

Juraleitung

**Ltg.-Abschnitt A-Katzwang Raitersaich_West – Luders-
heim_West
(LH-07-B170)**

Planfeststellungsunterlage

Unterlage 9.4

Erschütterungen

Antragsteller:



TenneT TSO GmbH

Bernecker Straße 70

95448 Bayreuth

Bearbeitung:



Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel

c/o SWECO GmbH

Hanauer Landstraße 135 - 137

60314 Frankfurt am Main

Aufgestellt:	TenneT TSO GmbH	Bayreuth, den
	gez. i.V. J. Gotzler gez. i.V. A. Junginger	30.04.2025
Bearbeitung:	IGKWT – Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel gez. i.V. D. Edelhoff (Projektleitung)	
Anlagen zum Dokument		
Änderungs- historie:	Änderung:	Änderungsdatum:



**Erschütterungsprognose für den Ersatzneubau der
380- / 220-kV Höchstspannungsleitung für den
Abschnitt A-Katzwang**

Erschütterungsprognose für den Ersatzneubau der 380- / 220-kV Höchstspannungsleitung für den Abschnitt A-Katzwang

Dieser Bericht besteht aus insgesamt 56 Seiten, davon 42 Seiten Text und 14 Seiten Anlagen.

Auftraggeber: Tennet TSO GmbH
Bernecker Straße 70
95448 Bayreuth

Berichtsnummer: G 8293-1.2
Datum: 14.03.2025

Referenz: YH/SiS
Ansprechperson: Sina Schäfer-Brandenburg
0231725499180
sina.schaefer-brandenburg@peutz.de



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

Peutz Consult GmbH, Borussiastraße 112, 44149 Dortmund, Tel. +49 231 725 499 10
Geschäftsführer: Dipl.-Ing. Heiko Kremer-Bertram, Dipl.-Ing. Mark Bless, Ing. David den Boer
AG Düsseldorf, HRB Nr. 22586, Ust-IdNr. DE 119424700, Steuer-Nr. 106/5721/1489
info@peutz.de, www.peutz.de

Düsseldorf – Dortmund – Berlin – Nürnberg – Leuven – Paris – Lyon – Mook – Zoetermeer – Groningen – Eindhoven

G 8293-1.2
14.03.2025

Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabenstellung	6
2	Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien	7
3	Beurteilungsgrundlagen Erschütterungen	9
3.1	Allgemeines	9
3.2	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	10
3.3	Einwirkungen auf bauliche Anlagen	12
4	Örtliche Gegebenheiten	17
5	Beschreibung der Baumaßnahme	18
6	Erschütterungstechnische Betrachtungen	20
6.1	Vorbemerkungen	20
6.2	Ermittlung der Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen gemäß DIN 4150-3	23
6.2.1	Rüttelplatte, Vibrationswalze und Hydraulikhammer	23
6.2.2	Vortriebsmaschine	24
6.2.3	LKW-Verkehr	27
6.3	Ermittlung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden gemäß DIN 4150-2	30
6.3.1	Rüttelplatte, Vibrationswalze und den Hydraulikhammer	33
6.3.2	Vortriebsmaschine	34
6.3.3	LKW-Verkehr	36
6.4	Allgemeine Minderungsmaßnahmen und Empfehlungen	38
6.5	Minderungsmaßnahmen für das vorliegende Bauvorhaben	39
7	Zusammenfassung	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1:	Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2, Tabelle 1	11
Tabelle 3.2:	Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung	12

