

Erschütterungstechnische Untersuchung zum Bebauungsplan „Baumstraße 8-12“ in Herne

Messung und Beurteilung der prognostizierten
Erschütterungsimmissionen gemäß DIN 4150, Teil 2
Bericht M 6610-1 vom 16.08.2019

Auftraggeber: Seniorenpark Herne GmbH
Schmalhorn 13
29308 Winsen / Aller

Bericht-Nr.: M 6610-1

Datum: 16.08.2019

Ansprechpartner/in: Herr Dr. Mertens

Dieser Bericht besteht aus insgesamt 33 Seiten,
davon 23 Seiten Text und 10 Seiten Anlagen.



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

VMPA anerkannte
Schallschutzprüfstelle
nach DIN 4109

Leitung:

Dipl.-Phys. Axel Hübel

Dipl.-Ing. Heiko Kremer-Bertram
Staatlich anerkannter
Sachverständiger für
Schall- und Wärmeschutz

Dipl.-Ing. Mark Bless

Anschriften:

Peutz Consult GmbH

Kolberger Straße 19
40599 Düsseldorf
Tel. +49 211 999 582 60
Fax +49 211 999 582 70
dus@peutz.de

Borussiastraße 112
44149 Dortmund
Tel. +49 231 725 499 10
Fax +49 231 725 499 19
dortmund@peutz.de

Carmerstraße 5
10623 Berlin
Tel. +49 30 92 100 87 00
Fax +49 30 92 100 87 29
berlin@peutz.de

Gostenhofer Hauptstraße 21
90443 Nürnberg
Tel. +49 911 477 576 60
Fax +49 911 477 576 70
nuernberg@peutz.de

Geschäftsführer:

Dr. ir. Martijn Vercammen
Dipl.-Ing. Ferry Koopmans
AG Düsseldorf
HRB Nr. 22586
Ust-IdNr.: DE 119424700
Steuer-Nr.: 106/5721/1489

Bankverbindungen:

Stadt-Sparkasse Düsseldorf
Konto-Nr.: 220 241 94
BLZ 300 501 10
DE79300501100022024194
BIC: DUSSEDDXXX

Niederlassungen:

Mook / Nimwegen, NL
Zoetermeer / Den Haag, NL
Groningen, NL
Paris, F
Lyon, F
Leuven, B

www.peutz.de

Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabenstellung.....	3
2	Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien.....	4
3	Örtliche Gegebenheiten und Betriebsprogramm.....	6
4	Beurteilungsgrundlagen für Erschütterung.....	8
4.1	Allgemeines.....	8
4.2	Beurteilungsgrößen für Schienenverkehr.....	10
5	Erschütterungsmessungen.....	12
5.1	Ort und Zeit der Messungen.....	12
5.2	Messgeräte.....	12
6	Auswerte- und Prognoseverfahren.....	13
6.1	Einflussgrößen für Erschütterungen.....	13
6.2	Beschreibung der Methodik.....	13
6.3	Prognoseunsicherheit.....	14
7	Prognose der Erschütterungsimmissionen.....	15
7.1	Prognose der Erschütterungsimmissionen (vertikale Richtung).....	15
7.1.1	Erschütterungsprognose auf Grundlage der Betriebsprognose 2025.....	15
7.1.2	Erschütterungsprognose auf Grundlage der Betriebsprognose 2030.....	16
7.2	Prognose und Beurteilung des sekundären Luftschallpegels.....	16
7.3	Aussagen zu Erschütterungsimmissionen (horizontale Richtung).....	18
7.4	Interpretation der Ergebnisse und Minderungsmaßnahmen.....	19
8	Zusammenfassung und Empfehlungen.....	21

1 Situation und Aufgabenstellung

Am 11.07.2019 wurden in der Bestandsbebauung (ehemalige Werkstatthalle) sowie auf dem Plangrundstück Erschütterungsmessungen durchgeführt. Darauf basierend werden die zu erwartenden Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen für die geplante Bebauung an der Baumstraße prognostiziert.

Anlage 1.2 zeigt einen Übersichtslageplan der Planung.

Die Ergebnisse dieser Messungen, der Erschütterungsprognose sowie deren Beurteilung sind im nachfolgenden Bericht dargestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchung werden gemäß DIN 4150 Teil 2 und der aktuellen Rechtslage für die Erschütterungen und in Anlehnung an die Anforderungen nach 24. BImSchV für die sekundären Luftschallimmissionen beurteilt.

Bei Überschreitungen der Anforderungen an die Erschütterungs- oder sekundären Luftschallimmissionen werden mögliche Maßnahmen zur Minimierung der Erschütterungsmissionen vorgeschlagen.

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- Schallschutzmaßnahmenve- rordnung	Geändert am 23.09.1997 und Begründung in Bundesratsdrucksache 363/96 vom 02.07.1996	V	04.02.1997
[3]	Erschütterungserlass Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen	Gemeinsamer RdErl. des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen u.a., IV A6 –46-63- vom 31.7.2000 und Änderung durch gem. RdErl. V-5- 882) (VNr. 6/03) vom -4.11.2003	RdErl .	31.07.2000 und 04.11.2003
[4]	DIN 4150, Teil 1	Erschütterungen im Bauwesen, Vorermittlungen von Schwingungsgrößen	N	Juni 2001
[5]	DIN 4150, Teil 2	Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	N	Juni 1999
[6]	DIN 4150, Teil 3	Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf bauliche Anlagen	N	Dezember 2016
[7]	DIN 45 669, Teil 1	Messung von Schwingungsimmissionen - Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung	N	September 2010
[8]	DIN 45 669, Teil 2	Messung von Schwingungsimmissionen - Messverfahren	N	Juni 2005
[9]	DIN 45 669, Teil 3	Messung von Schwingungsimmissionen - Prüfung (Kalibrierung und Beurteilung) der Schwingungsmesseinrichtung; Erstprüfung, Nachprüfung, Zwischenprüfung, Prüfung für den Messeinsatz	N	Juni 2006
[10]	DIN 45 672, Teil 1	Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen - Messverfahren	N	Dezember 2009

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[11]	DIN 45 672, Teil 2 Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen - Auswerteverfahren	N	Juli 1995
[12]	Materialien Nr. 22, Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs, Prognose und Schutzmaßnahmen Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Juli 1995, ISSN:0947-5206	Lit	Juli 1995
[13]	Taschenbuch der Technischen Akustik G. Müller, M. Möser (Hrsg.), 3. Auflage	Lit.	2003
[14]	Körperschall und Erschütterungsschutz, Leitfaden für den Planer, Beweissicherung, Prognose, Beurteilung und Schutzmaßnahmen Landesumweltamt NRW	Lit.	1999
[15]	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
[16]	DB Richtlinie 800.2502 „Erschütterung und sekundärer Luftschall, Messung und Prognose“ DB AG, Abt. Bautechnik, Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik, TZF 12	Lit.	2016-11-01
[17]	Urteil des Bundesverwaltungsgerichts (BVerwG) zum Ausbau einer Eisenbahnstrecke; Schutz gegen Erschütterungen und sekundären Luftschall Aktenzeichen 7 A 14/09	Lit.	21.12.2010
[18]	Planunterlagen des Bauvorhabens Zur Verfügung gestellt durch den Auftraggeber	P	04.03.2019

Kategorien:

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

M 6610-1
16.08.2019

3 Örtliche Gegebenheiten und Betriebsprogramm

Auf Grundlage der geplanten Bebauung wird für die Beurteilung der Immissionen gemäß DIN 4150-2 die Schutzbedürftigkeit eines allgemeinen bzw. reinen Wohngebiets zu Grunde gelegt.

Auf den DB-Strecken nördlich des Plangrundstücks verkehren Personen- und Güterzüge. In Bezug auf das umliegende Gelände befindet sich die Bahntrasse auf einem Damm in Hochlage. Die Streckenbelastung (vgl. Tabelle 3.3 und 3.4) für die Prognose der Erschütterungsimmissionen wurde einerseits mit dem Betriebsprogramm Prognose 2025 der Deutschen Bahn AG berücksichtigt, so wie in der schalltechnischen Untersuchung zum Planvorhaben. andererseits wird auch eine Erschütterungsprognose auf Grundlage des Betriebsprogramms Prognose 2030 der Deutschen Bahn AG erstellt, da diese die aktuellere Datengrundlage darstellt..

Tabelle 3.1: Zugprogramm Prognose 2025 der Strecke 2208

Zugart	Anzahl	
	Tag (6 – 22 Uhr)	Nacht(22 – 6 Uhr)
Güterzug GZ	22	23
S-Bahn S	32	2
Regionalzug RV	60	4
gesamt	114	29

Tabelle 3.2: Zugprogramm Prognose 2025 der Strecke 2650

Zugart	Anzahl	
	Tag (6 – 22 Uhr)	Nacht(22 – 6 Uhr)
S-Bahn S	64	20
Regionalzug RV	31	11
gesamt	95	31

Tabelle 3.3: Zugprogramm Prognose 2030 der Strecke 2208

Zugart	Anzahl	
	Tag (6 – 22 Uhr)	Nacht(22 – 6 Uhr)
Güterzug GZ	6	4
Regionalzug RV	32	4
gesamt	38	8

Tabelle 3.4: Zugprogramm Prognose 2030 der Strecke 2650

Zugart	Anzahl	
	Tag (6 – 22 Uhr)	Nacht(22 – 6 Uhr)
GZ	31	10
S-Bahn S	70	24
Regionalzug RV	58	14
gesamt	159	48

4 Beurteilungsgrundlagen für Erschütterung

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 sogenannten „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 $\tau = 0,125$ 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 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 $\leq 0,1$ 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.

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 Erschütterungsimmissionen durch Schienenverkehr sind nach Kapitel 4.1 zu beurteilen und mit den Anhaltswerten der Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 (siehe hier Tabelle 4.2) zu vergleichen. Hierbei sind die Besonderheiten nach Punkt 6.5.3.1, 6.5.3.2, 6.5.3.4 und 6.5.3.5. der DIN 4150, Teil 2 zu beachten, welche u.a. dem oberen Anhaltswert A_o eine neue Bedeutung verleihen (siehe Anmerkung Tabelle 4.2).

Zuschläge für Einwirkungen innerhalb der Ruhezeiten sind hierbei nicht anzuwenden (DIN 4150, Teil 2, Abschnitt 6.5.3.1).

Tabelle 4.2: Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2, Tabelle 1, Abschnitt 6.5.3.5**.

Einwirkungsgrad		A_u		A_o		A_r	
		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2, Tabelle 1, mit Abschnitt 6.5.3.3 und 6.5.3.5**.	Zeile 2 Δ GE	0,3	0,2	6	0,6*	0,15	0,1
	Zeile 3 Δ MI/MK	0,2	0,15	5	0,6*	0,1	0,07
	Zeile 4 Δ WR/WA	0,15	0,1	3	0,6*	0,07	0,05

* Für Schienenverkehr hat der obere Anhaltswert A_o nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen zum Nachtzeitraum einzelne Ereignisse über dem oberen Anhaltswert, so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z.B. Flachstelle an den Rädern) und diese möglichst rasch zu beheben. Diese hohen Werte sind jedoch bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} zu berücksichtigen.

