

Erschütterungstechnische Untersuchung zum Bebauungsplan Nr. 67 Birkhofstraße in Kaarst

Bericht VL 8109-1 vom 18.11.2019

Auftraggeber: Stadt Kaarst

Rathausplatz 23 41564 Kaarst

Bericht-Nr.: VL 8109-1

Datum: 18.11.2019

Ansprechpartner: Herr Dr. Niemietz

Dieser Bericht besteht aus insgesamt 45 Seiten, davon 24 Seiten Text und 21 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 BlmSchG

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: DUSSDEDDXXX

Niederlassungen:

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

peutz.de



Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabenstellung	3
2	Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien	4
3	Örtliche Gegebenheiten und Betriebsprogramm	6
4	Beurteilungsgrundlagen für Erschütterungen	7
	4.1 Allgemeines	
	Beurteilungsgrößen für Schienenverkehr Sekundärluftschall	
5	Erschütterungsmessungen	12
	5.1 Ort und Zeit der Messungen	
6	Auswerte- und Prognoseverfahren	13
	6.1 Einflussgrößen für Erschütterungen.6.2 Beschreibung der Methodik.6.3 Prognoseunsicherheit.	13
7	Prognose der Erschütterungsimmissionen	15
	 7.1 Prognose der Erschütterungsimmissionen (vertikale Richtung)	15 16 17
8	Minderungsmaßnahmen	21
	 8.1 Maßnahmen auf dem Übertragungsweg	21 21 21
9	Zusammenfassung und Empfehlungen	23



1 Situation und Aufgabenstellung

In Kaarst ist südlich der Bahntrasse 2550 die Aufstellung des Bebauungsplans Nr. 67 "Wohnquartier Birkhofstraße" geplant. Das Plangebiet wird nach Norden durch die Bahntrasse 2550, nach Osten durch die Michaelstraße, nach Süden durch die Birkhofstraße und nach Westen durch die Benatekestraße begrenzt.

Im Plangebiet ist insbesondere Wohnbebauungvorgesehen. Derzeit wird das Plangebiet als Ackerfläche genutzt. Westlich des Plangebiets befinden sich bereits Wohnnutzungen im Bestand.

Am 24.09.2019 wurden auf dem Plangebiet Erschütterungsmessungen im Freifeld durchgeführt. Darauf basierend werden die zu erwartenden Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen für die geplante Bebauung prognostiziert.

Die Ergebnisse dieser Messungen sowie der Prognose und dessen Beurteilung sind im nachfolgenden Bericht dargestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchung werden gemäß DIN 4150 Teil 2 [5] und der aktuellen Rechtslage [17] für die Erschütterungen und in Anlehnung an die Anforderungen nach 24. BImSchV [2] für die sekundären Luftschallimmissionen beurteilt.

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



2 Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien

Titel	/ Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[1]	BlmSchG	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelt-	G	Aktuelle Fas
	Bundes-Immissionsschutzge-	einwirkungen durch Luftverunreinigungen,		sung
	setz	Geräusche, Erschütterungen und ähnliche		
		Vorgänge		_
2]	24. BlmSchV	Geändert am 23.09.1997 und Begründung	V	04.02.1997
	· ·	in Bundesratsdrucksache 363/96 vom		
	rung des Bundes-Immissions-	02.07.1996		
	schutzgesetzes / Verkehrswe-			
	ge-Schallschutzmaßnahmen-			
	verordnung			_
3]	Erschütterungserlass	Gemeinsamer RdErl. des Ministeriums für	RdErl.	31.07.2000
		Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und		und
		-Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen		04.11.2003
	immissionen	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		
4]	DIN 4150, Teil 1	Erschütterungen im Bauwesen, Vorermittlun-	N	Juni 2001
		gen von Schwingungsgrößen		
[5]	DIN 4150, Teil 2	Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkun-	N	Juni 1999
		gen auf Menschen in Gebäuden		
[6]	DIN 4150, Teil 3	Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkun-	N	2016-12-01
		gen auf bauliche Anlagen		
[7]	DIN 45 669, Teil 1	Messung von Schwingungsimmissionen -	N	September
-		Schwingungsmesser, Anforderungen, Prü-		2010
		fung		
[8]	DIN 45 669, Teil 2	Messung von Schwingungsimmissionen -	N	Juni 2005
		Messverfahren		
9]	DIN 45 669, Teil 3	Messung von Schwingungsimmissionen -	N	Juni 2006
		Prüfung (Kalibrierung und Beurteilung) der		
		Schwingungsmesseinrichtung; Erstprüfung,		
		Nachprüfung, Zwischenprüfung, Prüfung für		
		den Messeinsatz		
10]	DIN 45 672, Teil 1	Schwingungsmessung in der Umgebung	N	Dezember
		von Schienenverkehrswegen - Messverfah-		2009
		ren		
[11]	DIN 45 672, Teil 2	Schwingungsmessung in der Umgebung	N	Juli 1995
		von Schienenverkehrswegen - Auswertever-		
		fahren		



Titol	/ Beschreibung / Bemerkung		Kat	Datum
[12]	Materialien Nr. 22, Erschütte-	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Juli	Lit	Juli 1995
I 1	rungen und Körperschall des	1995, ISSN:0947-5206		0411 1000
	landgebundenen Verkehrs,	1000, 10011.0047-0200		
	Prognose und Schutzmaßnah-			
[13]	men Taschenbuch der Technischen	G Müller M Möser (Hrsg.)	Lit.	2003
[.0]	Akustik	3. Auflage		2000
[4.4]	,	Landesumweltamt NRW	Lit.	1999
[14]	Körperschall und Erschütte-	Landesumweitami NRW	LIL.	1999
	rungsschutz, Leitfaden für den			
	Planer, Beweissicherung, Pro-			
	gnose, Beurteilung und Schutz-	-		
[4.5]	maßnahmen	DACA 2000 Caita 400 407	Lit.	2000
[ID]	A.Said, D. Fleischer, H. Fastl,		LIL.	2000
	HP. Grütz, G. Hölzl "Laborver-	-		
	suche zur Ermittlung von Un-			
	terschiedsschwellen bei der			
	Wahrnehmung von Erschütte-			
	rungen aus dem Schienenver-			
	kehr,			
[16]	"	DB AG, Abt. Bautechnik,	Lit.	2016-11-01
	schütterung und sekundärer	Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik,		
	Luftschall, Messung und Pro-	TZF 12		
	gnose"	A14		-04.40.0040
[17]	Urteil des Bundesverwaltungs-	Aktenzeichen / A 14/09	Lit.	21.12.2010
	gerichtes (BVerwG) zum Aus-			
	bau einer Eisenbahnstrecke;			
	Schutz gegen Erschütterungen			
	und sekundären Luftschall			
[18]	Städtebaulicher Entwurf	Zur Verfügung gestellt durch den Auftragge-	Р	März 2019
		ber		

Kategorien:

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



3 Örtliche Gegebenheiten und Betriebsprogramm

Im Norden des Plangebiets befinden sich die Bahngleise der Strecke 2550. Durch Zugvorbeifahrten können relevante Erschütterungs- und sekundäre Luftschallimmissionen in den geplanten Gebäuden auftreten.

Die erste Gebäudereihe befindet sich in ca. 12,5 m Abstand zur Bahnstrecke. Nach Westen rücken die Plangebäude von der Bahntrasse ab, sodass hier der Abstand der ersten Baureihe etwa 25 m zur Bahntrasse beträgt.

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 verkehren Züge des Regional- und Fernverkehrs sowie Güterzüge. In Bezug auf das umliegende Gelände befindet sich die Bahntrasse auf einem Damm in Hochlage. Die Streckenbelastung (vgl. Tabelle 3.1 und 7.2) für die Prognose der Erschütterungsimmissionen wurde dem Betriebsprogramm Prognose 2025 der Deutschen Bahn AG entnommen.

Tabelle 3.1: Zugprogramm Prognose Strecke 2550

Zugart	Anzahl				
	Tag (6 – 22 Uhr)	Nacht(22 – 6 Uhr)			
Güterzug GZ	4	6			
S-Bahn S	90	20			
Regionalzug RV-ET	32	2			
Regionalzug RV-E (DoSto)	40	7			
gesamt	166	35			

Westlich des Plangebiets befindet sich eine Fußgängerüberquerung, östlich des Plangebiets die Straßenüberquerung der in Tieflage verlaufenden Michaelstraße. Hier ist durch die Querungsbauwerke mit Stoßstellen in den Gleisanlagen zu rechnen, welche zu erhöhten Erschütterungsemissionen führen.



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 <u>Gebäude</u> 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_{FTII} wird der Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTII} nach nachfolgender Gleichung berechnet:

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

Bei Anwendung dieser Gleichung sind alle Werte $KB_{FTI} \le 0,1$ 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:

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

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

T_{e,j} = Teileinwirkungszeiten

 $\mathsf{KB}_{\mathsf{FTm},j}$ = Taktmaximal-Effektivwerte die für die Teileinwirkungszeiten $\mathsf{T}_{e,j}$ 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 Au, Au und Ar 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 A₀, sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten.

Für Werte von $A_0 \ge KB_{Fmax} \ge A_u$ 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_{\circ} eine neue Bedeutung verleihen (siehe Anmerkung * Tabelle 4.2).

Zuschläge für Einwirkungen innerhalb der Ruhezeiten sind hierbei <u>nicht</u> 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		\mathbf{A}_{u}		A _o		A r	
		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Anhaltswerte A	Zeile 2 <u>∆</u> GE	0,3	0,2	6	0,6*	0,15	0,1
gemäß DIN 4150, Teil 2, Tabelle 1, mit Abschnitt 6.5.3.3	Zeile 3 <u>∆</u> MI/MK	0,2	0,15	5	0,6*	0,1	0,07
und 6.5.3.5**.	Zeile 4 <u>∆</u> WR/WA	0,15	0,1	3	0,6*	0,07	0,05

^{*} Für Schienenverkehr hat der obere Anhaltswert A₀ 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.

Bezüglich des Erschütterungsschutzes von Verkehrswegen existieren im Gegensatz zum Verkehrslärm keine rechtsverbindlich festgelegten Grenzwerte und Beurteilungskriterien.

^{**}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 Au und Ar nicht berücksichtigt.



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 Au aus Tabelle 4.2 anzustreben. Dies bedeutet, dass bereits der Taktmaximalwert KB_{FTI} für die *einzelne* Zugvorbeifahrt nach Möglichkeit den unteren Anhaltswert Au 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_{FTr} erreicht. Bei zu erwartenden Überschreitungen sollten in der Planung frühzeitig Maßnahmen ergriffen werden, welche zu einer Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150-2 führen.

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.

4.3 Sekundärluftschall

Durch die durch den Schienenverkehr hervorgerufenen Erschütterungen innerhalb der Gebäude können durch die Anregung der Raumbegrenzungsflächen und der dadurch bedingten Schallabstrahlung Schallimmissionen in Form von Sekundärluftschall auftreten.