Tabelle 3.3:	Anhaltswerte für $v_{i,max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf erdverlegte Rohre	15
Tabelle 5.1:	Darstellung der geplanten Bauphasen	18
Tabelle 6.1:	Berücksichtigte Baumaschinen für die Erschütterungsprognose	21
Tabelle 6.2:	Berücksichtigte Berechnungsformeln für die Erschütterungsprognose gemäß Literatur	21
Tabelle 6.3:	Berücksichtigte Distanzen der jeweiligen Baumaschinen zu den schützenswerten Bebauungen	22
Tabelle 6.4:	Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-3	23
Tabelle 6.5:	Entfernung der nächstgelegenen Gebäude / Bauwerke zur Trasse und Angabe der Bodenart durch die der Tunnel im Bereich der Gebäude verläuft	24
Tabelle 6.6:	Angabe der Bodenart durch die der Tunnel im Bereich der Gebäude verläuft	25
Tabelle 6.7:	Ermittlung der vertikalen Schwinggeschwindigkeit	26
Tabelle 6.8:	Übersicht der LKW-Verkehre pro Bauphase für den Tages- und Nachtzeitraum	27
Tabelle 6.9:	maximale KB_{FTm} in Abhängigkeit der Frequenz, Entfernung und Deckenart	28
Tabelle 6.10:	maximale KB_{FTr} in Abhängigkeit der Frequenz, Entfernung und Deckenart	29
Tabelle 6.11:	maximale KB_{Fmax} in Abhängigkeit der Frequenz, Entfernung und Deckenart	29
Tabelle 6.12:	Ableitung der Schwinggeschwindigkeit v_{max} aus den Messergebnissen	29
Tabelle 6.13:	Anhaltswerte für die Konstante cF für verschiedene Arten von Erschütterungseinwirkungen, Tabelle 3 der DIN 4150, Teil 2	30
Tabelle 6.14:	Eigenfrequenzen von Decken	32
Tabelle 6.15:	Berücksichtigte Gebäude und Anhaltswerte gemäß DIN 4150-2 für den Tageszeitraum	33
Tabelle 6.16:	Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-2, Tageszeitraum	33
Tabelle 6.17:	Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-2, Tageszeitraum	35
Tabelle 6.18:	Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-2, Nachtzeitraum	35

Tabelle 6.19:	Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-2, Nachtzeitraum unter Berücksichtigung eines $v_{max} = 0,27$ mm/s	36
Tabelle 6.20:	Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-2, Tageszeitraum	37
Tabelle 6.21:	Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-2, Nachtzeitraum	37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1:	Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2, Tabelle 2, für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen (außer Sprengungen) zum Tageszeitraum	11
Abbildung 3.2:	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Gebäude gemäß Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 3	13
Abbildung 3.3:	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Gebäude gemäß Tabelle 4 der DIN 4150, Teil 3	14
Abbildung 3.4:	Schematische Darstellung der Abstände zwischen Spundwand und Gebäude der DIN 4150, Teil 3, Anhang C, Bild C.1	16

1 Situation und Aufgabenstellung

Der Auftraggeber plant den Ersatzneubau der 380-/220-Höchstspannungsleitung (Juraleitung) Raitersaich – Altheim sowie den Rückbau der Bestandsleitung. Die geplante Juraleitung verläuft durch die Regierungsbezirke Mittelfranken, Oberpfalz, Ober- und Niederbayern. Die Strecke ist in die Abschnitte "A-West" (Raitersaich – Ludersheim), "A-Katzwang", "A-Ost" (Ludersheim – Ezelsdorf), "B-Nord" (Ludersheim – Dietfurt), "B-Süd" (Dietfurt – Sittling) und "C" (Sittling – Altheim) unterteilt.

In der folgenden Untersuchung sollen Aussagen zu den zu erwartenden Erschütterungen aus dem Tunnelvortrieb, den Rückbau- und Verdichtungsarbeiten sowie LKW-Anlieferungen für den Abschnitt "A-Katzwang" getätigt werden. Es werden hierbei die in den nächstgelegenen Bauwerken durch die Baumaßnahmen entstehenden Erschütterungen prognostiziert und anhand der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 [2] und Teil 3 [3] beurteilt. Gegebenenfalls werden bei Überschreitungen der Anhaltswerte Minderungsmaßnahmen empfohlen.

Es gilt zu beachten, dass es sich bei den berücksichtigten Angaben, auf dessen Grundlage die nachfolgenden Untersuchungen durchgeführt werden, um einen beispielhaften Bauablauf handelt, welcher im Rahmen des Planungsprozesses ermittelt wurde. In Folge dessen können die angegeben Dauern und Zeiträume in der tatsächlichen Bauausführung von denen in dieser Untersuchung abweichen. Da lediglich eine deutliche Verkürzung der Baumaßnahme auf maximal 78 Tage zu einer anderen Bewertung der Erschütterungen nach DIN 4150-2 führen würde, wovon nicht auszugehen ist, liegen die nachfolgenden Ergebnisse auf der sicheren Seite. Die Ergebnisse nach DIN 4150-3 stehen ohnehin nicht im Bezug zur Dauer der Bautätigkeiten.

