Anlage 15
zur Vorlage 2026/0519

Erschütterungstechnische Untersuchung zum Bebauungsplan Nr. 280/II "Opladen - westlich Europa-Allee, südlich Henkelmännchen-Platz und östlich Friedrich-List-Straße (nbso-Westseite/Süd)"

Bericht VP 7247-2-BER-001 vom 07.08.2026

Erschütterungstechnische Untersuchung zum Bebauungsplan Nr. 280/II "Opladen - westlich Europa-Allee, südlich Henkelmännchen-Platz und östlich Friedrich-List-Straße (nbso-Westseite/Süd)"

Dieser Bericht besteht aus insgesamt 56 Seiten, davon 34 Seiten Text und 22 Seiten Anlagen.

Auftraggeber:	Stadt Leverkusen Fachbereich Gebäudewirtschaf Moskauer Straße 4a 41373 Leverkusen
Berichtsnummer:	VP 7247-2-BER-001
Datum:	07.08.2026
Referenz:	LN/LN
Ansprechperson:	Lukas Niemietz 0211 999 58 26 - 86 lukas.niemietz@peutz.de

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-20140-01-00

Die Akkreditierung gilt für den in der Urkundenanlage D-PL-20140-01-00 festgelegten Umfang der Bereiche Geräusche und Erschütterungen.
Messstelle nach § 29b BImSchG

Peutz Consult GmbH, Kolberger Straße 19, 40599 Düsseldorf, Tel. +49 211 999 582 60
Geschäftsführer: Dipl.-Ing. Heiko Kremer-Bertram, Dipl.-Ing. Mark Bless, ing. David den Boer
AG Düsseldorf, HRB Nr. 22586, Ust-IdNr. DE 119424700, Steuer-Nr. 106/5721/1489
info@peutz.de, www.peutz.de
Düsseldorf – Dortmund – Berlin – Nürnberg – Leuven – Paris – Lyon – Mook – Zoetermeer – Groningen – Eindhoven

Inhaltsverzeichnis

1	**Situation und Aufgabenstellung**	**5**
2	**Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien**	**7**
3	**Örtliche Gegebenheiten / Gebietsnutzungen / Betriebsprogramm**	**10**
4	**Beurteilungsgrundlagen für Erschütterungen**	**12**
4.1	Allgemeines	12
4.2	Beurteilungsgrößen für Schienenverkehr	14
4.2.1	Ermittlung der Beurteilungsgrößen für Erschütterungen durch Schienenverkehr	16
4.2.2	Beurteilung gemessener Erschütterungsimmissionen auf neu zu errichtende Gebäude	17
4.3	Sekundärluftschall	17
5	**Erschütterungsmessungen**	**20**
5.1	Ort und Zeit der Messungen	20
5.2	Messgeräte	20
5.3	Messdurchführung	20
5.4	Auswertung der Messungen	20
5.5	Ergebnisse der Erschütterungsmessung	20
6	**Auswerte- und Prognoseverfahren**	**22**
6.1	Einflussgrößen für Erschütterungen	22
6.2	Beschreibung der Methodik	22
6.3	Prognoseunsicherheit	23
7	**Prognose der Erschütterungsimmissionen**	**24**
7.1	Allgemeines	24
7.2	Ergebnisse der Prognosen auf Basis der Messung am Messpunkt 3	24
8	**Berechnung und Beurteilung der Sekundärluftschallimmissionen**	**27**
8.1	Allgemeines	27
8.2	Sekundärluftschall - Mittelungspegel	27
8.3	Sekundärluftschall-Maximalpegel	28

9 Zusammenfassung 31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Streckenbelastungen der Bahn-Strecke 2324, 2730 und 2674 - Betriebsprognose 2030 11

Tabelle 4.1: Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung [22] 13

Tabelle 4.2: Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2, Tabelle 1, Abschnitt 6.2 14

Tabelle 4.3: Bewertungsfaktoren zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Charakteristik von Zugvorbeifahrten und Trassenlage 15

Tabelle 4.4: Anforderungen sek. Luftschallimmissionen 19

Tabelle 7.1: Vergleich KB_{Fmax} für Gewerbegebiete 25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Grundriss des 1. Obergeschosses, entlang der roten Linie sollte eine schwingungstechnische Entkopplung der Gebäudeteile erfolgen. 6

1 Situation und Aufgabenstellung

In Leverkusen-Opladen soll für den südlichen Bereich der Neuen Bahnstadt Opladen (NBSO) westlich der Europaallee der Bebauungsplan Nr. 280/II „Opladen – westlich Europa-Allee, südlich Henkelmännchen-Platz und östlich Friedrich-List-Straße (nbso-Westseite/Süd)“ aufgestellt werden. Das Plangebiet liegt derzeit im Geltungsbereich des rechtskräftigen Bebauungsplans Nr. 208 B/II „Opladen – nbso/Westseite – Quartiere“ und umfasst dort gewerblich festgesetzte Bauflächen. Mit dem Bebauungsplan Nr. 280/II soll für den gesamten Geltungsbereich weiterhin ein Gewerbegebiet (GE) festgesetzt werden. Nutzungen mit Wohn- oder Beherbergungscharakter sollen im neuen Gewerbegebiet ausgeschlossen werden. Im nördlichen Bereich des Geltungsbereichs ist temporär die Errichtung einer Interimsfeuerwache vorgesehen.

Ein Lageplan der örtlichen Gegebenheiten ist in Anlage 1 dargestellt.

Die vorliegende Untersuchung wird daher allgemein auf die schwingungs- und sekundärluftschalltechnischen Belange des geplanten Gewerbegebiets ausgerichtet. Da im Regelbetrieb sonstiger gewerblicher Nutzungen im Tageszeitraum regelmäßig keine vergleichbare Schutzbedürftigkeit wie bei Schlaf- oder Ruheräumen besteht, stellt die geplante Interimsfeuerwache mit Ruheräumen, die auch zum Schlafen genutzt werden können, innerhalb des Gewerbegebiets eine konservative Worst-Case-Betrachtung dar.

Im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens sind die auf das Plangebiet einwirkenden Erschütterungsimmissionen und die zu erwartenden sekundären Luftschallpegel zu prognostizieren und anschließend anhand der zulässigen Immissionsbegrenzungen zu bewerten. Die Bewertung erfolgt hierbei unter Berücksichtigung des vorgesehenen Schutzanspruchs eines Gewerbegebiets; die temporäre Feuerwehrnutzung wird ergänzend im Hinblick auf die dort vorgesehenen Ruhebereiche betrachtet.

Die Ergebnisse der Untersuchung werden gemäß DIN 4150 Teil 2 [5] und der aktuellen Rechtslage [18] für die Erschütterungen sowie in Anlehnung an die Anforderungen unterschiedlicher Vorgaben wie der 24. BImSchV [2], DIN 45680 [11][12] und VDI 2719 [14] für die sekundären Luftschallimmissionen beurteilt. Bei Überschreitungen der Anforderungen an die Erschütterungs- oder sekundären Luftschallimmissionen werden Minderungsmaßnahmen vorgeschlagen.

Im Rahmen des Bauantrags des nördlichen Wohnungsbaus G10 an der Friedrich-List-Straße erfolgten bereits am 18.02.2021 Erschütterungsmessungen im näheren Umfeld des Plangebiets. Die im Weiteren dargestellte Prognose beruht auf den Messergebnissen der Erschütterungsprognose VM 7247-1 vom 16.03.2021.

Innerhalb der temporär vorgesehenen Interimsfeuerwache stellen insbesondere die Ruheräume im westlichen Gebäuderiegel die sensibelste Nutzung dar, da diese auch zum Schlafen genutzt werden können. Die Funktionsräume mit geringerem Gleisabstand dienen demgegenüber nicht dem dauerhaften Aufenthalt. Im Hinblick auf die im übrigen Gewerbegebiet vorgesehenen gewerblichen Nutzungen ist diese Betrachtung daher als abdeckender Worst-Case-Ansatz zu verstehen.

Im Weiteren erfolgt eine Bewertung für den westlichen Baukörper mit den geplanten Ruheräumen sowie für die Aufenthaltsbereiche im Tageszeitraum. Aufgrund der hohen

Immissionen aus dem Schienenverkehr sieht die Planung bereits vor, die Bereiche für den dauerhaften Aufenthalt auf den schienenabgewandten Gebäudeseiten unterzubringen.

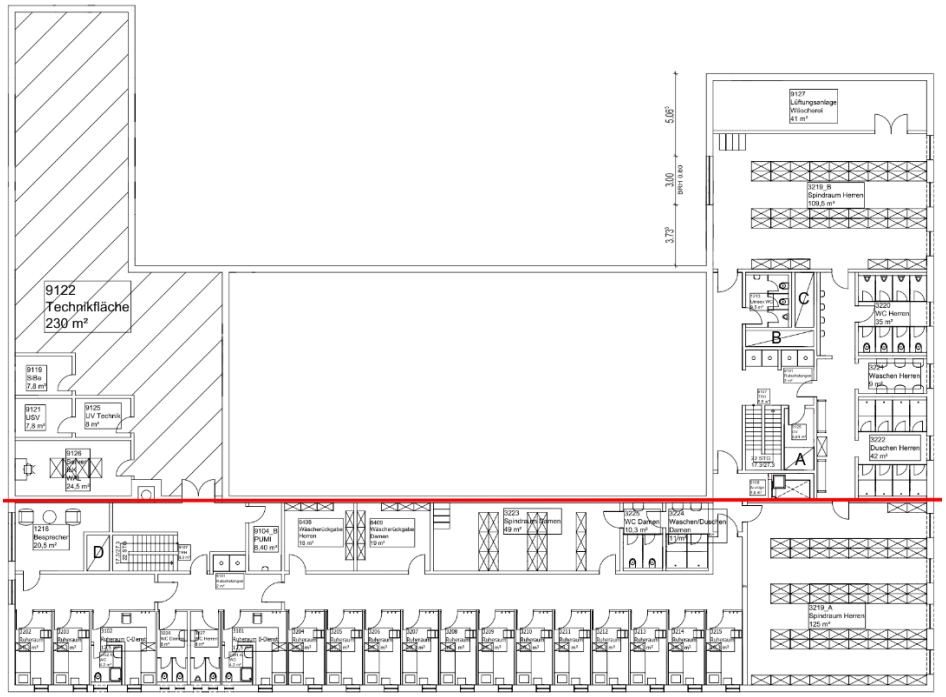


Abbildung 1.1: Grundriss des 1. Obergeschosses, entlang der roten Linie sollte eine schwingungstechnische Entkopplung der Gebäudeteile erfolgen.

2 Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien

Titel		Beschreibung / Bemerkung	Kat.	Datum
[1]	**BImSchG** Bundes-Immissionsschutzgesetz	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge	G	Aktuelle Fassung
[2]	**24. BImSchV** 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes / Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung	Geändert am 23.09.1997 und Begründung in Bundesratsdrucksache 363/96 vom 02.07.1996	V	04.02.1997
[3]	**TA Lärm** Sechste AVwV zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm	Gemeinsames Ministerialblatt Nr. 26, herausgegeben vom Bundesministerium des Inneren vom 28.09.1998	VV	26.08.1998, zuletzt geändert am 01.06.2017
[4]	**DIN 4150, Teil 1**	Erschütterungen im Bauwesen, Vorermittlungen von Schwingungsgrößen	N	2001
[5]	**DIN 4150, Teil 2**	Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	N	August 2025
[6]	**DIN 4150, Teil 3**	Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf bauliche Anlagen	N	2016
[7]	**DIN 45 669, Teil 1**	Messung von Schwingungsimmissionen - Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung	N	2010
[8]	**DIN 45 669, Teil 2**	Messung von Schwingungsimmissionen - Messverfahren	N	2005
[9]	**DIN 45 672, Teil 2**	Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen - Auswerteverfahren	N	1995
[10]	**DIN 45 672, Teil 2**	Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen – Auswerteverfahren	N	2020

Titel		Beschreibung / Bemerkung	Kat.	Datum
[11]	**DIN 45 680**	Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft	N	1997
[12]	**DIN 45 680, Beiblatt 1**	Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft, Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen	N	1997
[13]	**VDI 2038, Blatt 3**	Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik, Sekundärer Luftschall – Grundlagen, Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung	RIL	2013
[14]	**VDI 2719**	Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen	RIL	1987
[15]	Körperschall und Erschütterungsschutz, Leitfaden für den Planer, Beweissicherung, Prognose, Beurteilung und Schutzmaßnahmen	Landesumweltamt NRW	Lit.	1999
[16]	A. Said, D. Fleischer, H. Fastl, H.-P. Grütz, G. Hölzl "Laborversuche zur Ermittlung von Unterschiedsschwellen bei der Wahrnehmung von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr	DAGA 2000, Seite 496-497	Lit.	2000
[17]	DB-Richtlinie 820.2050 "Erschütterungen und sekundärer Luftschall" mit Anhängen A01, A02, A03, A04 und A06	DB Netz AG, Technik- und Anlagenmanagement Fahrbahn Oberbautechnik – I.NPF 111	Lit.	2017
[18]	Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes (BVerwG) zum Ausbau einer Eisenbahnstrecke; Schutz gegen Erschütterungen und sekundären Luftschall	Aktenzeichen 7 A 14/09	Lit.	21.12.2010
[19]	Betriebsprognose 2030 der Bahnstrecken 2324, 2674 und 2730	zur Verfügung gestellt von der Deutschen Bahn AG	P	2019

Titel		Beschreibung / Bemerkung	Kat.	Datum
[20]	Planunterlagen zum Bauvorhaben	Zur Verfügung gestellt durch den Auftraggeber	P	Stand: Mai 2025
[21]	Planen und Bauen in Essen	Webseite der Stadt Essen	P	Abruf: 04.08.2020
[22]	Taschenbuch der Technischen Akustik	G. Müller, M. Möser (Hrsg.), 3. Auflage	Lit.	2003
[23]	**Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen**	Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)	Lit.	06.03.2018

Kategorien:

G:	Gesetz	N:	Norm
V:	Verordnung	RIL:	Richtlinie
VV:	Verwaltungsvorschrift	Lit:	Buch, Aufsatz, Berichtigung
RdErl.:	Runderlass	P:	Planunterlagen / Betriebsangaben

3 Örtliche Gegebenheiten / Gebietsnutzungen / Betriebsprogramm

Das Plangebiet befindet sich in Leverkusen-Opladen im südlichen Bereich der Neuen Bahnstadt Opladen (NBSO) westlich der Europaallee und westlich der bestehenden Bahnstrecken. Westlich des Plangebiets befindet sich bereits bestehende Wohnbebauung.
Ein Übersichtslageplan mit Darstellung des Plangebiets ist in Anlage 1 dargestellt. In Anlage 2 sind die berücksichtigten Gleisstrecken, die Messpunkte der zugrunde liegenden Erschütterungsmessung sowie die Lage des Plangebiets dargestellt.
Für den Geltungsbereich des Bebauungsplans Nr. 280/II ist die Festsetzung eines Gewerbegebiets (GE) vorgesehen. Nutzungen mit Wohn- oder Beherbergungscharakter sollen ausgeschlossen werden. Im nördlichen Bereich des Gewerbegebiets ist temporär die Errichtung einer Interimsfeuerwache vorgesehen. Hier wird im Weiteren der Schutzanspruch entsprechend einem Gewerbegebiet berücksichtigt.
Die geplante Interimsfeuerwache umfasst neben Funktionsbereichen auch Ruheräume, die im Rahmen des Betriebs zum Schlafen genutzt werden können. Da derartige Ruhe- bzw. Schlafnutzungen im übrigen Gewerbegebiet nicht vorgesehen sind und Wohnen sowie Beherbergung ausgeschlossen werden sollen, stellt die Betrachtung der Interimsfeuerwache im Hinblick auf Erschütterungen und sekundären Luftschall eine konservative Worst-Case-Betrachtung für das geplante Gewerbegebiet dar.
Sonstige gewerbliche Nutzungen im Plangebiet sind im Regelfall insbesondere durch Nutzungen im Tageszeitraum geprägt und weisen keine vergleichbare nächtliche Schutzbedürftigkeit wie Schlaf- oder Ruheräume auf. Die schwingungs- und sekundärluftschalltechnische Bewertung der Interimsfeuerwache deckt diese Nutzungen daher aus gutachterlicher Sicht mit ab.
Um die Erschütterungseinwirkungen auf die geplanten bzw. planungsrechtlich zulässigen Baukörper im Plangebiet durch Zugfahrten prognostizieren zu können, werden Messdaten einer am 18.02.2021 nördlich des Plangebiets durchgeführten Erschütterungsmessung zugrunde gelegt.
Die Streckenbelastung der Zugstrecken 2324, 2730 und 2674 als Prognosezahlen für das Jahr 2030 wurde durch die Deutsche Bahn AG erstellt [19] und ist in der nachfolgenden Tabelle 3.1 dargestellt.

Tabelle 3.1: Streckenbelastungen der Bahn-Strecke 2324, 2730 und 2674 - Betriebsprognose 2030

Gleis / Strecke	**Zugkategorie**	**Anzahl Fahrten**	
		Tag (06 – 22 Uhr)	**Nacht (22 – 6 Uhr)**
Gleis 1 – Strecke 2324	GZ	82	55
Gleis 2 – Strecke 2324	GZ	82	54
Gleis 3 – Strecke 2730	GZ	6	13
	ET	35	3
	RRX	16	4
	ICE	32	4
Gleis 4 – Strecke 2730	GZ	6	13
	ET	35	3
	RRX	15	3
	ICE	29	1
Gleis 5 – Strecke 2674	GZ	2	2
Summe aller Fahrten		**340**	**155**

4 Beurteilungsgrundlagen für Erschütterungen

4.1 Allgemeines

Die während einer Erschütterungsimmissionsmessung erfasste und registrierte Messgröße ist die Schwingschnelle v(t) in mm/s (das Schnellesignal). Diese Größe ist gemäß DIN 4150, Teil 3 [6] ohne jegliche Zeit- und Frequenzbewertung zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkung auf Gebäude heranzuziehen.

Entsprechend der DIN 4150, Teil 2 [5] wird zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden als Beurteilungsgröße das frequenz- und zeitbewertete Erschütterungssignal, gemessen in Raummitte der am stärksten betroffenen Geschossdecke, herangezogen. Die Frequenzbewertung erfolgt dabei nach DIN 4150, Teil 2 in Form der so genannten "KB-Bewertung". Das Ergebnis der Bewertung ist der gleitende Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals nach folgender Gleichung:

$$KB_\tau(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau}\int_{\xi=0}^{t} e^{-\left(\frac{t-\xi}{\tau}\right)} \cdot KB^2(\xi)\,d\xi}$$

Als Zeitbewertung wird der gleitende Effektivwert mit einer Zeitkonstanten von τ = 0,125 s gebildet. Zur Konkretisierung der verwendeten Zeitkonstante wird, entsprechend der Norm, die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ genannt. Die während der Beurteilungszeit erfasste höchste bewertete Schwingstärke wird als Maximalwert KB_{Fmax} bezeichnet.

Da es sich bei Erschütterungsimmissionen nicht um gleichförmige Schwingungen, sondern um stochastische Einzelvorgänge handelt, kann gemäß DIN 4150, Teil 2, der Beginn eines jeden Ereignisses (Zugvorbeifahrt) an den Anfang eines Taktes gelegt werden. Durch dieses Verfahren wird die Anwendung des Takt-Maximal-Bewertungsverfahrens auf Erschütterungen aus oberirdischem Bahnverkehr deutlich vereinfacht. Dies bedeutet nämlich, dass jedem Maximalwert KB_F einer Zugvorbeifahrt bei üblicher Zuggeschwindigkeit und -länge jeweils ein Takt zugeordnet wird. Aus diesen ermittelten Taktmaximalwerten KB_{FTi} wird der Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} nach nachfolgender Gleichung berechnet:

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} KB_{FTi}^2}$$

Bei Anwendung dieser Gleichung sind alle Werte $KB_{FTi} \leq 0{,}1$ zu Null zu setzen, jedoch gehen diese Takte in die Anzahl N ein und beeinflussen somit den Effektivwert.

Für die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen werden zwei Beurteilungsgrößen herangezogen. Dies sind zum einen die maximal bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} sowie, falls erforderlich, die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}. Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} ist der Taktmaximal-Effektivwert über die Beurteilungszeit. Diese Beurteilungs-Schwingstärke wird nach DIN 4150, Teil 2 [5] mit folgender Gleichung berechnet:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r}\sum_j T_{e,j} \cdot KB_{FTm,j}^2}$$

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

$T_{e,j}$ = Teileinwirkungszeiten

$KB_{FTm,j}$ = Taktmaximal-Effektivwerte die für die Teileinwirkungszeiten $T_{e,j}$ repräsentativ sind

In die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} geht also Art und Anzahl der Erschütterungsereignisse innerhalb der Beurteilungszeiten Tag und Nacht mit dem jeweiligen von der entsprechenden Erschütterungsquelle abhängigen Takt-Maximal-Effektivwert KB_{FTm} ein.

Die so ermittelten Beurteilungsgrößen KB_{Fmax} und KB_{FTr} werden mit den in der DIN 4150, Teil 2, angegebenen Anhaltswerten, unter Zugrundelegung verschiedener Gebietsnutzungen für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen, verglichen (siehe Tabelle 4.2).

Hierbei sind drei unterschiedliche Anhaltswerte A_u, A_0 und A_r angegeben.

Ist der ermittelte KB_{Fmax}-Wert kleiner oder gleich dem "unteren" Anhaltswert A_u, ist die Anforderung der DIN 4150, Teil 2, erfüllt.

Ist der ermittelte KB_{Fmax}-Wert größer als der "obere" Anhaltswert A_0, sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten.

Für Werte von $A_0 \geq KB_{Fmax} \geq A_u$ ist die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} zu ermitteln und mit dem Anhaltswert A_r zu vergleichen. Ist KB_{FTr} kleiner bzw. gleich dem Anhaltswert A_r, so sind die Anforderungen der Norm eingehalten.

KB-Werte ≤ 0,1 gehen gemäß Norm nicht in die Beurteilung mit ein. Ein solcher Wert kann als Maß für die Fühlschwelle herangezogen werden, wobei die Tatsache, ob ein Erschütterungsereignis gespürt wird von vielen individuellen Faktoren und dem subjektiven Empfinden abhängt (siehe auch Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung [22]

Bewertete Schwingstärke KB	Beschreibung der Wahrnehmung
< 0,1	nicht spürbar
0,1	Fühlschwelle
0,1 – 0,4	gerade spürbar
0,4 – 1,6	gut spürbar
1,6 – 6,3	stark spürbar
> 6,3	sehr stark spürbar

4.2 Beurteilungsgrößen für Schienenverkehr

Die DIN 4150 Teil 2 liegt seit August 2025 als Weißdruck vor und wird im Folgenden als Bewertungsgrundlage herangezogen.