Bei oberirdisch geführten Strecken, wie es in der vorliegenden Situation der Fall ist, liegen die Anteile des Sekundärluftschalls in der Regel deutlich unterhalb der Immissionen durch direkt einfallenden Luftschall.

Innerhalb einer umfangreichen Studie [12] 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 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. Eine aktuelle Rechtsverordnung, die sich mit zulässigen Innenraumpegeln im Zusammenhang mit der Dimensionierung von passiven Lärmschutzmaßnahmen beschäftigt, ist die 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes.

Aus den Regularien der 24. BImSchV lassen sich als Zumutbarkeitsschwelle mittlere Innen-raumpegel von 40 dB(A) (tags) für Wohnräume und 30 dB(A) (nachts) für Schlafräume ableiten. Hierbei erfolgt keine Unterscheidung hinsichtlich der Gebietsnutzung. Das Bundesverwaltungsgericht legt in seinem Urteil vom 21.12.2010 [17] 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...."



5 Erschütterungsmessungen

5.1 Ort und Zeit der Messungen

Die Erschütterungsmessung wurde am 24.09.2019 auf dem Planungsgebiet im Freifeld durchgeführt (vgl. Anlage 1).

Hierbei erfolgten Messungen im Westen des Plangebiets im Bereich der Fußgängerüberquerung durch die Bahntrasse, sowie im mittleren Bereich des Plangebiets. Die Abstände der Messpunkte zur Bahntrasse wurden hierbei so gewählt, dass sie der Lage der ersten Baureihe zur Bahntrasse (Abstand zur Bahn ca. 12,5 m) sowie der abrückenden Bebauung im Westen des Plangebiets (Abstand zur Bahn ca. 25 m) entsprechen.

Eine detaillierte Beschreibung der Messumgebung und des Messaufbaus ist in 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 [16] durchgeführt.

Die Ankopplung der Messaufnehmer erfolgte über Dreipunktlager für die westlichen Messpunkte gemäß DIN 45669. Die Dreipunktlager befanden sich auf Platten die mechanisch an den Boden gekoppelt waren (eingeschlämmte Gehwegsplatten).

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. Die Ausbreitungsminderung wurde vor Ort durch eine Freifeldmessung messtechnisch erfaßt.

Zur Bestimmung der Übertragung der Erschütterungen auf das geplante Bauwerk 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 [16] 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, das intern mit genaueren Zahlen gerechnet wurde, als in den auf <u>eine Nachkommastelle gerundeten Werten</u>, welche in den Anlagen dargestellt werden.

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 von Gebäuden in der ersten Baureihe des Plangrundstückes werden die an der Messposition 2 (MP 2 - ca. 25 m Abstand zum Gleis) bzw. Messposition 3 (MP 3 - ca. 12,5 m Abstand zum Gleis) gemessenen Erschütterungsimmissionen zugrunde gelegt. Da während der Messungen vor Ort keine Güterzugvorbeifahrten erfasst wurden, wurden für die weiteren Untersuchungen die Differenzspektren zwischen Güterzugvorbeifahrten und der Vorbeifahren von Zügen mit Doppelstockwagen in vergleichbaren Lagen mit einender verglichen und im vorliegenden Bericht zur Bewertung von Güterzügen auf Grundlage der gemessenen Vorbeifahrten von Doppelstockwagen herangezogen.

7.1.1 Erschütterungspropgnose auf Grundlage des Messpunkts 2 (K6).

Ermittelt man aus den Messdaten an Messpunkt 2 auf Höhe der ersten Baureihe im Westen des Plangebiets in ca. 25 m Abstand zur Strecke die Immissionen für die Prognose, so ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle 7.1 aufgeführten Beurteilungs-Schwingstärken (KB_{FTr}).

Die Werte in den Tabellen berücksichtigen die Prognosezugzahlen 2025 der Strecken 2550 (vgl. Tabelle 3.1). Die zu Grunde liegenden Prognosen (Emissionsspektren, Übertragungsfunktionen und Immissionsspektren) sind in Anlage 5 für Eigenfrequenzen 12,5 Hz bis 25 Hz ausführlich dargestellt.

Die prognostizierten KB_{Ftm}-Werte liegen für die maßgeblichen Doppelstock und Güterzugvorbeifahrten je nach Deckeneigenfrequenz bis zu 0,31 für 40 Hz Betondecken und 0,43 für 12,5 Hz Betondecken. Der untere Anhaltswert von 0,1 wird demnach überschritten, der obere von 0,6 jedoch eingehalten. Demnach erfolgt eine Ermittlung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} welche im weiteren mit den Anhaltswerten der DIN 4150-2 Ar_(WA) verglichen werden.

Tabelle 7.1: Prognostizierte Erschütterungsimmissionen (MP 2) in der ersten Baureihe.

_		•	•	,		
Deckenaufbau, Ei-	KE	KB _{FTr}		WA)	$KB_{FTr} \leftarrow A_{r(WA)}$	
genfrequenz	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Betondecke, 12,5 Hz	0,070	0,06	0,07	0,05	JA	NEIN
Betondecke, 20 Hz	0,059	0,054	0,07	0,05	JA	NEIN
Betondecke, 25 Hz	0,052	0,05	0,07	0,05	JA	JA
Betondecke, 40 Hz	0,057	0,044	0,07	0,05	JA	JA



Die Übertragungsfunktionen für die gewählten Deckeneigenfrequenzen sind, auf Grundlage der Emissionsspektren der Bahnstrecke, aus Literaturwerten [16] ausgewählt worden. Durch die charakteristische Anregung der Züge ist davon auszugehen, dass die höchsten Immissionen für Deckenaufbauten mit einer Eigenfrequenz zwischen 12 Hz – 40 Hz auftreten werden. Bei Decken mit einer Eigenfrequenz außerhalb dieses Bereichs ist von geringeren Erschütterungsimmissionen auszugehen.

Bei dieser Betrachtung werden für einen weitgefaßten Bereich von Deckeneigenfrequenzen Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 auftreten.

7.1.2 Erschütterungspropgnose auf Grundlage des Messpunkts 3 (K8).

Ermittelt man aus den Messdaten an Messpunkt 3 auf Höhe der ersten Baureihe im mittleren Bereich des Plangebiets in ca. 12,5 m Abstand zur Strecke die Immissionen für die Prognose, so ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle 7.2 aufgeführten Beurteilungs-Schwingstärken (KB_{FTr}).

Die Werte in den Tabellen berücksichtigen die Prognosezugzahlen 2025 der Strecken 2550 (vgl. Tabelle 3.1). Die zu Grunde liegenden Prognosen (Emissionsspektren, Übertragungsfunktionen und Immissionsspektren) sind in Anlage 6 für Eigenfrequenzen 12,5 Hz bis 31,5 Hz ausführlich dargestellt.

Die prognostizierten KB_{Ftm} -Werte liegen für die maßgeblichen Doppelstock und Güterzugvorbeifahrten je nach Deckeneigenfrequenz bis zu 0,40 für 40 Hz Betondecken und 0,43 für 12,5 Hz Betondecken. Der untere Anhaltswert von 0,1 wird demnach überschritten, der obere von 0,6 jedoch eingehalten. Demnach erfolgt eine Ermittlung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} welche im weiteren mit den Anhaltswerten der DIN 4150-2 $Ar_{\text{(WA)}}$ verglichen werden.

Tabelle 7.2: Prognostizierte Erschütterungsimmissionen (MP 2) in der ersten Baureihe.

Deckenaufbau, Ei-	KB _{FTr}		A _{r(}	(WA)	$KB_{FTr} \leq A_{r(WA)}$	
genfrequenz	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Betondecke, 12,5 Hz	0,067	0,063	0,07	0,05	JA	NEIN
Betondecke, 20 Hz	0,054	0,048	0,07	0,05	JA	JA
Betondecke, 25 Hz	0,055	0,049	0,07	0,05	JA	JA
Betondecke, 31,5 Hz	0,060	0,054	0,07	0,05	JA	NEIN

Die Übertragungsfunktionen für die gewählten Deckeneigenfrequenzen sind, auf Grundlage der Emissionsspektren der Bahnstrecke, aus Literaturwerten [16] ausgewählt worden. Durch die charakteristische Anregung der Züge ist davon auszugehen, dass die höchsten Immissi-



onen für Deckenaufbauten für sehr tieffrequent emittierende Züge mit einer Eigenfrequenz zwischen bis 25 Hz sowie im hochfrequenten Bereich ab 40 Hz auftreten werden. Bei Decken mit einer Eigenfrequenz innerhalb dieses Bereichs mit Deckeneigenfrequenzen von 20 Hz bis 25 Hz ist von geringeren Erschütterungsimmissionen auszugehen.

7.1.3 Erschütterungsprognose auf Grundlage des Messpunkts 1 (K3).

Ermittelt man aus den Messdaten an Messpunkt 1, im minimalen Gleisabstand der Plangebäude, im Westen des Plangebiets in ca. 12,5 m Abstand zur Strecke, also noch vor der ersten Baureihe, die Immissionen für die Prognose, so ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle 7.3 aufgeführten Beurteilungs-Schwingstärken (KB_{FTr}). Durch die Stöße bei der Überfahrt der Fußgängerquerung ist hier mit erhöhten Immissionen im Vergleich zum Messpunkt 2 im selben Gleisabstand zu rechnen. Die Ergebnisse, stellen jedoch ein Maß für die Osten des Plangebiets zu erwartenden Erschütterungsimmissionen dar, da auch hier mit Stößen durch die Überfahrt der Eisenbahnüberführungzu rechnen ist.

Die Werte in den Tabellen berücksichtigen die Prognosezugzahlen 2025 der Strecken 2550 (vgl. Tabelle 3.1). Die zu Grunde liegenden Prognosen (Emissionsspektren, Übertragungsfunktionen und Immissionsspektren) sind in Anlage 7 für Eigenfrequenzen 12,5 Hz bis 31,5 Hz ausführlich dargestellt.

Die prognostizierten KB_{Ftm}-Werte liegen für die maßgeblichen Doppelstock und Güterzugvorbeifahrten je nach Deckeneigenfrequenz bis zu 0,43 für 40 Hz Betondecken und 0,68 für 12,5 Hz Betondecken. Der untere Anhaltswert von 0,1 wird demnach überschritten, der obere von 0,6 jedoch bei Deckeneigenfrequenzen von mindestens 20 Hz jedoch eingehalten. Wie in Kapitel 4.2 beschrieben,hat der obere Anhaltswert Ao nachts Für Schienenverkehr nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Diese hohen Werte sind jedoch bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} zu berücksichtigen. Bei Einhaltung der Anhaltswerte wären dennoch die Vorgaben der DIN 4150-2 eingehalten. Demnach erfolgt eine Ermittlung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} welche im weiteren mit den Anhaltswerten der DIN 4150-2 Ar_(WA) verglichen werden.