**Für Neuplanungen werden die in Abschnitt 6.5.3.3 der DIN 4150, Teil 2 für Schienenwege, welche ausschließlich von Schienenfahrzeugen des Nahverkehrs befahren werden, (z.B. U-Bahnen, Stadtbahn) um den Faktor 1,5 angehobenen Werte für A_u und A_r nicht berücksichtigt.

Bezüglich des Erschütterungsschutzes von Verkehrswegen existieren im Gegensatz zum Verkehrslärm keine rechtsverbindlich festgelegten Grenzwerte und Beurteilungskriterien. Auch die für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen hier hilfsweise herangezogene DIN 4150, Teil 2, kann ausweislich der Anmerkungen unter Abschnitt 6.5.3.4 dieser Norm auf bestehende Bahnstrecken nicht unmittelbar angewendet werden.

Bei städtebaulichen Planungen wird in Abschnitt 6.5.3.4. der DIN 4150-2 empfohlen, zusätzlich zu den genannten Beurteilungskriterien auch die Einhaltung des unteren Anhaltswertes A_u aus Tabelle 4.2 anzustreben. Dies bedeutet, dass bereits der Taktmaximalwert KB_{FTI} für die *einzelne* Zugvorbeifahrt nach Möglichkeit den unteren Anhaltswert A_u unterschreiten sollte. Im Gegensatz zu der Anforderung an die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTI} , welche einen über den gesamten Beurteilungszeitraum gemittelten Wert darstellt, ist diese Forderung an den Taktmaximalwert KB_{FTI} damit unabhängig von der Anzahl der Zugvorbeifahrten.

Bezogen auf allgemeine oder reine Wohngebiete (WA / WR) bedeutet die empfohlene Unterschreitung des unteren Anhaltswertes beispielsweise, dass kein einziger im Nachtzeitraum verkehrender Zug Erschütterungsimmissionen oberhalb der sogenannten Fühlschwelle von $KB = 0,1$ verursachen sollte.

Erfahrungsgemäß können bereits in großen Abständen zu Zugstrecken Erschütterungsimmissionen oberhalb der sog. Fühlschwelle auftreten. In innerstädtischen Situationen ist eine Einhaltung der o.a. Forderung nach Unterschreitung der Fühlschwelle von $KB = 0,1$ meist nur durch sehr aufwändige Maßnahmen, wie der Lagerung der Gebäude auf Stahlschraubenfedern, möglich, was je nach vorliegender Zugfrequentierung unverhältnismäßig erscheint.

Akzeptable Wohn- und Arbeitsverhältnisse sind weitestgehend bereits bei Einhaltung der Anforderungen der DIN 4150-2 an die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTI} erreicht.

Für die vorliegende Planung wird daher geprüft, ob und ggf. unter welchen Maßnahmen eine Einhaltung des mittleren Anhaltswertes A_r der o.a. Norm erreicht werden kann. Zusätzlich werden Hinweise gegeben, ob und unter welchen Maßnahmen auch eine Einhaltung des unteren Anhaltswertes A_u möglich ist.

5 Erschütterungsmessungen

5.1 Ort und Zeit der Messungen

Die Erschütterungsmessung wurde am 11.07.2019 auf dem Planungsgrundstück durchgeführt (vgl. Anlage 1).

Messpunkte (MP) wurden sowohl innerhalb des bestehenden Gebäudes am Fundament (Messpunkt 1 - MP 1) als auch auf der Fläche neben dem Gebäude installiert (MP 2).

Der Fundamentmesspunkt MP 2 befand sich auf der Höhe von MP 1 (ca. 30m südliche der Gleisachse des südlichen Gleises der Strecke 2208).

Eine detaillierte Beschreibung der Messumgebung und des Messaufbaus ist in Anlage 1 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 [14] durchgeführt.

Die Ankopplung der Messaufnehmer erfolgte über Dreipunktlager gemäß DIN 45669 an den Boden.

Die Erschütterungsimmissionen wurden mittels Geophonen (Schwingungsmesser nach DIN 45669 A3HV 315/1) mit einem computergestützten Messsystem der Firma M. Beitzer Messtechnik (System 9800) aufgezeichnet. Die eingesetzte Messkette ist im Datenanhang dargestellt.

Die Frequenzanalysen erfolgten mittels der Auswertesoftware (System 9800) der Firma M. Beitzer Messtechnik.

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.

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

Zur Bestimmung der Übertragung der Erschütterungen auf die geplante Bebauung werden theoretische Ansätze aus der Literatur [16] herangezogen.

6.2 Beschreibung der Methodik

Die Prognosen der Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen erfolgen auf Basis der vorliegenden Planung.

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

In einem ersten Schritt wurden für die Vorbeifahrten der Züge Frequenzanalysen (Terz-F-max) durchgeführt und diese anschließend für jeden Zugtyp und jedes Gleis getrennt energetisch gemittelt. Diese gemittelten Terz-F-max Frequenzspektren gehen als Eingangsdaten für die Prognose der ersten Baureihe 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 einer Vorbeifahrt 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 dem zu untersuchenden Gebäude werden theoretische Ansätze aus der Literatur herangezogen.

Es können sich in den detailliert dargestellten Berechnungen in den Anlagen scheinbare Rechenfehler um 0,1 dB in den spektralen Darstellungen ergeben. Diese rühren aus der Tatsache, dass intern mit genaueren Zahlen gerechnet wurde, als in den auf eine Nachkommastelle gerundeten Werten, welche in den Anlagen dargestellt werden.

Weiterhin können sich durch das eingesetzte spektrale Prognoseverfahren Unterschiede in den berechneten Beurteilungsschwingstärken KB_{FTr} für die rechnerische Nachbildung der Messsituation gegenüber der aus den Messwerten direkt berechneten Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} ergeben. Ursächlich hierfür ist der Einsatz von Terz-F-Max Spektren welche in der Regel eine Prognose auf der sicheren Seite ergeben (siehe oben).

Im nachfolgenden Kapitel sind die zusammengefassten Ergebnisse der Erschütterungsmessung und der Prognose für das Plangebäude für allgemeine Übertragungsfunktionen aus der Literatur angegeben.

6.3 Prognoseunsicherheit

Die generelle messtechnische Unsicherheit bei der Ermittlung von KB_F -Werten kann gemäß DIN 4150 Teil 2 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, 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.

7 Prognose der Erschütterungsimmissionen

7.1 Prognose der Erschütterungsimmissionen (vertikale Richtung)

Für eine Prognose der Erschütterungssituation innerhalb der geplanten Gebäude werden die gemessenen Schwingungsanregungen am Fundamentmesspunkt (MP 1) zugrunde gelegt. Das künftige Gebäude wird im Vergleich einen um ca. 15 m größeren Abstand zur Schienestrecke aufweisen als das Gebäude im Bestand. Die zusätzliche Abstandsdämpfung für die Erschütterungseinwirkung auf die geplante Bebauung ist bei dieser vergleichbar geringen Verschiebung für Wellenlängen im unteren Frequenzbereich nur schwer einzuschätzen und wird in den Prognosen vernachlässigt (worst-case Betrachtung).

7.1.1 Erschütterungsprognose auf Grundlage der Betriebsprognose 2025

Ermittelt man aus den Messdaten an Messpunkt 1 am Fundament der Bestandsbebauung in Verbindung mit dem Betriebsprogramm Prognose 2025 (vgl. Tabelle 3.1 und 3.2) der DB-Strecken die zukünftige Erschütterungssituation, so ergeben sich für unterschiedliche Deckenaufbauten die in der nachfolgenden Tabelle 7.1 aufgeführten Beurteilungsschwingstärken (KB_{FTF}).

Die zu Grunde liegenden Prognosen (Emissionsspektren, Übertragungsfunktionen und Immissionsspektren) sind in Anlage 2 für Eigenfrequenzen im Bereich von 12,5 Hz bis 25 Hz ausführlich dargestellt.

Tabelle 7.1: Prognostizierte Erschütterungsimmissionen Prognose 2025

Deckenaufbau, Eigenfrequenz	KB_{FTF}		$A_{r(WA)}$		$KB_{FTF} \leq A_{r(WA)}$	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Betondecke, 12,5 Hz	0,044	0,049	0,07	0,05	Ja	Ja
Betondecke, 16 Hz	0,056	0,066	0,07	0,05	Ja	Nein
Betondecke, 20 Hz	0,044	0,054	0,07	0,05	Ja	Nein
Betondecke, 25 Hz	0,029	0,034	0,07	0,05	Ja	Ja

Die Übertragungsfunktionen für der gewählten Deckeneigenfrequenzen berücksichtigen die Emissionsspektren der Bahnstrecke. Durch die charakteristische Anregung der Züge ist davon auszugehen, dass die höchsten Immissionen für Deckenaufbauten mit einer Eigenfrequenz zwischen 16 Hz – 20 Hz auftreten werden. Bei Decken mit einer Eigenfrequenz außerhalb dieses Bereichs ist von geringeren Erschütterungsimmissionen auszugehen.

Bei dieser Betrachtung werden für Deckeneigenfrequenzen im Bereich 16 Hz – 20 Hz Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 im Nachtzeitraum prognostiziert.

Eine Interpretation der Prognoseergebnisse auf Grundlage dieser Betrachtung und Maßnahmenempfehlungen zum Erschütterungsschutz werden in Abschnitt 7.4 dargestellt.

7.1.2 Erschütterungsprognose auf Grundlage der Betriebsprognose 2030

Ermittelt man analog zu Abschnitt 7.1.1 aus den Messdaten an Messpunkt 1 in Verbindung mit dem Betriebsprogramm Prognose 2030 (vgl. Tabelle 3.3 und 3.4) die zukünftige Erschütterungssituation, so ergeben sich für unterschiedliche Deckenaufbauten die in der nachfolgenden Tabelle 7.2 aufgeführten Beurteilungs-Schwingstärken (KB_{FTr}).

Die zu Grunde liegenden Prognosen (Emissionsspektren, Übertragungsfunktionen und Immissionsspektren) sind in Anlage 3 für Eigenfrequenzen 12,5 Hz bis 25 Hz ausführlich dargestellt.

Tabelle 7.2: Prognostizierte Erschütterungsmissionen Prognose 2030

Deckenaufbau, Eigenfrequenz	KB_{FTr}		$A_{r(WA)}$		$KB_{FTr} \leq A_{r(WA)}$	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Betondecke, 12,5 Hz	0,039	0,032	0,07	0,05	Ja	Ja
Betondecke, 16 Hz	0,053	0,045	0,07	0,05	Ja	Ja
Betondecke, 20 Hz	0,033	0,030	0,07	0,05	Ja	Ja
Betondecke, 25 Hz	0,025	0,021	0,07	0,05	Ja	Ja

Im Gegensatz zur vorherigen Prognose werden keine Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 4150-2 für die betrachteten Deckenaufbauten prognostiziert.

Eine Interpretation der Prognoseergebnisse wird in Abschnitt 7.4 dargestellt.

7.2 Prognose und Beurteilung des sekundären Luftschallpegels

Durch den empirische Zusammenhang zwischen auftretendem Schwingschnellepegel und dem Sekundärluftschallpegel können die zu erwartenden sekundären Luftschallimmissionen analog zur Prognose der auftretenden Erschütterungsmissionen ermittelt werden.