Die Erschütterungsimmissionen durch Schienenverkehr sind nach 6.3 zu beurteilen und mit den Anhaltswerten der Tabelle 1, "6.2 Anhaltswerte" der DIN 4150, Teil 2 (siehe hier Tabelle 4.2), zu vergleichen. Dabei sind die Besonderheiten entsprechend den jeweils unterschiedlichen Ausgangssituationen nach 6.5.3.4 bis 6.5.3.7 zu beachten.

Tabelle 4.2: Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2, Tabelle 1, Abschnitt 6.2

Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		Au	Ao	Ar	Au	Ao	Ar
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (siehe Industriegebiete BauNVO, §9).	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (siehe 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 (siehe Kerngebiete BauNVO, §7, urbane Gebiete BauNVO, §6a Mischgebiete BauNVO, §6, Dorfgebiete BauNVO, §5).	0,2	5	0,1	0,1	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (siehe reines Wohngebiet BauNVO, §3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, §4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, §2).	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

Laut Kapitel 6.5.3.3 der neuen DIN 4150-2 [5] werden zur angemessenen Berücksichtigung von Erschütterungsimmissionen aus dem Zugbetrieb für die Zuggattungen die in Tabelle 4.3 aufgeführten Bewertungsfaktoren αZug festgelegt. Diese berücksichtigen:

- die Art des Zugbetriebs;
- den Fahrzeugtyp sowie;
- die Trassenlage (ober- oder unterirdisch).

Tabelle 4.3: Bewertungsfaktoren zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Charakteristik von Zugvorbeifahrten und Trassenlage

Zeile	**Bewertungsfaktor αZug**		**Rechtliche Grundlage des Zugbetriebes**	**Beschreibung der Züge (Zuggattung)**
	Oberirdisch	**unterirdisch**		
1	0,7	1,0	Bau- und Betriebsordnung für Straßenbahnen (BOStrab)	Straßen-, Stadt- und U-Bahnen
2	0,8	1,0	Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (EBO)	S-Bahnen
3	0,9	1,0		sonstige Personenverkehrszüge
4	1,0	1,0		Güterzüge (l≤ La)
5	1,3	1,3		lange Güterzüge (l>La)

Die Berücksichtigung der unterschiedlichen Einwirkdauer der Vorbeifahrt von Güterzügen erfolgt mittels des Wertes $L\alpha$ nach folgender Gleichung:

La = v x 7 x m/km/h

Dabei ist

- $L\alpha$ fiktive Länge eines Zuges, in m, der unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit v eine Vorbeifahrtsdauer von 30 s hat;
- v die Zuggeschwindigkeit, in km/h

Der Bewertungsfaktor α_{Zug} ersetzt in der neuen Fassung der DIN 4150-2 die Erhöhung der Anhaltswerte für Strecken mit reiner Nutzung des Personennahverkehrs mit dem Faktor 1,5, wie sie in der alten Fassung vorgesehen war.

4.2.1 Ermittlung der Beurteilungsgrößen für Erschütterungen durch Schienenverkehr

Um die Erschütterungseinwirkungen auf ein Gebäude anhand der Anhaltswerte gemäß Tabelle 4.2 zu beurteilen, werden die Beurteilungsgrößen **KB_{Fmax}** als Maximalwert aller Taktmaximalwerte (KB_{FTi}) und **KB_{FTr}** aus dem auf die Beurteilungszeit bezogenen Taktmaximal-Effiektivwert (KB_{FTm}) ermittelt.

Taktmaximal-Effektivwert (KB_{FTm})

Die Ermittlung des Taktmaximal-Effektivwertes (KB_{FTm}) erfolgt gesondert für jede Zugkategorie und wird als $KB_{FTm,Zug}$ bezeichnet. Die Zugkategorien sind hierbei aus den Zuggattungen nach Tabelle 4.3 und unter Bezug auf beispielsweise Gleise, Fahrzeugtypen, Fahrzeuggeschwindigkeiten, je nach Aufgabenstellung und örtlicher Situation, zu bilden. Im Normalfall ist mindestens eine Zugkategorie je Gleis oder Fahrtrichtung und Zuggattung zu unterscheiden. Hierbei sind die Einzelheiten aus dem jeweiligen Betriebsprogramm oder Fahrplan abzuleiten.

Unabhängig von der tatsächlichen Einwirkungszeit wird jede Zugfahrt mit nur einem Takt gezählt. Als Ergebnis wird somit je Vorbeifahrt nur ein $KB_{FTi,Zug}$-Wert ermittelt. Daher wird in der nachfolgenden Gleichung die Anzahl der vorbeifahrenden Züge berücksichtigt.

Die Taktmaximal-Effektivwerte $KB_{FTm,Zug}$ für die einzelnen Zugkategorien und Gleise berechnen sich nach folgender Gleichung:

$$KB_{FTm,Zug} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} KB_{FTi,Zug}^2}$$

Hierbei sind $KB_{FTi,Zug}$-Werte kleiner als 0,1 mit zu berücksichtigen.

Beurteilungs-Schwingstärke (KB_{FTr})

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} berechnet sich anschließend anhand der Taktmaximal-Effektivwerte $KB_{FTm,Zug}$ und der Bewertungsfaktoren α_{Zug} gemäß Tabelle 4.3 nach:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\sum_{Zug=1}^{N_z} \frac{n_{Zug}}{N_r} \cdot (\alpha_{Zug} \cdot KB_{FTm,Zug})^2}$$

mit:

N_Z = Anzahl der unterschiedlichen Zugkategorien im jeweiligen Beurteilungszeitraum (tags oder nachts)

n_{Zug} = Anzahl der Züge je Zugkategorie im jeweiligen Beurteilungszeitraum

N_e = Anzahl der Takte im jeweiligen Beurteilungszeitraum (tags: 1920, nachts: 960)

α_{Zug} = Bewertungsfaktor nach Tabelle 4.3

Taktmaximalwert (KB_{Fmax})

Der Taktmaximalwertes KB_{Fmax} für jede Zugkategorie wird auf Grundlage des Taktmaximal-Effektivwerte $KB_{FTm,Zug}$ folgendermaßen ermittelt:

$$KB_{Fmax,Zug} = 1{,}5\ KB_{FTm,Zug}$$

Die maximale bewertete Schwingstärke aller Züge berechnet sich gemäß:

$$KB_{Fmax} = \max\{KB_{FTmax,Zug}\}$$

4.2.2 Beurteilung gemessener Erschütterungsimmissionen auf neu zu errichtende Gebäude

Entsprechend der DIN 4150-2 sind die Beurteilungsgrößen, soweit erforderlich, zu ermitteln und mit den Anhaltswerten *A* nach Tabelle 4.2 zu vergleichen.

Hierbei ist wie in Abschnitt 4.1beschrieben vorzugehen.

Wird im erschütterungstechnischen Einflussbereich von Schienenverkehrswegen neu zu erstellende Gebäude geplant, sind im Rahmen der zu erstellenden Erschütterungsprognosen jeweils für den Tages- und Nachtzeitraum die Werte für $\boldsymbol{A_u}$, $\boldsymbol{A_r}$ und $\boldsymbol{A_o}$ nach Tabelle 4.2 in Abhängigkeit von der Gebietseinstufung anzustreben.

Bei Zugkategorien mit seltenen bzw. nicht regelmäßigen Vorbeifahrten oder wenn die Umsetzung von Maßnahmen zum Erschütterungsschutz als unverhältnismäßig bewertet werden, kann es erforderlich sein, den Betroffenen Erschütterungen bis zu einem oberen Anhaltswert von $\boldsymbol{A_o}$**=0,6** nachts zuzumuten.

4.3 Sekundärluftschall

Aufgrund vom Schienenverkehr hervorgerufenen Erschütterungen innerhalb von Gebäuden können durch die Anregung der Raumbegrenzungsflächen und der hieraus bedingten Schallabstrahlung Schallimmissionen in Form von Sekundärluftschall auftreten.

Bei oberirdisch geführten Strecken liegen die Anteile des Sekundärluftschalls in der Regel deutlich unterhalb der Immissionen durch direkt einfallenden Luftschall. Innerhalb einer umfangreichen Studie [15] zum Sekundärluftschall wurde aus einer Vielzahl von Messungen ein empirischer Zusammenhang zwischen dem Schwingschnellepegel sowie dem Sekundärluftschallpegel ermittelt.

Dieser Zusammenhang ist im Wesentlichen abhängig von der jeweiligen Bauweise der Häuser. So ergaben sich z. B. für Häuser mit Betondecken andere Abhängigkeiten zwischen Sekundärluftschall und Erschütterungen als für den Fall von Häusern mit Holzbalkendecken.

Eine messtechnische Erfassung des sekundären Luftschallanteils bei oberirdisch verlaufenden Strecken ist, da gleichzeitig meist direkt einfallender Luftschall auftritt, in der Regel

nicht möglich. Ein solch messtechnischer Nachweis wäre nur bei einem entsprechend großen Abstand von Sekundärluftschallpegel zum direkten Luftschall möglich. Dies ist z. B. möglich, wenn eine ausreichende Schalldämmung der Fassade (Massivbauweise ohne Fenster) eines Messraums vorliegt. In solchen Fällen ist in der Regel der Sekundärluftschall bei Zugdurchfahrten auch deutlich wahrzunehmen.

Für die Beurteilung der Sekundärluftschallpegel aus Bahnbetrieb existieren keine verbindlichen Normen und Regelwerke. In der Rechtsprechung werden häufig die noch zulässigen Innenraumpegel aus der 24. BImSchV (24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes) [2] und der VDI 2719 [14] bestätigt. Die TA Lärm [3] hingegen kann nicht direkt zur Beurteilung von Schallimmissionen in Gebäuden herangezogen werden, da der Anwendungsbereich der TA Lärm sich auf gewerblich genutzte Anlagen bezieht und nicht auf Verkehrslärm oder Verkehrsanlagen.

Aus den Regularien der 24. BImSchV und der VDI 2719 lassen sich als Zumutbarkeitsschwelle mittlere Innenraumpegel von 40 dB(A) im Tageszeitraum von 6 bis 22 Uhr für Wohn- und Büroräume und 30 dB(A) im Nachtzeitraum von 22 bis 6 Uhr für Schlafräume ableiten. Hierbei erfolgt keine Unterscheidung hinsichtlich der Gebietsnutzung. Das Bundesverwaltungsgericht legt in seinem Urteil vom 21.12.2010 [18] diese Vorgehensweise ebenfalls nahe:

> *"Ein spezielles Regelwerk zur Bestimmung der Zumutbarkeit beim sekundären Luftschall gibt es bislang nicht. Zur Schließung dieser Lücke ist auf Regelwerke zurückzugreifen, die auf von der Immissionscharakteristik vergleichbare Sachlagen zugeschnitten sind. Dabei ist in erster Linie dem Umstand Rechnung zu tragen, dass es sich bei dem hier auftretenden sekundären Luftschall um einen verkehrsinduzierten Lärm handelt. Das legt eine Orientierung an den Vorgaben der auf öffentliche Verkehrsanlagen bezogenen 24. BImSchV [...] nahe... ."*

Die VDI 2719 [14] definiert nahezu die gleichen Zumutbarkeitsschwellen wie sie sich aus der 24. BImSchV ableiten lassen. Es werde jedoch in der VDI 2719 weitere Raumnutzungen berücksichtigt und auch ein mittlerer Maximalpegel für die sekundären Luftschallimmissionen angeben.

Die VDI 2719 gibt jedoch Spannen von Innenpegel, sowohl für den Mittelungspegel als auch den Maximalpegel an. Für die Zulässigkeit bzw. als Zumutbarkeitsschwelle zum Beispiel in bestehenden Situationen oder für den Ausbau von Schienenstrecken kann der jeweilige obere Bereich der Wertespannen herangezogen werden und die Werte von 40 dB(A) tags und 30 dB(A) nachts verwendet werden. Als Maximalpegel sollten jeweils um 10 dB höhere Werte als zulässig angesehen werden.

Für den Neubau von Wohngebäuden sollten strengere Vorgeben gelten. Die Anforderungen an den Innenpegel für Wohnräume mit 35 dB(A) tags und 25 dB(A) nachts, welche auch die TA Lärm [3] als Immissionsrichtwerte für einen Innenpegel berücksichtigt, würde sich damit auch mit den Anforderungen der DIN 45680 [11] an tieffrequente Geräusche ohne deutlich hervortretenden Einzelton und der VDI 2038, Blatt 3 [13] decken. Die Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz [23], welche in der Regel die Grundlage für die Erschütterungserlasse der einzelnen Bundesländer bilden, verweisen

auch auf die Regelwerke der TA Lärm und DIN 45680. Als Anforderungen an den Maximalpegel in Falle eines Neubaus sollten die Werte von 45 dB(A) tags und 35 dB(A) nachts herangezogen werden, was den Anforderungen der DIN 45680 und TA Lärm entsprechen würde. Für andere Gebäude oder Nutzungen sind ggf. in Anlehnung an dieses Vorgehen höhere Innenpegel durch sekundäre Luftschallimmissionen als zulässig anzusehen.

Da in diesen Regelwerken, außer in der VDI 2719, nicht nach Gebietscharakteristik anderer Raumnutzungen als Wohn- und Schlafräumen differenziert wird, wird an dieser Stelle andere Nutzungen auf die VDI 2719 verwiesen und die dort aufgeführten Kategorien als Empfehlung herangezogen.

Zusammenfassend stellt die nachfolgende Tabelle 4.4 die berücksichtigten Anforderungen an Wohnnutzungen oder vergleichbare Nutzungen bei Neubauten dar.

Tabelle 4.4: Anforderungen sek. Luftschallimmissionen

Beurteilungszeitraum	**Mittelungspegel L_m [dB(A)]**	**mittlerer Maximalpegel L_{max} [dB(A)]**
Wohnräume im Tageszeitraum 6 bis 22 Uhr	35	45
Schlafräume im Nachtzeitraum 22 bis 6 Uhr	25	35
Unterrichtsräume, ruhebedürftige Einzelbüros, wissenschaftliche Arbeitsräume, Bibliotheken, Konferenz- und Vortragsräume, Arztpraxen, Operationsräume, Kirchen, Aulen	35	45
Büros für mehrere Personen	40	50
Großraumbüros, Gaststätten, Schalterräume, Läden	45	55

Als Definition der Maximalpegel wird der mittlere Maximalpegel gemäß VDI 2719 gewählt, da speziell im Schienenverkehr immer einzelne Züge, in einem schlechten Wartungszustand zum Beispiel durch Flachstellen an Rädern vereinzelt deutlich höhere Immissionen hervorrufen können. Um eine Überbewertung solcher Ausnahmeereignisse zu vermeiden wird der mittlere Maximalpegel herangezogen. Dies deckt sich mit den Vorgaben an den Erschütterungsschutz gemäß DIN 4150, Teil 2.

5 Erschütterungsmessungen

5.1 Ort und Zeit der Messungen

Am 18.02.2021 erfolgten mit der Untersuchung VM 7247-1 Erschütterungsmessungen nördlich des Plangebiets auf dem Baugebiet an der Friedrich-List-Straße in Leverkusen. Eine Übersicht der Lage der Messpunkte ist in der Anlage 2 dargestellt.

5.2 Messgeräte

Die Erschütterungsmessungen wurden entsprechend der DIN 4150, Teil 2, in Verbindung mit DIN 45669, Teil 1 [7] und Teil 2 [8] sowie dem DB-Leitfaden zum Erschütterungs- und Körperschallschutz [17] durchgeführt.

Die Messpunkte wurden auf Dreipunktlagern gemäß DIN 45669 aufgestellt und mittels Hartklebewachs und Spitzen auf Teppich angebracht. Zwei Messpunkte befanden sich dabei im leerstehenden und abzureißenden Bestandsgebäude, ein Messpunkt auf einer eingeschlämmten Betonplatte im Bereich einer geplanten Doppelhaushälfte. Die Lage der Messpunkte sind in der Anlage 1 sowie im Detail in der Anlage 2 dargestellt.

Die Erschütterungsimmissionen wurden mittels Geophone (Schwingungsmesser nach DIN 45669 A3HV 315/1) mit dem Messsystem BlueStack der Firma Wölfel aufgezeichnet. Die eingesetzte Messkette ist im Datenanhang dargestellt.

Die Geschwindigkeiten der Züge wurden mit einem Radargerät Typ Mini Quick K-GP gemessen.

Die Frequenzanalysen erfolgten mittels der Auswertesoftware (MEDA) der Firma Wölfel.

5.3 Messdurchführung

Während der gesamten Messzeiten wurden Erschütterungsanregungen durch Zugvorbeifahrten erfasst. Dabei wurden ggf. Besonderheiten / Auffälligkeiten festgehalten.

Die Messung wurden von Herrn David Delgado Hernandez und Herrn Dr. Lukas Niemietz durchgeführt.

5.4 Auswertung der Messungen

Die Auswertung der Erschütterungsimmissionen erfolgte gemäß DIN 4150 Teil 2 [5] beziehungsweise dem DB-Leitfaden zum Erschütterungs- und Körperschallschutz [17].

5.5 Ergebnisse der Erschütterungsmessung

Die Zugvorbeifahrten konnten zum größten Teil störungsfrei messtechnisch erfasst werden. Die Messungen, bei denen Störungen vorgelegen haben, fließen nicht in die weitere Auswertung mit ein. Die erfassten Züge sind in Anlage 3.1 dargestellt. Die

Vorbeifahrtsereignisse, bei denen keine Messergebnisse in der Liste eingetragen sind, waren solche Ereignisse mit Störungen oder anderen Effekten, welche dazu führen, dass diese nicht weiter in die Auswertung mit eingehen.

Die höchste Erschütterungseinwirkung in vertikaler Richtung betrug vmax = 0,921 mm/s am Messpunkt 2 in einer Schürfe, welche die erste Baureihe, im Baugebiet nördlich der geplanten Feuerwehr repräsentiert. Das Ereignis wurde von einem Güterzug, welcher auf Gleis 1 verkehrte hervorgerufen.

Durch den Übergang vom Baugrund, in dem gemessen wurde, in das Gebäude oder ggf. zu berücksichtigende Minderungsmaßnahmen, lassen sich die Erschütterungen im Gebäude teils reduzieren. Durch Resonanzeffekte im Gebäude, können auf den Geschossdecken jedoch deutlich höhere Schwingschnellen erreicht werden. Diese Effekte werden im Weiteren in der Prognose der zu erwartenden Erschütterungen im Kapitel 7 untersucht und beurteilt.

Alle Ergebnisse der Messung und eine Statistik zu der Messung sind in der Anlage 3 dargestellt.

Durch den vergleichbaren Abstand der geplanten Feuerwehr und der Messpunkte im Rahmen des Bauvorhabens 2021 können die Ergebnisse auf das Planvorhaben übertragen werden.

6 Auswerte- und Prognoseverfahren

6.1 Einflussgrößen für Erschütterungen

Maßgeblich für die Höhe der Erschütterungsimmissionen ist die Höhe der Emission und der Abstand der zu betrachtenden Gebäude zu den Bahngleisen. Weitere Einflussgrößen sind:

- die Bodenbeschaffenheit auf dem Übertragungsweg,
- die Bauweise der Gebäude,
- die gefahrene Geschwindigkeit,
- der Zustand der Gleise,
- das eingesetzte Wagenmaterial.

Beim Einfluss des Abstandes des zu betrachtenden Gebäudes von den Bahngleisen ist in der Regel bei einer mehrgleisigen Strecke davon auszugehen, dass je näher das Gebäude an der Bahntrasse steht, desto größer werden die Unterschiede zwischen den Immissionen aus den einzelnen Gleisen.

Vergrößert sich der Abstand von der Trasse, so gleichen sich die Immissionen aus den einzelnen Gleisen an, da der Einfluss der relativen Abstandsunterschiede gegenüber dem Gesamtabstand an Relevanz verliert.

Die Bodenbeschaffenheit auf dem Übertragungsweg sowie die Bauweise des jeweiligen Gebäudes haben bei der Prognose von Erschütterungen meist einen schwer abschätzbaren Einfluss.

6.2 Beschreibung der Methodik

Die Prognosen der Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen erfolgen auf Basis der vorliegenden Planunterlagen für das Bauvorhaben [20], sowie der erfolgten Erschütterungsmesssungen nördlich des Plangebiets im Rahmen der Untersuchung VM 7247-1 in einem vergleichbaren Abstand zu den immissionsrelvanten Gleisen 1 und 2.

Mittels der messtechnisch erfassten Emissionen bzw. Immissionen sowie den theoretischen Übertragungsfunktionen aus der Literatur erfolgte die Prognose der in dem geplanten Gebäude zu erwartenden Erschütterungsimmissionen.

Für die allgemeinen Erschütterungsimmissionen wurden im ersten Schritt Frequenzanalysen (Terz-F-max) durchgeführt und diese anschließend energetisch gemittelt. Diese gemittelten Terz-F-max Frequenzspektren für die Messpunkte gehen als Eingangsdaten in die Prognosen ein. Durch die Verwendung von Terz-F-Max Spektren liegen die berechneten Prognosen auf der sicheren Seite, da für diese Spektren zu jeder Terz der während der Erschütterungseinwirkungen maximal aufgetretene Messwert zugeordnet wird. Dies tritt so in der Realität allgemein nicht auf und führt daher bei der Prognose in der Regel zu höheren Werten.

Für die Prognose der Erschütterungen in das geplante Gebäude werden theoretische Übertragungsfunktionen vom Erdboden bzw. vom Fundament auf die jeweilige Geschossdecke als der Literatur [17] oder aus Berechnungen und eigenen Messungen an vergleichbaren Vorhaben verwendet.

Zur Berücksichtigung des vergrößerten Abstands der Gleise 3 bis 5 auf Höhe der geplanten Feuerwehr im Vergleich zum nördlich liegenden Baufeld und der damit verbundenen Minderung der Erschütterungen wird eine Bodendämpfung aus der Literatur zugrunde gelegt.

6.3 Prognoseunsicherheit

Die generelle messtechnische Unsicherheit bei der Ermittlung von KBF-Werten kann gemäß DIN 4150 Teil 2 [5] mit 15 % beziffert werden. Die zur Prognose herangezogenen Übertragungsfunktionen für die Transmission im Erdboden, den Übergang vom Fundament auf die Decken im Gebäude sowie die Geschwindigkeitskorrektur sind ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet.