Tabelle 7.3: Prognostizierte Erschütterungsimmissionen (MP 2) in der ersten Baureihe.

Deckenaufbau, Ei-	KB _{FTr}		Ar	WA)	$KB_{FTr} \leq A_{r(WA)}$	
genfrequenz	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Betondecke, 12,5 Hz	0,112	0,092	0,07	0,05	NEIN	NEIN
Betondecke, 20 Hz	0,075	0,065	0,07	0,05	NEIN	NEIN
Betondecke, 25 Hz	0,066	0,057	0,07	0,05	JA	NEIN
Betondecke, 40 Hz	0,069	0,055	0,07	0,05	JA	NEIN



Die Übertragungsfunktionen für die gewählten Deckeneigenfrequenzen sind, auf Grundlage der Emissionsspektren der Bahnstrecke, aus Literaturwerten [16] ausgewählt worden. Durch die charakteristische Anregung der Züge ist davon auszugehen, dass die höchsten Immissionen für Deckenaufbauten für sehr tieffrequent emittierende Züge mit einer Eigenfrequenz bis 25 Hz auftreten werden. Jedoch werden die Anhaltswerte der DIN 4150-2 für alle betrachteten Deckeneigenfrequenzen überschritten.

Durch geeignete Minderungsmaßnahmen können jedoch die Erschütterungsimmissionen reduziert werden. Beispielhaft wird der nachfolgenden Tabelle 7.4 aufgeführten Beurteilungs-Schwingstärken (KB_{FTr}) unter Berücksichtigung einer Gebäudelagerung auf Stahlfederelementen mit einer Abstimmfrequenz von 5 Hz gezeigt.

Tabelle 7.4: Prognostizierte Erschütterungsimmissionen (MP 2) mit Stahlfederlagerung (5 Hz)

_		_		-	_		
Deckenaufbau, Ei-	KE	KB _{FTr}		(WA)	$KB_{FTr} \leq A_{r(WA)}$		
genfrequenz	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	
Betondecke, 12,5 Hz	0,03	0,036	0,07	0,05	JA	JA	
Betondecke, 20 Hz	0,020	0,027	0,07	0,05	JA	JA	
Betondecke, 25 Hz	0,020	0,027	0,07	0,05	JA	JA	
Betondecke, 40 Hz	0,020	0,027	0,07	0,05	JA	JA	

Durch eine solche elastische Gebäudelagerung auf Stahlfederelementen könnten demnach die Anhaltswerte der DIN 4105-2 unabhängig von der Deckeneigenfrequenz eingehalten werden. Für eine solche Gebäudelagerung spielt die Abstimmfrequenz eine erhebliche Rolle. Sollte diese zu hoch liegen (z.B. bei 10 Hz) würde dies im vorliegenden Fall durch zusätzliche Resonanzeffekte gegebenenfalls sogar einer Erhöhung der Erschütterungsimmissionen führen.

Im Einzelfall könnten auch andere Minderungsmaßnahmen, wie z.B. Seitenwandentkopplungen in Verbindung mit massiver und verstärkter Bodenplatte, etc. zu einer Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 18005 führen. Hierzu ist unbedingt eine baudynamische Begleitung im Planungsprozess unter Berücksichtigung der konkreten Planungen zu empfehlen.

7.2 Prognose und Beurteilung des sekundären Luftschallpegels

Durch Anwendung des in Kapitel 4.3 erwähnten empirischen Zusammenhangs zwischen auftretendem Schwingschnellepegel und dem Sekundärluftschallpegel können die zu erwartenden sekundären Luftschallimmissionen analog zur Prognose der auftretenden Erschütterungsimmissionen 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 ab-



leiten. Hierbei erfolgt keine Unterscheidung hinsichtlich der Gebietsnutzung. In der nachfolgenden Tabelle 7.5 und 7.6 sind die prognostizierten Sekundärluftschallimmissionen innerhalb der geplanten Bebauung auf Grundlage der Messung am Bodenmesspunkt in 30 m Abstand zur Bahnstrecke und auf Grundlage des Fundamentsmesspunktes im Hotelgebäude aufgeführt.

Tabelle 7.5: Prognostizierte Sekundärluftschallimmissionen Messpunkt 2 in 25 m Abstand.

Deckenaufbau, Eigenfre-	L _r in dB(A)		A _r in dB(A)		Einhaltung		L _{max} in	
quenz	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	dB(A)	
Betondecke, 12,5 Hz	27,0	24,0	40	30	Ja	Ja	39,3	
Betondecke, 20 Hz	27,7	24,8	40	30	Ja	Ja	40,4	
Betondecke, 25 Hz	28,2	25,3	40	30	Ja	Ja	40,7	
Betondecke, 40 Hz	29,8	26,8	40	30	Ja	Ja	42,0	

Tabelle 7.6: Prognostizierte Sekundärluftschallimmissionen Messpunkt 2 in 12,5 m Abstand.

Deckenaufbau, Eigenfre-	L _r in (dB(A)	A _r in	dB(A)	Einha	L _{max} in	
quenz	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	dB(A)
Betondecke, 12,5 Hz	28,2	26,2	40	30	Ja	Ja	43,8
Betondecke, 20 Hz	28,8	26,8	40	30	Ja	Ja	44,1
Betondecke, 25 Hz	29,3	27,3	40	30	Ja	Ja	44,6
Betondecke, 31,5 Hz	30,1	28,0	40	30	Ja	Ja	45,3

Tabelle 7.7: Prognostizierte Sekundärluftschallimmissionen Messpunkt 1 in 12,5 m Abstand.

Deckenaufbau, Eigenfre-	L _r in (dB(A)	A _r in	dB(A)	Einha	L _{max} in		
quenz	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	dB(A)	
Betondecke, 12,5 Hz	28,3	25,4	40	30	Ja	Ja	41,3	
Betondecke, 20 Hz	29,0	26,2	40	30	Ja	Ja	42,0	
Betondecke, 25 Hz	29,6	26,7	40	30	Ja	Ja	42,5	
Betondecke, 40 Hz	30,8	27,9	40	30	Ja	Ja	43,6	



7.3 Interpretation der Ergebnisse

Der Bahnverkehr als Erschütterungsquelle und seine Anregungscharakteristik führen dazu, dass für Deckenaufbauten mit einer tiefen Eigenfrequenz im Bereich die höchsten Erschütterungsimmissionen für die geplante Bebauung zu erwarten sind.

Für die zur Bahntrasse nächstgelegenen Gebäude im mittleren Bereich des Plangebiets sollten tieffrequente Deckeneigenfrequenzen unter 20 Hz sowie hohe Deckeneigenfrequenzen über 25 Hz vermieden werden (vgl. Messpunkt 3).

Im Westen des Plangebiets rücken die Plangebäude von der Bahntrasse ab, wodurch sich geringere Erschütterungsimmissionen ergeben. Jedoch sollten auch hier tieffrequente Deckeneigenfrequenzen unter 25 Hz vermieden werden (vgl. Messpunkt 2).

Im Osten des Plangebiets liegen die Plangebäude ebenfalls in einem sehr geringen Gleisabstand von ca. 12,5 m. Hier ist durch die Stöße bei der Überfahrt der Straßenquerung mit erhöhten Erschütterungsimmissionen zu rechnen, sodass hier unabhängig von der Deckeneigenfrequenz ohne weitere Minderungsmaßnahmen hier nicht mit einer Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150-2 zu rechnen ist (vgl. Messpunkt 1 in vergleichbarer Lage im Westen des Plangebiets).

Um auch eine Einhaltung des unteren Anhaltswerts $A_{u(WA)}$ der DIN 4105-2 zu erreichen, müsste wohl eine aufwendige Gebäudelagerung erfolgen. Dies erscheint in Anbetracht der möglichen Einhaltung der Anhaltswerte $A_{r(WA)}$ der DIN 4105-2 mit baulichen Maßnahmen wie der Wahl geeigneter Deckeneigenfrequenzen wohl unverhältnismäßig.

Die Prognose des sekundären Luftschalls zeigen, dass von einer Einhaltung an die Anforderungen für sekundäre Luftschallimmissionen (vgl. Tabelle 7.5) ausgegangen werden kann. Die Maximalpegel bei den Vorbeifahrten von Doppelstockwagen (RE-E) und Güterzügen können bis zu 46 dB(A) betragen (vgl. Tabelle 7.5). Allerdings kann mit einer Reduzierung des L_{max} durch die Wirkung des Fundaments gerechnet werden (vgl. Tabelle 7.6).

In Anbetracht der teils erheblichen prognostizierten Erschütterungsimmissionen, sowie der Restriktionen für die Deckenaufbauten, ist für die erste Baureihe zur Bahn eine baudynamische Begleitung im weiteren Planungsverfahren zu empfehlen. Hierbei können losgelöst von allgemeingültigen Aussagen im Zuge einer erschütterungstechnischen Untersuchung zum Bebauungsplan die detaillierten Planungen und konkret auf das Vorhaben abgestimmte Maßnahmen erarbeitet bzw. vorgeschlagen und bewertet werden.



8 Minderungsmaßnahmen

8.1 Maßnahmen auf dem Übertragungsweg

8.1.1 Abschirmbarriere und Seitenwandentkopplung

Eine Abschirmbarriere 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. Diese Maßnahmen sind insbesondere auch bei einer horizontalen Erschütterungsproblematik geeignet, um eine Minderungswirkung zu erzielen.

8.1.2 Tiefendämpfung durch die Baugrundtiefe

Oberflächenwellen besitzen die Eigenschaft, dass ihre Amplituden (horizontal und vertikal) mit zunehmender Tiefe rasch abnehmen. Diese Tiefendämpfung hängt in erster Linie von der Wellenlänge der Erschütterungswelle sowie den Bodeneigenschaften ab. In Gründungstiefen von 3 m bis 10 m können durch diesen Effekt Minderungen der Erschütterungseinleitung in die Gebäudestruktur resultieren.

8.2 Maßnahmen an der geplanten Gebäudestruktur

8.2.1 Fundamentdämfpung

Eine Minderungswirkung durch den Übergang von Erdboden auf das Fundament des Hotelgebäudes wurde messtechnisch festgestellt (vgl Abschnitt 7.1.3). Eine für die geplante Bebauung ausgelegte Gründungsart und eine entsprechend dimensionierte Bodenplatte/Fundamentplatte (biegesteif) unterhalb der geplanten Gebäude kann zu einer wirkungsvollen Reduzierung der Erschütterungsimmissionen führen und den Nutzungskomfort der geplanten Bebauung erhöhen (siehe Fazit).

Eine elastische gelagerte Bauwerksgründung (z.B. Feder-Dämpfer Element, etc.) stellt ebenfalls eine wirkungsvolle Maßnahmen dar, mit der sich die Erschütterungsanregung aus dem Bahnverkehr mindern lässt.