2 Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien

Titel	Beschreibung / Bemerkung	Kat.	Datum
[1] DIN 4150, Teil 1	Erschütterungen im Bauwesen, Vorermittlungen von Schwingungsgrößen	N	Juni 2001
[2] DIN 4150, Teil 2	Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	N	Juni 1999
[3] DIN 4150, Teil 3	Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf bauliche Anlagen	N	2016
[4] DIN 45 669, Teil 1	Messung von Schwingungs- immissionen - Schwingungs- messer, Anforderungen, Prü- fung	N	September 2010
[5] DIN 45 669, Teil 2	Messung von Schwingungs- immissionen - Messverfahren	N	Juni 2005
[6] Taschenbuch der Technischen Akustik	G. Müller, M. Möser (Hrsg.), 3. Auflage	Lit.	2003
[7] Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten	Institut für Bauforschung e.V. Hannover	Lit.	2006
[8] Expertensystem für Lärm- und Erschütterungsprognosen beim Einbringen von Spundbohlen	K. Funk, Mitteilungen des Curt- Risch-Institutes für Dynamik, Schall- und Messtechnik der Universität Hannover	Lit.	1996
[9] Standardleistungsbuch für das Bauwesen, Regional-Leistungsbereich 898, Schutz gegen Baulärm und Erschütterungen	Umweltbundesamt Berlin	Lit.	Ausgabe April 1996
[10] Planunterlagen	Sweco GmbH	P	2025
[11] Bebauungspläne Katzwang	Onlineauskunft der Stadt Nürn- berg, geoportal.nuernberg.de	P	Abruf am 01.10.2024
[12] Bebauungspläne Wolkersdorf	Onlineauskunft Bayern Atlas https://geoportal.bayern.de	P	Abruf am 15.10.2024
[13] Vibrations induced by tunnel boring machine in urban areas: In situ measurements and methodology of analysis	Antoine Rallu, Nicolas Berthoz, Simon Charlemagne, Denis Branque	Lit	04.11.2021

Titel	Beschreibung / Bemerkung	Kat.	Datum
[14] Groundborne vibration caused by mechanized construction works – TRL Report 429	D. M. Hiller und G. I. Crabb	Lit	2000
[15] DB Richtlinie 800.2502 "Erschütterung und sekundärer Luftschall, Messung und Prognose"	DB AG, Abt. Bautechnik, Leit-, Signal- und Telekommunikationstechnik, TZF 12	Lit.	November 2006
[16] DB Richtlinie 800.2550 "Erschütterung und sekundärer Luftschall"	DB Net AG, Technik- und Anlagenmanagement Fahrbahn Oberbautechnik – I.NPF 111	Lit.	06.09.2017

Kategorien:

G: Gesetz

V: Verordnung

VV: Verwaltungsvorschrift

RdErl.: Runderlass

N: Norm

RIL: Richtlinie

Lit: Buch, Aufsatz, Berichtigung

P: Planunterlagen / Betriebsangaben

3 Beurteilungsgrundlagen Erschütterungen

3.1 Allgemeines

Erschütterungen sind mechanische Schwingungen, welche durch bestimmte Erschütterungsquellen ausgelöst werden und die eingeleitete Schwingungsenergie über den Boden in Form von Wellen auf Gebäude übertragen. Die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen erfolgt dabei anhand der DIN 4150 "Erschütterungen im Bauwesen".

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 [3] ohne jegliche Zeit- und Frequenzbewertung zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkung auf Gebäude heranzuziehen.

Entsprechend der DIN 4150, Teil 2 [2] 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 45669, Teil 1 [4] 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.

Die Messzeit wird in Takte von je 30 s eingeteilt. Jedem dieser Takte wird der darin erreichte Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ zugeordnet. 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} und zum anderen, falls erforderlich, die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} .