Als Eingangsdaten für die Prognose werden jedoch Emissionsspektren herangezogen, welche die Zugvorbeifahrten mit den höchsten Erschütterungsimmissionen verursacht haben. Im Mittel aller Zugvorbeifahrten wird eine niedrigere Erschütterungsimmission auftreten. Weiterhin wurden für die Prognose sogenannte Terz-F-Max-Spektren verwendet [17], welche in der Regel bis zu 10 dB über dem gemittelten Emissionsspektrum liegen. Eine Prognoseunsicherheit von 20 % bewirkt eine Pegelunsicherheit, die deutlich geringer (< 2 dB) ist. Erfahrungsgemäß werden daher die zukünftig zu erwartenden Erschütterungen tendenziell konservativ überschätzt.

Die Anforderungswerte sind jedoch durch die ermittelten, gemessenen oder prognostizierten Ergebnisse einzuhalten, es ist nicht erforderlich, die Anforderungen durch den ermittelten Wert + die Unsicherheit einzuhalten.

7 Prognose der Erschütterungsimmissionen

7.1 Allgemeines

Im Rahmen der Erschütterungsmessung VM 7247-1 erfolgte die Messung an vier Messpunkten. Die Messpunkte 1 und 2 lagen in einem Gleisabstand von ca. 27 m, die Messpunkte 3 und 4 auf Höhe der zweiten Baureihe in einem Abstand vom nächstgelegenen Gleis von ca. 53 m.

Für die Bewertung des geplanten Gewerbegebiets sind insbesondere die Bereiche relevant, in denen Räume mit erhöhter Schutzbedürftigkeit vorgesehen oder planungsrechtlich denkbar wären. Im konkreten Fall stellen die Ruheräume der temporär vorgesehenen Interimsfeuerwache im nördlichen Plangebiet die sensibelste Nutzung dar, da diese auch zum Schlafen genutzt werden können. Sonstige gewerbliche Nutzungen im übrigen Plangebiet weisen demgegenüber im Regelfall keine vergleichbare nächtliche Schutzbedürftigkeit auf.

Die Messpunkte 2 und 3 entsprechen näherungsweise der Lage möglicher Aufenthalts- und insbesondere Ruheräume im westlichen Gebäuderiegel der geplanten Interimsfeuerwache. Ergebnis der Untersuchung VM 7247-1 war, dass bereits in der ersten Baureihe zur Bahn die Anhaltswerte der DIN 4150-2 für allgemeine Wohngebiete eingehalten werden. Da für das Plangebiet künftig ein Gewerbegebiet vorgesehen ist und Wohnen sowie Beherbergung ausgeschlossen werden sollen, erfolgt die weitere Bewertung konservativ für die im Feuerwehrgebäude vorgesehenen Ruheräume als abdeckenden Worst-Case-Fall.

Für das nördlich des Plangebiets liegende Bauvorhaben wurden aufgrund der sekundären Luftschallimmissionen Minderungsmaßnahmen dimensioniert. Die Berechnungen zeigen, dass im bahnnahen Grundstücksbereich (Messpunkte 1 und 2) im Nachtzeitraum die Anforderungen an den sekundären Luftschallpegel überschritten würden. Da die Ruhebereiche der Interimsfeuerwache jedoch deutlich weiter von den Gleisen entfernt liegen und in etwa dem Gleisabstand der Messpunkte 3 und 4 entsprechen, erfolgt die nachfolgende Auswertung auf Grundlage des Messpunkts 3. Am Messpunkt 3 wurden höhere Erschütterungen messtechnisch erfasst als am Messpunkt 4, sodass diese Vorgehensweise eine Betrachtung auf der sicheren Seite darstellt.

Die detaillierten Prognoseberechnungen für die Erschütterungsimmissionen im Bereich der geplanten Interimsfeuerwache bzw. der hierfür maßgeblichen Ruheräume können den Anlagen 4 entnommen werden.

Für die Interimsfeuerwache wurden die Erschütterungsimmissionen für theoretische Übertragungsfunktionen aus der Literatur für Geschossdecken mit Betondecken für Deckeneigenfrequenzen von 8 Hz bis 80 Hz berechnet.

7.2 Ergebnisse der Prognosen auf Basis der Messung am Messpunkt 3

Auf Basis des Messpunkts 3, der sich in einem vergleichbaren Abstand zum Gleis wie der geplante westliche Riegel der Interimsfeuerwache befindet, werden die nachfolgenden Erschütterungsimmissionen prognostiziert. Die Ergebnisse der Prognoseberechnungen sind

zusammengefasst in der nachfolgenden Tabelle 7.2 und im Detail in der Anlage 4.4 dargestellt.

Vor dem Vergleich der prognostizierten Beurteilungsschwingstärken KB_{FTr} mit den Anhaltswerten A_r für den Tages- und Nachtzeitraum ist ein Vergleich der maximalen bewerten Schwingstärke KB_{Fmax} mit dem oberen Anhaltswert A_o erforderlich.

Tabelle 7.1: Vergleich KB_{Fmax} für Gewerbegebiete

Zeitraum	**Anhaltswert**		**KB_{Fmax}** (8 Hz)	**Einhaltung**	
	Au	**Ao**		**Au**	**Ao**
Tag (6-22 Uhr)	0,3	6	0,4	Nein	Ja
Nacht (22-6 Uhr)	0,2	0,4		Nein	Ja

Wie in Tabelle 7.1 dargestellt, wird der obere Anhaltswert Ao für Gewerbegebiete eingehalten. Da der untere Anhaltswert überschritten wird, ist im Weiteren ein Vergleich der berechneten Beurteilungsschwingstärken KB_{FTr} mit den Anhaltswerten A_r für den Tages- und Nachtzeitraum erforderlich.

Die höchsten sich aus den Prognoseberechnungen ergebenden Beurteilungsschwingstärken KB_{FTr} für den Tages- und Nachtzeitraum sind **fett** gedruckt dargestellt.

Tabelle 7.2: Prognostizierte Erschütterungsimmissionen für die geplante Interimsfeuerwache als abdeckende Worst-Case-Nutzung im Gewerbegebiet auf Basis der Messergebnisse am Messpunkt 3 (vgl. Anlage 4.4)

Deckeneigenfrequenzen	**KB_{FTr}**		**A_r**		**$KB_{FTr} \leq A_r$**	
	Tag	**Nacht**	**Tag**	**Nacht**	**Tag**	**Nacht**
Betondecke 8 Hz	**0,084**	**0,098**	**0,15**	**0,1**	**Ja**	**Ja**
Betondecke 10 Hz	0,061	0,070	0,15	0,1	Ja	Ja
Betondecke 12,5 Hz	0,031	0,032	0,15	0,1	Ja	Ja
Betondecke 16 Hz	0,000	0,000	0,15	0,1	Ja	Ja
Betondecke 20 Hz	0,000	0,000	0,15	0,1	Ja	Ja
Betondecke 25 Hz	0,000	0,000	0,15	0,1	Ja	Ja
Betondecke 31,5 Hz	0,000	0,000	0,15	0,1	Ja	Ja
Betondecke 40 Hz	0,000	0,000	0,15	0,1	Ja	Ja
Betondecke 50 Hz	0,000	0,000	0,15	0,1	Ja	Ja
Betondecke 62,5 Hz	0,000	0,000	0,15	0,1	Ja	Ja
Betondecke 80 Hz	0,000	0,000	0,15	0,1	Ja	Ja

Wie den in Tabelle 7.2 dargestellten Ergebnissen entnommen werden kann, werden der dargestellten Prognoseberechnung zufolge die Anhaltswerte der DIN 4150-2 für Gewerbegebiete (GE) für Betondecken im Tages- und Nachtzeitraum eingehalten.

Die höchsten prognostizierten Erschütterungsimmissionen erreichen bei Deckeneigenfrequenzen von 8 Hz KB_{FTm}-Werte von bis zu 0,29 für Güterzug-Vorbeifahrten auf Gleis 1 und können damit gerade spürbar sein (siehe Tabelle 4.1). Für übliche gewerbliche Nutzungen ohne Schlaf- oder Ruheräume ist dies deutlich weniger kritisch zu bewerten als für die hier angesetzten Ruheräume der Interimsfeuerwache.

Holzbalkendecken wären deutlich schwingungsanfälliger und könnten je nach Deckeneigenfrequenz zu höheren Beurteilungsschwingstärken führen, die die Anhaltswerte der DIN 4150-2 für Gewerbegebiete überschreiten. Im Bereich schutzbedürftiger Ruhe- oder Schlafräume sollte daher keine Holz- oder Holzhybridbauweise vorgesehen werden.

8 Berechnung und Beurteilung der Sekundärluftschallimmissionen

8.1 Allgemeines

Eine messtechnische Erfassung des sekundären Luftschallanteils bei oberirdisch verlaufenden Strecken ist, da gleichzeitig direkt einfallender primärer Luftschall auftritt, in der Regel nicht möglich. Ein solch messtechnischer Nachweis wäre nur bei einem entsprechend großen Abstand von Sekundärluftschallpegel zum direkt über die Gebäudefassade einfallenden Luftschall zu führen. Dies ist z. B. dann möglicherweise gegeben, wenn eine ausreichende Schalldämmung der Fassade (Massivbauweise ohne Fenster) eines Messraums vorliegt.

Durch Anwendung des in Kapitel 0 erwähnten empirischen Zusammenhangs zwischen auftretendem Schwingschnellepegel und dem Sekundärluftschallpegel konnten die derzeitigen und die nach dem Ausbau zu erwartenden sekundären Luftschallimmissionen analog zu der Prognose der auftretenden Erschütterungsimmissionen ermittelt werden.

Aus den Regularien der 24. BImSchV lassen sich mittlere Innenraumpegel von 40 dB(A) tags für Wohn- und Büroräume und 30 dB(A) nachts für Schlafräume als Zumutbarkeitsschwelle ableiten [2]. Hierbei erfolgt keine Unterscheidung hinsichtlich der Gebietsnutzung. Wie in Kapitel 4.3 dargestellt, werden für neu zu errichtende Wohngebäude oder vergleichbar schutzbedürftige Nutzungen strengere Anforderungen mit 35 dB(A) tags und 25 dB(A) nachts berücksichtigt. Im vorliegenden Fall werden diese strengeren Anforderungen konservativ für die Ruheräume der Interimsfeuerwache herangezogen, da diese auch zum Schlafen genutzt werden können. Für sonstige gewerbliche Nutzungen ohne Schlaf- oder Ruheräume ist diese Betrachtung als abdeckender Worst-Case zu verstehen.

8.2 Sekundärluftschall - Mittelungspegel

In der nachfolgenden Tabelle 8.1 sind die prognostizierten Sekundärluftschallimmissionen für die maßgeblichen Ruheräume der Interimsfeuerwache als abdeckende Worst-Case-Nutzung innerhalb des geplanten Gewerbegebiets aufgeführt. Die höchsten prognostizierten Beurteilungspegel für den Tages- und Nachtzeitraum sind **fett** gedruckt dargestellt.

Tabelle 8.1: Prognostizierte Sekundärluftschallimmissionen (Mittelungspegel) für die geplante Interimsfeuerwache als abdeckende Worst-Case-Nutzung im Gewerbegebiet auf Basis der Messergebnisse am Messpunkt 3

Deckeneigenfrequenzen	L_r [dB(A)]		A_r [dB(A)]		Einhaltung	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Betondecke 8 Hz	21,5	22,3	35	25	Ja	Ja
Betondecke 10 Hz	21,5	22,3	35	25	Ja	Ja
Betondecke 12,5 Hz	21,5	22,3	35	25	Ja	Ja
Betondecke 16 Hz	21,5	22,3	35	25	Ja	Ja
Betondecke 20 Hz	21,5	22,3	35	25	Ja	Ja
Betondecke 25 Hz	21,5	22,3	35	25	Ja	Ja
Betondecke 31,5 Hz	21,6	22,4	35	25	Ja	Ja
Betondecke 40 Hz	22,0	22,8	35	25	Ja	Ja
Betondecke 50 Hz	22,4	23,0	35	25	Ja	Ja
Betondecke 62,5 Hz	23,4	24,0	35	25	Ja	Ja
Betondecke 80 Hz	25,5	26,3	35	25	Ja	Nein

Den Prognoserechnungen zufolge ist für die maßgeblichen Ruheräume der geplanten Interimsfeuerwache von einer Einhaltung der Anforderungen an die sekundären Luftschallimmissionen für Deckeneigenfrequenzen von 8 Hz bis 62,5 Hz im Tages- und Nachtzeitraum auszugehen. Die höchsten Beurteilungspegel zum Sekundärluftschall ergeben sich für eine Deckeneigenfrequenz von 80 Hz; hierbei kommt es im Nachtzeitraum rechnerisch zu einer Überschreitung der konservativ angesetzten Zumutbarkeitsschwelle von 25 dB(A). Sehr hohe Deckeneigenfrequenzen von 80 Hz sollten daher im Bereich der Ruheräume vermieden werden.

Holzbalkendecken wären auch im Hinblick auf den sekundären Luftschall deutlich schwingungsanfälliger und könnten zu höheren Sekundärluftschallimmissionen führen, die je nach Deckeneigenfrequenz die genannten Zumutbarkeitsschwellen überschreiten. Im Bereich schutzbedürftiger Ruhe- oder Schlafräume sollte daher keine Holz- oder Holzhybridbauweise vorgesehen werden. Für übliche gewerbliche Nutzungen im Tageszeitraum ohne Ruhe- oder Schlafräume sind die Anforderungen an den sekundären Luftschall demgegenüber deutlich weniger kritisch.

8.3 Sekundärluftschall-Maximalpegel

Die VDI 2719 [14] definiert nahezu die gleichen Zumutbarkeitsschwellen wie sie sich aus der 24. BImSchV ableiten lassen. Es werde jedoch in der VDI 2719 weitere Raumnutzungen berücksichtigt und auch ein mittlerer Maximalpegel L_{max} für die sekundären

Luftschallimmissionen angeben. Die Ergebnisse der Prognosen zum mittleren Maximalpegel L_{max} sind in der nachfolgenden Tabelle 8.2 dargestellt.

Aus den Regularien der VDI 2719 [14] lassen sich Zumutbarkeitsschwellen für mittlere Maximalpegel L_{max} von 50 dB(A) tags für Büro- und Unterrichtsräume und 40 dB(A) bis 45 dB(A) nachts für Schlafräume in Misch-, Gewerbe- oder Industriegebieten ableiten [2]. Wie in Kapitel 4.3 dargestellt, werden für neu zu errichtende Wohngebäude oder vergleichbar schutzbedürftige Nutzungen in Anlehnung an die DIN 45680 strengere Anforderungen mit 45 dB(A) tags und 35 dB(A) nachts herangezogen. Für die Ruheräume der Interimsfeuerwache wird damit wiederum eine konservative Beurteilung vorgenommen.

Die höchsten prognostizieren Maximalpegel sind fett gedruckt dargestellt, die Bewertung erfolgt hier im Hinblick auf die (strengen) aus der DIN 45680 hergeleiteten Anforderungen.

Tabelle 8.2: Prognostizierte mittlere Maximalpegel L_{max} für die geplante Interimsfeuerwache als abdeckende Worst-Case-Nutzung im Gewerbegebiet auf Basis der Messergebnisse am Messpunkt 3

Deckeneigenfrequenzen	**prognostizierter mittlerer Maximalpegel L_{max} [dB(A)]**		**Anforderung an mittleren Maximalpegel L_{max} [dB(A)]**		**Einhaltung**	
	Tag	**Nacht**	**Tag**	**Nacht**	**Tag**	**Nacht**
Betondecke 8 Hz	36,1	36,1	45	35	Ja	Nein
Betondecke 10 Hz	36,1	36,1	45	35	Ja	Nein
Betondecke 12,5 Hz	36,1	36,1	45	35	Ja	Nein
Betondecke 16 Hz	36,1	36,1	45	35	Ja	Nein
Betondecke 20 Hz	36,1	36,1	45	35	Ja	Nein
Betondecke 25 Hz	36,1	36,1	45	35	Ja	Nein
Betondecke 31,5 Hz	36,2	36,2	45	35	Ja	Nein
Betondecke 40 Hz	36,4	36,4	45	35	Ja	Nein
Betondecke 50 Hz	36,6	36,6	45	35	Ja	Nein
Betondecke 62,5 Hz	37,7	37,7	45	35	Ja	Nein
Betondecke 80 Hz	**40,3**	**40,3**	**45**	**35**	**Ja**	**Nein**

Die höchsten sekundären Luftschallpegel werden durch die Güterzugvorbeifahrten auf Gleis 1 erzeugt. Wie die Ergebnisse der Prognoseberechnung zeigen, wird die für den Tageszeitraum angesetzte Zumutbarkeitsschwelle von 45 dB(A) für den mittleren Maximalpegel bei allen betrachteten Deckeneigenfrequenzen eingehalten. Damit ergeben sich im Tageszeitraum auch für sonstige gewerbliche Nutzungen im geplanten Gewerbegebiet keine Restriktionen aus den prognostizierten Maximalpegeln des sekundären Luftschalls.

Im Nachtzeitraum ergibt sich für die konservativ angesetzte Zumutbarkeitsschwelle von 35 dB(A), die aus der DIN 45680 hergeleitet wird, rechnerisch eine Überschreitung bei allen betrachteten Deckeneigenfrequenzen. Die DIN 45680 unterscheidet jedoch nicht nach dem Schutzanspruch verschiedener Gebietstypologien. Gemäß VDI 2719 entspricht der genannte Wert von 35 dB(A) den unteren Anforderungen in Wohn-, Krankenhaus- oder Kurgebieten. Für Schlafräume in den übrigen Gebieten wird eine Spanne von 40 dB(A) bis 45 dB(A) genannt. Demnach wird der untere Wert von 40 dB(A) überwiegend eingehalten; lediglich bei einer Deckeneigenfrequenz von 80 Hz ergibt sich rechnerisch eine marginale Überschreitung um 0,3 dB.

Zur Einhaltung des strengeren Werts von 35 dB(A) wären aufwändige Minderungsmaßnahmen, wie z. B. eine Gebäudelagerung, erforderlich. Im Hinblick auf die geplante Interimsfeuerwache mit dem Schutzanspruch eines Gewerbegebiets, die nur geringfügigen Überschreitungen gegenüber dem strengeren Ansatz sowie die in der VDI 2719 genannten Werte für Schlafräume in übrigen Gebieten erscheint eine solche Maßnahme unverhältnismäßig. Für sonstige gewerbliche Nutzungen ohne Schlaf- oder Ruheräume ergibt sich hieraus keine Einschränkung.

9 Zusammenfassung

In Leverkusen-Opladen soll für den südlichen Bereich der Neuen Bahnstadt Opladen (NBSO) westlich der Europaallee der Bebauungsplan Nr. 280/II „Opladen – westlich Europa-Allee, südlich Henkelmännchen-Platz und östlich Friedrich-List-Straße (nbso-Westseite/Süd)“ aufgestellt werden. Das Plangebiet liegt derzeit im Geltungsbereich des rechtskräftigen Bebauungsplans Nr. 208 B/II „Opladen – nbso/Westseite – Quartiere“ und umfasst dort gewerblich festgesetzte Bauflächen. Mit dem Bebauungsplan Nr. 280/II soll für den gesamten Geltungsbereich weiterhin ein Gewerbegebiet (GE) festgesetzt werden. Nutzungen mit Wohn- oder Beherbergungscharakter sollen ausgeschlossen werden. Im nördlichen Bereich des Gewerbegebiets ist temporär die Errichtung einer Interimsfeuerwache vorgesehen.

Im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens waren die auf das Plangebiet einwirkenden Erschütterungsimmissionen und die zu erwartenden sekundären Luftschallpegel zu prognostizieren und anschließend anhand der einschlägigen Beurteilungsmaßstäbe zu bewerten. Die Bewertung erfolgt unter Berücksichtigung des Schutzanspruchs eines Gewerbegebiets.

Die Ergebnisse der Untersuchung wurden gemäß DIN 4150 Teil 2 [5] und der aktuellen Rechtslage [18] für die Erschütterungen sowie in Anlehnung an unterschiedliche Beurteilungsmaßstäbe, insbesondere die 24. BImSchV [2], DIN 45680 [11][12] und VDI 2719 [14], für die sekundären Luftschallimmissionen beurteilt.

Im Rahmen des Bauantrags des nördlich des Plangebiets liegenden Wohnungsbaus G10 an der Friedrich-List-Straße erfolgten bereits am 18.02.2021 Erschütterungsmessungen im näheren Umfeld des Plangebiets. Die hier dargestellte Prognose beruht auf den Messergebnissen der Erschütterungsprognose VM 7247-1 vom 16.03.2021.

Innerhalb der temporär vorgesehenen Interimsfeuerwache stellen insbesondere die Ruheräume im westlichen Gebäuderiegel die sensibelste Nutzung dar, da diese auch zum Schlafen genutzt werden können. Da Wohn- und Beherbergungsnutzungen im übrigen Gewerbegebiet ausgeschlossen werden sollen, stellt die Betrachtung der Interimsfeuerwache eine konservative Worst-Case-Betrachtung für das geplante Gewerbegebiet dar. Sonstige gewerbliche Nutzungen, insbesondere im Tageszeitraum, sind demgegenüber deutlich weniger kritisch zu bewerten.

Erschütterungen

Die Prognoseberechnungen zeigen, dass der obere Anhaltswert des KB_{Fmax} von A_o = 0,6 im Gewerbegebiet mit einem berechneten KBFmax von 0,41 eingehalten wird. Die Anhaltswerte A_r der DIN 4150-2 für Gewerbegebiete (GE) werden bei Betondecken im Tages- und Nachtzeitraum eingehalten.

Die höchste prognostizierte Beurteilungsschwingstärke ergibt sich bei einer Deckeneigenfrequenz von 8 Hz mit KB_{FTr} = 0,075 im Nachtzeitraum. Die höchsten prognostizierten Taktmaximal-Effektivwerte erreichen bei einer Deckeneigenfrequenz von 8 Hz KB_{FTm}-Werte von bis zu 0,29 für Güterzugvorbeifahrten auf Gleis 1 und können damit gerade spürbar sein. Die Anforderungen der DIN 4150-2 für Gewerbegebiete werden jedoch eingehalten.

Für übliche gewerbliche Nutzungen ohne Schlaf- oder Ruheräume ist dies deutlich weniger kritisch zu bewerten als für die hier angesetzten Ruheräume der Interimsfeuerwache.