8.2.2 Deckenschwingungen

Das dynamische Verhalten von Geschoßdecken stellt häufig den wichtigsten Einflussfaktor der Erschütterungsimmissien dar. Das Material, die Auflagerbedingungen sowie die Abmessungen eines Deckenaufbaus bestimmen die Eigenfrequenz der Deckendynamik. Fällt die Eigenfrequenz mit der Anregungsfrequenz einer dynamischen Quelle zusammen, so ist von hohen Schwingungsampltiuden des Deckenaufbaus auszugehen.

Um diese Situation zu vermeiden, sollten die Eigenfrequenzen der Decken auf die Anregungsquelle abgestimmt werden; d.h.die Eigenfrequenzen der Decken sollte unter- bzw. oberhalb der dominierenden Anregungsfrequenz gewählt werden. Bei Gebäuden mit einer höheren Anzahl an Geschoßen sollte zudem darauf geachtet werden, dass die Eigenfrequenzen verschiedener Gebäudeteile und -strukturen, z.B. die Eigenfrequenz des Aufzugkerns und der Deckenaufbauten, nicht zusammen fallen.



9 Zusammenfassung und Empfehlungen

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

Um die Erschütterungsproblematik und dynamischen Aspekte in der weiteren Planung zu begegnen, wird empfohlen folgende Punkte zu berücksichtigen:

Für die zur Bahntrasse nächstgelegenen Gebäude im mittleren Bereich des Plangebiets sollten tieffrequente Deckeneigenfrequenzen unter 20 Hz sowie hohe Deckeneigenfrequenzen über 25 Hz vermieden werden (vgl. Messpunkt 3).

Im Westen des Plangebiets rücken die Plangebäude von der Bahntrasse ab, wodurch sich geringere Erschütterungsimmissionen ergeben. Jedoch sollten auch hier tieffrequente Deckeneigenfrequenzen unter 25 Hz vermieden werden (vgl. Messpunkt 2).

Im Osten des Plangebiets liegen die Plangebäude ebenfalls in einem sehr geringen Gleisabstand von ca. 12,5 m. Hier ist durch die Stöße bei der Überfahrt der Straßenquerung mit erhöhten Erschütterungsimmissionen zu rechnen, sodass hier unabhängig von der Deckeneigenfrequenz ohne weitere Minderungsmaßnahmen hier nicht mit einer Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150-2 zu rechnen ist (vgl. Messpunkt 1 in vergleichbarer Lage im Westen des Plangebiets).

In Anbetracht der teils erheblichen prognostizierten Erschütterungsimmissionen, sowie der Restriktionen für die Deckenaufbauten, ist für die erste Baureihe zur Bahn eine baudynamische Begleitung im weiteren Planungsverfahren zu empfehlen. Hierbei können losgelöst von allgemeingültigen Aussagen im Zuge einer erschütterungstechnischen Untersuchung zum Bebauungsplan die detaillierten Planungen und konkret auf das Vorhaben abgestimmte Maßnahmen erarbeitet bzw. vorgeschlagen und bewertet werden.

Die Prognosen zeigen, dass die Anforderungen an die sekundären Luftschallimmissionen für die geplante Bebauung voraussichtlich ohne zusätzliche Maßnahmen eingehalten werden können.

Peutz Consult GmbH

ppa. Dipl.-Phys. Axel Hübe

(Messstellenleitung)

Dr. Lukas Niemietz

Projektbearbeitung)

VL 8109-1 18.11.2019

Seite 23 von 24



<u>Anlagenverzeichnis</u>

Anlage 1	Übersichtslageplan und Darstellung des städtebaulichen Entwurfs
Anlage 2	Messdokumantation
Anlage 3	Liste der Zugvorbeifahrten
Anlage 4	Darstellung der Messergebnisse
Anlage 5	Immissionsprognose Messpunkt 2
Anlage 6	Immissionsprognose Messpunkt 3
Anlage 7	Immissionsprognose Messpunkt 1





Luftbild: Quelle Google Earth Pro

Städtebaulicher Entwurf







Erschütterungsmessung

Am 24.09.2019

Birkhofstraße, Kaarst





Fotodokumentation



Abbildung 1: Plangebiet

Straße / Nr.	Birkhofstraße
Ort	Kaarst
Gebiet (BauNVO)	WA
Nutzung	Geplant Wohnbebauung
Art der Messung	Freifeld
Sonstiges	Derzeit Ackerfläche



Abbildung 2: Messpunkt 1, K1-3 12,5 m Gleisabstand



Abbildung 3: Messpunkt 2, K4-6 25 m Gleisabstand

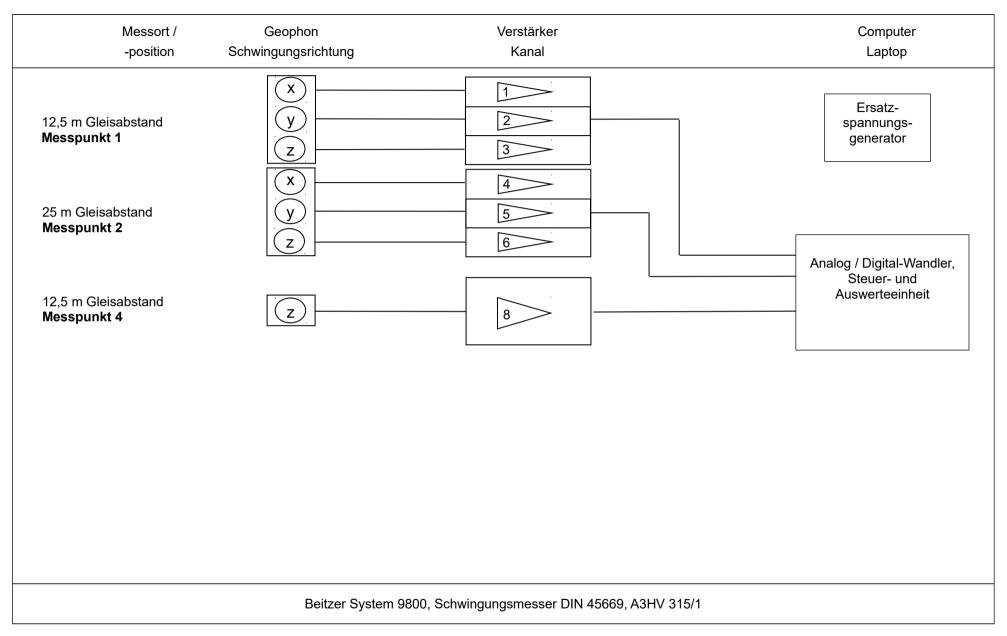




Abbildung 4: Messpunkt 3, K8 12,5 m Gleisabstand

Übersicht über die Messorte

Messpunkt Nr.	Kanäle Messsystem:	Messort	Ankopplung
1	1-3	ca. 12,5m Gleisabstand	3-Punktlager
2	4-6	ca. 25 m Gleisabstand	3-Punktlager
3	8	ca. 12,5 m Gleisabstand	3-Punktlager





Erschütterungsmessungen in Kaarst, Birkhofstraße, am 24.09.2019

Liste der Zugvorbeifahrten

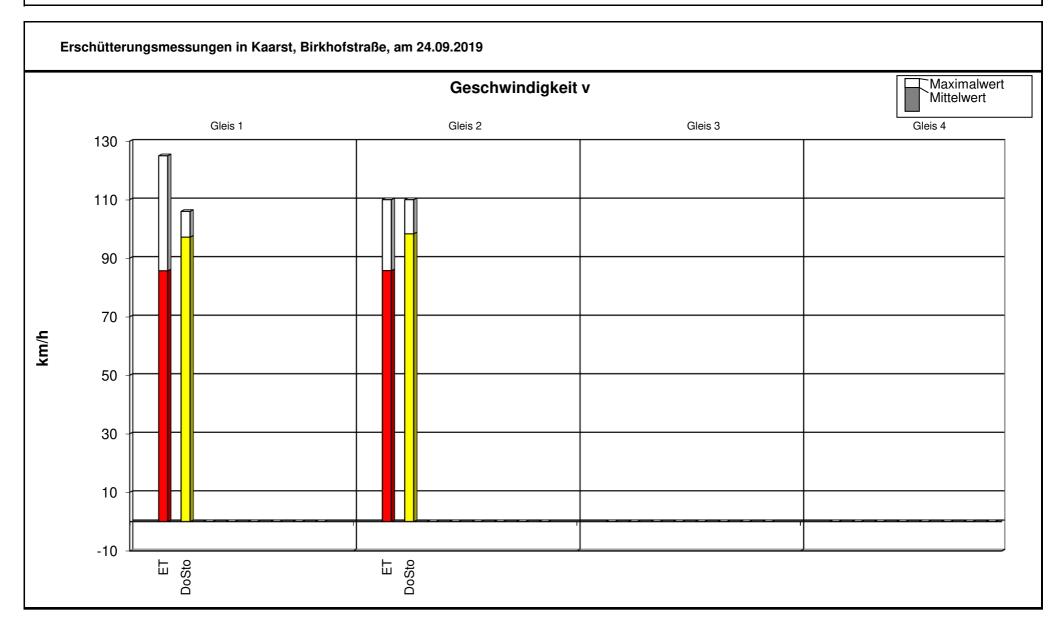
						N	lesswerte	
					v_max	v_max	v_max	
Mess-	Kate-	Lok	Gleis	v_Zug	12,5m (West)	25m (West)	12,5 (Mitte)	
Nr.	gorie	Nr.		[km/h]	mm/s	mm/s	mm/s	
1	ET		1		0,09	0,10		
2	ET		1					
3	DOSTO		2		0,19	0,16		
4	ET		2		0,24	0,12	0,06	
5	ET		2		0,08	0,05	0,05	
6	ET		1		0,10	0,08	0,07	
7	ET		2	90	0,10	0,07	0,08	
8	DOSTO		1	95	0,23	0,17	0,18	
9	ET		2	60	0,22	0,16	0,14	
10	ET		2	85	0,08	0,07	0,09	
11	DOSTO		2	100	0,17	0,14	0,15	
12	ET		2	65	0,09	0,08	0,08	
13	ET		1	113	0,19	0,11	0,08	
14	ET		2	78	0,09	0,07	0,10	
15	ET		1	68	0,10	0,08	0,08	
16	ET		2	90	0,10	0,08	0,06	
17	ET		2	100	0,09	0,06	0,08	
18	DOSTO		1	90	0,34	0,21	0,26	
19	ET		1	68	0,10	0,10	0,08	
20	ET		2		0,09	0,06	0,03	
21	DOSTO		2		0,25	0,11	0,14	
22	ET		1					
23	ET		1	108	0,16	0,11	0,01	
24	ET		2	95	0,09	0,06	0,08	
25	ET		2	110	0,08	0,05	0,05	
26	ET		1	75	0,11	0,10	0,09	