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} ist der Taktmaximal-Effektivwert über die Beurteilungszeit. Diese Beurteilungs-Schwingstärke für Einwirkungen außerhalb von Ruhezeiten wird nach DIN 4150, Teil 2 [2] mit folgender Gleichung berechnet:

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

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

$T_{e,j}$ = Teileinwirkungszeiten

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

3.2 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Die so ermittelten Beurteilungsgrößen $K_{BF_{max}}$ und K_{BF_r} werden mit den in der DIN 4150, Teil 2, angegebenen Anhaltswerten für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen verglichen.

Im Falle von Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen im Tageszeitraum (außer Sprengungen) gelten die Anhaltswerte gemäß Tabelle 2 der DIN 4150, Teil 2. Darin sind deutlich höhere Anhaltswerte als bei einer Beurteilung von gewerblich oder verkehrlich induzierten Erschütterungen gemäß Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 angegeben. Bei der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen sind nur die durch den Baustellenbetrieb verursachten Erschütterungen zu bewerten. Für nachts auftretende Erschütterungen gelten die strengeren Anhaltswerte der Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2. Mit Ausnahme des oberen Anhaltswertes für Gewerbe- und Industriegebiete wird bei den Anhaltswerten für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen im Tageszeitraum nicht weiter nach Gebietseinstufungen unterschieden. Im Nachtzeitraum hingegen sind gebietsspezifische Anhaltswerte anzusetzen. Für besonders schützenswerte Gebäude wie z. B. Krankenhäuser sind die Anhaltswerte nicht anwendbar.

Es erfolgt jedoch eine dreistufige Differenzierung nach Dauer der Baumaßnahme, Grad der Information der Anwohner über den Verlauf und die Dauer der notwendigen Arbeiten und durchgeführter Minderungsmaßnahmen.

Bei einer guten Anwohnerinformation kann von einer höheren Akzeptanz der Baumaßnahme ausgegangen werden. Daher sind in solchen Fällen höhere Erschütterungsimmissionen zulässig (Stufe II) als bei Baumaßnahmen ohne eine Information der Anwohner (Stufe I). Bei Überschreitung der Anhaltswerte der Stufe III liegen unzumutbare Erschütterungseinwirkungen vor. In einem solchen Fall ist die Vereinbarung besonderer Maßnahmen erforderlich, die über die im Folgenden beschriebenen Maßnahmen hinausgehen.

Dauer	D ≤ 1 Tag			6 Tage < D ≤ 26 Tage			26 Tage < D ≤ 78 Tage		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anhaltswerte	A _u	A _o *)	A _r	A _u	A _o *)	A _r	A _u	A _o *)	A _r
Stufe I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe II	1,2	5	0,8	0,8	5	0,6	0,6	5	0,4
Stufe III	1,6	5	1,2	1,2	5	1,0	0,8	5	0,6

*) Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt A_o = 6

Abbildung 3.1: Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2, Tabelle 2, für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen (außer Sprengungen) zum Tageszeitraum

Hierbei sind je nach Dauer der Baumaßnahme und Grad der Anwohnerinformation drei unterschiedliche Anhaltswerte A_u, A_o und A_r angegeben. Für Einwirkzeiträume zwischen 1 und 7 Tagen sind die Anhaltswerte nach Tabelle 2 der DIN 4150, Teil 2 zu interpolieren.

Unter der Dauer D der Erschütterungseinwirkungen nach Tabelle 2 der DIN 4150, Teil 2 ist die Anzahl von (Werk-)Tagen zu verstehen, an denen tatsächlich Erschütterungen auftreten (nicht die Dauer der Baumaßnahme an sich). Dabei sind Tage mit Erschütterungen, welche unter den jeweiligen Anhaltswerten für A_u und A_r gemäß Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 liegen, nicht mitzuzählen [2]. Für Erschütterungseinwirkungen, die länger als 78 Tage andauern, macht die Norm keine Angaben. Diese sind nach den besonderen Gegebenheiten des Einzelfalls individuell zu betrachten.

Für verkehrlich induzierte Erschütterungen sind jeweils die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 nach Tabelle 1 (hier Tabelle 3.1) heranzuziehen.