Sekundär Luftschall (Mittelungspegel)

Den Prognoserechnungen zufolge werden die konservativ angesetzten Anforderungen an die sekundären Luftschallimmissionen in den maßgeblichen Ruheräumen der geplanten Interimsfeuerwache für Deckeneigenfrequenzen von 8 Hz bis 62,5 Hz im Tages- und Nachtzeitraum eingehalten. Bei einer Deckeneigenfrequenz von 80 Hz ergibt sich im Nachtzeitraum rechnerisch eine geringfügige Überschreitung der konservativ angesetzten Zumutbarkeitsschwelle von 25 dB(A). Sehr hohe Deckeneigenfrequenzen von 80 Hz sollten daher im Bereich der Ruheräume vermieden werden.

Sekundär Luftschall (Maximalpegel)

Die höchsten sekundären Luftschallpegel werden durch die Güterzugvorbeifahrten auf Gleis 1 erzeugt. Im Tageszeitraum wird die konservativ angesetzte Zumutbarkeitsschwelle von 45 dB(A) für den mittleren Maximalpegel bei allen betrachteten Deckeneigenfrequenzen eingehalten. Damit ergeben sich im Tageszeitraum auch für sonstige gewerbliche Nutzungen im geplanten Gewerbegebiet keine Restriktionen aus den prognostizierten Maximalpegeln des sekundären Luftschalls.

Im Nachtzeitraum wird die konservativ angesetzte Zumutbarkeitsschwelle von 35 dB(A), die aus der DIN 45680 hergeleitet wird, rechnerisch bei allen betrachteten Deckeneigenfrequenzen überschritten. Die DIN 45680 unterscheidet jedoch nicht nach dem Schutzanspruch verschiedener Gebietstypologien. Gemäß VDI 2719 entspricht der genannte Wert von 35 dB(A) den unteren Anforderungen in Wohn-, Krankenhaus- oder Kurgebieten. Für Schlafräume in den übrigen Gebieten wird eine Spanne von 40 dB(A) bis 45 dB(A) genannt. Der untere Wert von 40 dB(A) wird überwiegend eingehalten; lediglich bei einer Deckeneigenfrequenz von 80 Hz ergibt sich rechnerisch eine marginale Überschreitung um 0,3 dB.

Zur Einhaltung des strengeren Werts von 35 dB(A) wären aufwändige Minderungsmaßnahmen, wie z. B. eine Gebäudelagerung, erforderlich. Im Hinblick auf die geplante Interimsfeuerwache mit dem Schutzanspruch eines Gewerbegebiets, die nur geringfügigen Überschreitungen gegenüber dem strengeren Ansatz sowie die in der VDI 2719 genannten Werte für Schlafräume in übrigen Gebieten erscheint eine solche Maßnahme unverhältnismäßig. Für sonstige gewerbliche Nutzungen ohne Schlaf- oder Ruheräume ergeben sich aus den Maximalpegeln des sekundären Luftschalls keine Restriktionen.

Holzbalkendecken wären deutlich schwingungsanfälliger und könnten sowohl zu höheren Beurteilungsschwingstärken als auch zu höheren Sekundärluftschallimmissionen führen, die je nach Deckeneigenfrequenz die Anhaltswerte der DIN 4150-2 oder die genannten Zumutbarkeitsschwellen überschreiten würden. Im Bereich schutzbedürftiger Ruhe- oder Schlafräume sollte daher keine Holz- oder Holzhybridbauweise vorgesehen werden.

Um Körperschallbrücken zwischen den Ruhebereichen im Westen und den Funktionsbereichen im Nahbereich der Bahntrasse zu vermeiden, sollte der westliche Baukörper der Interimsfeuerwache schwingungstechnisch von den Funktionsgebäuden getrennt werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Interimsfeuerwache mit ihren Ruheräumen aufgrund der möglichen Schlafnutzung die schutzbedürftigste und damit abdeckende Nutzung innerhalb des geplanten Gewerbegebiets darstellt. Für sonstige gewerbliche Nutzungen im geplanten Gewerbegebiet, die ausschließlich im Tageszeitraum stattfinden und keine Ruhe- oder Schlafräume umfassen, sind die prognostizierten Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen deutlich unkritischer zu bewerten. Restriktionen für derartige Nutzungen ergeben sich aus den Untersuchungsergebnissen nicht.

Peutz Consult GmbH

ppa. Dipl.-Phys. Axel Hübel

(Messstellenleitung)

PEUTZ

07.09.2026

EES - Signiert über Certifaction

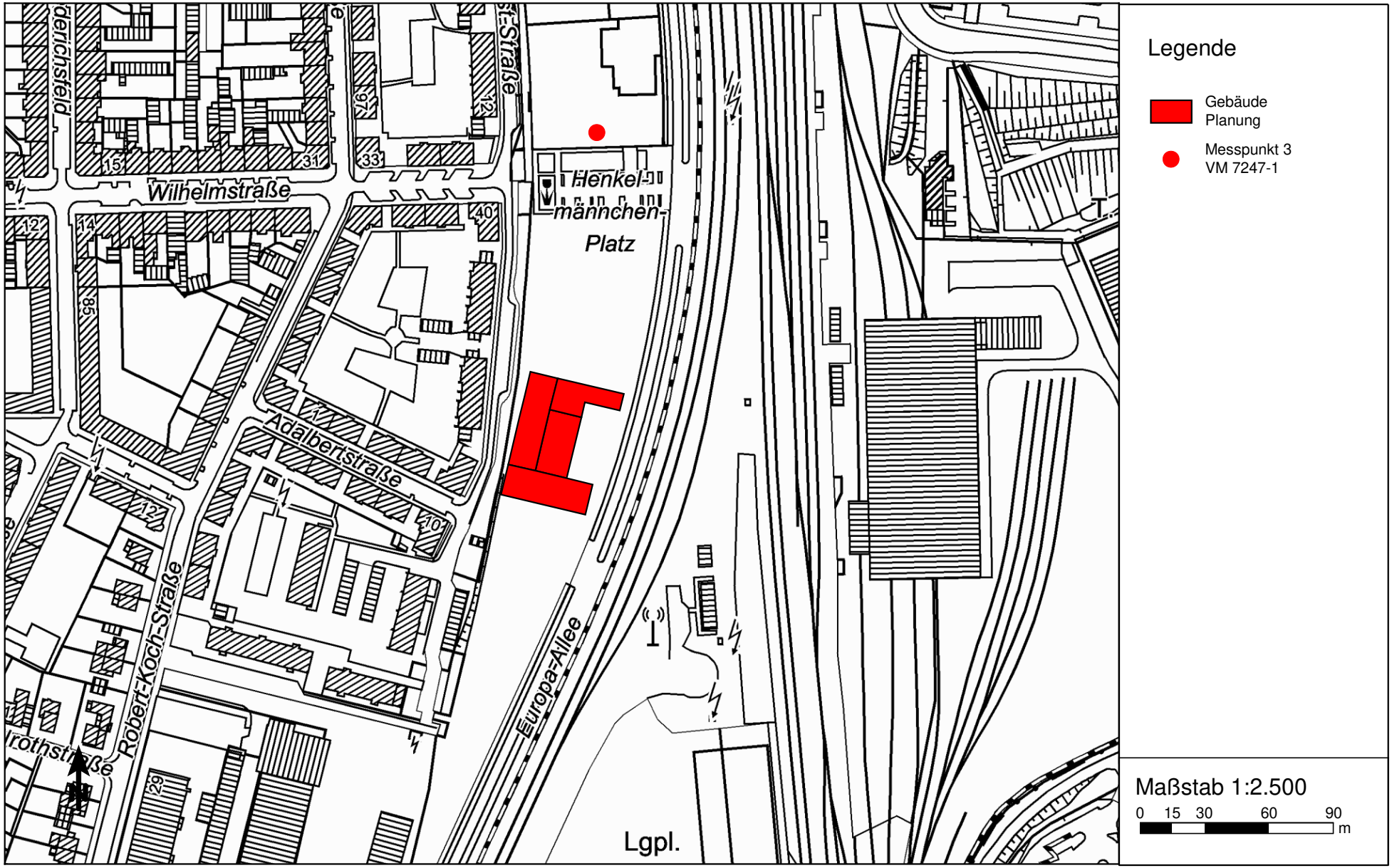
i.V. Dr. Lukas Niemietz

(Projektleitung)

Anlagenverzeichnis

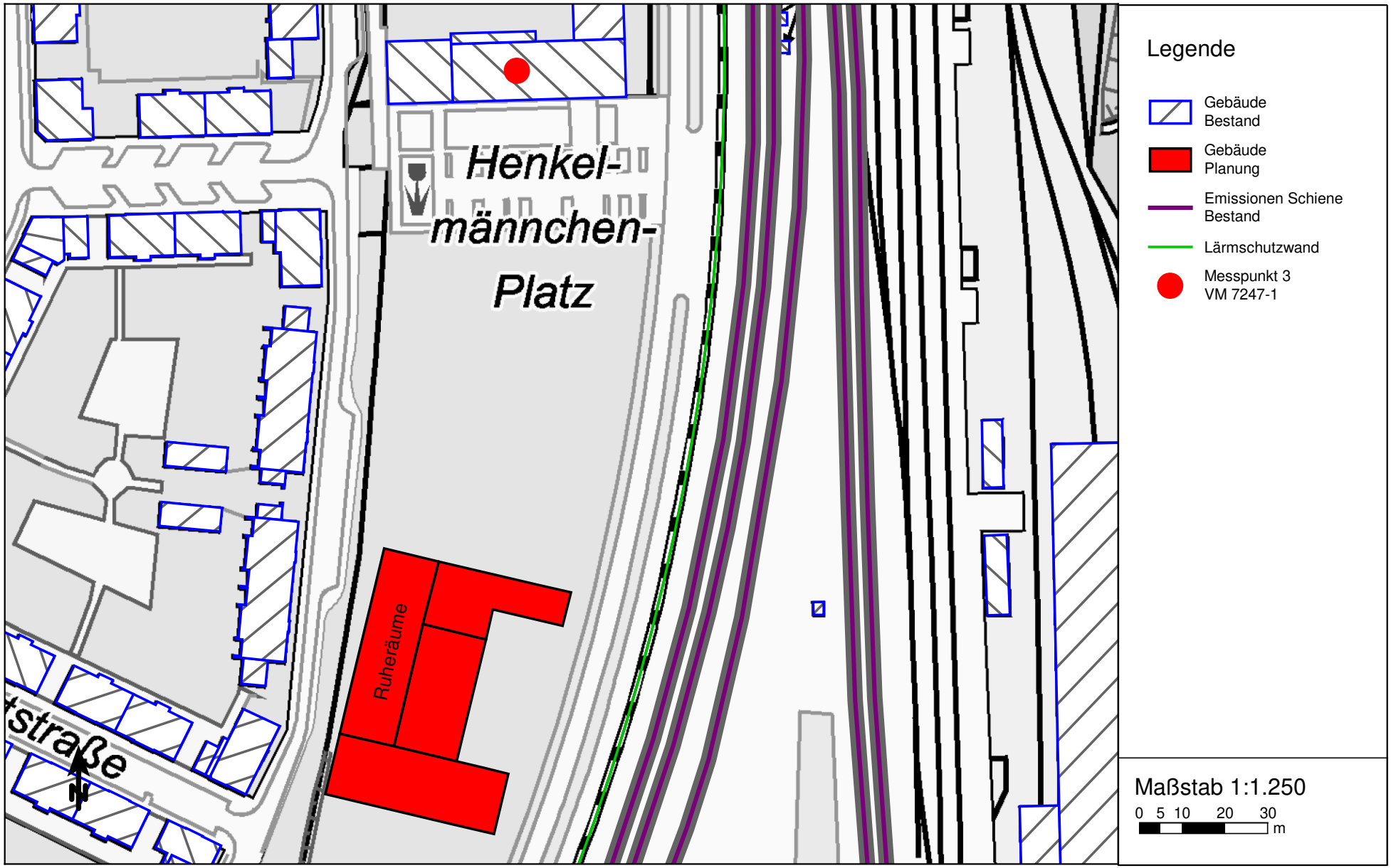
Anlage 1:	Lageplan
Anlage 2:	Messdokumentation
Anlage 3:	Statistische Auswertung
Anlage 4:	Erschütterungsprognose und Prognose des sekundären Luftschalls

Anlage 1.1: Übersichtslageplan



VP 7247-2 • 07.08.2026

Anlage 1.2: Lageplan mit Kenzeichung der Lage der Bahntrasse



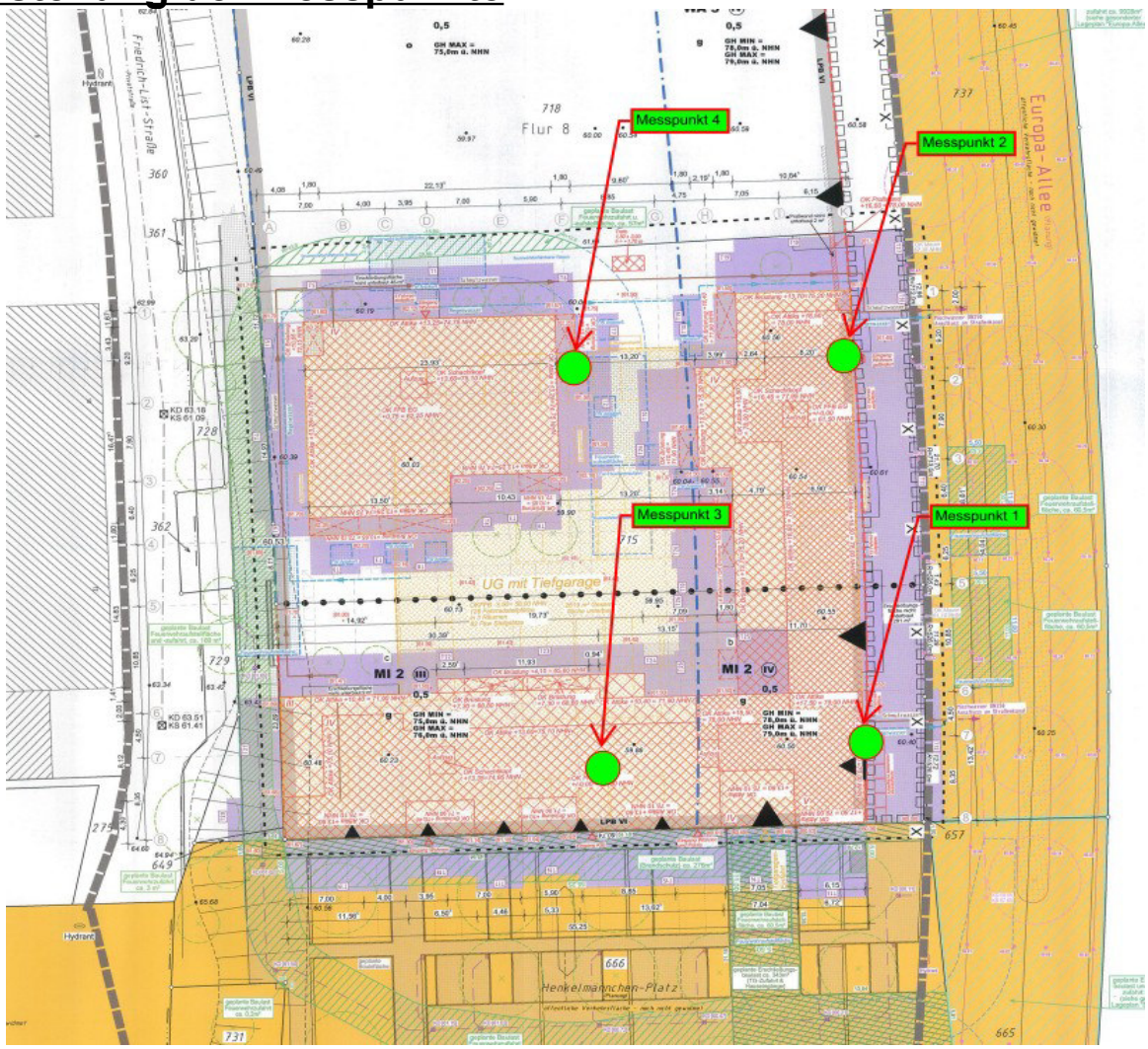
VP 7247-2 • 07.08.2026

Erschütterungsmessung

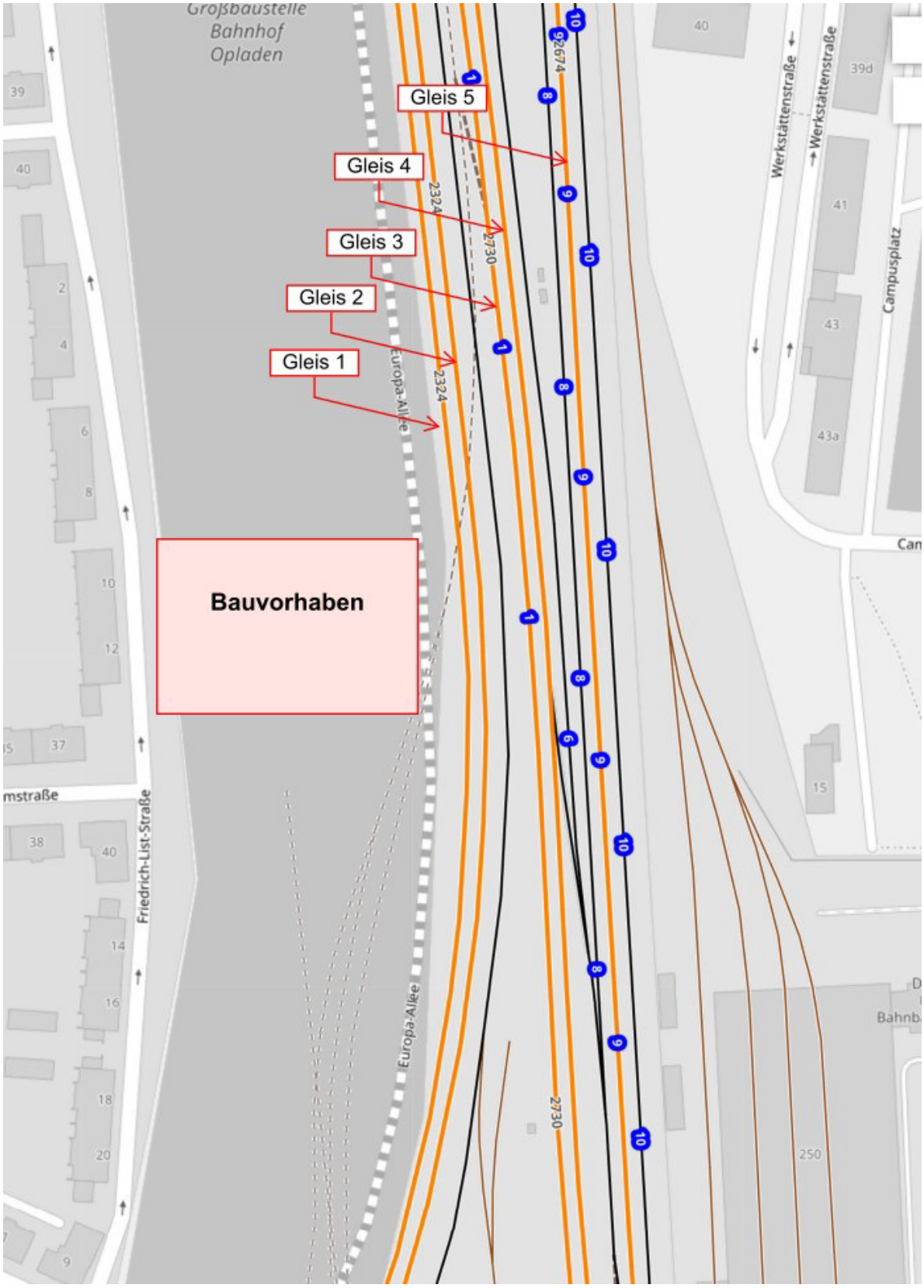
vom 18.02.2021

Bauvorhaben G10 an der Friedrich-List-Straße Leverkusen-Opladen

Darstellung der Messpunkte



Streckendarstellung und Gleisnummerierung



Fotodokumentation



Foto Plangebiet (Ortsbesichtigung 08.02.2021)

Straße / Nr.	Zwischen Friedrich-Liststraße und Europa-Allee
Ort	Leverkusen-Opladen
Gebiet (BauNVO)	Allgemeines Wohngebiet (WA)
Messart	Messung in Schürfungen auf Gründungsbene
Geplante Nutzung	Wohnen
Geschosszahl	IV + Staffelgeschoss
Bauart	Massiv
Keller	Unterkellert
Deckenart	Beton
Sonstiges	



