54,88	59,10	62,85	65,53	63,53	58,51	54,19	43,04	39,69	30,13	28,79
6 m	45 km/h	GTE	33,93	30,40	23,80	22,89	30,03	34,72	44,01	44,55	44,34	50,93	55,84	55,69	62,07	63,35	52,05	50,21	33,12	26,10	19,84	15,04
8 m	45 km/h	GTE	31,94	28,11	20,55	20,57	26,42	31,86	42,86	42,24	43,67	49,47	52,73	51,04	56,06	53,53	51,83	45,20	30,45	22,81	13,87	4,98
10 m	45 km/h	GTE	27,24	23,70	17,09	16,16	23,29	27,96	37,21	37,72	37,47	44,00	48,84	48,60	54,86	56,00	44,52	42,46	25,07	17,70	11,00	5,64
12 m	45 km/h	GTE	24,85	21,30	14,69	13,75	20,87	25,53	34,77	35,26	34,98	41,49	46,29	46,00	52,21	53,27	41,71	39,54	21,99	14,45	7,54	1,89
16 m	45 km/h	GTE	19,45	18,14	14,75	18,13	20,32	27,69	36,57	38,88	37,54	42,44	42,73	37,83	42,76	41,14	36,26	29,73	15,39	9,52	5,11	-2,41