Aus den Regularien der 24. BImSchV lassen sich mittlere Innenraumpegel von 40 dB(A) (tags) für Wohnräume und 30 dB(A) (nachts) für Schlafräume als Zumutbarkeitsschwelle

ableiten. Hierbei erfolgt keine Unterscheidung hinsichtlich der Gebietsnutzung. In der nachfolgenden Tabelle 7.3 und 7.4 sind die prognostizierten Sekundärluftschallimmissionen innerhalb der geplanten Bebauung auf Grundlage des Fundamentsmesspunktes (MP 1) aufgeführt.

Tabelle 7.3: Prognostizierte Sekundärluftschallimmissionen Prognose 2025

Deckenaufbau, Eigenfrequenz	L _r in dB(A)		A _r in dB(A)		Einhaltung		L _{max} in dB(A)
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	
Betondecke, 12,5 Hz	18,5	19,0	40	30	Ja	Ja	31,6
Betondecke, 16 Hz	19,5	20,1	40	30	Ja	Ja	32,8
Betondecke, 20 Hz	20,2	21,0	40	30	Ja	Ja	33,7
Betondecke, 25 Hz	20,5	20,9	40	30	Ja	Ja	33,6

Tabelle 7.4: Prognostizierte Sekundärluftschallimmissionen Prognose 2030

Deckenaufbau, Eigenfrequenz	L _r in dB(A)		A _r in dB(A)		Einhaltung		L _{max} in dB(A)
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	
Betondecke, 12,5 Hz	18,1	16,1	40	30	Ja	Ja	31,5
Betondecke, 16 Hz	19,3	17,4	40	30	Ja	Ja	32,8
Betondecke, 20 Hz	19,5	17,7	40	30	Ja	Ja	33,7
Betondecke, 25 Hz	20,2	18,2	40	30	Ja	Ja	33,6

Die Prognose des sekundären Luftschalls zeigen, dass von einer Einhaltung an die Anforderungen für sekundäre Luftschallimmissionen (vgl. Tabelle Tabelle 7.3) ausgegangen werden kann. Die Maximalpegel bei den Vorbeifahrten von Güterzügen können bis zu 33,7 dB(A) in den Innenräumen betragen. Diese möglicherweise auftretenden Maximalpegel von bis zu 33,7 dB(A) sind zwar rechtlich zulässig, jedoch deutlich wahrnehmbar.

7.3 Aussagen zu Erschütterungsimmissionen (horizontale Richtung)

Erschütterungen und Schwingungen, die in horizontaler Richtung auf ein Gebäude einwirken, können zu horizontalen Schwingungen der Gebäudestruktur führen. Innerhalb eines Gebäudes können diese Schwingungen gut wahrnehmbar sein und je nach Erwartungshaltung des Empfängers als störend empfunden werden können. Auch höher Frequente Erschütterungen / Körperschall der über eingebetteten Außenwände in die Gebäude weitergeleitet wird, kann als störender sekundärer Luftschall wahrgenommen werden.

Horizontale Gebäudeschwingungen können angeregt werden, wenn die horizontalen Eigenformen des Gebäudes bzw. die Kipp-Eigenfrequenz des im Boden eingebetteten Gebäudes mit der Frequenz der Anregung (z.B. Güterzugverkehr) übereinstimmt. Diese dynamischen Eigenschaften eines Gebäudes hängen stark von seiner Geometrie (Breite, Höhe und Länge) der Gebäudesteifigkeit und anderen Faktoren ab. Für mehrgeschossige Gebäude, je nach Geometrie, liegen die horizontal anregbaren Frequenzen für gewöhnlich im unteren Frequenzbereich der Terzschnellespektren (ca. 3 Hz bis 6 Hz).

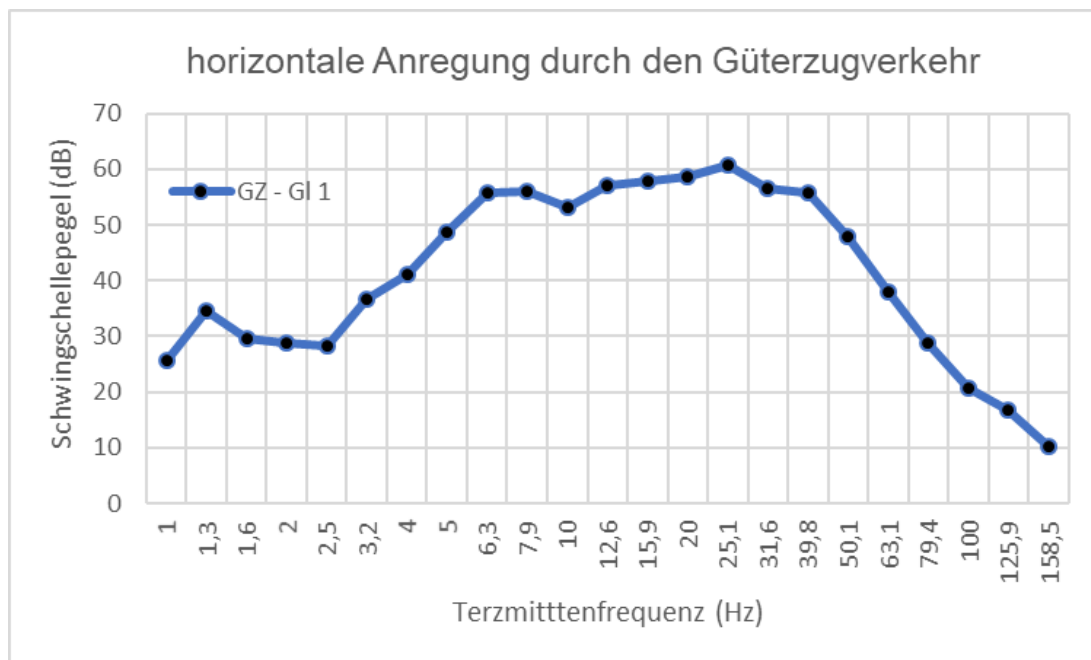


Abbildung 7.1: horizontale Erschütterungsanregung (Max-Hold Spektrum) durch den Güterzugverkehr.

Aus den Terzschnellespektren (vgl. Abbildung 7.1) ist ersichtlich, dass Erschütterungsanregungen durch Güterzugvorbeifahren (> 55 dB) bei ca. 6 Hz bis 8 Hz vorliegen. Ob hierdurch horizontale Gebäudeschwingungen angeregt werden können, hängt in erster Linie von der horizontalen Transferfunktion der geplanten Gebäude ab, die zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht bekannt ist.

7.4 Interpretation der Ergebnisse und Minderungsmaßnahmen

Für Deckenaufbauten mit einer Eigenfrequenz außerhalb des Frequenzbereichs von 16 Hz – 20 Hz können die Anhaltswerte der DIN 4150-2, unter Berücksichtigung der Dämpfung des vorhandenen Fundaments, in der Prognose 2025 (vgl. Tabelle 7.1) eingehalten werden.

Durch die Verlagerung des Güterzugverkehrs in der Prognose 2030 von der Strecke 2208 auf die räumlich weiter entfernte Strecke 2650, wird eine Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150-2 für das Jahr 2030 prognostiziert (vgl. Tabelle 7.2). Es wird allerdings darauf hingewiesen, dass es sich hierbei lediglich um eine Betrachtung auf Grundlage eines Prognosebetriebsprogrammes handelt. Sollte die Verlagerung des Güterzugverkehrs im Jahr 2030 nicht eintreten, so ist weiterhin mit Überschreitungen der Anhaltswerte für bestimmte Deckenaufbauten (vgl. Tabelle 7.1) zu rechnen.

Gebäudefundamente besitzen die dynamische Eigenschaft, Erschütterungsimmissionen im Übergang vom Erdboden auf das Gebäude zu mindern (Gebäudeübertragungsfunktion). Folgende konstruktive Maßnahmen können in Betracht gezogen werden, um eine Einhaltung der Anhaltswerte auf Grundlage der Prognose 2025 (vgl. Tabelle 7.1) erreichen zu können:

- Aufgrund der Emissionscharakteristik sind Deckenaufbauten mit einer Eigenfrequenz im Bereich von 16 Hz bis 20 Hz am stärksten von den Erschütterungsimmissionen durch den Zugverkehr betroffen. Die Eigenfrequenzen der Decken von Räumen, die für Wohnzwecke ausgelegt werden sollen, sollte mehr als 25 Hz oder weniger als 16 Hz betragen
- Eine Minderungswirkung durch den Übergang von Erdboden auf das Fundament des Bestandsgebäudes wurde messtechnisch festgestellt. Eine für die geplante Bebauung ausgelegte und dimensionierte Bodenplatte/Fundamentplatte oder Lagerung unterhalb der geplanten Gebäude führt zu einer Reduzierung der Erschütterungsimmissionen und erhöht den Nutzungskomfort der geplanten Bebauung.

Für ein Massivwandraster aus Beton von 4 m x 4 m und einer Deckendicke von ca. 20 cm ergibt sich eine theoretische Eigenfrequenzen von ca. 40 Hz. Eine Raster mit geringeren Abstände bzw. größeren Deckendicken führen zu höheren Eigenfrequenzen.

Eine Abschirmbarriere (Schlitzwand) im Ausbreitungsweg zwischen Eisenbahnstrecke und geplanten Gebäuden kann zu einer Reduzierung der Erschütterungsimmissionen führen. Die frequenzabhängig Minderungswirkung hängt hierbei von vielen Faktoren u.a. der Länge, Dicke und Tiefe der Barriere, dem Material und dem Abstand zu den Gebäuden ab. Nur sehr weiches oder sehr steifes Material mit monolithischem Aufbau führt zu einer Minderungswirkung. Eine Seitenwandentkopplung kann bei Gebäuden mit einem Fundament unterhalb der Geländoberkante die Körperschalleinleitung in die

Gebäudestruktur reduzieren und somit den sekundären Luftschall mindern. Auch durch eine entsprechend ausgelegte Kellerwand kann die horizontale Körperschalleinleitung in das Gebäude reduziert werden. Diese Maßnahmen sind insbesondere bei einer horizontalen Erschütterungsproblematik geeignet, um eine Minderungswirkung zu erzielen.

8 Zusammenfassung und Empfehlungen

Die vorliegenden Erschütterungsprognosen zeigen, dass durch die Emissionscharakteristik der Zugvorbeifahrten in Verbindung mit der Frequentierung der Strecke (Prognose 2025) Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 4150-2 in der geplanten Bebauung möglich sind.

Um der Problematik in der weiteren Planung zu begegnen, wird empfohlen folgende Punkte, z.B. durch eine baulastdynamische Begleitung, zu berücksichtigen:

- Aufgrund der Emissionscharakteristik sind Deckenaufbauten mit einer Eigenfrequenz im Bereich von 16 Hz bis 20 Hz am stärksten von den Erschütterungsimmissionen durch den Zugverkehr betroffen. Die Eigenfrequenzen der Decken von Räumen, die für Wohnzwecke ausgelegt werden sollen, sollte mehr als 25 Hz oder weniger als 16 Hz betragen. Ein Massivwandraaster aus Beton von 4 m x 4 m in Verbindung mit einer Deckendicke von ca. 20 cm ergibt eine theoretische Eigenfrequenzen von ca. 40 Hz.
- Eine Minderungswirkung durch den Übergang vom Erdboden auf das Fundament des Bestandsgebäudes wurde messtechnisch festgestellt. Eine für die geplante Bebauung ausgelegte und dimensionierte Bodenplatte/Fundamentplatte oder Lagerung unterhalb der geplanten Gebäude führt zu einer Reduzierung der Erschütterungsimmissionen und kann den Nutzungskomfort der geplanten Bebauung erhöhen.