Tabelle 3.1: Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2, Tabelle 1

Einwirkungsgrad	A _u	A _u	A _o	A _o	A _r	A _r
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Zeile 1: GI	0,4	0,3	6	0,6	0,2	0,15
Zeile 2: GE	0,3	0,2	6	0,4	0,15	0,1
Zeile 3: MI / MK	0,2	0,15	5	0,3	0,1	0,07
Zeile 4: WR / WA / WS	0,15	0,1	3	0,2	0,07	0,05
Zeile 5: SO besonders schutzbedürftig	0,1	0,1	3	0,15	0,05	0,05

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_o, sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten.

Für Werte von $A_0 \geq KB_{Fmax} > A_u$ ist die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} zu ermitteln und mit dem Anhaltswert A_r zu vergleichen. Ist KB_{FT} 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 eine Erschütterung gespürt wird, von vielen individuellen Faktoren und dem subjektiven Empfinden abhängt.

Zur Information und Einordnung der Anhaltswerte ist nachfolgend eine grobe Korrelation zwischen KB-Werten und dem subjektiven Empfinden aufgeführt.

Tabelle 3.2: 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

3.3 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Zum Schutz nahe gelegener Gebäude vor Schäden während der Bauarbeiten sind die Anhaltswerte gemäß DIN 4150 Teil 3 [3] heranzuziehen. Den Anhaltswert definiert die Norm als Wert, bei dessen Einhaltung aus Erfahrung kein Schaden eintritt. Bei Überschreitung der Anhaltswerte folgen daraus jedoch nicht automatisch Schäden. Als Schaden wird eine bleibende Folge einer Einwirkung definiert, die eine Verminderung des Gebrauchswerts des betroffenen Bauwerks oder Bauteils im Hinblick auf die Nutzung mit sich bringt.

In den nachfolgenden Abbildung 3.2 und Abbildung 3.3 sind die in den Tabellen 1 und 4 der DIN 4150, Teil 3 [3] angegebenen Anhaltswerte für kurzzeitige und Dauererschütterungen dargestellt.

	Gebäudeart	Anhaltswerte für $v_{i,max}$ in mm/s				
		Fundament, alle Richtungen, $i = x, y, z$ Frequenzen			Oberste Deckenebene, horizontal, $i = x, y$	Decken vertikal, $i = z$
		1 Hz bis 10 Hz	10 Hz bis 10 Hz	50 Hz bis 100 Hz ^a		
1	2	3	4	5	6	
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 – 40	40 – 50	40	20
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 – 15	15 – 20	15	20
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 – 8	8 – 10	8	20 ^b
ANMERKUNG: Auch bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 1, Spalten 2 bis 5 können leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden						

Abbildung 3.2: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Gebäude gemäß Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 3

- a) Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.
- b) Bei dieser Gebäudeart kann zur Verhinderung leichter Schäden eine deutliche Abminderung dieses Anhaltswertes notwendig sein.

		Anhaltswerte für $v_{i,max}$ in mm/s	
		Oberste Deckenebene, horizontal	Decken vertikal
Gebäudeart		alle Frequenzen	
1		2	3
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	10
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5	10*
ANMERKUNG: Auch bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 1, Spalte 2 können leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden.			

Abbildung 3.3: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Gebäude gemäß Tabelle 4 der DIN 4150, Teil 3

*) Unterabschnitt 6.1.2 "Beurteilung von Decken" der DIN 4150, Teil 3 ist zu beachten.

Als kurzzeitige Erschütterungen gelten Erschütterungen, deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungen hervorzurufen, und deren zeitliche Abfolge und Dauer nicht geeignet sind, um in der betroffenen Struktur eine wesentliche Vergrößerung der Schwingungen durch Resonanzerscheinungen zu erzeugen. Als Dauererschütterungen gelten alle Erschütterungen, auf die die Definition kurzzeitiger Erschütterungen nicht zutrifft.

Eine Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden oder Gebäudeteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne der DIN 4150, Teil 3 sind z. B.:

- Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und
- Verminderung der Tragfähigkeit von Decken und anderen Bauteilen.

Bei Gebäuden nach Tabelle 1 für kurzzeitige Erschütterungen und Tabelle 4 für Dauererschütterungen der DIN 4150, Teil 3 [3], jeweils Zeilen 2 und 3, ist eine Verminderung des Gebrauchswertes auch gegeben, wenn z. B.:

- Risse im Putz von Wänden auftreten;
- bereits vorhandene Risse im Gebäude vergrößert werden;
- Trenn- oder Zwischenwände von tragenden Wänden oder Decken abreißen.