MP 1, in Schürfung Gründungsebene



MP 2, in Schürfung Gründungsebene



MP 3, in Schürfung Gründungsebene

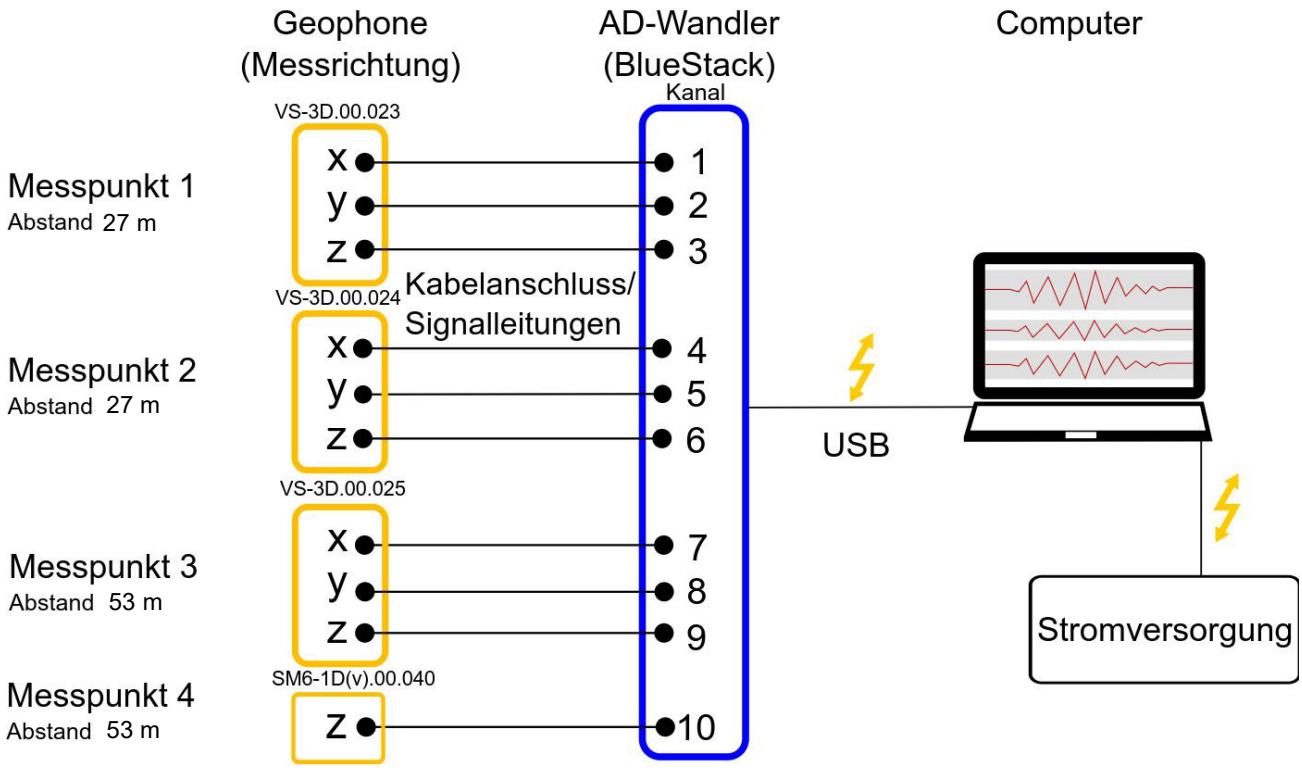


MP 4, in Schürfung Gründungsebene

Übersicht über die Messpunkte

Mess-punkt Nr.	Kanäle Mess-system:	Messort	Ankopplung	Raumab-messung [m x m]	Decken-resonanz [Hz]
1	1-3 Meda [23]	in Schürfung Gründungsebene, 27 m	Dreipunktlager auf eingeschlämmter Betonplatte mit Hartwachs	-	-
2	4-6 Meda [24]	in Schürfung Gründungsebene, 27 m	Dreipunktlager auf eingeschlämmter Betonplatte mit Hartwachs	-	-
3	7-9 Meda [25]	in Schürfung Gründungsebene, 53 m	Dreipunktlager auf eingeschlämmter Betonplatte mit Hartwachs	-	-
4	10 Meda [1DV]	in Schürfung Gründungsebene, 53 m	Dreipunktlager auf eingeschlämmter Betonplatte mit Hartwachs	-	-

Messkette - MEDA Blue Stack



Erschütterungsmessungen in Leverkusen, Friedrich-List-Str., am 18.02.2021

Chronologische Liste der ausgewerteten Zugvorbeifahrten

Mess-Nr.	Kategorie	Zugart	Zug-Nr.	Baureihe Lok	Gleis	v_Zug [km/h]	Messwerte v_max MP1 mm/s	v_max MP3 mm/s	v_max MP2 mm/s	v_max MP4 mm/s
	GZ				1	85	**0,465**	**0,277**	**0,921**	**0,221**
	ET				4		**0,092**	**0,089**	**0,060**	**0,040**
	RRX				3		**0,086**	**0,081**	**0,074**	**0,055**
	GZ				1		**0,183**	**0,312**	**0,256**	**0,071**
	ICE				3	35	**0,138**	**0,133**	**0,111**	**0,056**
	ICE				4		**0,158**	**0,130**	**0,127**	**0,082**
	GZ				2		**0,137**	**0,186**	**0,160**	**0,106**
	IC				4	50				
	RRX				4	40	**0,054**	**0,116**	**0,081**	**0,034**
	ET				3	100	**0,078**	**0,218**	**0,154**	**0,048**
	GZ				2	30	**0,128**	**0,128**	**0,285**	**0,056**
	GZ				1	80	**0,643**	**0,308**	**0,906**	**0,140**
	ET				3	100	**0,071**	**0,084**	**0,075**	**0,045**
	IC DoSto				4	130	**0,118**	**0,139**	**0,110**	**0,079**
	ET				4	80	**0,081**	**0,183**	**0,154**	**0,049**
	RRX				3					
	GZ				2	40				
	ET				4	85	**0,087**	**0,122**	**0,114**	**0,057**
	IC				3	140	**0,129**	**0,146**	**0,128**	**0,057**
	ET				3		**0,107**	**0,083**	**0,106**	**0,056**
	GZ				1	100	**0,251**	**0,167**	**0,391**	**0,165**
	Lok				2	100	**0,111**	**0,067**	**0,079**	**0,041**
	ICE				4	135	**0,126**	**0,146**	**0,093**	**0,086**
	ICE				3	138	**0,114**	**0,124**	**0,097**	**0,055**
	GZ				2	90	**0,130**	**0,117**	**0,224**	**0,081**
	ET				3		**0,086**	**0,075**	**0,066**	**0,056**
	GZ				2	95	**0,188**	**0,147**	**0,158**	**0,106**
	ET				3					
	RRX				4	35				
	ET				3	20				
	GZ				5	100				
	ICE				3	103				
	ICE				4	140	**0,162**	**0,180**	**0,118**	**0,095**
	Lok				2	25	**0,084**	**0,077**	**0,194**	**0,033**
	ICE				4	40				
	ET				4	95				
	ET				3	70	**0,075**	**0,072**	**0,078**	**0,029**
	GZ				2	98	**0,157**	**0,143**	**0,334**	**0,098**
	ICE				3	140	**0,134**	**0,124**	**0,108**	**0,085**
	GZ				2	90	**0,172**	**0,139**	**0,391**	**0,084**
	IC				4	97	**0,106**	**0,106**	**0,070**	**0,056**
	RRX				4	45	**0,080**	**0,052**	**0,042**	**0,037**
	ET				3	95	**0,078**	**0,070**	**0,066**	**0,051**
	ET				4	80	**0,074**	**0,075**	**0,052**	**0,031**
	IC DoSto				4	140	**0,153**	**0,141**	**0,143**	**0,097**
	GZ				1	86	**0,500**	**0,274**	**0,702**	**0,141**
	GZ				2	78	**0,190**	**0,147**	**0,381**	**0,097**
	ET				4	90	**0,090**	**0,089**	**0,070**	**0,050**
	ICE				3		**0,119**	**0,111**	**0,099**	**0,066**
	RRX				3		**0,105**	**0,081**	**0,074**	**0,057**
	ET				4		**0,102**	**0,069**	**0,062**	**0,052**
	ET				3					
	ICE				3					
	ICE				4					

PEUTZ CONSULT

Erschütterungsmessungen in Leverkusen, Friedrich-List-Str., am 18.02.2021

Gleis / Abst. Gebäude	Gleis 1								Gleis 2							
Fahrtrichtung																
Kategorie	**GZ**	**ET**	**RRX**	**ICE**	**IC DoSto**	**IC**	**Gleisbauwagen**	**Lok**	**GZ**	**ET**	**RRX**	**ICE**	**IC DoSto**	**IC**	**Gleisbauwagen**	**Lok**
Anzahl ausgewert. Züge	5	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	2
Geschw. [km/h]																
Maximalwert	100								98							100
arithmet. Mittelwert	**88**								**74**							**63**
Standardabweichung	10%								37%							85%
v_max [mm/s] MP1																
Maximalwert	0,643								0,190							0,111
arithmet. Mittelwert	**0,408**								**0,157**							**0,098**
Standardabweichung	46%								17%							20%
v_max [mm/s] MP3																
Maximalwert	0,312								0,186							0,077
arithmet. Mittelwert	**0,268**								**0,144**							**0,072**
Standardabweichung	22%								15%							10%
v_max [mm/s] MP2																
Maximalwert	0,921								0,391							0,194
arithmet. Mittelwert	**0,635**								**0,276**							**0,137**
Standardabweichung	47%								36%							60%
v_max [mm/s] MP4																
Maximalwert	0,221								0,106							0,041
arithmet. Mittelwert	**0,148**								**0,090**							**0,037**
Standardabweichung	37%								20%							15%

Y:\Projekte\VL\7247_VM_EU_Friedrich-List-Str_DuK_LEV\05_EU\04_Meda_Ausw\04_Statistik_Auswertung\[VM_7247_Auswertung_Meda_20210218.xls]Daten1

PEUTZ CONSULT

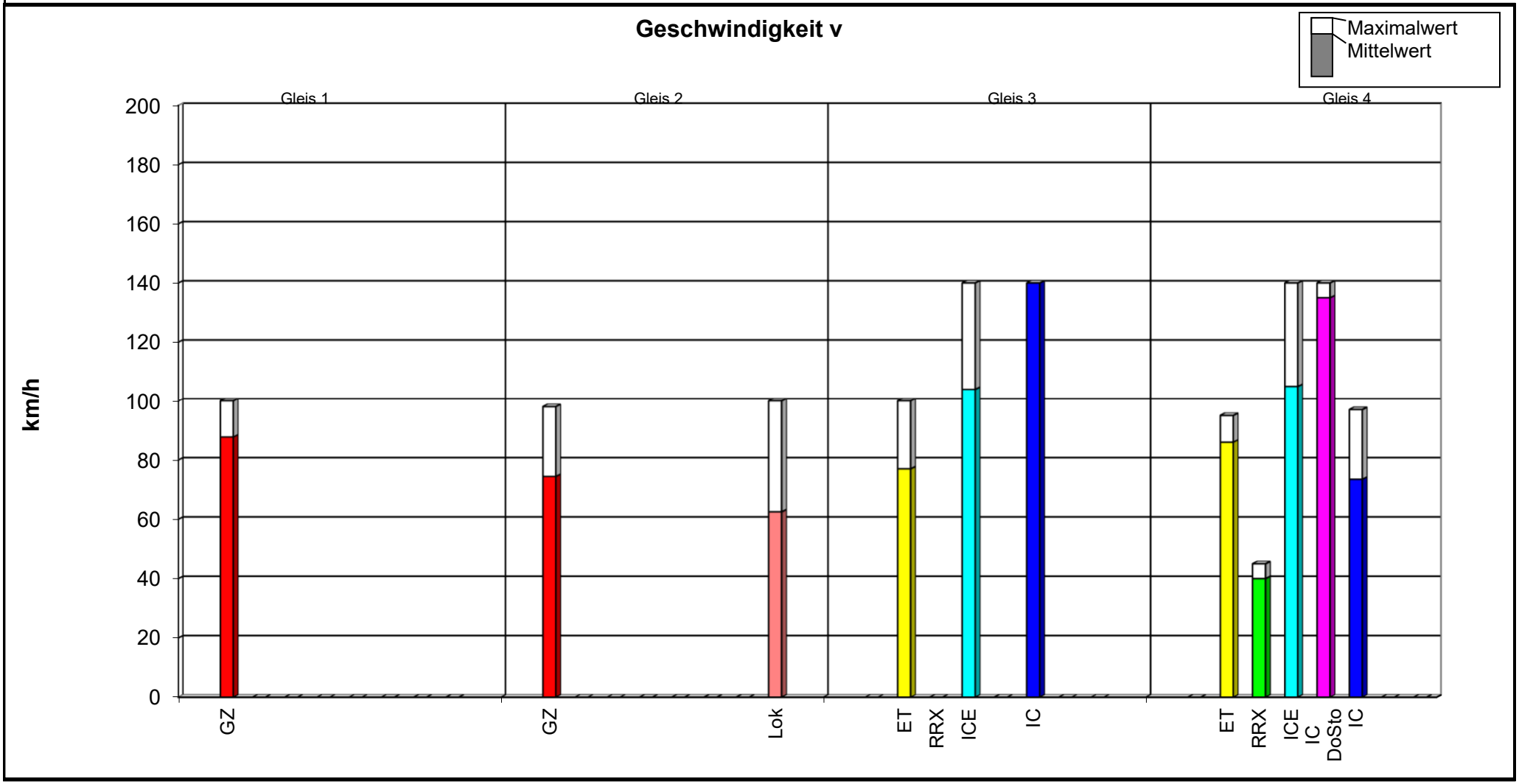
Erschütterungsmessungen in Leverkusen, Friedrich-List-Str., am 18.02.2021

Gleis / Abst. Gebäude	Gleis 3								Gleis 4							
Fahrtrichtung																
Kategorie	**GZ**	**ET**	**RRX**	**ICE**	**IC DoSto**	**IC**	**Gleisbauwagen**	**Lok**	**GZ**	**ET**	**RRX**	**ICE**	**IC DoSto**	**IC**	**Gleisbauwagen**	**Lok**
Anzahl ausgewert. Züge	0	6	2	4	0	1	0	0	0	6	3	3	2	2	0	0
Geschw. [km/h]																
Maximalwert		100		140		140				95	45	140	140	97		
arithmet. Mittelwert		**77**		**104**		**140**				**86**	**40**	**105**	**135**	**74**		
Standardabweichung		44%		47%		0%				8%	13%	54%	5%	45%		
v_max [mm/s] MP1																
Maximalwert		0,107	0,105	0,138		0,129				0,102	0,080	0,162	0,153	0,106		
arithmet. Mittelwert		**0,083**	**0,096**	**0,126**		**0,129**				**0,088**	**0,067**	**0,149**	**0,136**	**0,106**		
Standardabweichung		16%	14%	9%		0%				11%	27%	13%	18%	0%		
v_max [mm/s] MP3																
Maximalwert		0,218	0,081	0,133		0,146				0,183	0,116	0,180	0,141	0,106		
arithmet. Mittelwert		**0,100**	**0,081**	**0,123**		**0,146**				**0,105**	**0,084**	**0,152**	**0,140**	**0,106**		
Standardabweichung		58%	0%	7%		0%				41%	54%	17%	1%	0%		
v_max [mm/s] MP2																
Maximalwert		0,154	0,074	0,111		0,128				0,154	0,081	0,127	0,143	0,070		
arithmet. Mittelwert		**0,091**	**0,074**	**0,104**		**0,128**				**0,085**	**0,062**	**0,113**	**0,127**	**0,070**		
Standardabweichung		38%	0%	7%		0%				47%	45%	16%	18%	0%		
v_max [mm/s] MP4																
Maximalwert		0,056	0,057	0,085		0,057				0,057	0,037	0,095	0,097	0,056		
arithmet. Mittelwert		**0,048**	**0,056**	**0,066**		**0,057**				**0,047**	**0,036**	**0,088**	**0,088**	**0,056**		
Standardabweichung		21%	3%	21%		0%				20%	6%	8%	14%	0%		

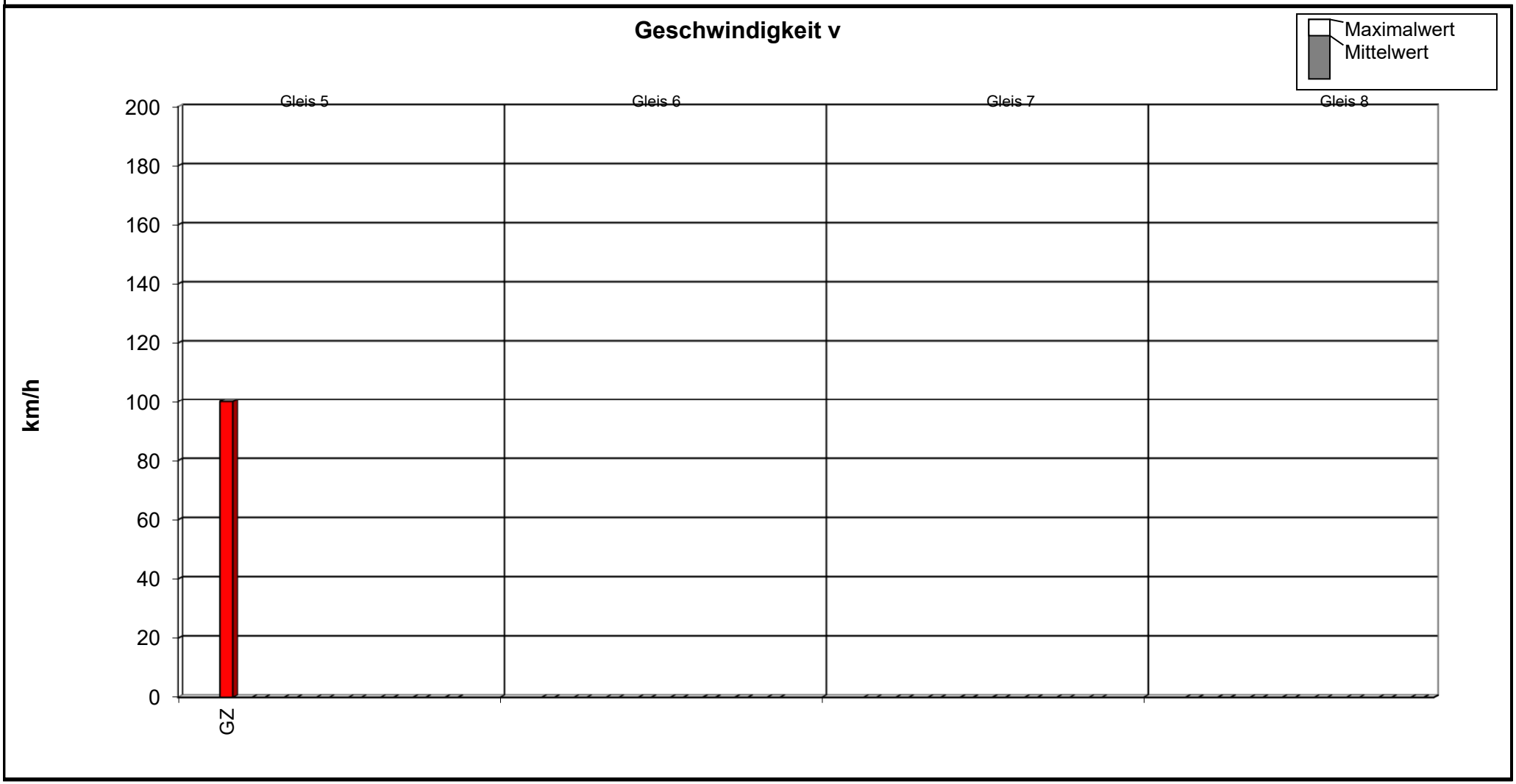
Erschütterungsmessungen in Leverkusen, Friedrich-List-Str., am 18.02.2021

Gleis / Abst. Gebäude	Gleis 5								Gleis 6							
Fahrtrichtung																
Kategorie	**GZ**	**ET**	**RRX**	**ICE**	**IC DoSto**	**IC**	**Gleisbauwagen**	**Lok**	**GZ**	**ET**	**RRX**	**ICE**	**IC DoSto**	**IC**	**Gleisbauwagen**	**Lok**
Anzahl ausgewert. Züge	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Geschw. [km/h]																
Maximalwert	100															
arithmet. Mittelwert	**100**															
Standardabweichung	0%															
v_max [mm/s]																
MP1																
Maximalwert																
arithmet. Mittelwert																
Standardabweichung																
v_max [mm/s]																
MP3																
Maximalwert																
arithmet. Mittelwert																
Standardabweichung																
v_max [mm/s]																
MP2																
Maximalwert																
arithmet. Mittelwert																
Standardabweichung																
v_max [mm/s]																
MP4																
Maximalwert																
arithmet. Mittelwert																
Standardabweichung																

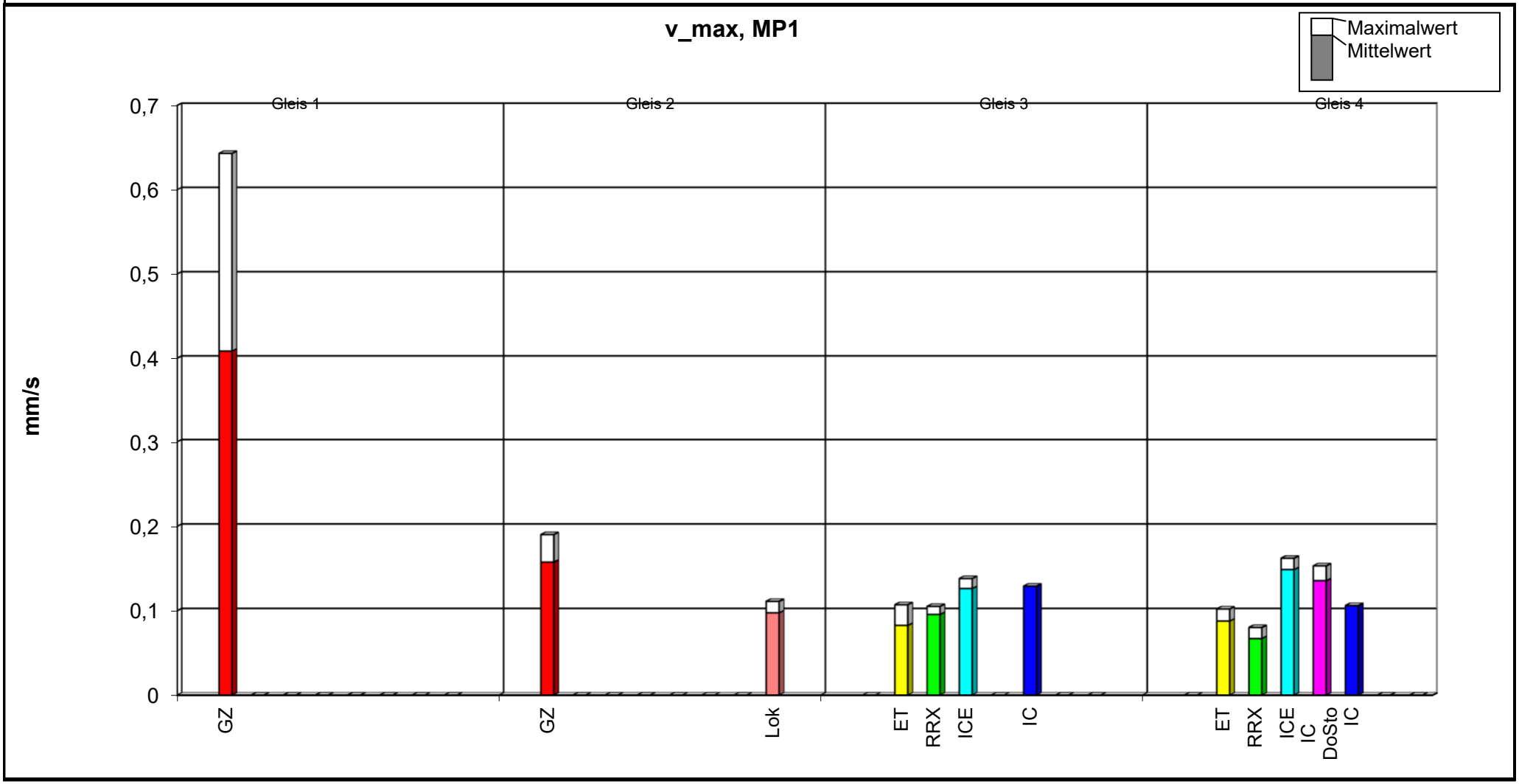
Erschütterungsmessungen in Leverkusen, Friedrich-List-Str., am 18.02.2021