Mit Berücksichtigung der aktuelleren Betriebsprognose für das Jahr 2030 werden die Anforderungen für alle betrachteten Deckenaufbauten eingehalten.

Die Prognosen der sekundären Luftschallimmissionen für die geplante Bebauung zeigt, dass für alle Deckenaufbauten und beide Prognosezeiträume die Anforderungen ohne zusätzliche Maßnahmen voraussichtlich eingehalten werden können.

Für eine präzise Einschätzung der vertikalen/horizontalen Erschütterungsproblematik, ist zu empfehlen, die geplante Gebäudestruktur in einer späteren Planungsphase bzgl. ihrer Dynamik zu untersuchen.

Peutz Consult GmbH

ppa. Dipl.-Ing. Mark Bless
(Messstellenleitung)

i.A. Dipl.-Phys. Dr. Felix Mertens
(Projektbearbeitung)

M 6610-1
16.08.2019

Seite 21 von 23

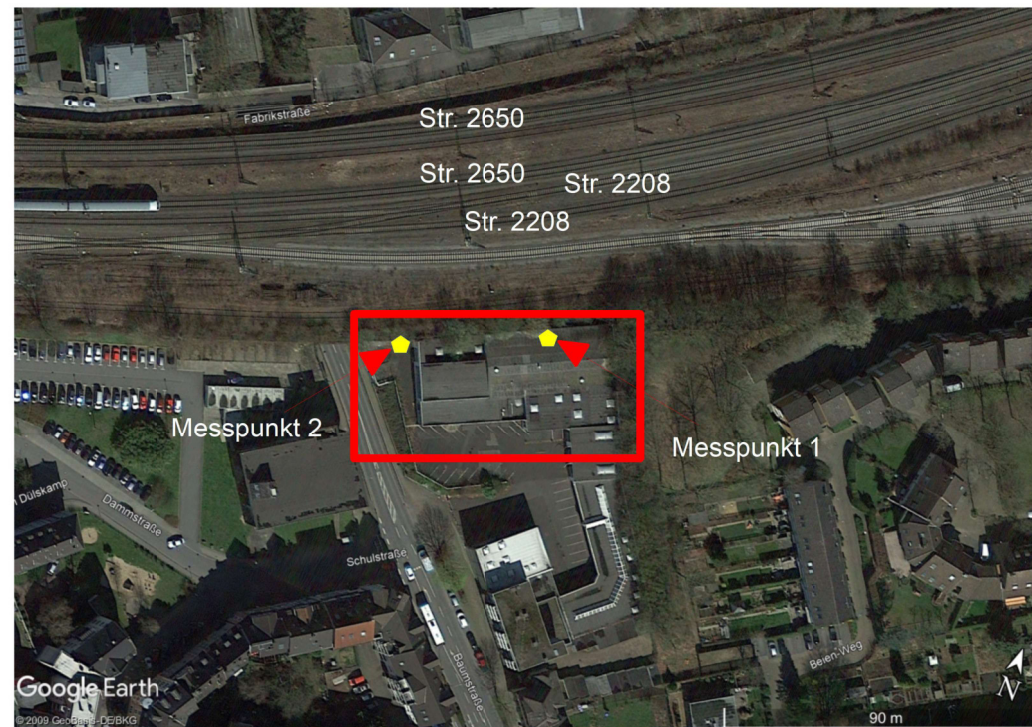
Anlagenverzeichnis

Anlage 1 Übersichtslagepläne und Dokumentation

Anlage 2 Erschütterungsprognose auf Grundlage der Betriebsprognose 2025

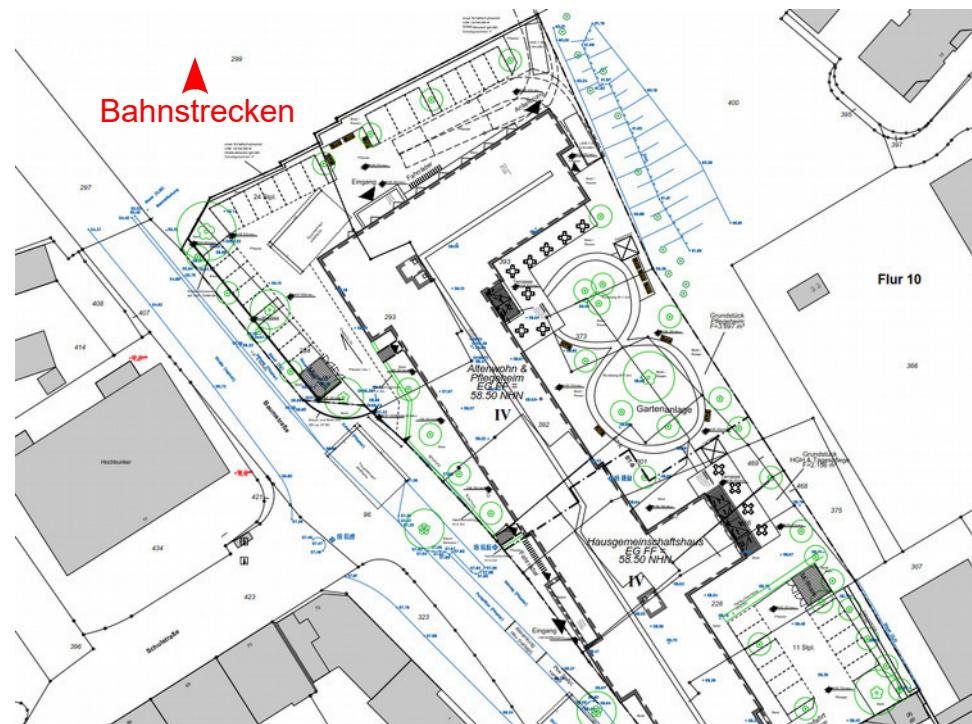
Anlage 3 Erschütterungsprognose auf Grundlage der Betriebsprognose 2030