Diese Schäden werden auch als leichte Schäden bezeichnet.

Werden Gebäude nach den Tabellen 1 und 4 der DIN 4150, Teil 3 [3], jeweils nach Zeile 1 beurteilt (gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten), stellen leichte Schäden keine Minderung des Gebrauchswertes dar.

Unter der besonderen Erschütterungsempfindlichkeit gemäß den Tabellen 1 und 4 der DIN 4150, Teil 3 [3], jeweils Zeile 3, wird die Eigenschaft eines Bauwerkes verstanden, dass bereits geringe Erschütterungen leichte Schäden hervorrufen können.

Bei Einhaltung der Anhaltswerte der Tabellen 1 und 4 der DIN 4150, Teil 3 [3], jeweils Zeile 1, können in diesen Gebäuden leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden.

Beim Ein- und Ausschalten von Baumaschinen oder bei vergleichbaren Vorgängen sind Überschreitungen der Anhaltswerte für Dauererschütterungen zulässig, weil diese Überschreitungen von kurzer Dauer sind. Zur Beurteilung dieser Spitzenwerte können die Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen für Decken vertikal und die oberste Deckenebene herangezogen werden.

Als oberste Deckenebene ist die Deckenebene definiert, die auf tragenden Wänden aufliegt und in der Regel eine aussteifende Wirkung in den beiden horizontalen Richtungen übernimmt.

Beurteilung von massiven Bauteilen und erdverlegte Rohre

Für Ingenieurbauwerke in massiver Bauweise (z. B. Stahlbetonbauteile für Widerlager, Blockfundamente) gilt als Anhaltswert 80 mm/s, sofern keine Gefahren aus bodenmechanischen Vorgängen (Setzungen) entstehen können. Für die Beurteilung von erdverlegten Rohren sind die Anhaltswerte in Tabelle 3 der DIN 4150, Teil 3 oder in Tabelle 3.3 dieses Berichtes angegeben. Voraussetzung für die Anwendung dieser Anhaltswerte ist eine Herstellung und Verlegung entsprechend dem Stand der Technik, andernfalls gesonderte Betrachtungen erforderlich. Für Dauererschütterungen sind die anzusetzenden Anhaltswerte jeweils um 50 % abzumindern.

Tabelle 3.3: Anhaltswerte für $v_{i,max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf erdverlegte Rohre

Zeile	Leitungsbaustoffe	Anhaltswerte für $v_{i,max}$ [mm/s] auf der Rohrleitung
1	Stahl, geschweißt	100
2	Steinzeug, Beton, Stahlbeton, Spannbeton, Metall mit oder ohne Flansche	80
3	Mauerwerk, Kunststoff	50

ANMERKUNG: Drainagerohre sind nach Zeile 3 zu beurteilen

Bodensackungen

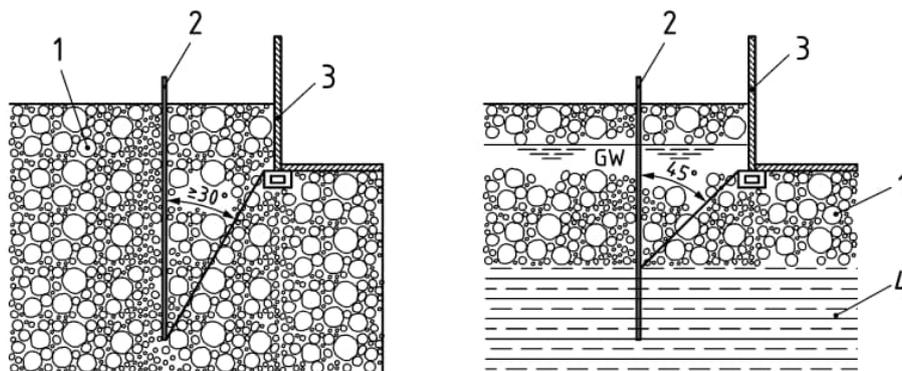
Durch mechanische Vorgänge, die durch Baumaschinen hervorgerufen werden, kann es auch zu Effekten im Boden selbst kommen.