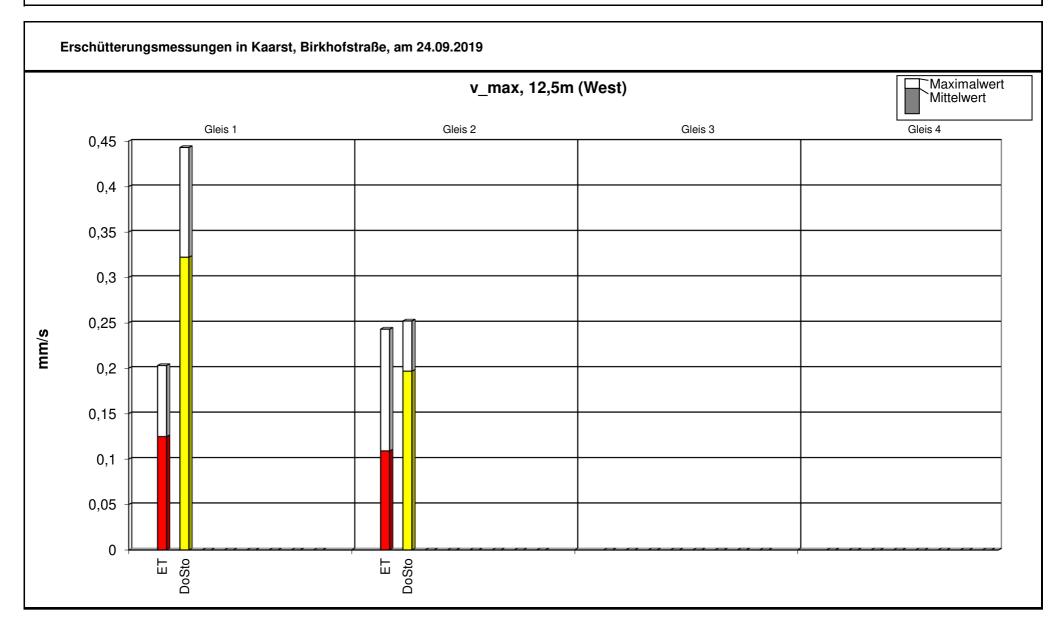
Ersch	nütterung	ısmessun	gen i	in Kaa	rst, Bi	rkhofs	straße, an	า 24.09.20	19			
Gleis / Abst. Gebäude		G	leis 1	1				GI	eis 2			
						Ī						
Fahrtrichtung												
Kategorie	ET	DoSto				j	ET	DoSto				
Anzahl ausgewert. Züge	16	5	0	0	0	0	20	5	0	0	0	0
Geschw. [km/h]												
Maximalwert	125	106					110	110				
arithmet. Mittelwert	86	97					86	98				
Standardabweichung	29%	6%					16%	13%				
v_max [mm/s]												
12,5m (West)												
Maximalwert	0,20	0,44					0,24	0,25				
arithmet. Mittelwert	0,12	0,32					0,11	0,20				
Standardabweichung	31%	26%					48%	28%				
v_max [mm/s]												
25m (West)												
Maximalwert	0,15	0,24					0,16	0,17				
arithmet. Mittelwert	0,10	0,21					0,07	0,14				
Standardabweichung	19%	14%					37%	23%				
v_max [mm/s]												
12,5 (Mitte)												
Maximalwert	0,09	0,26					0,14	0,16				
arithmet. Mittelwert	0,07	0,19					0,08	0,14				
Standardabweichung	26%	22%					30%	11%				

Y:\Projekte\VL\8109_VL_EU_BPlan_67_Wohnquartier_Birkhofstr_Kaarst\02_DOKU\01_Berichte\Ber_01_EU\[8109_VL_Ber_01_Anlage_3und4.xls]Daten1