Baumstraße in Herne
11.07.2019



Übersichtslageplan

Übersicht Bauantrag für den Neubau Baumstraße 8 -12



Plan aus Bauantrag für das Bauvorhaben



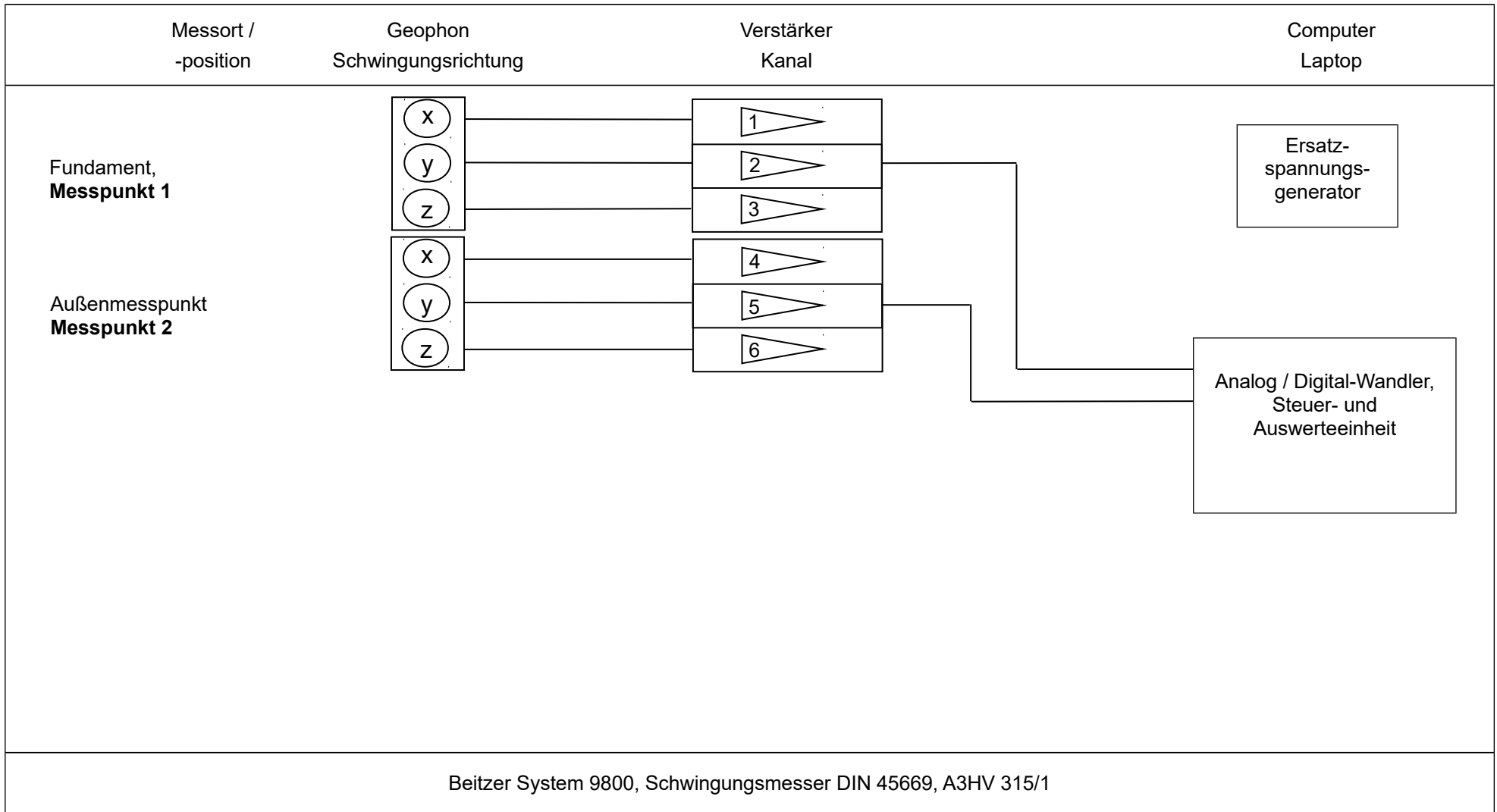
Abbildung 1: Außenansicht



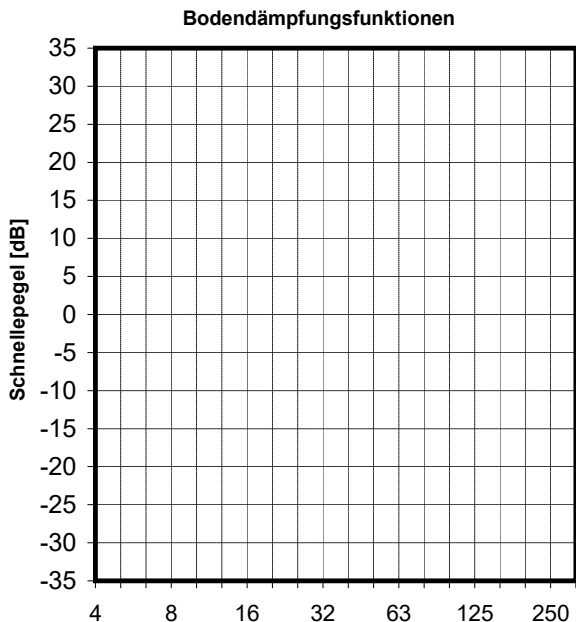
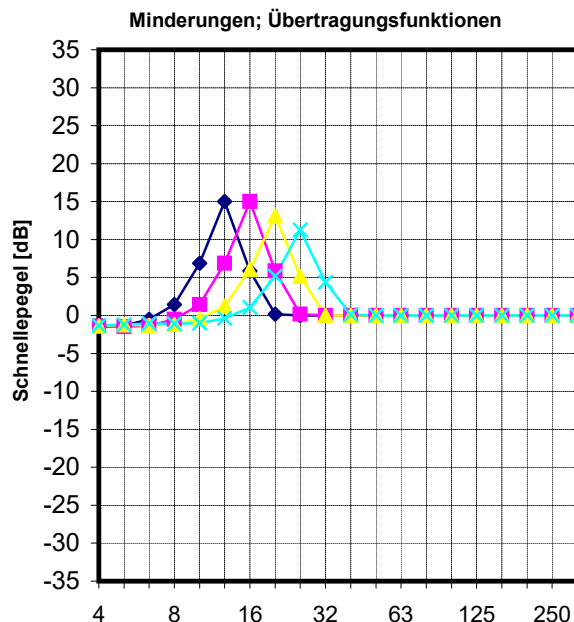
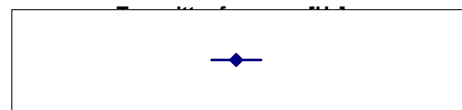
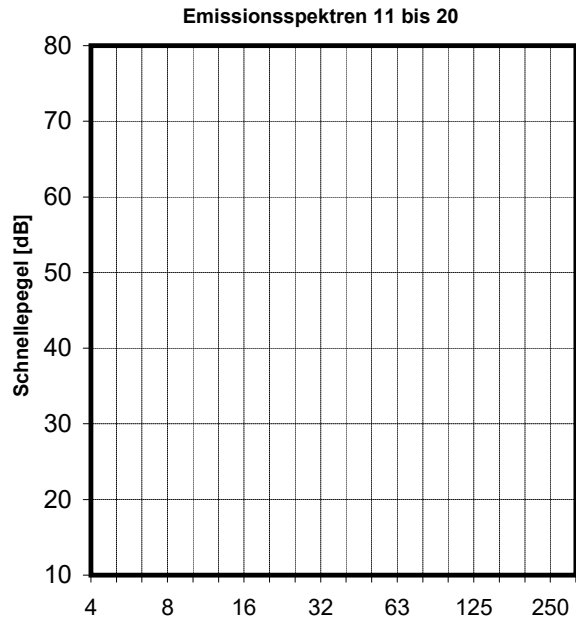
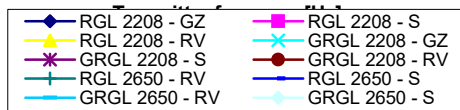
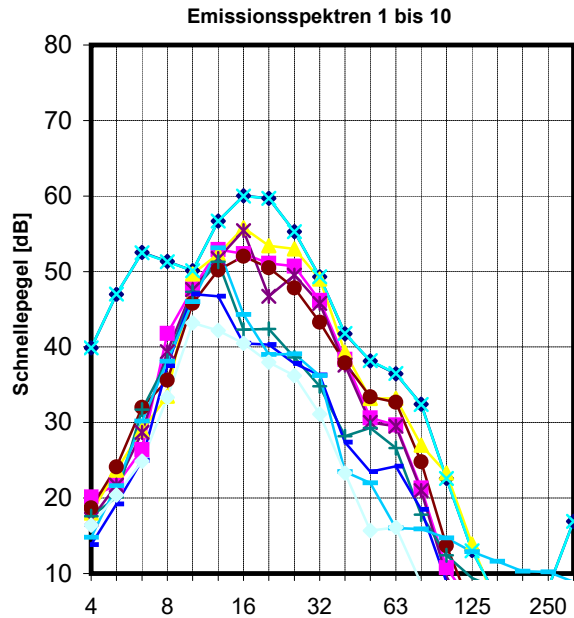
Abbildung 2: Messpunkt 1, K1-3
Fundament



Abbildung 3: Messpunkt 2, K4-6
Außenmesspunkt

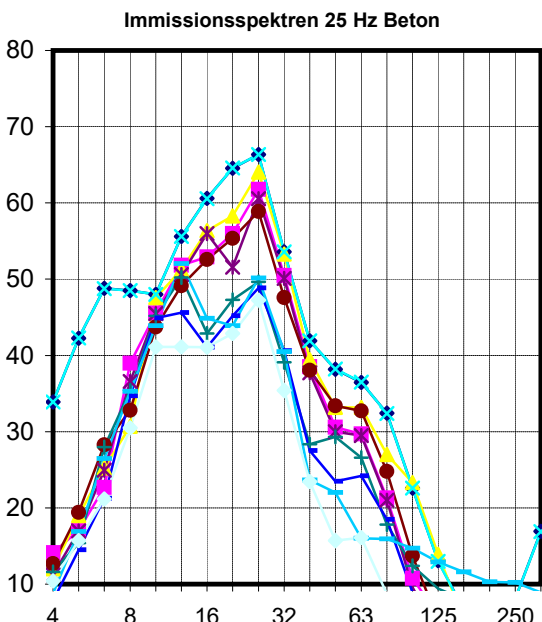
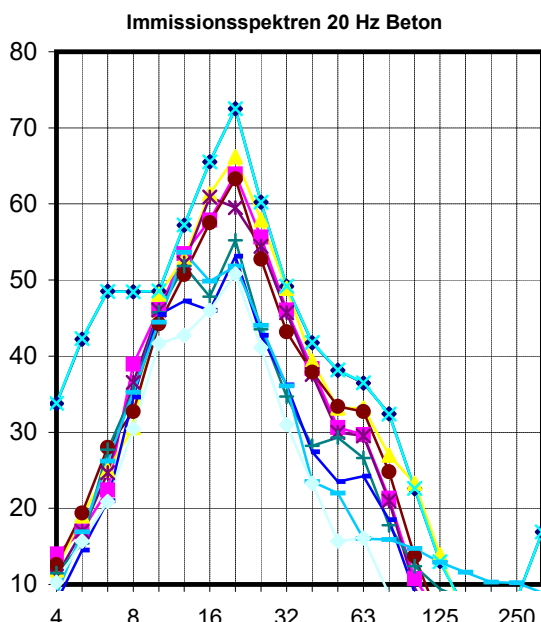
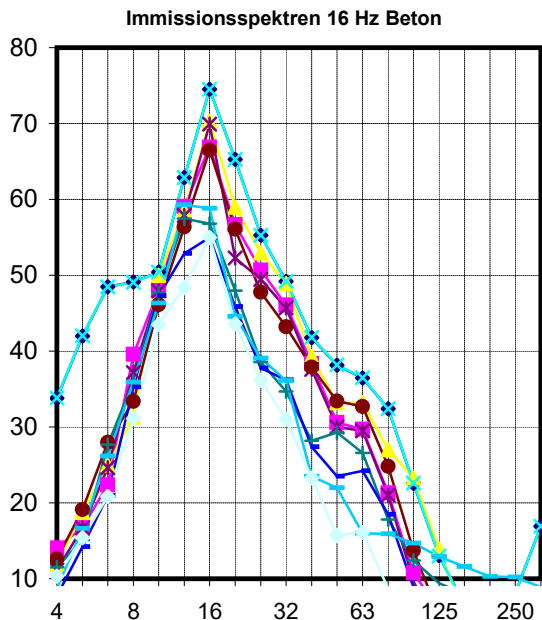
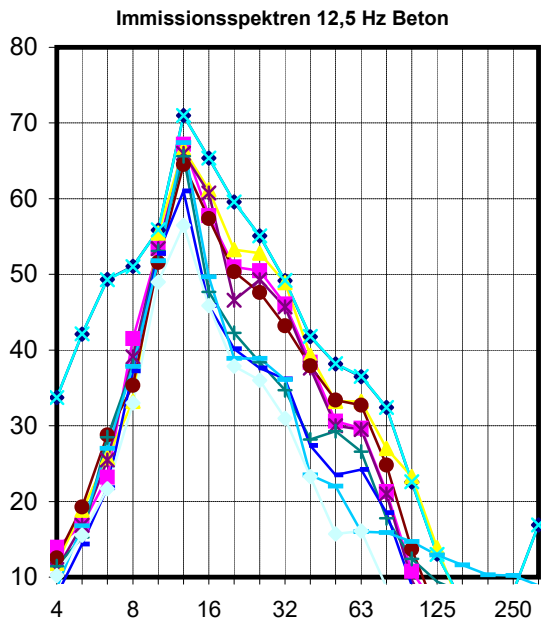