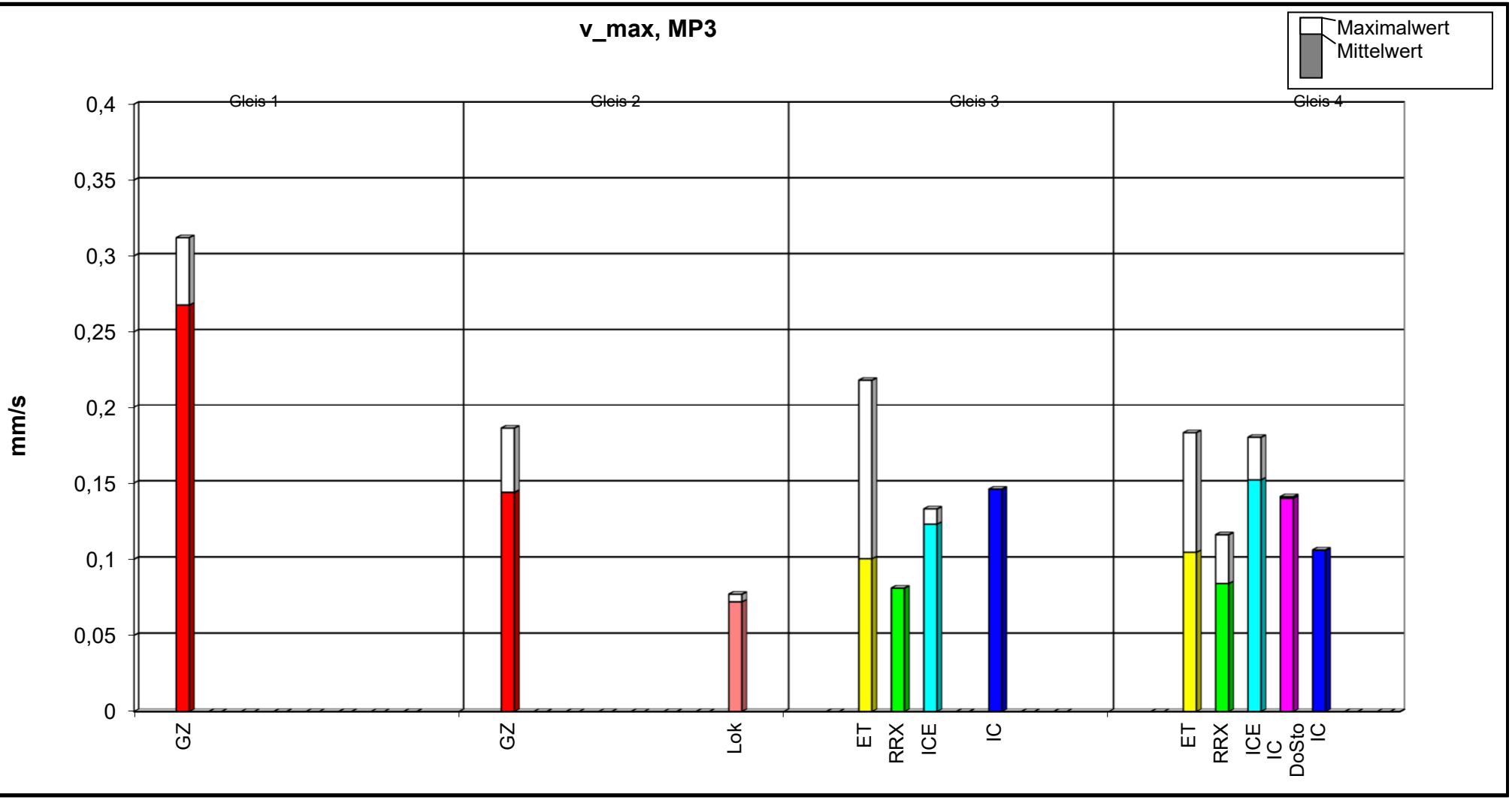
Erschütterungsmessungen in Leverkusen, Friedrich-List-Str., am 18.02.2021



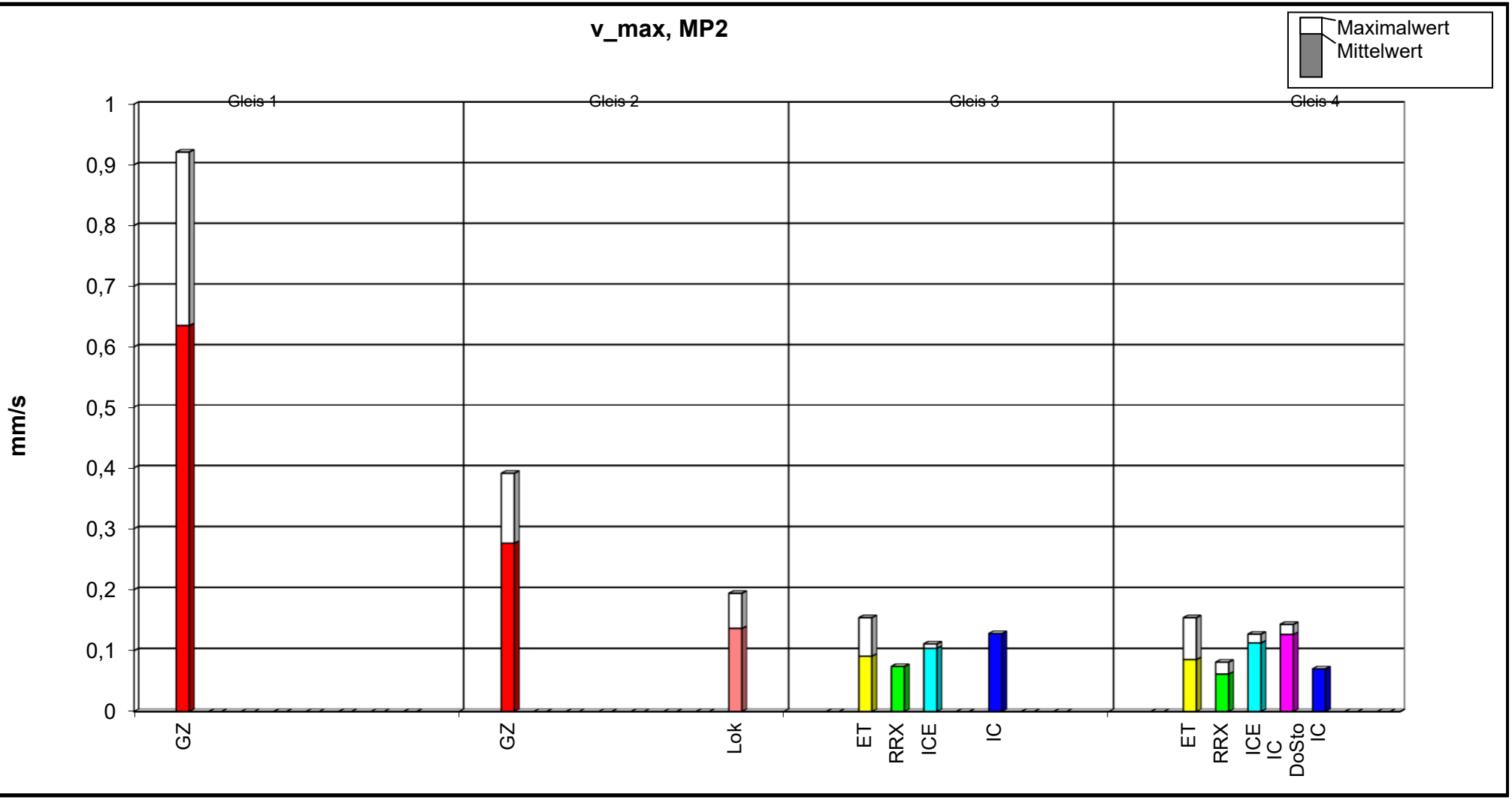
Erschütterungsmessungen in Leverkusen, Friedrich-List-Str., am 18.02.2021



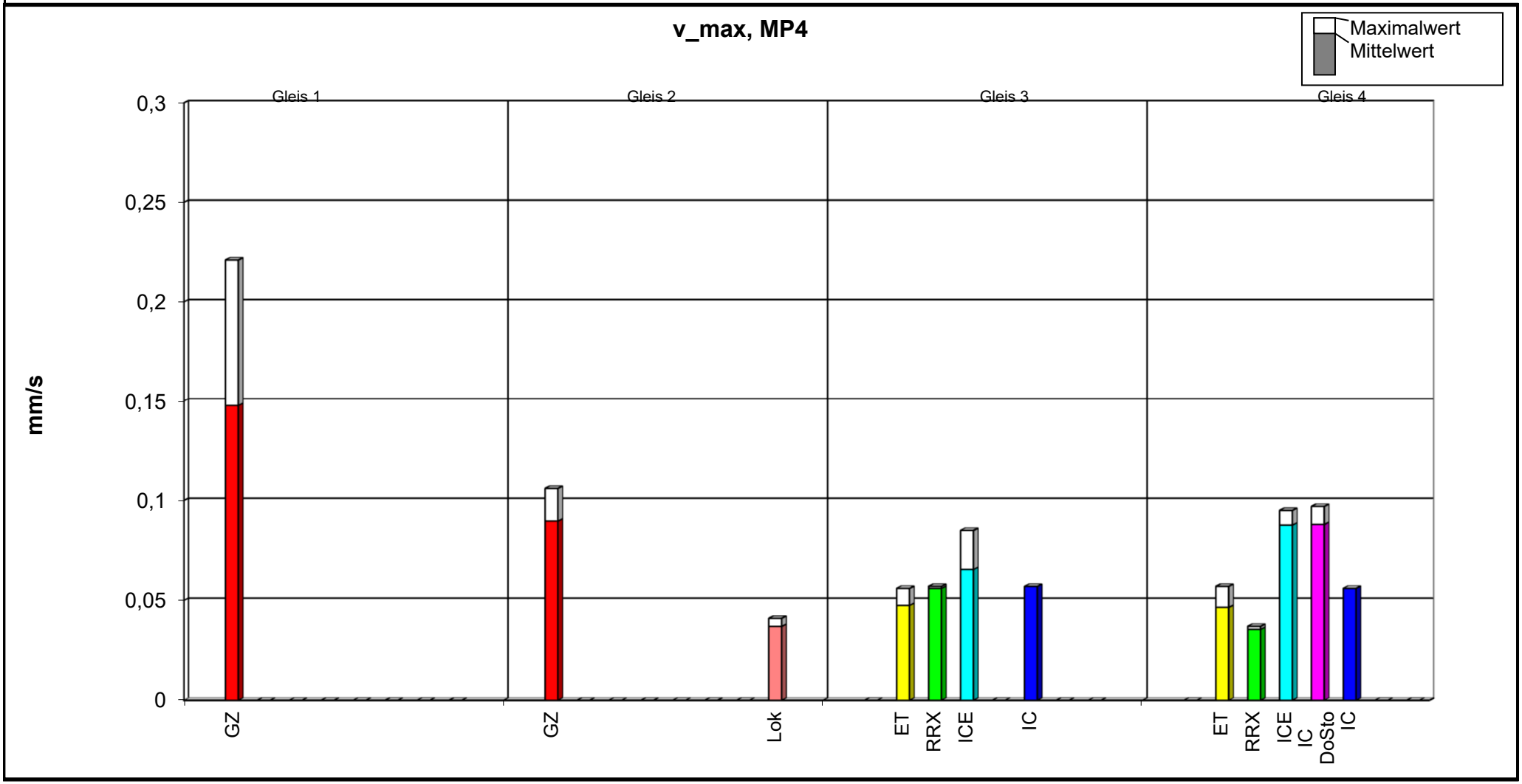
Erschütterungsmessungen in Leverkusen, Friedrich-List-Str., am 18.02.2021



Erschütterungsmessungen in Leverkusen, Friedrich-List-Str., am 18.02.2021

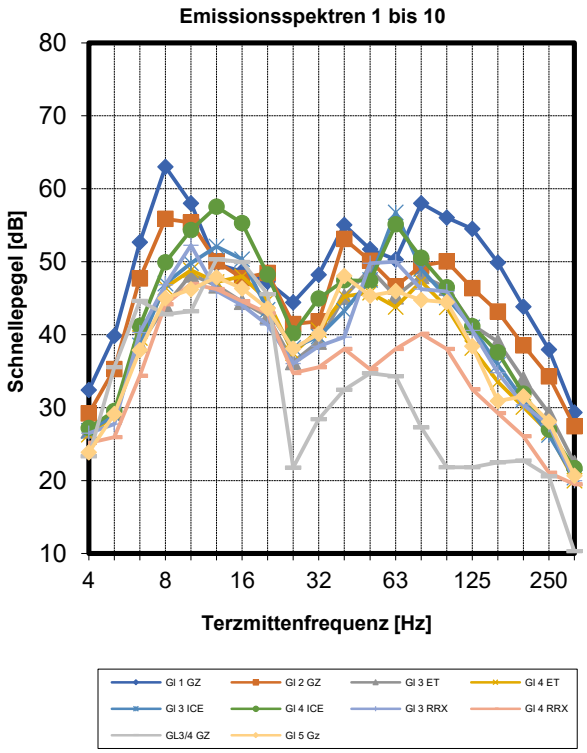


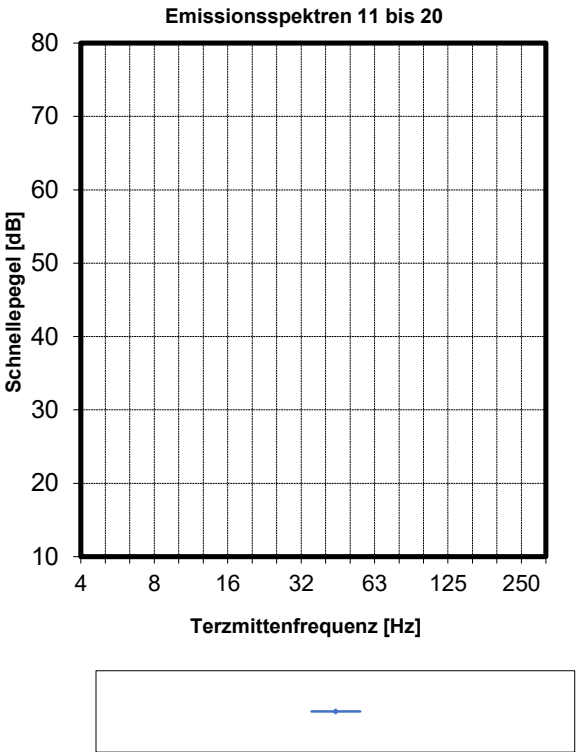
Erschütterungsmessungen in Leverkusen, Friedrich-List-Str., am 18.02.2021

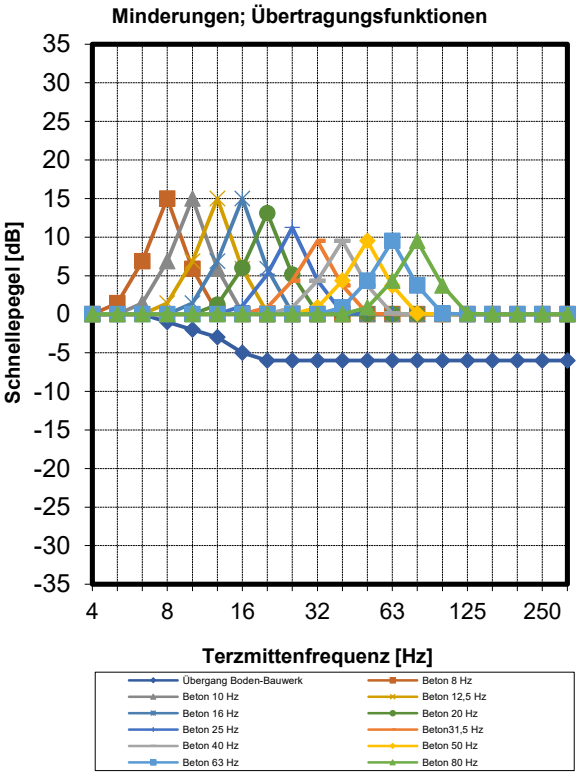


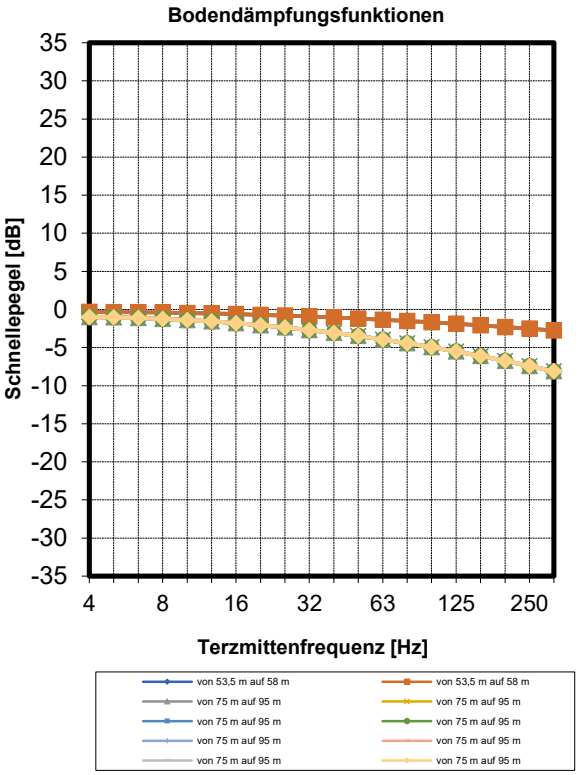
PEUTZ CONSULT

Eingangsdaten zur Prognose Südspitze NBSO





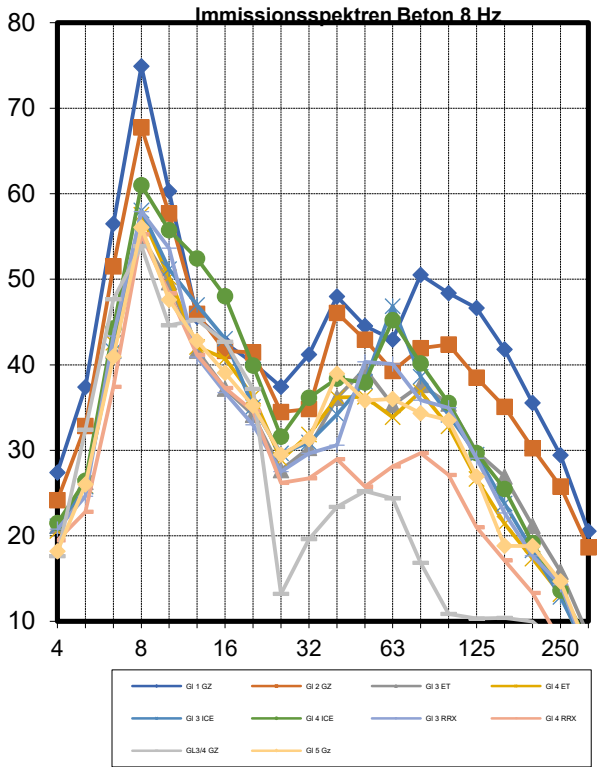


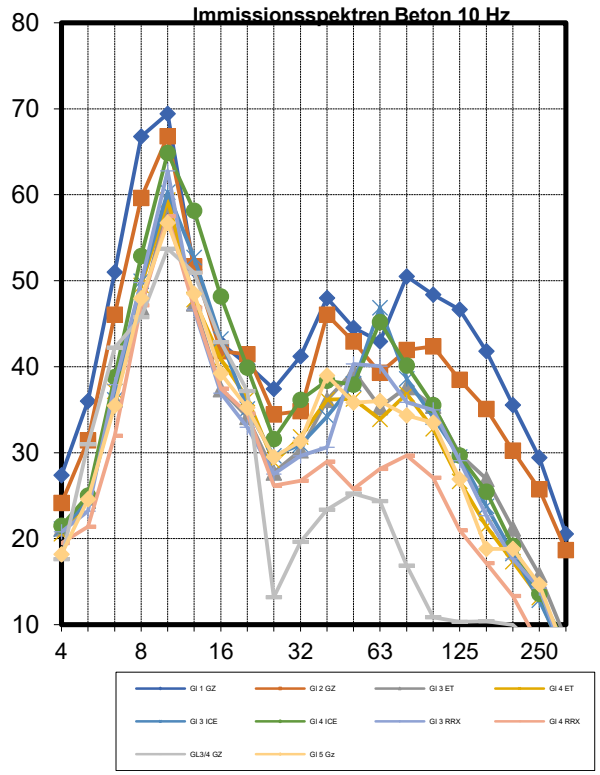


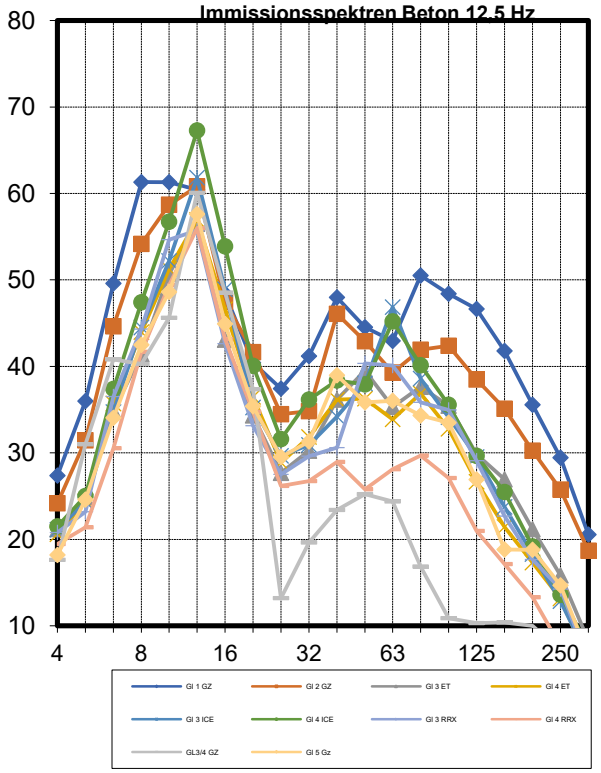
alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s