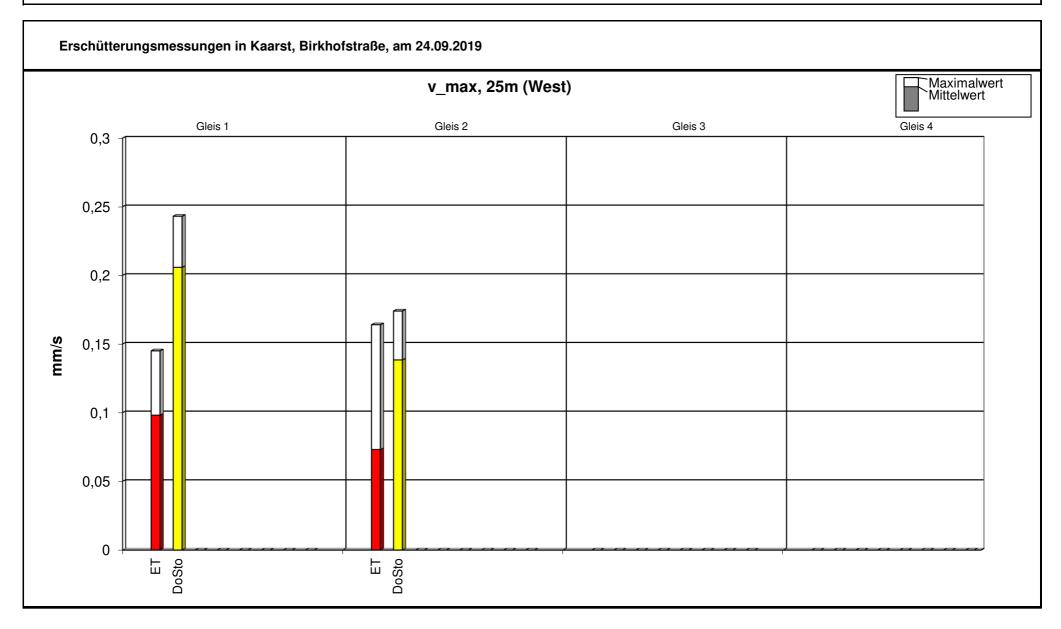




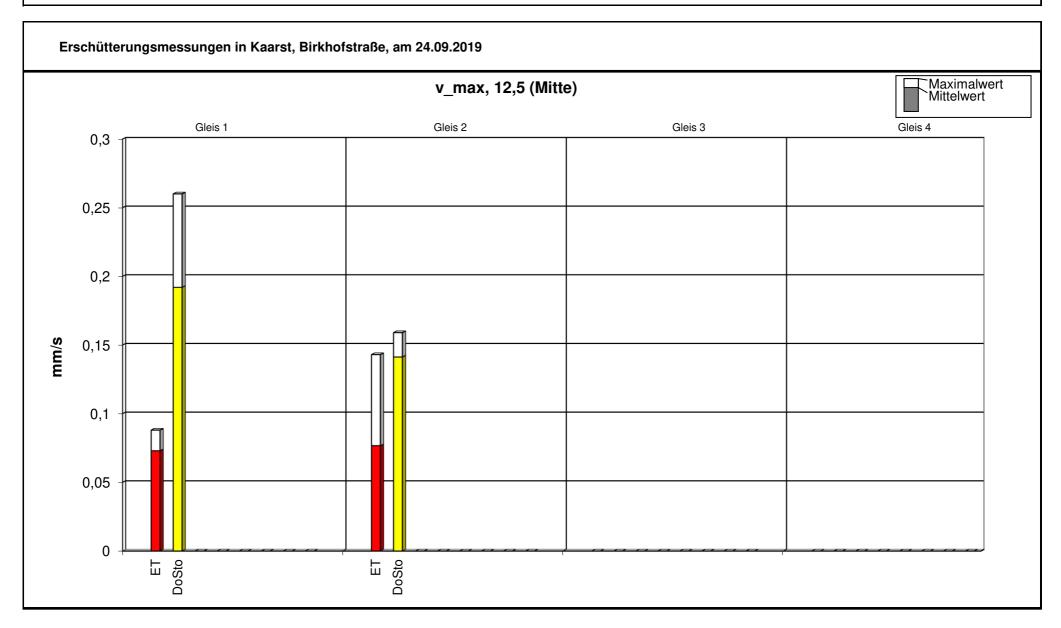




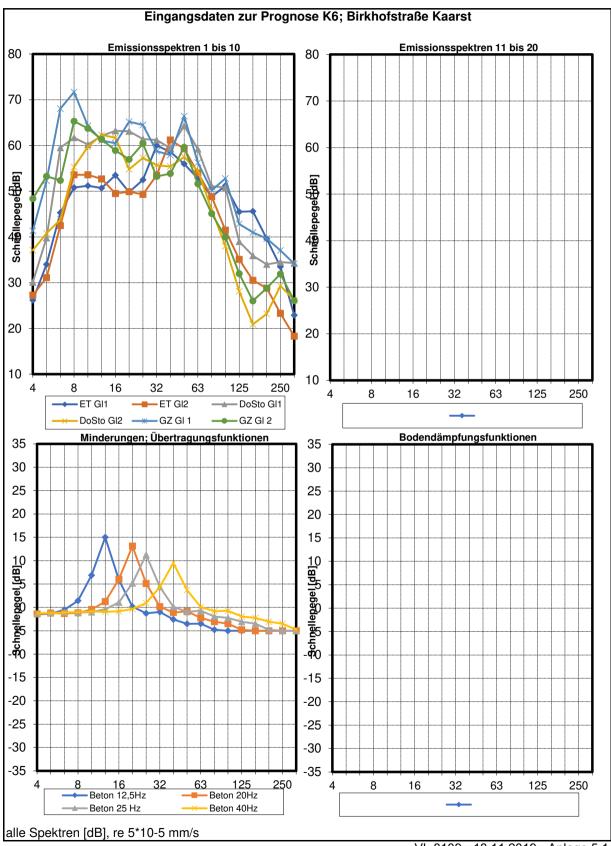




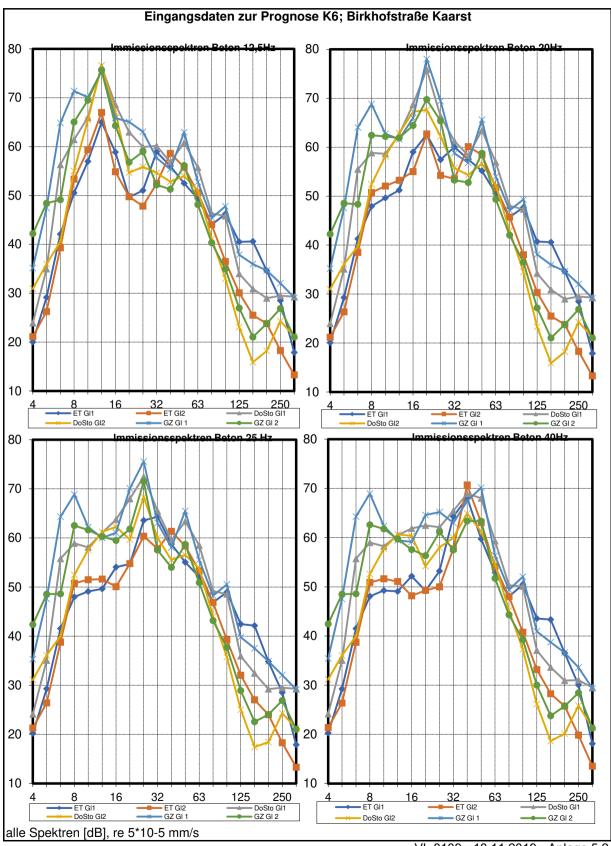








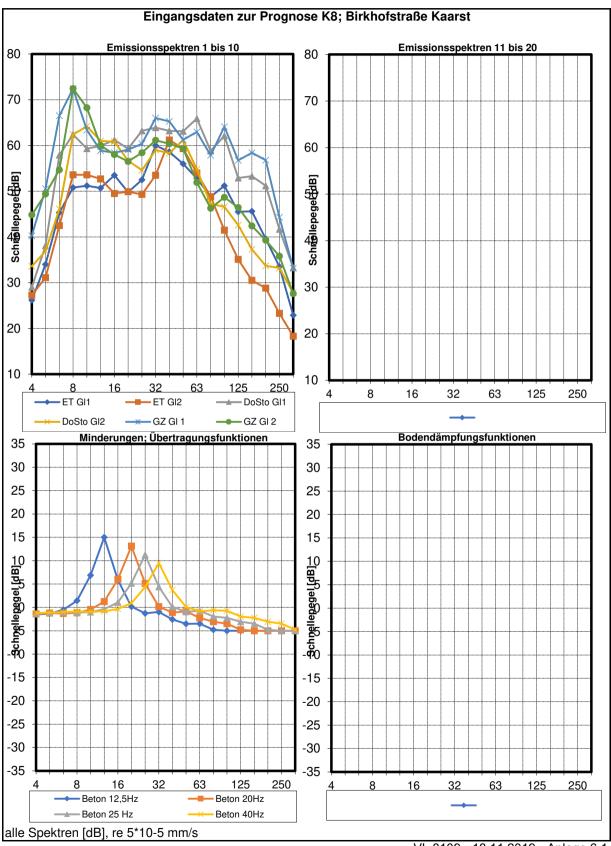




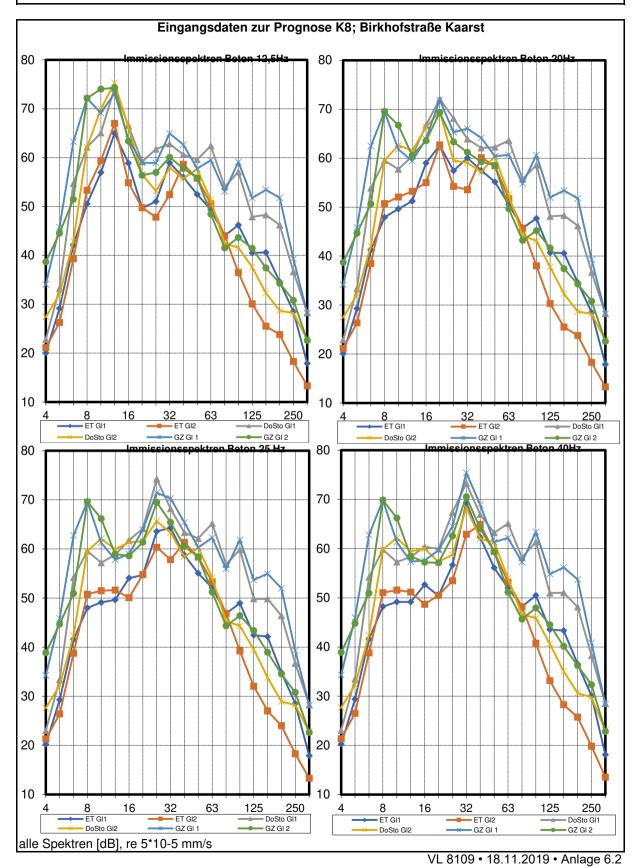


				Bered	hnur	ng de	r Imm	issio	nen k	(6; Bi	rkhof	straß	e Ka	arst									
Frequenz [Hz]		4			8			16			32			63			125			250			Ereignisse Nacht
Emissionsspektren ET GI1	24,1	26,2	34,0	45,3	50,8	51,2	50,7	53,5	49,8	52,5	60,0	58,6	56,0	52,8	48,8	51,2	45,5	45,6	39,6	33,5	22,9	61	11
ET GI2	26,2	27,3	31,1	42,5	53,6	53,6	52,7	49,5	49,9	49,3	53,5	61,2	59,3	54,0	48,8	41,5	35,1	30,5	28,8	23,3	18,3	61	11
DoSto GI1	30,1	30,1	39,8		61,7	60,2	62,1	63,2	63,1	61,4	61,2	59,4	64,3		51,1			35,9	34,0	34,5		20	4
DoSto Gl2	30,1	37,1	40,8	43,8	55,3	59,7	62,3	61,7		57,3	55,7		57,5		46,0		28,1			29,3		20	3
GZ GI 1		41,3	52,3		71,7	64,3	61,1		65,2			57,9		56,3	50,2			41,0				2	3
GZ GI 2	35,8	48,4	53,3	52,3	65,3	63,7	61,3	58,9	56,9	60,4	53,2	53,9	59,6	51,6	45,1	40,0	32,0	26,0	28,8	31,9	26,0	2	3
Übertragungsfunktionen																							
Beton 12,5Hz	-1,4	-1,5	-1,3	-0,5	1,4	6,9	15,0	5,9	0,2	-1,3	-1,0	-2,6	-3,5	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0		
Beton 20Hz	-1,4	-1,4	-1,2	-1,3	-1,2	-0,4	1,2	6,0	13,1	5,1	0,2	-1,1	-0,8	-2,3	-3,1	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0		
Beton 25 Hz	-1,5	-1,3	-1,2	-1,0	-1,1	-1,0	-0,4	1,1	5,2	11,3	4,4	0,1	-1,0	-0,7	-1,9	-2,3	-3,1	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0		
Beton 40Hz	-1,6	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,3	0,9	4,4	9,5	3,7	0,1	-0,8	-0,7	-1,9	-2,3	-3,1	-3,5	-4,8		
Immissionsspektren																						KB _{FTm} :	Lmax (dB(A))
ET GI1																							
Beton 12,5Hz	22,7	24,7	32,7	44,8	52,2	58,1	65,7	59,4	50,0	51,2	59,0	56,0	52,5	49,3	44,0	46,2	40,5	40,6	34,6	28,5	17,9	0,13	38,1
Beton 20Hz	22,7	24,8	32,8	44,0	49,6	50,8	51,9	59,5	62,9	57,6	60,2	57,5	55,2	50,5	45,7	47,7	40,7	40,6	34,6	28,5	17,9	0,12	38,5
Beton 25 Hz	22,6	24,9	32,8	44,3	49,7	50,2	50,3	54,6	55,0	63,8	64,4	58,7	55,1	52,1	46,9	48,9	42,4	42,1	34,8	28,5	17,9	0,13	39,1
Beton 40Hz	22,5	25,0	32,8	44,2	49,8	50,3	49,8	52,7	49,5	53,4	64,4	68,1	59,7	52,9	48,0	50,5	43,6	43,3	36,5	30,0	18,1	0,17	40,4
ET GI2																							
Beton 12,5Hz	04.0	25.8	29.8	40.0	EE 0	60,5	67.7	EE A	50.1	40.0	52,5	E0.0	EE O	50,5	44.0	20 E	30,1	OF F	00.0	10.0	10.0	0.14	36.7
Beton 20Hz	24,8	25,6	29,8	41,2	52,4	53,2	53,9	55,5	63,0	54,4	53,7	60,1		51,7	44,0						13,3	0,14	36,7
Beton 25 Hz	24,7	- / -		41,5	52,5	52,6	52,3		55,1		57,9							27,0		18,3		0,11	37,5
Beton 40Hz							51.8							54,1								0,20	40.3
Detoi1 40112	24,0	20,1	23,3	41,4	32,0	J <u>L</u> ,1	31,0	40,7	43,0	30,2	37,3	70,7	00,0	54,1	40,0	40,0	55,2	20,2	25,1	13,0	10,0	0,20	40,3
DoSto GI1																							
Beton 12,5Hz	28,7	28,6	38,5		63,1	67,1	77,1	69,1		60,1	60,2			55,7		45,8	34,0			29,5		0,40	38,9
Beton 20Hz	28,7	28,7	38,6	58,2	60,5	59,8		69,2			61,4				48,0	47,3	34,2			29,5		0,39	39,8
Beton 25 Hz		28,8	38,6	58,5	60,6	59,2		64,3		72,7			63,4		49,2		35,9		29,2			0,30	40,2
Beton 40Hz	28,5	28,9	38,6	58,4	60,7	59,3	61,2	62,4	62,8	62,3	65,6	68,9	68,0	59,3	50,3	50,1	37,1	33,6	30,9	31,0	29,5	0,26	41,6
DoSto GI2																							
Beton 12,5Hz	28,7	35,6	39,5	43,3	56,7	66,6	77,3	67,6	55,0	56,0	54,7	52,8	54,0	51,0	41,2	33,0	23,1	15,9	18,2	24,3	21,2	0,37	36,0
Beton 20Hz	28,7	35,7	39,6	42,5	54,1	59,3	63,5	67,7	67,9	62,4	55,9	54,3	56,7	52,2	42,9	34,5	23,3	15,9	18,2	24,3	21,2	0,20	36,9
Beton 25 Hz	28,6	35,8	39,6	42,8	54,2	58,7	61,9	62,8	60,0	68,6	60,1	55,5	56,6	53,8	44,1	35,7	25,0	17,4	18,4	24,3	21,2	0,18	37,5
Beton 40Hz	28,5	35,9	39,6	42,7	54,3	58,8	61,4	60,9	54,5	58,2	60,1	64,9	61,2	54,6	45,2	37,3	26,2	18,6	20,1	25,8	21,4	0,16	38,8
GZ GI 1																							
Beton 12.5Hz	34.4	39.9	50.9	67.6	73.1	71.2	76.1	66.3	65.4	63.2	57.8	55.3	62.9	52,8	45.4	47.8	37.9	36.0	34.7	32.1	29.1	0.43	39,3
Beton 20Hz	34.4	39.9		66.8		63,9		66,5	78,3	69,6	58,9			54,0			38,1	36,0		32,1		0.49	40,4
Beton 25 Hz	34.3	40.0	51.1	67.0	70.6	63.3		61.5		75.8	63.1			55,5			39.8	37.5		32.1		0.41	40.7
Beton 40Hz	34,2	40,1	51,0	67,0	70,7	63,4	60,2	59,6	64,9	65,4	63,1			56,4	49,4		40,9	38,7	36,6	33,6	29,4	0,31	42,0
GZ GI 2																							
Beton 12,5Hz	34 /	46.9	51.9	51.8	66.7	70.6	76,3	64.8	57 1	59.2	52.3	51 3	56 1	48,1	40.3	35 O	27 N	21 0	23.8	26 0	21.0	0.37	36.1
Beton 20Hz	- /	47.0	52.1	51.0	64,1	63.3	62.6	64,9	70,1	65,6	53,4	52,8			42,0			21,0		- , -	21,0	0,37	37,1
Beton 25 Hz	- /-		52,1	- /-		/ -								50,9								0,24	37,7
Beton 40Hz							60,4							51,7								0,24	38,9
	,,	,.	,0	, -	, -	,-	, -	,.	,5	,-	,5	, .	,5	,,	,0	,5	,5		,'	, .	,0	7,1.	1
			Be	ton			Beto	n 25			l				Be	ton			Beto	n 25	ı		
(Max-Hold, Fast)			12,		Beton	20Hz	Н		Beton	40Hz						5Hz	Beton	20Hz		łz	Beton	40Hz	
alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s	KB _{FTr} :			Nacht		Nacht		Nacht		Nacht			Lr (dB	B(A)):	Tag	Nacht		Nacht		Nacht		Nacht	
	<u> </u>								0,057	0,044	l				27,0	24,0	27,7			25,3		26,8	
							die Spe	ktren													chall hand	delt	
	laut DIN	1 4150 b	is maxim	al 80 Hz	herange	ezogen.							es sich	um den	physikal	ischen P	egel OH	NE 5 dE	Schiene			• 18 11 201	9 • Anlage 5.3