Eingangsdaten zur Prognose 2025; Herne Baumstraße



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

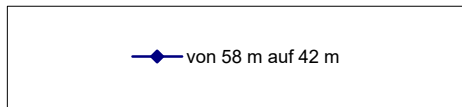
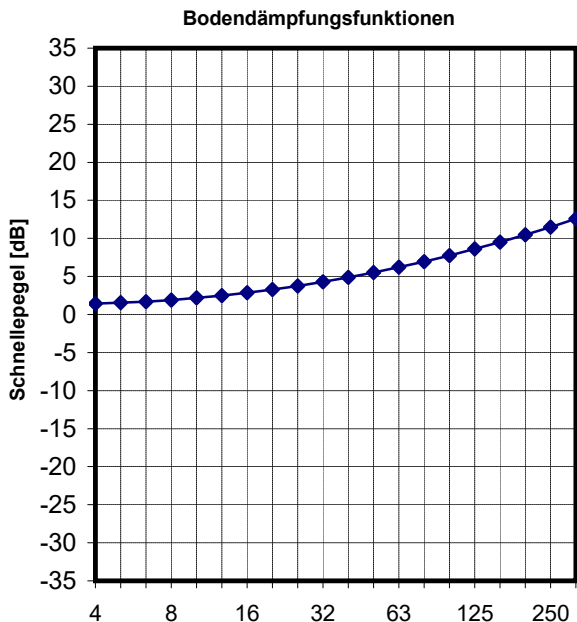
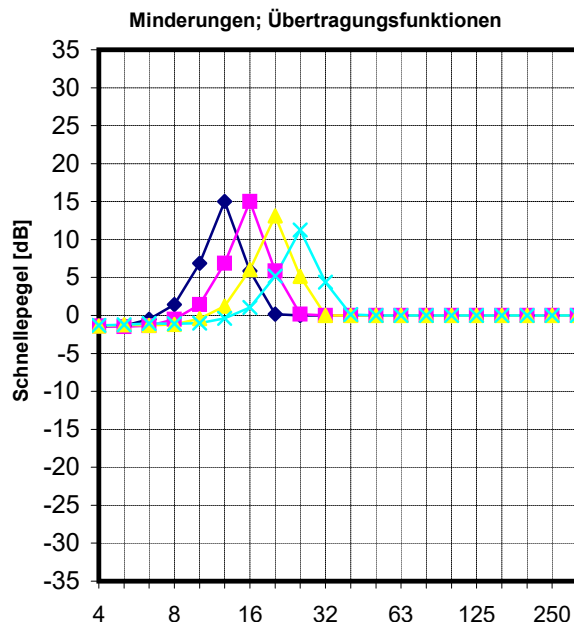
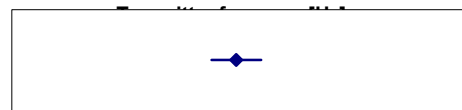
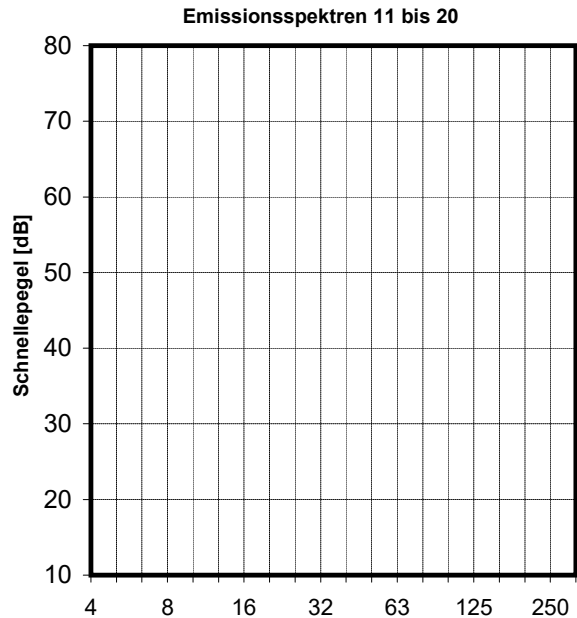
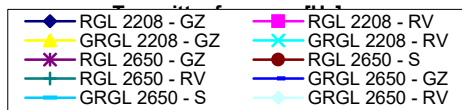
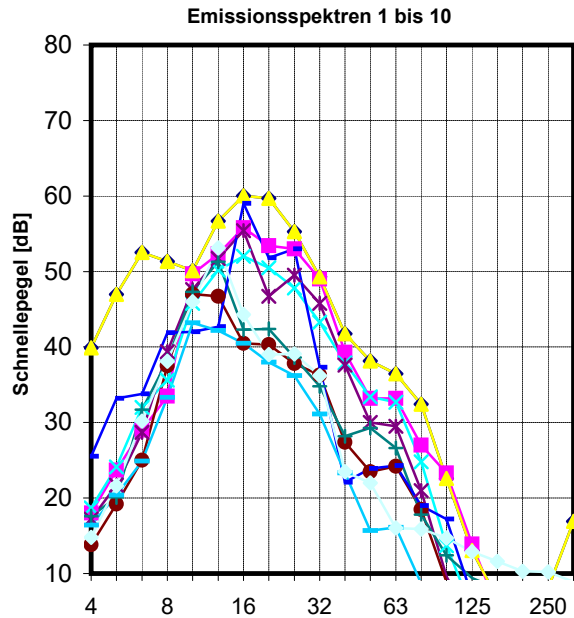
Eingangsdaten zur Prognose 2025; Herne Baumstraße