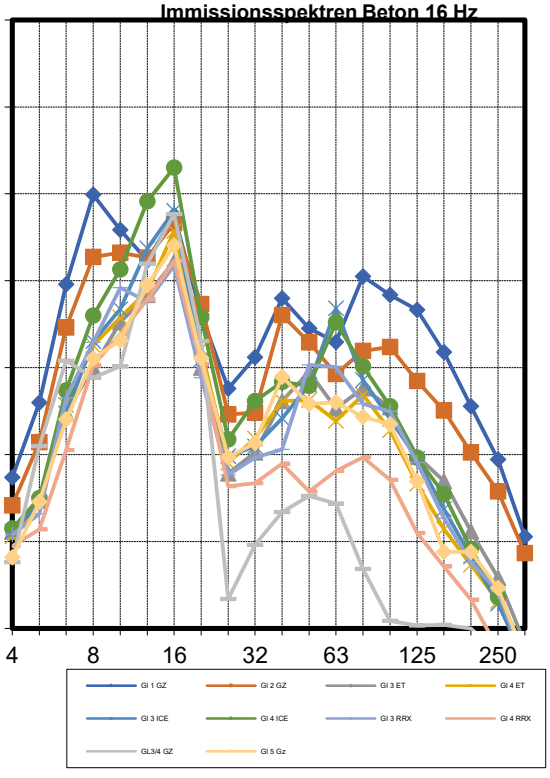
PEUTZ CONSULT

Eingangsdaten zur Prognose Südspitze NBSO





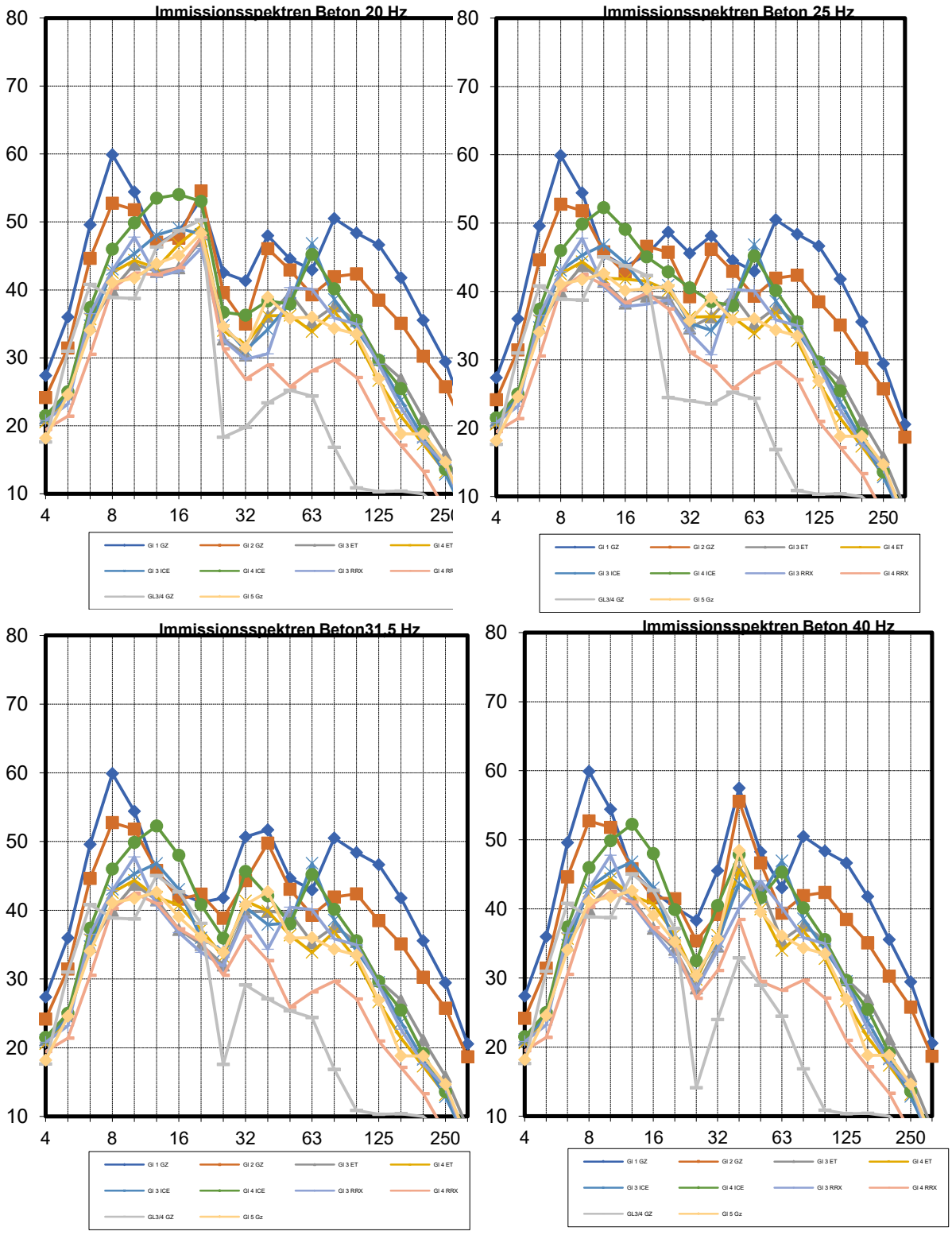




alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s

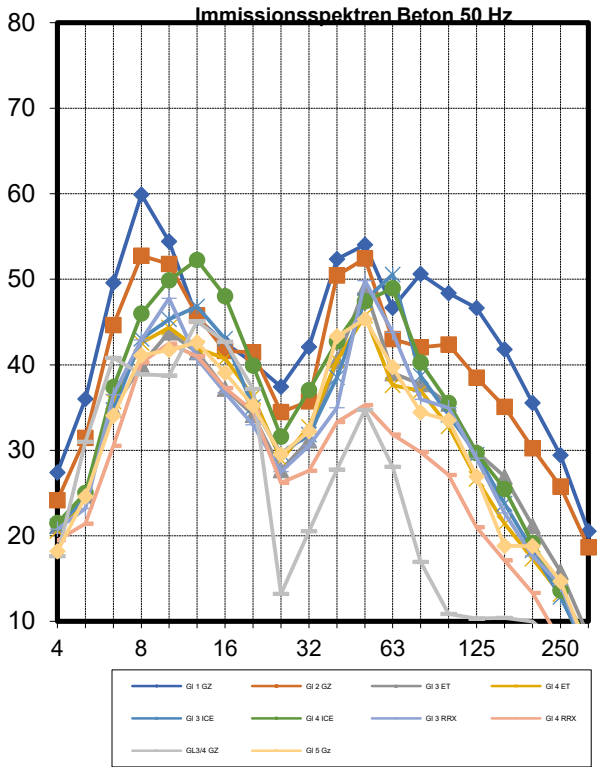
PEUTZ CONSULT

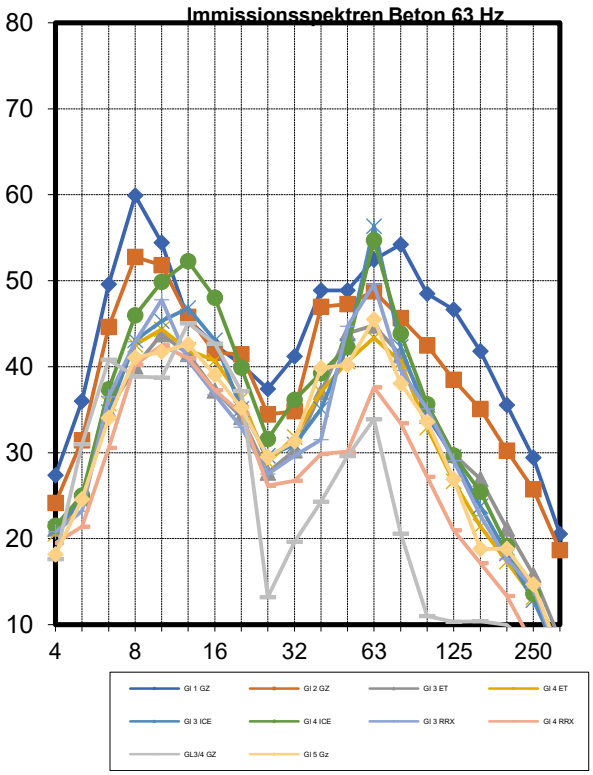
Eingangsdaten zur Prognose Südspitze NBSO

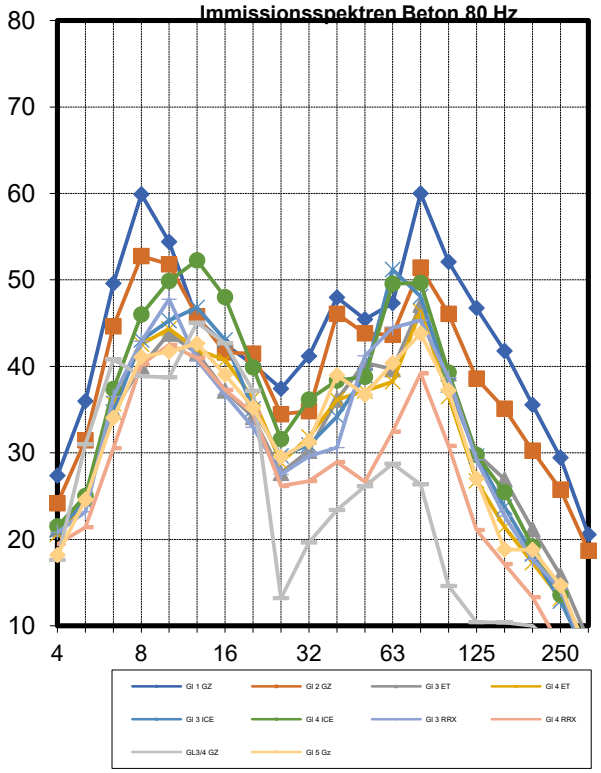


alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s

Eingangsdaten zur Prognose Südspitze NBSO







alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s

PEUTZ CONSULT

Berechnung der Immissionen Südspitze NBSO

Frequenz [Hz]	4			8			16			32			63			125			250			Anzahl Ereignisse Tag	Nacht
Emissionsspektren																							
GI 1 GZ	28,4	32,4	39,8	52,7	63,0	58,0	49,7	48,7	47,3	44,4	48,2	55,0	51,7	50,3	58,0	56,1	54,5	49,9	43,9	38,0	29,3	82	55
GI 2 GZ	26,9	29,2	35,3	47,7	55,9	55,4	50,0	47,7	48,5	41,5	41,8	53,1	50,1	46,6	49,4	50,1	46,4	43,2	38,6	34,3	27,4	82	54
GI 3 ET	26,8	26,9	29,4	38,6	43,9	48,3	46,8	44,5	42,5	36,2	39,1	45,2	49,0	45,2	48,1	46,4	41,3	39,1	33,9	29,2	22,4	35	3
GI 4 ET	26,2	26,3	29,0	39,5	46,5	48,8	47,2	48,0	44,7	37,4	40,6	45,2	45,7	43,8	47,3	43,7	38,2	33,5	30,1	26,6	20,0	35	3
GI 3 ICE	27,1	26,8	28,9	38,5	47,0	49,8	52,1	50,4	43,4	38,2	39,7	43,3	47,5	56,8	49,0	45,1	41,0	35,9	31,0	26,3	20,4	32	4
GI 4 ICE	27,6	27,2	29,5	41,2	49,9	54,3	57,5	55,3	48,3	40,1	44,9	47,4	47,4	55,1	50,6	46,5	41,2	37,6	31,9	27,0	21,7	29	1
GI 3 RRX	27,0	26,5	27,7	40,3	46,8	52,3	46,0	44,0	41,3	36,1	38,4	39,7	49,8	50,0	46,3	45,9	40,6	34,8	30,4	27,7	20,0	16	4
GI 4 RRX	25,6	25,2	25,9	34,4	44,2	47,0	46,2	44,6	42,9	34,7	35,5	38,0	35,3	38,0	40,1	38,0	32,5	29,2	26,1	21,1	19,5	15	3
GL3/4 GZ	17,4	23,3	35,5	44,6	42,8	43,2	50,3	50,0	45,5	21,8	28,4	32,5	34,7	34,3	27,3	21,8	21,8	22,5	22,7	20,6	10,3	6	13
GI 5 Gz	21,6	23,9	29,1	37,9	45,0	46,2	47,9	46,4	43,6	38,1	40,1	48,0	45,3	46,0	44,7	44,4	38,4	30,9	31,5	28,1	20,7	2	2
Berücksichtigte Minderungsmaßnahmen																							
Übergang Boden-Bauwerk	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,0	-2,0	-3,0	-5,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0		
Übertragungsfunktionen																							
Beton 8 Hz	0,0	0,0	1,4	6,9	15,0	5,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beton 10 Hz	0,0	0,0	0,0	1,4	6,9	15,0	5,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beton 12,5 Hz	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	6,9	15,0	5,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beton 16 Hz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	6,9	15,0	5,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beton 20 Hz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	6,0	13,1	5,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beton 25 Hz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	5,2	11,3	4,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beton31,5 Hz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	4,4	9,5	3,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beton 40 Hz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	4,4	9,5	3,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beton 50 Hz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	4,4	9,5	3,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beton 63 Hz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	4,4	9,5	3,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beton 80 Hz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	4,4	9,5	3,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0		
Angesetzte Bodendämpfungen																							
von 53,5 m auf 58 m	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,1	-1,2	-1,3	-1,5	-1,7	-1,9	-2,1	-2,3	-2,5	-2,8		
von 53,5 m auf 58 m	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,1	-1,2	-1,3	-1,5	-1,7	-1,9	-2,1	-2,3	-2,5	-2,8		
von 75 m auf 95 m	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,8	-2,1	-2,4	-2,7	-3,1	-3,5	-3,9	-4,4	-4,9	-5,5	-6,1	-6,7	-7,4	-8,1		
von 75 m auf 95 m	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,8	-2,1	-2,4	-2,7	-3,1	-3,5	-3,9	-4,4	-4,9	-5,5	-6,1	-6,7	-7,4	-8,1		
von 75 m auf 95 m	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,8	-2,1	-2,4	-2,7	-3,1	-3,5	-3,9	-4,4	-4,9	-5,5	-6,1	-6,7	-7,4	-8,1		
von 75 m auf 95 m	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,8	-2,1	-2,4	-2,7	-3,1	-3,5	-3,9	-4,4	-4,9	-5,5	-6,1	-6,7	-7,4	-8,1		
von 75 m auf 95 m	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,8	-2,1	-2,4	-2,7	-3,1	-3,5	-3,9	-4,4	-4,9	-5,5	-6,1	-6,7	-7,4	-8,1		
von 75 m auf 95 m	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,8	-2,1	-2,4	-2,7	-3,1	-3,5	-3,9	-4,4	-4,9	-5,5	-6,1	-6,7	-7,4	-8,1		
von 75 m auf 95 m	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,8	-2,1	-2,4	-2,7	-3,1	-3,5	-3,9	-4,4	-4,9	-5,5	-6,1	-6,7	-7,4	-8,1		
von 75 m auf 95 m	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,8	-2,1	-2,4	-2,7	-3,1	-3,5	-3,9	-4,4	-4,9	-5,5	-6,1	-6,7	-7,4	-8,1		
Immissionsspektren																						KB_{FTm}:	Lmax (dB(A))
GI 1 GZ																							
Beton 8 Hz	28,0	32,1	40,9	59,2	76,6	61,4	46,3	43,0	40,5	37,6	41,3	48,0	44,5	42,9	50,5	48,4	46,6	41,8	35,5	29,4	20,6	0,29	36,1
Beton 10 Hz	28,0	32,1	39,5	53,7	68,5	70,5	52,0	43,2	40,5	37,6	41,3	48,0	44,5	42,9	50,5	48,4	46,6	41,8	35,5	29,4	20,6	0,19	36,1
Beton 12,5 Hz	28,0	32,1	39,5	52,3	63,0	62,4	61,1	48,9	40,7	37,6	41,3	48,0	44,5	42,9	50,5	48,4	46,6	41,8	35,5	29,4	20,6	0,10	36,1
Beton 16 Hz	28,0	32,1	39,5	52,3	61,6	56,9	53,0	58,0	46,4	37,8	41,3	48,0	44,5	42,9	50,5	48,4	46,6	41,8	35,5	29,4	20,6	0,08	36,1
Beton 20 Hz	28,0	32,1	39,5	52,3	61,6	55,5	47,4	49,1	53,7	42,8	41,4	48,0	44,5	42,9	50,5	48,4	46,6	41,8	35,5	29,4	20,6	0,07	36,1
Beton 25 Hz	28,0	32,1	39,5	52,3	61,6	55,5	46,1	44,1	45,7	48,9	45,7	48,1	44,5	42,9	50,5	48,4	46,6	41,8	35,5	29,4	20,6	0,07	36,1
Beton31,5 Hz	28,0	32,1	39,5	52,3	61,6	55,5	46,1	43,0	41,4	42,0	50,8	51,7	44,6	42,9	50,5	48,4	46,6	41,8	35,5	29,4	20,6	0,07	36,2
Beton 40 Hz	28,0	32,1	39,5	52,3	61,6	55,5	46,1	43,0	40,5	38,5	45,6	57,5	48,2	43,1	50,5	48,4	46,6	41,8	35,5	29,4	20,6	0,07	36,4
Beton 50 Hz	28,0	32,1	39,5	52,3	61,6	55,5	46,1	43,0	40,5	37,6	42,2	52,3	54,0	46,7	50,6	48,4	46,6	41,8	35,5	29,4	20,6	0,07	36,6
Beton 63 Hz	28,0	32,1	39,5	52,3	61,6	55,5	46,1	43,0	40,5	37,6	41,3	48,9	48,9	52,4	54,2	48,5	46,6	41,8	35,5	29,4	20,6	0,07	37,7
Beton 80 Hz	28,0	32,1	39,5	52,3	61,6	55,5	46,1	43,0	40,5	37,6	41,3	48,0	45,4	47,3	60,0	52,1	46,7	41,8	35,5	29,4	20,6	0,08	40,3
GI 2 GZ																							
Beton 8 Hz	26,6	28,9	36,4	54,2	69,5	58,8	46,7	42,1	41,8	34,7	34,9	46,1	42,9	39,3	41,9	42,4	38,5	35,1	30,3	25,8	18,7	0,13	32,2
Beton 10 Hz	26,6	28,9	34,9	48,8	61,3	67,9	52,4	42,3	41,8	34,7	34,9	46,1	42,9	39,3	41,9	42,4	38,5	35,1	30,3	25,8	18,7	0,12	32,2
Beton 12,5 Hz	26,6	28,9	34,9	47,3	55,9	59,8	61,5	48,0	41,9	34,7	34,9	46,1	42,9	39,3	41,9	42,4	38,5	35,1	30,3	25,8	18,7	0,08	32,2
Beton 16 Hz	26,6	28,9	34,9	47,3	54,5	54,3	53,4	57,1	47,6	34,8	34,9	46,1	42,9	39,3	41,9	42,4	38,5	35,1	30,3	25,8	18,7	0,06	32,2
Beton 20 Hz	26,6	28,9	34,9	47,3	54,5	52,9	47,7	48,1	54,9	39,8	35,1	46,1	42,9	39,3	41,9	42,4	38,5	35,1	30,3	25,8	18,7	0,05	32,2
Beton 25 Hz	26,6	28,9	34,9	47,3	54,5	52,9	46,5	43,2	46,9	45,9	39,3	46,2	42,9	39,3	41,9	42,4	38,5	35,1	30,3	25,8	18,7	0,04	32,2
Beton31,5 Hz	26,6	28,9	34,9	47,3	54,5	52,9	46,5	42,1	42,7	39,0	44,4	49,8	43,0	39,3	41,9	42,4	38,5	35,1	30,3	25,8	18,7	0,04	32,4
Beton 40 Hz	26,6	28,9	34,9	47,3	54,5	52,9	46,5	42,1	41,8	35,6	39,3	55,6	46,6	39,4	41,9	42,4	38,5	35,1	30,3	25,8	18,7	0,05	33,1
Beton 50 Hz	26,6	28,9	34,9	47,3	54,5	52,9	46,5	42,1	41,8	34,7	35,8	50,4	52,4	43,0	42,0	42,4	38,5	35,1	30,3	25,8	18,7	0,04	33,4
Beton 63 Hz	26,6	28,9	34,9	47,3	54,5	52,9	46,5	42,1	41,8	34,7	34,9	47,0	47,3	48,8	45,7	42,5	38,5	35,1	30,3	25,8	18,7	0,04	33,9
Beton 80 Hz	26,6	28,9	34,9	47,3	54,5	52,9	46,5	42,1	41,8	34,7	34,9	46,1	43,8	43,6	51,4	46,1	38,6	35,1	30,3	25,8	18,7	0,04	35,8
GI 3 ET																							
Beton 8 Hz	25,8	25,9	29,8	44,4	56,7	50,8	42,4	37,7	34,4	27,9	30,4	36,1	39,5	35,3	37,6	35,5	29,8	26,9	21,2	15,8	8,3	0,03	28,8
Beton 10 Hz	25,8	25,9	28,4	38,9	48,6	59,9	48,1	37,9	34,4	27,9	30,4	36,1	39,5	35,3	37,6	35,5	29,8	26,9	21,2	15,8	8,3	0,05	28,8
Beton 12,5 Hz	25,8	25,9	28,4	37,5	43,1	51,8	57,2	43,6	34,6	27,9	30,4	36,1	39,5	35,3	37,6	35,5	29,8	26,9	21,2	15,8	8,3	0,04	28,8
Beton 16 Hz	25,8	25,9	28,4	37,5	41,7	46,3	49,1	52,7	40,3	28,0	30,4	36,1	39,5	35,3	37,6	35,5	29,8	26,9	21,2	15,8	8,3	0,03	28,8
Beton 20 Hz	25,8	25,9	28,4	37,5	41,7	44,9	43,4	43,7	47,6	33,0	30,5	36,1	39,5	35,3	37,6	35,5	29,8	26,9	21,2	15,8	8,3	0,02	28,8
Beton 25 Hz	25,8	25,9	28,4	37,5	41,7	44,9	42,2	38,8	39,6	39,1	34,8	36,3	39,5	35,3	37,6	35,5	29,8	26,9	21,2	15,8	8,3	0,02	28,8
Beton31,5 Hz	25,8	25,9	28,4	37,5	41,7	44,9	42,2	37,7	35,3	32,2	39,9	39,9	39,6	35,3	37,6	35,5	29,8	26,9	21,2	15,8	8,3	0,02	28,9
Beton 40 Hz	25,8	25,9	28,4	37,5	41,7	44,9	42,2	37,7	34,4	28,8	34,7	45,6	43,2	35,4	37,6	35,5	29,8	26,9	21,2	15,8	8,3	0,02	29,4
Beton 50 Hz	25,8	25,9	28,4	37,5	41,7	44,9	42,2	37,7	34,4	27,9	31,3	40,5	49,0	39,0	37,7	35,5	29,8	26,9	21,2	15,8	8,3	0,02	30,4
Beton 63 Hz	25,8	25,9	28,4	37,5	41,7	44,9	42,2	37,7	34,4	27,9	30,4	37,0	43,9	44,8	41,4	35,6	29,8	26,9	21,2	15,8	8,3	0,02	31,0
Beton 80 Hz	25,8	25,9	28,4	37,5	41,7	44,9	42,2	37,7	34,4	27,9	30,4	36,1	40,4	39,7	47,1	39,2	29,9	26,9	21,2	15,8	8,3	0,02	32,7
GI 4 ET																							
Beton 8 Hz	25,2	25,3	29,3	45,3	59,2	51,3	42,8	41,2	36,6	29,1	31,9	36,2	36,3	33,9	36,9	32,8	26,7	21,4	17,3	13,2	5,9	0,04	27,7
Beton 10 Hz	25,2	25,3	27,9	39,8	51,1	60,5	48,5	41,4	36,6	29,1	31,9	36,2	36,3	33,9	36,9	32,8	26,7	21,4	17,3	13,2	5,9	0,05	27,7
Beton 12,5 Hz	25,2	25,3	27,9	38,4	45,7	52,3	57,6	47,1	36,8	29,1	31,9	36,2	36,3	33,9	36,9	32,8	26,7	21,4	17,3	13,2	5,9	0,04	27,7
Beton 16 Hz	25,2	25,3	27,9	38,4	44,2	46,9	49,5	56,2	42,5	29,3	31,9	36,2	36,3	33,9	36,9	32,8	26,7	21,4	17,3	13,2	5,9	0,04	27,7
Beton 20 Hz	25,2	25,3	27,9	38,4	44,2	45,5	43,9	47,2	49,7	34,2	32,1	36,2	36,3	33,9	36,9	32,8	26,7	21,4	17,3	13,2	5,9	0,02	27,7
Beton 25 Hz	25,2	25,3	27,9	38,4	44,2	45,5	42,6	42,3	41,8	40,3	36,3	36,3	36,3	33,9	36,9	32,8	26,7	21,4	17,3	13,2	5,9	0,02	27,7
Beton31,5 Hz	25,2	25,3	27,9	38,4	44,2	45,5	42,6	41,2	37,5	33,4	41,4	39,9	36,4	33,9	36,9	32,8	26,7	21,4	17,3	13,2	5,9	0,02	27,8
Beton 40 Hz	25,2	25,3	27,9	38,4	44,2	45,5	42,6	41,2	36,6	30,0	36,3	45,7	40,0	34,0	36,9	32,8	26,7	21,4	17,3	13,2	5,9	0,02	28,3
Beton 50 Hz	25,2	25,3	27,9	38,4	44,2	45,5	42,6	41,2	36,6	29,1	32,8	40,5	45,8	37,6	37,0	32,8	26,7	21,4	17,3	13,2	5,9	0,02	29,1
Beton 63 Hz	25,2	25,3	27,9	38,4	44,2	45,5	42,6	41,2	36,6	29,1	31,9	37,1	40,6	43,4	40,6	32,9	26,7	21,4	17,3	13,2	5,9	0,02	30,1
Beton 80 Hz	25,2	25,3	27,9	38,4	44,2	45,5	42,6	41,2	36,6	29,1	31,9	36,2	37,2	38,2	46,4	36,5	26,8	21,4	17,3	13,2	5,9	0,02	32,0
GI 3 ICE																							
Beton 8 Hz	26,1	25,8	29,3	44,3	59,8	52,3	47,7	43,6	35,4	29,8	31,0	34,2	38,0	46,8	38,6	34,1	29,5	23,8	18,3	12,8	6,3	0,05	30,7
Beton 10 Hz	26,1	25,8	27,9	38,8	51,6	61,4	53,4	43,7	35,4	29,8	31,0	34,2	38,0	46,8	38,6	34,1	29,5	23,8	18,3	12,8	6,3	0,06	30,7
Beton 12,5 Hz	26,1	25,8	27,9	37,4	46,2	53,3	62,5	49,4	35,5	29,8	31,0	34,2	38,0	46,8	38,6	34,1	29,5	23,8	18,3	12,8	6,3	0,07	30,7
Beton 16 Hz	26,1	25,8	27,9	37,4	44,8	47,8	54,4	58,6	41,2	30,0	31,0	34,2	38,0	46,8	38,6	34,1	29,5	23,8	18,3	12,8	6,3	0,05	30,7
Beton 20 Hz	26,1	25,8	27,9	37,4	44,8	46,4	48,8	49,6	48,5	35,0	31,2	34,2	38,0	46,8	38,6	34,1	29,5	23,8	18,3	12,8	6,3	0,03	30,7
Beton 25 Hz	26,1	25,8	27,9	37,4	44,8	46,4	47,5	44,6	40,5	41,1	35,4	34,3	38,0	46,8	38,6	34,1	29,5	23,8	18,3	12,8	6,3	0,02	30,7
Beton31,5 Hz	26,1	25,8	27,9	37,4	44,8	46,4	47,5	43,6	36,3	34,2	40,5	37,9	38,1	46,8	38,6	34,1	29,5	23,8	18,3	12,8	6,3	0,02	30,7
Beton 40 Hz	26,1	25,8	27,9	37,4	44,8	46,4	47,5	43,6	35,4	30,7	35,4	43,7	41,7	47,0	38,6	34,1	29,5	23,8	18,3	12,8	6,3	0,02	30,9
Beton 50 Hz	26,1	25,8	27,9	37,4	44,8	46,4	47,5	43,6	35,4	29,8	31,9	38,5	47,5	50,6	38,7	34,1	29,5	23,8	18,3	12,8	6,3	0,03	32,6
Beton 63 Hz	26,1	25,8	27,9	37,4	44,8	46,4	47,5	43,6	35,4	29,8	31,0	35,1	42,4	56,3	42,3	34,2	29,5	23,8	18,3	12,8	6,3	0,04	35,4
Beton 80 Hz	26,1	25,8	27,9	37,4	44,8	46,4	47,5	43,6	35,4	29,8	31,0	34,2	38,9	51,2	48,1	37,9	29,6	23,8	18,3	12,8	6,3	0,03	34,2