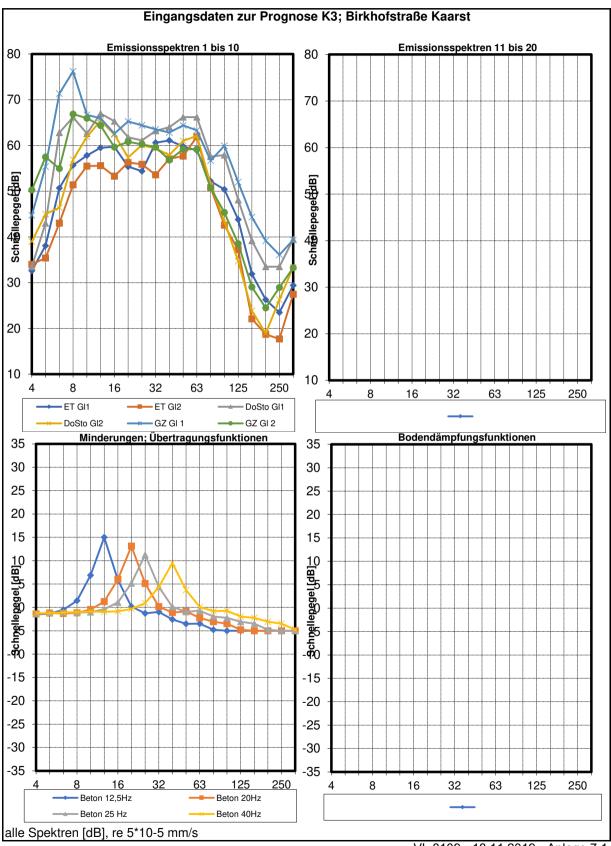




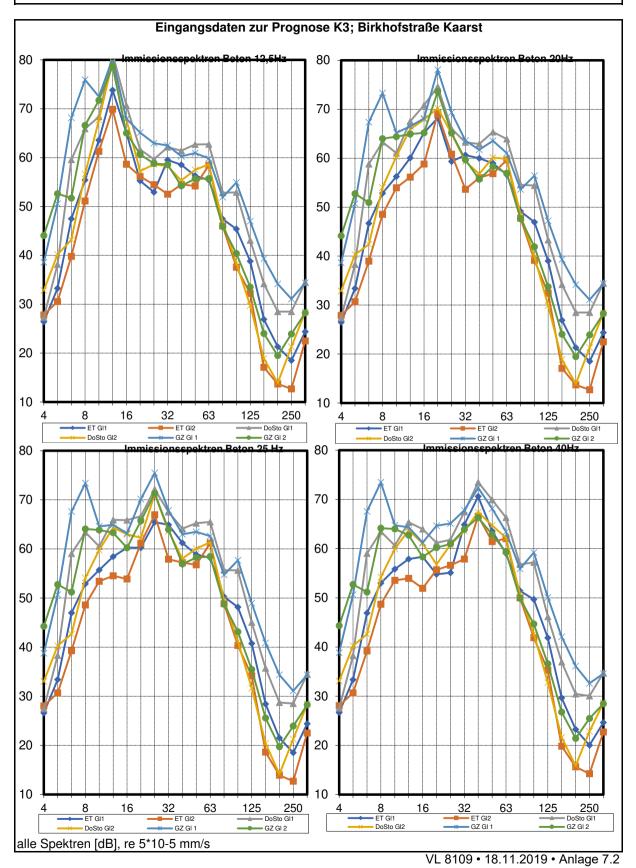


				Bered	hnur	ng de	r Imm	issio	nen k	(8; Bi	rkhof	straß	е Ка	arst								i	
Frequenz [Hz]		4			8			16			32			63			125			250			Ereignisse Nacht
Emissionsspektren ET Gl1	24.1	26,2	34.0	45,3	50.8	51,2	50,7	53,5	49,8	52,5	60,0	58,6	56,0	52,8	48,8	51,2	45,5	45.6	39.6	33.5	22.9	61	11
ET GI2	26.2	27,3	31.1	42,5	53,6	53,6	52,7	49,5	49,9	49,3	53,5	61,2	59,3		48,8	41,5	35,1	30,5	28,8	23,3	18,3	61	11
DoSto GI1	28,8	29,0	38,1		62,4	59,3	59,9	61,2	59,3	63,2					58,8		52,9	53,3	51,2	41,7	33,3	20	4
DoSto GI2	29,5	33,6	36,9	46,1	62,4	64,2	61,0	60,8	56,7	54,6	59,0	58,3	61,2	54,8	47,2	46,6	42,6	37,3	33,7	33,2	27,8	20	3
GZ GI 1	34,5	40,2	50,6	66,5	72,4	63,4	58,9	58,4	59,1	60,4	66,0	65,3	61,2	63,0	57,9	64,1	56,8	58,4	56,8	44,3	33.2	2	3
GZ GI 2	35,2	44,9	49,4	54,7	72,4	68,3	60,0	58,0	56,5	58,4	61,1	60,4	59,4	51,9	46,3	48,7	46,4	42,4	39,3	35,8	27,6	2	3
Übertragungsfunktionen																							
Beton 12,5Hz	-1,4	-1,5	-1,3	-0,5	1,4	6,9	15,0	5,9	0,2	-1,3	-1,0	-2,6	-3,5	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0		
Beton 20Hz	-1,4	-1,4	-1,2	-1,3	-1,2	-0,4	1,2	6,0	13,1	5,1	0,2	-1,1	-0,8	-2,3	-3,1	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0		
Beton 25 Hz	-1,5	-1,3	-1,2	-1,0	-1,1	-1,0	-0,4	1,1	5,2	11,3	4,4	0,1	-1,0	-0,7	-1,9	-2,3	-3,1	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0		
Beton 31,5Hz	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,3	0,9	4,4	9,5	3,7	0,1	-0,8	-0,6	-0,7	-1,9	-2,3	-3,1	-3,5	-4,8		
Immissionsspektren																						KB _{FTm} :	Lmax (dB(A))
ET GI1																							
Beton 12,5Hz	22.7	24 7	32.7	44.8	52 2	58.1	65.7	59 4	50,0	51.2	59.0	56.0	52.5	49,3	44 N	46.2	40,5	40 F	34.6	28.5	17.9	0,13	38,1
Beton 20Hz		24.8	32.8	44.0	49.6	50.8	51.9		62,9	57,6	60.2					47,7		40,6		28,5		0,13	38.5
Beton 25 Hz	,	24.9	- , -	, -	49,7	/ -	- /-		55,0		/			52,1			42.4			28,5		0.13	39.1
Beton 31,5Hz		25,0	32,9	44,3	49,9					56,9										30,0	18,1	0,17	40,0
	,5	,5	,-	,5	,5	,5	,5	,-	,,	,-	,-	,5	,.	,0	, -	,5	,0	,0	,5	,0	, .	4,	
ET GI2																							
Beton 12,5Hz	24,8	25,8	29,8	42,0	55,0	60,5	67,7	55,4	50,1	48,0	52,5	58,6	55,8	50,5	44,0	36,5	30,1	25,5	23,8	18,3	13,3	0,14	36,7
Beton 20Hz	24,8	25,9	29,9	41,2	52,4	53,2	53,9	55,5	63,0	54,4	53,7	60,1	58,5	51,7	45,7	38,0	30,3	25,5	23,8	18,3	13,3	0,11	37,5
Beton 25 Hz	24,7	26,0	29,9	41,5	52,5	52,6	52,3	50,6	55,1	60,6	57,9	61,3	58,4	53,3	46,9	39,2	32,0	27,0	24,0	18,3	13,3	0,11	37,9
Beton 31,5Hz	25,0	26,1	30,0	41,5	52,7	52,7	51,9	49,2	50,8	53,7	63,0	64,9	59,4	53,2	48,2	40,8	33,2	28,2	25,7	19,8	13,5	0,13	38,7
D-01-014																							
DoSto GI1	07.4	07.5	00.0	F7.4	00.0	00.0	740	07.4	F0 F	04.0	00.0	00.0	F0 0	00.4	-40	F7.4	47.0	40.0	40.0	00.7	00.0	0.00	40.5
Beton 12,5Hz	27,4		36,8		63,8			67,1		61,9	62,9			62,4		57,1				36,7		0,33	42,5
Beton 20Hz	,	27,6	36,9	56,6	61,2	58,9	61,1		72,4		64,1			63,6	55,7	58,6	48,1	48,3	46,2	36,7		0,31	43,0
Beton 25 Hz		27,7	36,9	56,9	61,3	58,3					68,3			65,2				49,8		36,7		0,34	43,6
Beton 31,5Hz	27,6	27,8	37,0	56,9	61,5	58,4	59,1	60,9	60,2	67,6	73,4	66,9	63,2	65,1	58,2	61,4	51,0	51,0	48,1	38,2	28,5	0,32	44,1
DoSto GI2																							
Beton 12,5Hz	28.1	32.1	35.6	45,6	63.8	71.1	76,0	66.7	56.9	53.3	58,0	55.7	57.7	51,3	42.4	41.6	37.6	32.3	28.7	28.2	22.8	0,36	37,5
Beton 20Hz	28.1	32.2	35,7		61,2			66,8		59,7	59,2		60,4			43,1			28,7			0,23	38,3
Beton 25 Hz	28,0	32,3	35,7	45,1	61,3			61,9	61,9	65,9	63,4			54,1						28,2		0,19	38,7
Beton 31,5Hz	28,3	32,4					60,2							54,0						29,7		0,20	39,4
GZ GI 1																							
Beton 12,5Hz	33,1	38,8							59,2					59,5					51,8			0,38	43,8
Beton 20Hz	33,1	38,8		65,2		62,9	60,1		72,2	65,5	66,1			60,7						39,3		0,33	44,1
Beton 25 Hz	33,0	38,9		65,4	71,3	62,4	58,5			71,6	70,4		60,3		55,9			54,9		39,3	28,2	0,34	44,6
Beton 31,5Hz	33,3	39,0	49,5	65,5	71,5	62,4	58,0	58,1	60,0	64,7	/5,5	69,0	61,3	62,2	57,2	63,4	54,8	56,2	53,7	40,8	28,4	0,40	45,3
GZ GI 2																							
Beton 12,5Hz	33.8	43.4	48.1	54.2	73.9	75.1	75.0	63.9	56.7	57.2	60.2	57.8	55.9	48,5	41.5	43.7	41.4	37.4	34.3	30.8	22.6	0.43	38.0
Beton 20Hz	,-	43.4	- /	53.4	71,3			64,1		63,6		59,3		49,7						30.8	, -	0,28	38,6
Beton 25 Hz														51,2								0,28	39.1
Beton 31,5Hz														51,1								0,29	40,0
																							1
				ton			Beto	n 25		ton					Ве	ton	l		Beto	n 25	Be		
(Max-Hold, Fast)			12,		Beton		Н		31,						_	5Hz	Beton		_	lz	31,		
alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s	KB _{FTr} :			Nacht		Nacht		Nacht		Nacht			Lr (dB	B(A)):		Nacht		Nacht		Nacht		Nacht	
									0,060	υ,054	l		D : 1		28,2	26,3		26,8		27,3	30,1		
							die Spe	ktren													hall hand	Jeit	
	laut DIN	4150 b	is maxim	iai 80 Hz	nerange	₂∠ogen.							es sich	um den	priysikal	ischen P	regei OH	INE 5 dE	scniene		8100	• 18 11 201	9 • Anlage 6.3