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

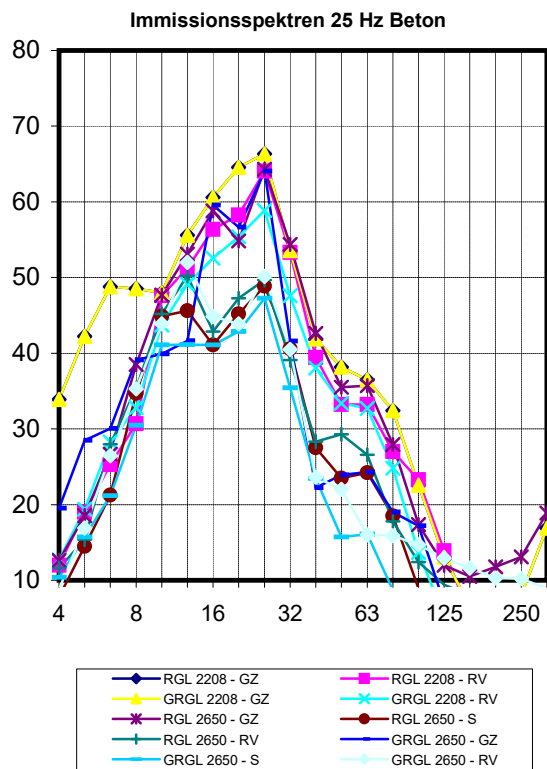
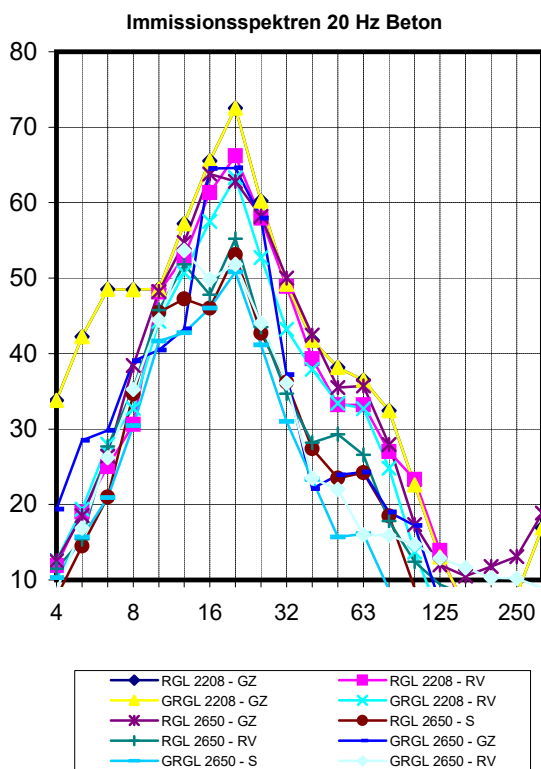
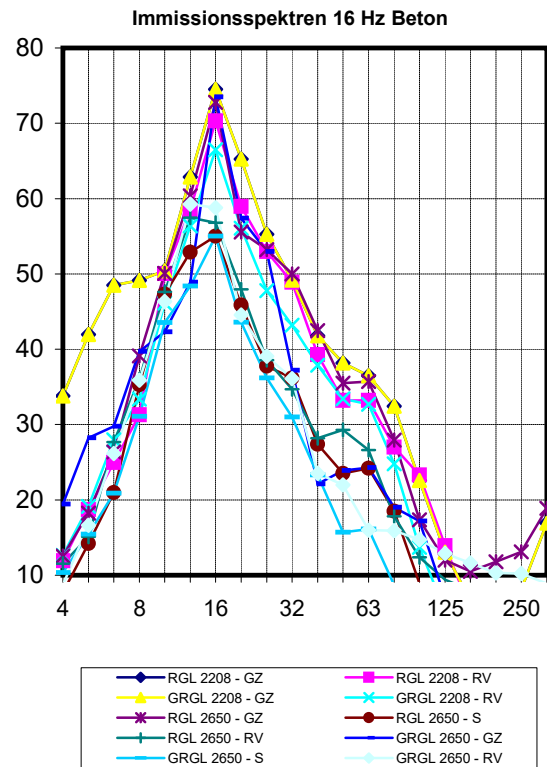
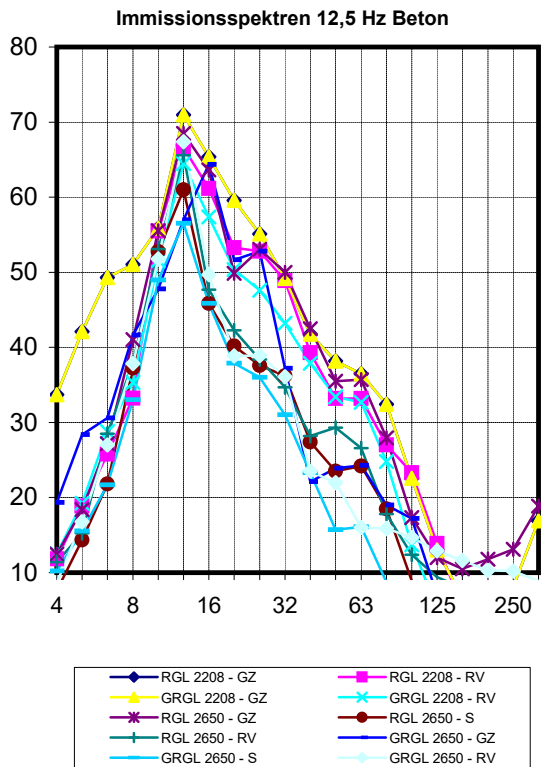
Berechnung der Immissionen 2025; Herne Baumstraße																														
Frequenz [Hz]	4				8				16				32				63				125				250				Anzahl Ereignisse	
																									Tag	Nacht				
Emissionsspektren																														
RGL 2208 - GZ	37,7	39,9	47,0	52,5	51,3	50,1	56,7	60,0	59,7	55,3	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9							11	12	
RGL 2208 - S	18,8	20,1	21,7	26,4	41,8	47,7	52,9	52,4	51,1	50,7	46,2	38,4	30,6	29,7	21,3	10,8	5,9	5,5	4,4	4,5	5,1							16	1	
RGL 2208 - RV	16,8	18,0	23,7	29,0	33,5	49,7	52,3	55,8	53,4	53,0	49,0	39,3	33,2	33,2	27,0	23,3	13,9	5,4	5,1	3,7	3,7							30	2	
GRGL 2208 - GZ	37,7	39,9	47,0	52,5	51,3	50,1	56,7	60,0	59,7	55,3	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9							11	11	
GRGL 2208 - S	17,3	17,2	21,7	28,7	39,4	47,6	51,7	55,4	46,7	49,5	45,8	37,6	30,0	29,5	21,0	9,6	3,4	1,0	1,3	1,6	6,3							16	1	
GRGL 2208 - RV	19,0	18,7	24,1	32,0	35,6	45,8	50,2	52,0	50,5	47,8	43,3	37,9	33,4	32,7	24,8	13,7	5,2	5,0	3,5	3,0	4,5							30	2	
RGL 2650 - RV	17,0	17,6	20,1	31,7	38,2	47,3	51,3	42,3	42,4	38,6	34,8	28,2	29,3	26,6	17,8	12,4	9,4	8,0	7,6	7,3	7,0							16	6	
RGL 2650 - S	17,3	13,8	19,2	25,0	37,5	47,0	46,7	40,5	40,3	37,8	36,3	27,4	23,5	24,2	18,5	8,9	1,6	0,2	1,0	0,8	3,1							32	10	
GRGL 2650 - RV	14,7	14,8	21,6	30,2	38,1	46,0	53,1	44,3	39,0	39,1	36,2	23,5	22,0	16,0	15,9	14,7	12,9	11,6	10,3	10,2	8,9							15	5	
GRGL 2650 - S	15,8	16,4	20,4	24,9	33,3	43,2	42,2	40,5	38,0	36,2	31,1	23,3	15,7	16,1	8,7	6,4	1,3	0,1	0,7	1,5	2,6							32	10	
Übertragungsfunktionen																														
12,5 Hz Beton	-1,4	-1,5	-1,3	-0,5	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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
16 Hz Beton	-1,5	-1,4	-1,5	-1,3	-0,5	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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
20 Hz Beton	-1,4	-1,4	-1,2	-1,3	-1,2	-0,4	1,2	6,0	13,1	5,1	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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
25 Hz Beton	-1,5	-1,3	-1,2	-1,0	-1,1	-1,0	-0,4	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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Immissionsspektren																														
																									KB _{F_{Tm}}	L _{max} (dB(A))				
RGL 2208 - GZ																														
12,5 Hz Beton	36,3	38,4	45,6	52,0	52,8	57,0	71,7	65,9	59,9	55,3	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9							0,21	31,5	
16 Hz Beton	36,2	38,5	45,5	51,2	50,8	51,5	63,6	75,0	65,6	55,5	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9							0,29	32,8	
20 Hz Beton	36,3	38,5	45,7	51,2	50,2	49,6	57,9	66,0	72,8	60,4	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9							0,24	33,7	
25 Hz Beton	36,2	38,6	45,7	51,5	50,2	49,1	56,3	61,1	64,9	66,6	53,7	41,9	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9							0,15	33,6	
RGL 2208 - S																														
12,5 Hz Beton	17,5	18,6	20,4	25,9	43,2	54,6	67,9	58,2	51,3	50,7	46,2	38,4	30,6	29,7	21,3	10,8	5,9	5,5	4,4	4,5	5,1							0,13	21,0	
16 Hz Beton	17,4	18,7	20,3	25,1	41,3	49,1	59,8	67,4	57,0	50,9	46,2	38,4	30,6	29,7	21,3	10,8	5,9	5,5	4,4	4,5	5,1							0,13	22,1	
20 Hz Beton	17,4	18,7	20,5	25,1	40,6	47,2	54,1	58,4	64,2	55,8	46,2	38,4	30,6	29,7	21,3	10,8	5,9	5,5	4,4	4,5	5,1							0,10	23,2	
25 Hz Beton	17,4	18,8	20,5	25,4	40,7	46,7	52,5	53,4	56,3	62,0	50,6	38,5	30,6	29,7	21,3	10,8	5,9	5,5	4,4	4,5	5,1							0,08	24,4	
RGL 2208 - RV																														
12,5 Hz Beton	15,4	16,5	22,4	28,5	34,9	56,6	67,3	61,7	53,6	53,0	49,0	39,3	33,2	33,2	27,0	23,3	13,9	5,4	5,1	3,7	3,7							0,13	29,9	
16 Hz Beton	15,3	16,6	22,2	27,7	33,0	51,1	59,2	70,8	59,3	53,2	49,0	39,3	33,2	33,2	27,0	23,3	13,9	5,4	5,1	3,7	3,7							0,18	30,9	
20 Hz Beton	15,4	16,6	22,5	27,7	32,3	49,3	53,5	61,8	66,5	58,1	49,0	39,3	33,2	33,2	27,0	23,3	13,9	5,4	5,1	3,7	3,7							0,13	31,6	
25 Hz Beton	15,3	16,7	22,5	28,0	32,4	48,7	51,9	56,9	58,6	64,3	53,4	39,4	33,2	33,2	27,0	23,3	13,9	5,4	5,1	3,7	3,7							0,10	32,4	
GRGL 2208 - GZ																														
12,5 Hz Beton	36,3	38,4	45,7	52,0	52,7	57,0	71,7	65,9	59,9	55,3	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9							0,21	31,6	
16 Hz Beton	36,2	38,5	45,5	51,2	50,8	51,5	63,6	75,0	65,6	55,5	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9							0,29	32,8	
20 Hz Beton	36,3	38,5	45,8	51,2	50,1	49,7	57,9	66,0	72,8	60,4	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9							0,24	33,7	
25 Hz Beton	36,2	38,6	45,8	51,5	50,2	49,1	56,3	61,1	64,9	66,6	53,7	41,9	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9							0,15	33,6	
GRGL 2208 - S																														
12,5 Hz Beton	15,9	15,7	20,4	28,2	40,8	54,5	66,7	61,3	46,9	49,5	45,8	37,6	30,0	29,5	21,0	9,6	3,4	1,0	1,3	1,6	6,3							0,12	20,7	
16 Hz Beton	15,8	15,8	20,2	27,4	38,9	49,0	58,6	70,4	52,6	49,7	45,8	37,6	30,0	29,5	21,0	9,6	3,4	1,0	1,3	1,6	6,3							0,16	22,6	
20 Hz Beton	15,9	15,8	20,5	27,4	38,2	47,2	52,9	61,4	59,8	54,6	45,8	37,6	30,0	29,5	21,0	9,6	3,4	1,0	1,3	1,6	6,3							0,08	22,1	
25 Hz Beton	15,8	15,9	20,5	27,7	38,3	46,6	51,3	56,5	51,9	60,8	50,2	37,7	30,0	29,5	21,0	9,6	3,4	1,0	1,3	1,6	6,3							0,07	23,7	
GRGL 2208 - RV																														
12,5 Hz Beton	17,6	17,2	22,8	31,5	37,0	52,7	65,2	57,9	50,7	47,8	43,3	37,9	33,4	32,7	24,8	13,7	5,2	5,0	3,5	3,0	4,5							0,10	28,5	
16 Hz Beton	17,5	17,3	22,6	30,7	35,1	47,7	57,1	67,0	56,4	48,0	43,3	37,9	33,4	32,7	24,8	13,7	5,2	5,0	3,5	3,0	4,5							0,12	29,4	
20 Hz Beton	17,6	17,3	22,9	30,7	34,4	45,4	51,4	58,0	63,6	52,9	43,3	37,9	33,4	32,7	24,8	13,7	5,2	5,0	3,5	3,0	4,5							0,09	30,0	
25 Hz Beton	17,5	17,4	22,9	31,0	34,5	44,8	49,8	53,1	55,7	59,1	47,7	38,0	33,4	32,7	24,8	13,7	5,2	5,0	3,5	3,0	4,5							0,06	30,3	
RGL 2650 - RV																														
12,5 Hz Beton	15,6	16,1	18,8	31,2	39,6	54,2	66,3	48,2	42,6	38,6	34,8	28,2	29,3	26,6	17,8	12,4	9,4	8,0	7,6	7,3	7,0							0,10	26,8	
16 Hz Beton	15,5	16,2	18,6	30,4	37,7	48,7	58,2	57,3	48,3	38,8	34,8	28,2	29,3	26,6	17,8	12,4	9,4	8,0	7,6	7,3	7,0							0,05	26,7	
20 Hz Beton	15,6	16,2	18,9	30,4	37,0	46,9	52,5	48,3	55,5	43,7	34,8	28,2	29,3	26,6	17,8	12,4	9,4	8,0	7,6	7,3	7,0							0,04	27,1	
25 Hz Beton	15,5	16,3	18,9	30,7	37,1	46,3	50,9	43,4	47,6	49,9	39,2	28,3	29,3	26,6	17,8	12,4	9,4	8,0	7,6	7,3	7,0							0,03	27,2	
RGL 2650 - S																														
12,5 Hz Beton	15,9	12,3	17,9	24,5	38,9	53,9	61,7	46,4	40,5	37,8	36,3	27,4	23,5	24,2	18,5	8,9	1,6	0,2	1,0	0,8	3,1							0,06	16,3	
16 Hz Beton	15,8	12,4	17,7	23,7	37,0	48,4	53,6	55,5	46,2	38,0	36,3	27,4	23,5	24,2	18,5	8,9	1,6	0,2	1,0	0,8	3,1							0,04	16,5	
20 Hz Beton	15,9	12,4	18,0	23,7	36,3	46,6	47,9	46,5	53,4	42,9	36,3	27,4	23,5	24,2	18,5	8,9	1,6	0,2	1,0	0,8	3,1							0,03	17,3	
25 Hz Beton	15,8	12,5	18,0	24,0	36,4	46,0	46,3	41,6	45,5	49,1	40,7	27,5	23,5	24,2	18,5	8,9	1,6	0,2	1,0	0,8	3,1							0,02	17,8	
GRGL 2650 - RV																														
12,5 Hz Beton	13,3	13,3	20,3	28,7	39,5	52,9	68,1	50,2	39,2	39,1	36,2	23,5	22,0	16,0	15,9	14,7	12,9	11,6	10,3	10,2	8,9							0,12	27,1	
16 Hz Beton	13,2	13,4	20,1	28,9	37,6	47,4	60,0	59,3	44,9	39,3	36,2	23,5	22,0	16,0	15,9	14,7	12,9	11,6	10,3	10,2	8,9							0,07	27,0	
20 Hz Beton	13,3	13,4	20,4	28,9	36,9	45,6	54,3	50,3	52,1	44,2	36,2	23,5	22,0	16,0	15,9	14,7	12,9	11,6	10,3	10,2	8,9							0,04	27,0	
25 Hz Beton	13,2	13,5	20,4	29,2	37,0	45,0	52,7	45,4	44,2	50,4																				