Gl 4 ICE																							
Beton 8 Hz	26,6	26,2	29,9	47,0	62,7	56,8	53,1	48,5	40,2	31,8	36,2	38,4	37,9	45,2	40,1	35,6	29,7	25,5	19,2	13,6	7,6	0,07	30,6
Beton 10 Hz	26,6	26,2	28,5	41,5	54,6	66,0	58,8	48,7	40,2	31,8	36,2	38,4	37,9	45,2	40,1	35,6	29,7	25,5	19,2	13,6	7,6	0,10	30,6
Beton 12,5 Hz	26,6	26,2	28,5	40,1	49,1	57,8	68,0	54,4	40,4	31,8	36,2	38,4	37,9	45,2	40,1	35,6	29,7	25,5	19,2	13,6	7,6	0,12	30,6
Beton 16 Hz	26,6	26,2	28,5	40,1	47,7	52,4	59,8	63,5	46,1	32,0	36,2	38,4	37,9	45,2	40,1	35,6	29,7	25,5	19,2	13,6	7,6	0,09	30,6
Beton 20 Hz	26,6	26,2	28,5	40,1	47,7	51,0	54,2	54,5	53,3	36,9	36,4	38,4	37,9	45,2	40,1	35,6	29,7	25,5	19,2	13,6	7,6	0,05	30,6
Beton 25 Hz	26,6	26,2	28,5	40,1	47,7	51,0	53,0	49,6	45,4	43,0	40,6	38,5	37,9	45,2	40,1	35,6	29,7	25,5	19,2	13,6	7,6	0,04	30,6
Beton31,5 Hz	26,6	26,2	28,5	40,1	47,7	51,0	53,0	48,5	41,1	36,1	45,7	42,1	38,0	45,2	40,1	35,6	29,7	25,5	19,2	13,6	7,6	0,04	30,7
Beton 40 Hz	26,6	26,2	28,5	40,1	47,7	51,0	53,0	48,5	40,2	32,7	40,6	47,9	41,6	45,3	40,1	35,6	29,7	25,5	19,2	13,6	7,6	0,04	31,0
Beton 50 Hz	26,6	26,2	28,5	40,1	47,7	51,0	53,0	48,5	40,2	31,8	37,1	42,7	47,4	48,9	40,3	35,6	29,7	25,5	19,2	13,6	7,6	0,04	32,2
Beton 63 Hz	26,6	26,2	28,5	40,1	47,7	51,0	53,0	48,5	40,2	31,8	36,2	39,3	42,3	54,7	43,9	35,7	29,7	25,5	19,2	13,6	7,6	0,04	34,7
Beton 80 Hz	26,6	26,2	28,5	40,1	47,7	51,0	53,0	48,5	40,2	31,8	36,2	38,4	38,8	49,6	49,6	39,3	29,8	25,5	19,2	13,6	7,6	0,04	34,5
Gl 3 RRX																							
Beton 8 Hz	26,0	25,5	28,1	46,1	59,6	54,7	41,6	37,2	33,3	27,7	29,7	30,6	40,3	40,1	35,8	35,0	29,1	22,7	17,6	14,3	5,8	0,05	28,8
Beton 10 Hz	26,0	25,5	26,7	40,6	51,5	63,9	47,3	37,4	33,3	27,7	29,7	30,6	40,3	40,1	35,8	35,0	29,1	22,7	17,6	14,3	5,8	0,07	28,8
Beton 12,5 Hz	26,0	25,5	26,7	39,2	46,0	55,8	56,4	43,1	33,4	27,7	29,7	30,6	40,3	40,1	35,8	35,0	29,1	22,7	17,6	14,3	5,8	0,04	28,8
Beton 16 Hz	26,0	25,5	26,7	39,2	44,6	50,3	48,3	52,2	39,1	27,9	29,7	30,6	40,3	40,1	35,8	35,0	29,1	22,7	17,6	14,3	5,8	0,03	28,8
Beton 20 Hz	26,0	25,5	26,7	39,2	44,6	48,9	42,7	43,3	46,4	32,8	29,9	30,6	40,3	40,1	35,8	35,0	29,1	22,7	17,6	14,3	5,8	0,02	28,8
Beton 25 Hz	26,0	25,5	26,7	39,2	44,6	48,9	41,4	38,3	38,4	39,0	34,1	30,7	40,3	40,1	35,8	35,0	29,1	22,7	17,6	14,3	5,8	0,02	28,8
Beton31,5 Hz	26,0	25,5	26,7	39,2	44,6	48,9	41,4	37,2	34,2	32,1	39,2	34,3	40,4	40,1	35,8	35,0	29,1	22,7	17,6	14,3	5,8	0,02	28,9
Beton 40 Hz	26,0	25,5	26,7	39,2	44,6	48,9	41,4	37,2	33,3	28,6	34,1	40,1	44,0	40,2	35,8	35,0	29,1	22,7	17,6	14,3	5,8	0,02	29,3
Beton 50 Hz	26,0	25,5	26,7	39,2	44,6	48,9	41,4	37,2	33,3	27,7	30,6	35,0	49,8	43,8	36,0	35,0	29,1	22,7	17,6	14,3	5,8	0,02	30,9
Beton 63 Hz	26,0	25,5	26,7	39,2	44,6	48,9	41,4	37,2	33,3	27,7	29,7	31,5	44,7	49,6	39,6	35,1	29,1	22,7	17,6	14,3	5,8	0,02	32,1
Beton 80 Hz	26,0	25,5	26,7	39,2	44,6	48,9	41,4	37,2	33,3	27,7	29,7	30,6	41,2	44,4	45,3	38,7	29,2	22,7	17,6	14,3	5,8	0,02	32,3
Gl 4 RRX																							
Beton 8 Hz	24,6	24,2	26,3	40,1	57,0	49,5	41,8	37,8	34,9	26,4	26,8	29,0	25,8	28,1	29,7	27,1	21,0	17,1	13,3	7,7	5,4	0,03	23,8
Beton 10 Hz	24,6	24,2	24,9	34,7	48,8	58,6	47,5	38,0	34,9	26,4	26,8	29,0	25,8	28,1	29,7	27,1	21,0	17,1	13,3	7,7	5,4	0,04	23,8
Beton 12,5 Hz	24,6	24,2	24,9	33,2	43,4	50,5	56,7	43,7	35,0	26,4	26,8	29,0	25,8	28,1	29,7	27,1	21,0	17,1	13,3	7,7	5,4	0,04	23,8
Beton 16 Hz	24,6	24,2	24,9	33,2	42,0	45,0	48,6	52,8	40,7	26,5	26,8	29,0	25,8	28,1	29,7	27,1	21,0	17,1	13,3	7,7	5,4	0,03	23,8
Beton 20 Hz	24,6	24,2	24,9	33,2	42,0	43,6	42,9	43,8	48,0	31,5	27,0	29,0	25,8	28,1	29,7	27,1	21,0	17,1	13,3	7,7	5,4	0,02	23,8
Beton 25 Hz	24,6	24,2	24,9	33,2	42,0	43,6	41,7	38,9	40,0	37,6	31,2	29,1	25,8	28,1	29,7	27,1	21,0	17,1	13,3	7,7	5,4	0,01	23,8
Beton31,5 Hz	24,6	24,2	24,9	33,2	42,0	43,6	41,7	37,8	35,8	30,7	36,3	32,7	25,9	28,1	29,7	27,1	21,0	17,1	13,3	7,7	5,4	0,01	23,9
Beton 40 Hz	24,6	24,2	24,9	33,2	42,0	43,6	41,7	37,8	34,9	27,3	31,2	38,5	29,5	28,2	29,7	27,1	21,0	17,1	13,3	7,7	5,4	0,01	24,3
Beton 50 Hz	24,6	24,2	24,9	33,2	42,0	43,6	41,7	37,8	34,9	26,4	27,7	33,3	35,3	31,8	29,8	27,1	21,0	17,1	13,3	7,7	5,4	0,01	24,7
Beton 63 Hz	24,6	24,2	24,9	33,2	42,0	43,6	41,7	37,8	34,9	26,4	26,8	29,9	30,1	37,6	33,4	27,2	21,0	17,1	13,3	7,7	5,4	0,01	26,1
Beton 80 Hz	24,6	24,2	24,9	33,2	42,0	43,6	41,7	37,8	34,9	26,4	26,8	29,0	26,7	32,5	39,2	30,8	21,1	17,1	13,3	7,7	5,4	0,01	27,9
GL3/4 GZ																							
Beton 8 Hz	16,5	22,3	35,9	50,4	55,6	45,7	45,9	43,2	37,5	13,4	19,7	23,4	25,2	24,4	16,9	10,9	10,3	10,4	10,0	7,2	-3,8	0,03	18,0
Beton 10 Hz	16,5	22,3	34,5	44,9	47,4	54,8	51,6	43,3	37,5	13,4	19,7	23,4	25,2	24,4	16,9	10,9	10,3	10,4	10,0	7,2	-3,8	0,03	18,0
Beton 12,5 Hz	16,5	22,3	34,5	43,5	42,0	46,7	60,8	49,0	37,6	13,4	19,7	23,4	25,2	24,4	16,9	10,9	10,3	10,4	10,0	7,2	-3,8	0,05	18,0
Beton 16 Hz	16,5	22,3	34,5	43,5	40,6	41,3	52,7	58,2	43,3	13,6	19,7	23,4	25,2	24,4	16,9	10,9	10,3	10,4	10,0	7,2	-3,8	0,04	18,0
Beton 20 Hz	16,5	22,3	34,5	43,5	40,6	39,8	47,0	49,2	50,6	18,5	19,9	23,4	25,2	24,4	16,9	10,9	10,3	10,4	10,0	7,2	-3,8	0,03	18,0
Beton 25 Hz	16,5	22,3	34,5	43,5	40,6	39,8	45,8	44,2	42,6	24,7	24,1	23,5	25,2	24,4	16,9	10,9	10,3	10,4	10,0	7,2	-3,8	0,02	18,0
Beton31,5 Hz	16,5	22,3	34,5	43,5	40,6	39,8	45,8	43,2	38,4	17,8	29,2	27,1	25,3	24,4	16,9	10,9	10,3	10,4	10,0	7,2	-3,8	0,01	18,3
Beton 40 Hz	16,5	22,3	34,5	43,5	40,6	39,8	45,8	43,2	37,5	14,3	24,1	32,9	29,0	24,5	16,9	10,9	10,3	10,4	10,0	7,2	-3,8	0,01	19,4
Beton 50 Hz	16,5	22,3	34,5	43,5	40,6	39,8	45,8	43,2	37,5	13,4	20,6	27,8	34,7	28,1	17,0	10,9	10,3	10,4	10,0	7,2	-3,8	0,01	21,2
Beton 63 Hz	16,5	22,3	34,5	43,5	40,6	39,8	45,8	43,2	37,5	13,4	19,7	24,3	29,6	33,9	20,6	11,0	10,3	10,4	10,0	7,2	-3,8	0,01	22,2
Beton 80 Hz	16,5	22,3	34,5	43,5	40,6	39,8	45,8	43,2	37,5	13,4	19,7	23,4	26,1	28,7	26,4	14,6	10,4	10,4	10,0	7,2	-3,8	0,01	21,2
Gl 5 Gz																							
Beton 8 Hz	20,6	22,9	29,5	43,6	57,8	48,7	43,5	39,6	35,5	29,7	31,4	39,0	35,8	36,0	34,3	33,5	26,9	18,8	18,8	14,7	6,5	0,04	27,6
Beton 10 Hz	20,6	22,9	28,1	38,2	49,6	57,8	49,2	39,7	35,5	29,7	31,4	39,0	35,8	36,0	34,3	33,5	26,9	18,8	18,8	14,7	6,5	0,04	27,6
Beton 12,5 Hz	20,6	22,9	28,1	36,8	44,2	49,7	58,3	45,4	35,7	29,7	31,4	39,0	35,8	36,0	34,3	33,5	26,9	18,8	18,8	14,7	6,5	0,04	27,6
Beton 16 Hz	20,6	22,9	28,1	36,8	42,8	44,2	50,2	54,6	41,4	29,9	31,4	39,0	35,8	36,0	34,3	33,5	26,9	18,8	18,8	14,7	6,5	0,03	27,6
Beton 20 Hz	20,6	22,9	28,1	36,8	42,8	42,8	44,6	45,6	48,7	34,8	31,6	39,0	35,8	36,0	34,3	33,5	26,9	18,8	18,8	14,7	6,5	0,02	27,6
Beton 25 Hz	20,6	22,9	28,1	36,8	42,8	42,8	43,3	40,6	40,7	41,0	35,8	39,1	35,8	36,0	34,3	33,5	26,9	18,8	18,8	14,7	6,5	0,02	27,6
Beton31,5 Hz	20,6	22,9	28,1	36,8	42,8	42,8	43,3	39,6	36,4	34,1	40,9	42,7	35,9	36,0	34,3	33,5	26,9	18,8	18,8	14,7	6,5	0,02	27,8
Beton 40 Hz	20,6	22,9	28,1	36,8	42,8	42,8	43,3	39,6	35,5	30,6	35,8	48,5	39,6	36,1	34,3	33,5	26,9	18,8	18,8	14,7	6,5	0,02	28,5
Beton 50 Hz	20,6	22,9	28,1	36,8	42,8	42,8	43,3	39,6	35,5	29,7	32,3	43,3	45,3	39,7	34,4	33,5	26,9	18,8	18,8	14,7	6,5	0,02	29,1
Beton 63 Hz	20,6	22,9	28,1	36,8	42,8	42,8	43,3	39,6	35,5	29,7	31,4	39,9	40,2	45,5	38,0	33,6	26,9	18,8	18,8	14,7	6,5	0,02	30,2
Beton 80 Hz	20,6	22,9	28,1	36,8	42,8	42,8	43,3	39,6	35,5	29,7	31,4	39,0	36,7	40,4	43,8	37,2	27,0	18,8	18,8	14,7	6,5	0,02	31,2

	$KB_{Fmax,\ Zug}$:	Übertragungsfunktion
Gl 1 GZ	0,43	Beton 8 Hz
Gl 2 GZ	0,20	Beton 8 Hz
Gl 3 ET	0,07	Beton 10 Hz
Gl 4 ET	0,08	Beton 10 Hz
Gl 3 ICE	0,10	Beton 12,5 Hz
Gl 4 ICE	0,19	Beton 12,5 Hz
Gl 3 RRX	0,11	Beton 10 Hz
Gl 4 RRX	0,06	Beton 10 Hz
GL3/4 GZ	0,08	Beton 12,5 Hz
Gl 5 Gz	0,06	Beton 12,5 Hz

Zug:	Übertragungsfunktion:	KB_{Fmax}:
Gl 1 GZ	Beton 8 Hz	0,43

(Max-Hold, Fast)
alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s

	Beton 8 Hz		Beton 10 Hz		Beton 12,5 Hz		Beton 16 Hz		Beton 20 Hz		Beton 25 Hz		Beton31,5 Hz		Beton 40 Hz		Beton 50 Hz		Beton 63 Hz		Beton 80 Hz	
KB_{FTr}:	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
	0,084	0,098	0,061	0,070	0,031	0,032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Zur Berechnung von KBFTm bzw. KBFTr werden die Spektren laut DIN 4150 bis maximal 80 Hz herangezogen.

	Beton 8 Hz		Beton 10 Hz		Beton 12,5 Hz		Beton 16 Hz		Beton 20 Hz		Beton 25 Hz		Beton31,5 Hz		Beton 40 Hz		Beton 50 Hz		Beton 63 Hz		Beton 80 Hz	
Lr (dB(A)):	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
	21,5	22,3	21,5	22,3	21,5	22,3	21,5	22,3	21,5	22,3	21,5	22,3	21,6	22,4	22,0	22,8	22,4	23,0	23,4	24,0	25,5	26,3