				Bered	hnur	ng de	r Imm	issio	nen k	(3; Bi	rkhof	straß	e Ka	arst								ì	
Frequenz [Hz]		4			8			16			32			63			125			250			reignisse Nacht
Emissionsspektren	07.5	00.0	00.4	F0.7	FF 7	F7.0	FO F	F0.7	FF 4	51.1	00.0	04.4	50.0	50.0	50.0	50.4	40.0	04.0	00.0	00.5	00.4	04	
ET GI1 ET GI2	27,5 28.2	32,6 34.0	38,1 35.4	50,7 43.0	55,7 51,4	57,8 55,5	59,5 55,6	59,7 53,3	55,4 56,3	54,4 55,9	60,6 53,6	61,1 57,1	59,8 57,7		52,2 50,8	50,4 42,6	43,8 37,2	31,9 22.1		23,5	. ,	61	11
DoSto GI1	32.8	33.5	43,0	62.8	66,2				61,8	61,1	63,2						48,1	39,2	18,7 33,5	17,7 33,5	27,5	61 20	11 4
	- /-	,-		- /-			67,0					64,0									39,5		3
DoSto GI2	30,4	39,0	45,0		56,9	61,9			57,4		59,3	57,9		62,1				23,9			33,4	20	-
GZ GI 1	38,5	44,8		71,3	76,2				65,3					63,3		59,9		44,3			39,4	2	3
GZ GI 2	36,1	50,3	57,5	54,9	66,9	66,0	64,4	59,7	60,8	60,2	59,6	56,8	59,2	59,2	50,7	45,4	38,5	29,0	24,5	28,9	33,3	2	3
Übertragungsfunktionen																							
Beton 12,5Hz	-1,4	-1,5	-1,3	-0,5	1,4	6,9	15,0	5,9	0,2	-1,3	-1,0	-2,6	-3,5	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0		
Beton 20Hz	-1,4	-1,4	-1,2	-1,3	-1,2	-0,4	1,2	6,0	13,1	5,1	0,2	-1,1	-0,8	-2,3	-3,1	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0		
Beton 25 Hz	-1,5	-1,3	-1,2	-1,0	-1,1	-1,0	-0,4	1,1	5,2	11,3	4,4	0,1	-1,0	-0,7	-1,9	-2,3	-3,1	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0		
Beton 40Hz	-1,6	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,3	0,9	4,4	9,5	3,7	0,1	-0,8	-0,7	-1,9	-2,3	-3,1	-3,5	-4,8		
Immissionsspektren																						KB _{FTm} :	Lmax (dB(A))
ET GI1																							
Beton 12,5Hz	26,1	31,1	36,8	50,2	57,1	64,7	74,5	65,6	55,6	53,1	59,6	58,5	56,3	55,4	47,4	45,4	38,8	26,9	21,3	18,5	24,4	0,29	38,3
Beton 20Hz	26,1	31,2	36,9	49,4	54,5	57,4	60,7	65,7	68,5	59,5	60,8					46,9	39,0	26,9	21,3	18,5	24,4	0,20	39,0
Beton 25 Hz	26,0	31,3	36,9	49,7	54,6	56,8			60,6					58,2			40,7					0,18	39,6
Beton 40Hz		31,4		- /	- , -	56,9			55,1					59,0								0,23	41,1
ET GI2																							
Beton 12,5Hz	26.8	20 E	04.4	40 E	FO 0	CO 4	70,6	E0.0	EC E	E4 C	E0.0	EAE	E40	58,4	40.0	27.0	20.0	171	10.7	10.7	00 F	0,19	38.1
		32,5																	13,7				
Beton 20Hz	- / -	- , -			50,2	55,1	56,8		69,4		53,8	56,0						17,1		12,7		0,18	38,8
Beton 25 Hz		32,7			50,3	54,5				67,2				61,2								0,16	39,4
Beton 40Hz	26,6	32,8	34,2	41,9	50,4	54,6	54,7	52,5	56,0	56,8	58,0	66,6	61,4	62,0	50,0	41,9	35,3	19,8	15,6	14,2	22,7	0,16	40,4
DoSto GI1																							
Beton 12,5Hz	31,4	32,0	41,7	62,3	67,6	69,5	82,0	71,2	62,0	59,8	62,2	61,4	62,7	62,7	52,8	52,9	43,1	34,2	28,5	28,5	34,5	0,65	41,3
Beton 20Hz	31,4	32,1	41,8	61,5	65,0	62,2	68,2	71,3	74,9	66,2	63,4	62,9	65,4	63,9	54,5	54,4	43,3	34,2	28,5	28,5	34,5	0,40	42,0
Beton 25 Hz	31,3	32,2	41,8	61,8	65,1	61,6	66,6	66,4	67,0	72,4	67,6	64,1	65,3	65,5	55,7	55,6	45,0	35,7	28,7	28,5	34,5	0,35	42,5
Beton 40Hz	31,2	32,3	41,8	61,7	65,2	61,7	66,1	64,5	61,5	62,0	67,6	73,5	69,9	66,3	56,8	57,2	46,2	36,9	30,4	30,0	34,7	0,37	43,6
DoSto GI2																							
Beton 12,5Hz	29 N	37,5	43.7	45.9	58,3	68.8	80,4	68.3	57.6	58,8	58.3	55.3	57.5	58,6	46.8	38.4	29.7	18 9	13.9	21 3	28.4	0,52	38,6
Beton 20Hz	29.0	37,6	43,8	45,1	55,7	61,5			70,5	65,2						39,9		18,9		21,3		0,27	39,3
Beton 25 Hz	28,9	37,7	43,8	45,4		60,9				71,4				61,4					14,1			0,26	39,9
Beton 40Hz		37,8		45,3										62,2								0,20	41,0
GZ GI 1	07.4	40.0	E 4 4	70 C	77.0	70.0	01.0	CO F	CE A	00.4	CO C	00.0	CO C	F0.0	E1 C	EAC	47.0	20.0	04.0	01.4	24.4	0.00	41.0
Beton 12,5Hz									65,4					59,8					34,2			0,68	41,2
Beton 20Hz	- /	43,3	- ,	- / -	75,0			68,6						61,1		56,5						0,55	41,9
Beton 25 Hz	37,0	43,5		70,3		65,7			70,4					62,6				40,9		31,1		0,48	42,4
Beton 40Hz	36,8	43,5	54,2	70,3	/5,2	8,00	05,0	8,10	64,9	65,3	07,9	12,3	68,1	63,4	55,9	59,2	5U, I	42,1	36,1	32,6	34,6	0,43	43,4
GZ GI 2																							
Beton 12,5Hz	34,7	48,8	56,1	54,4	68,3	72,8	79,4	65,5	61,0	59,0		54,2	55,7	55,7	45,9	40,4	33,5	24,0	19,5	23,9	28,3	0,50	37,8
Beton 20Hz	34,7	48,8	56,3	53,6	65,7	65,5	65,6	65,7	73,9	65,4	59,8	55,7	58,3	56,9	47,6	41,9	33,7	24,0	19,5	23,9	28,3	0,32	38,6
Beton 25 Hz	34,6	49,0	56,3	53,9	65,8	65,0	64,0	60,7	66,0	71,5		56,9	58,2	58,5	48,7	43,1	35,5	25,6	19,7	23,9	28,3	0,27	39,2
Beton 40Hz	34,4	49,0	56,2	53,9	65,9	65,1								59,3				26,8	21,4	25,5	28,5	0,22	40,2
																						<u> </u>	ı
(Max-Hold, Fast)				ton 5Hz	Beton	2011-	Beto H		Beton	40⊔-						ton 5Hz	Beton	2011-	Beto	n 25 Iz	Beton	40Hz	
alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s	KB _{FTr} :		_				Tag			Nacht			Lr (dB	/A\\.	_	Nacht		Nacht		Nacht		Nacht	
alle operateri [ub], le 3 10-3 lillil/5	NDFTr:								0,069				LI (dB	(A)):	28,3	25,4		26,2		26,7		27,9	
	7ur P	oobnus -							0,009	0,000			Doi do-	n horoch									
	Zur Berechnung von KBFTm bzw. KBFTr werden die Spektren Bei dem berechneten Beurteilungspegel Lr für den Sekundärluftschall handelt auf till 145 bis maxima 80 Hz heranogenen se sich um den Drubkiellärischen Bende (DHINE 5. fils Schienenbonus)																						
	laut DIN 4150 bis maximal 80 Hz herangezogen. es sich um den physikalischen Pegel OHNE 5 dB Schienenbonus. VL 8109 • 18.11.2019 • Anlage												. Anlana 7.2										