Eingangsdaten zur Prognose 2030; Herne Baumstraße



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

Eingangsdaten zur Prognose 2030; Herne Baumstraße



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

Berechnung der Immissionen 2030; Herne Baumstraße																								
Frequenz [Hz]	4		8		16		32		63		125		250		Anzahl Ereignisse Tag Nacht									
Emissionsspektren																								
RGL 2208 - GZ	37,7	39,9	47,0	52,5	51,3	50,1	56,7	60,0	59,7	55,3	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9	3	2	
RGL 2208 - RV	16,8	18,0	23,7	29,0	33,5	49,7	52,3	55,8	53,4	53,0	49,0	39,3	33,2	33,2	27,0	23,3	13,9	5,4	5,1	3,7	3,7	16	2	
GRGL 2208 - GZ	37,7	39,9	47,0	52,5	51,3	50,1	56,7	60,0	59,7	55,3	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9	3	2	
GRGL 2208 - RV	19,0	18,7	24,1	32,0	35,6	45,8	50,2	52,0	50,5	47,8	43,3	37,9	33,4	32,7	24,8	13,7	5,2	5,0	3,5	3,0	4,5	16	2	
RGL 2650 - GZ	17,3	17,2	21,7	28,7	39,4	47,6	51,7	55,4	46,7	49,5	45,8	37,6	30,0	29,5	21,0	9,6	3,4	1,0	1,3	1,6	6,3	16	5	
RGL 2650 - S	17,3	13,8	19,2	25,0	37,5	47,0	46,7	40,5	40,3	37,8	36,3	27,4	23,5	24,2	18,5	8,9	1,6	0,2	1,0	0,8	3,1	35	12	
RGL 2650 - RV	17,0	17,6	20,1	31,7	38,2	47,3	51,3	42,3	42,4	38,6	34,8	28,2	29,3	26,6	17,8	12,4	9,4	8,0	7,6	7,3	7,0	29	7	
GRGL 2650 - GZ	21,1	25,5	33,2	33,8	41,9	42,0	42,7	59,0	51,8	53,0	37,3	22,1	23,9	24,3	19,0	17,2	7,0	3,1	2,9	3,9	7,1	15	5	
GRGL 2650 - S	15,8	16,4	20,4	24,9	33,3	43,2	42,2	40,5	38,0	36,2	31,1	23,3	15,7	16,1	8,7	6,4	1,3	0,1	0,7	1,5	2,6	35	12	
GRGL 2650 - RV	14,7	14,8	21,6	30,2	38,1	46,0	53,1	44,3	39,0	39,1	36,2	23,5	22,0	16,0	15,9	14,7	12,9	11,6	10,3	10,2	8,9	29	7	
Übertragungsfunktionen																								
12,5 Hz Beton	-1,4	-1,5	-1,3	-0,5	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	
16 Hz Beton	-1,5	-1,4	-1,5	-1,3	-0,5	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	
20 Hz Beton	-1,4	-1,4	-1,2	-1,3	-1,2	-0,4	1,2	6,0	13,1	5,1	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	
25 Hz Beton	-1,5	-1,3	-1,2	-1,0	-1,1	-1,0	-0,4	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	0,0	0,0	
Angesetzte Bodendämpfungen																								
von 58 m auf 42 m	1,4	1,4	1,5	1,7	1,9	2,2	2,5	2,9	3,3	3,8	4,3	4,9	5,5	6,2	7,0	7,8	8,6	9,5	10,5	11,5	12,6			
Immissionsspektren																								
																	KB _{FTm} ^c	L _{max} (dB(A))						
RGL 2208 - GZ																								
12,5 Hz Beton	36,3	38,4	45,6	52,0	52,8	57,0	71,7	65,9	59,9	55,3	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9	0,21	31,5	
16 Hz Beton	36,2	38,5	45,5	51,2	50,8	51,5	63,6	75,0	65,6	55,5	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9	0,29	32,8	
20 Hz Beton	36,3	38,5	45,7	51,2	50,2	49,6	57,9	66,0	72,8	60,4	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9	0,24	33,7	
25 Hz Beton	36,2	38,6	45,7	51,5	50,2	49,1	56,3	61,1	64,9	66,6	53,7	41,9	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9	0,15	33,6	
RGL 2208 - RV																								
12,5 Hz Beton	15,4	16,5	22,4	28,5	34,9	56,6	67,3	61,7	53,6	53,0	49,0	39,3	33,2	33,2	27,0	23,3	13,9	5,4	5,1	3,7	3,7	0,13	29,9	
16 Hz Beton	15,3	16,6	22,2	27,7	33,0	51,1	59,2	70,8	59,3	53,2	49,0	39,3	33,2	33,2	27,0	23,3	13,9	5,4	5,1	3,7	3,7	0,18	30,9	
20 Hz Beton	15,4	16,6	22,5	27,7	32,3	49,3	53,5	61,8	66,5	58,1	49,0	39,3	33,2	33,2	27,0	23,3	13,9	5,4	5,1	3,7	3,7	0,13	31,6	
25 Hz Beton	15,3	16,7	22,5	28,0	32,4	48,7	51,9	56,9	58,6	64,3	53,4	39,4	33,2	33,2	27,0	23,3	13,9	5,4	5,1	3,7	3,7	0,10	32,4	
GRGL 2208 - GZ																								
12,5 Hz Beton	36,3	38,4	45,6	52,0	52,8	57,0	71,7	65,9	59,9	55,3	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9	0,21	31,5	
16 Hz Beton	36,2	38,5	45,5	51,2	50,8	51,5	63,6	75,0	65,6	55,5	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9	0,29	32,8	
20 Hz Beton	36,3	38,5	45,7	51,2	50,2	49,6	57,9	66,0	72,8	60,4	49,3	41,8	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9	0,24	33,7	
25 Hz Beton	36,2	38,6	45,7	51,5	50,2	49,1	56,3	61,1	64,9	66,6	53,7	41,9	38,2	36,5	32,4	22,6	13,0	6,6	7,3	8,1	16,9	0,15	33,6	
GRGL 2208 - RV																								
12,5 Hz Beton	17,6	17,2	22,8	31,5	37,0	52,7	65,2	57,9	50,7	47,8	43,3	37,9	33,4	32,7	24,8	13,7	5,2	5,0	3,5	3,0	4,5	0,10	28,5	
16 Hz Beton	17,5	17,3	22,6	30,7	35,1	47,2	57,1	67,0	56,4	48,0	43,3	37,9	33,4	32,7	24,8	13,7	5,2	5,0	3,5	3,0	4,5	0,12	29,4	
20 Hz Beton	17,6	17,3	22,9	30,7	34,4	45,4	51,4	58,0	63,6	52,9	43,3	37,9	33,4	32,7	24,8	13,7	5,2	5,0	3,5	3,0	4,5	0,09	30,0	
25 Hz Beton	17,5	17,4	22,9	31,0	34,5	44,8	49,8	53,1	55,7	59,1	47,7	38,0	33,4	32,7	24,8	13,7	5,2	5,0	3,5	3,0	4,5	0,06	30,3	
RGL 2650 - GZ																								
12,5 Hz Beton	17,3	17,2	21,9	29,9	42,7	56,6	69,2	64,1	50,1	53,3	50,1	42,5	35,5	35,7	28,0	17,4	12,0	10,5	11,8	13,1	18,9	0,16	31,1	
16 Hz Beton	17,2	17,3	21,8	29,1	40,8	51,2	61,1	73,3	55,8	53,4	50,1	42,5	35,5	35,7	28,0	17,4	12,0	10,5	11,8	13,1	18,9	0,23	32,0	
20 Hz Beton	17,3	17,2	22,0	29,1	40,1	49,3	55,4	64,3	63,1	58,4	50,1	42,5	35,5	35,7	28,0	17,4	12,0	10,5	11,8	13,1	18,9	0,12	31,8	
25 Hz Beton	17,2	17,3	22,0	29,4	40,2	48,8	53,8	59,3	55,1	64,5	54,5	42,6	35,5	35,7	28,0	17,4	12,0	10,5	11,8	13,1	18,9	0,10	32,9	
RGL 2650 - S																								
12,5 Hz Beton	15,9	12,3	17,9	24,5	38,9	53,9	61,7	46,4	40,5	37,8	36,3	27,4	23,5	24,2	18,5	8,9	1,6	0,2	1,0	0,8	3,1	0,06	16,3	
16 Hz Beton	15,8	12,4	17,7	23,7	37,0	48,4	53,6	55,5	46,2	38,0	36,3	27,4	23,5	24,2	18,5	8,9	1,6	0,2	1,0	0,8	3,1	0,04	16,5	
20 Hz Beton	15,9	12,4	18,0	23,7	36,3	46,6	47,9	46,5	53,4	42,9	36,3	27,4	23,5	24,2	18,5	8,9	1,6	0,2	1,0	0,8	3,1	0,03	17,3	
25 Hz Beton	15,8	12,5	18,0	24,0	36,4	46,0	46,3	41,6	45,5	49,1	40,7	27,5	23,5	24,2	18,5	8,9	1,6	0,2	1,0	0,8	3,1	0,02	17,8	
RGL 2650 - RV																								
12,5 Hz Beton	15,6	16,1	18,8	31,2	39,6	54,2	66,3	48,2	42,6	38,6	34,8	28,2	29,3	26,6	17,8	12,4	9,4	8,0	7,6	7,3	7,0	0,10	26,8	
16 Hz Beton	15,5	16,2	18,6	30,4	37,7	48,3	58,2	57,3	48,3	38,8	34,8	28,2	29,3	26,6	17,8	12,4	9,4	8,0	7,6	7,3	7,0	0,05	26,7	
20 Hz Beton	15,6	16,2	18,9	30,4	37,0	46,9	52,5	48,3	55,5	43,7	34,8	28,2	29,3	26,6	17,8	12,4	9,4	8,0	7,6	7,3	7,0	0,04	27,1	
25 Hz Beton	15,5	16,3	18,9	30,7	37,1	46,3	50,9	43,4	47,6	49,9	39,2	28,3	29,3	26,6	17,8	12,4	9,4	8,0	7,6	7,3	7,0	0,03	27,2	
GRGL 2650 - GZ																								
12,5 Hz Beton	19,7	24,0	31,9	33,3	43,3	48,8	57,7	64,9	52,0	53,0	37,3	22,1	23,9	24,3	19,0	17,2	7,0	3,1	2,9	3,9	7,1	0,10	28,5	
16 Hz Beton	19,6	24,1	31,7	32,5	41,4	43,4	49,6	74,0	57,7	53,2	37,3	22,1	23,9	24,3	19,0	17,2	7,0	3,1	2,9	3,9	7,1	0,24	31,0	
20 Hz Beton	19,7	24,1	32,0	32,5	40,7	41,6	43,9	65,0	64,9	58,1	37,3	22,1	23,9	24,3	19,0	17,2	7,0	3,1	2,9	3,9	7,1	0,13	30,7	
25 Hz Beton	19,6	24,2	32,0	32,8	40,8	41,0	42,3	60,1	57,0	64,3	41,7	22,2	23,9	24,3	19,0	17,2	7,0	3,1	2,9	3,9	7,1	0,10	31,8	
GRGL 2650 - S																								
12,5 Hz Beton	14,4	14,9	19,1	24,4	34,7	50,1	57,2	46,4	38,2	36,2	31,1	23,3	15,7	16,1	8,7	6,4	1,3	0,1	0,7	1,5	2,6	0,04	14,2	
16 Hz Beton	14,3	15,0	18,9	23,6	32,8	44,6	49,1	55,5	43,9	36,4	31,1	23,3	15,7	16,1	8,7	6,4	1,3	0,1	0,7	1,5	2,6	0,03	15,0	
20 Hz Beton	14,4	15,0	19,2	23,6	32,1	42,8	43,4	46,5	51,1	41,3	31,1	23,3	15,7	16,1	8,7	6,4	1,3	0,1	0,7	1,5	2,6	0,02	15,5	
25 Hz Beton	14,3	15,1	19,2	23,9	32,2	42,2	41,8	41,6	43,2	47,5	35,5	23,4	15,7	16,1	8,7	6,4	1,3	0,1	0,7	1,5	2,6	0,02	16,1	
GRGL 2650 - RV																								
12,5 Hz Beton	13,3	13,3	20,3	29,7	39,5	52,9	68,1	50,2	39,2	39,1	36,2	23,5	22,0	16,0	15,9	14,7	12,9	11,6	10,3	10,2	8,9	0,12	18,9	
16 Hz Beton	13,2	13,4	20,1	28,9	37,6	47,8	60,0	59,3	44,9	39,3	36,2	23,5	22,0	16,0	15,9	14,7	12,9	11,6	10,3	10,2	8,9	0,07	18,7	
20 Hz Beton	13,3	13,4	20,4	28,9	36,9	45,6	54,3	50,3	52,1	44,2	36,2	23,5	22,0	16,0	15,9	14,7	12,9	11,6	10,3	10,2	8,9	0,04	18,6	
25 Hz Beton	13,2	13,5	20,4	29,2	37,0	45,0	52,7	45,4	44,2	50,4	40,6	23,6	22,0	16,0	15,9	14,7	12,9	11,6	10,3	10,2	8,9	0,03	19,2	
(Max-Hold, Fast) alle Spektren [dB], re 5°10-5 mm/s																								
KB _{FTm} ^c		12,5 Hz Beton		16 Hz Beton		2																		