Eine Bauwerksschädigung durch Erschütterung kann auch indirekt (als Setzungsschaden) erfolgen, wenn durch die Erschütterung eine Veränderung der Struktur des Gründungsbodens erfolgt. In der DIN 4150, Teil 3 wird darauf hingewiesen, dass in besonderen Fällen auch diese indirekten Folgen zu beachten sind. Empfindlich bezüglich derartiger Effekte sind vor allem locker gelagerte Sande unter Grundwasser und Schluffe. Anzumerken ist aber, dass außer ungünstigen Baugrundbedingungen, auch eine erhebliche Erschütterungsintensität erforderlich ist, um Bodensackungen bzw. Setzungen zu verursachen, weshalb solche Effekte allenfalls im Nahbereich um z. B. eine Vibrationsramme zu erwarten sind. Auf dieser Grundlage wird im Anhang C der DIN 4150, Teil 3 ein Mindestabstand einer durch Vibrationsrammung einzubringenden Spundwand gemäß Abbildung 3.4 empfohlen.

Bodensackungen können durch eine vibrationsbedingte Reduktion der Scherfestigkeit und dadurch verursachte Kornumlagerungen auftreten. Als diesbezüglich maßgeblicher Parameter wird in der Regel die resultierende Bodenbeschleunigung angesehen. Als Grenzwert für lockere und mitteldichte nichtbindige Böden, bei dessen Überschreitung Kornumlagerungen nicht mehr ausgeschlossen werden können, wird in der Literatur [7] ein Drittel der Erdbeschleunigung g vorgeschlagen:

$$a_R^{Boden} \leq \frac{1}{3} g \approx 3.300 \text{ mm/s}^2$$

Anzumerken ist aber, dass sich ein erheblicher Verdichtungseffekt erst bei Beschleunigungen ergibt, die den Wert der Erdbeschleunigung g deutlich übersteigen. Die zu erwartende Verdichtung infolge des o. g. Beschleunigungsgrenzwertes ist sehr gering.



Legende

- 1 Sand, Kies
- 2 Spundwand
- 3 Gebäude
- 4 Ton, Schluff

GW – Grundwasserspiegel

Abbildung 3.4: Schematische Darstellung der Abstände zwischen Spundwand und Gebäude der DIN 4150, Teil 3, Anhang C, Bild C.1

4 Örtliche Gegebenheiten

Die Baumaßnahme umfasst zwei Baufelder zwischen denen der Tunnelvortrieb stattfindet. Diese befinden sich östlich der Stadt Katzwang und südöstlich der Gaulnhofener Straße sowie südlich der Stadt Wolkersdorf an der Halmendorf Straße.

Im direkten Umfeld im Bereich des Baufeldes Katzwang befinden sich nördlich der Baustelleneinrichtungsfläche in ca. 22 m Entfernung ein Gärtnereibetrieb sowie südlich der Baustelleneinrichtungsfläche in einer Entfernung von ca. 30 m ein landwirtschaftlicher Betrieb. Die nächstgelegenen Wohngebäude befinden sich in einer Entfernung von ca. 135 m an der Straße "Am Roten Bühl". Da es sich bei allen Gebäuden um Bereiche handelt für die keine rechtskräftigen Bebauungspläne vorliegen und diese im unbeplanten Außengebiet liegen, wird von der Schutzbedürftigkeit eines Dorf- oder Mischgebietes (MI) ausgegangen.

Südwestlich der Startgrube in Katzwang sowie des Main-Donau-Kanals wird für die Gebiete nördlich und südlich der Gaulnhofener Straße ein allgemeines Wohngebiet (WA) gemäß der Bebauungspläne der Stadt Katzwang [11] festgelegt. Südlich der "Memelstraße" und östlich der "Kurlandstraße" wird ein reines Wohngebiet (WR) ausgewiesen. Westlich der "Katzwanger Hauptstraße" befindet sich zudem ein allgemeines Wohngebiet (WA).

Die LKW-Anlieferung zur Startgrube in Katzwang erfolgt über die Straße "Marthweg". Für das Gebiet südlich der "Propsteistraße" wird ein allgemeines Wohngebiet (WA) ausgewiesen. Zudem befinden sich östlich der "Konrad-Stör-Straße" und "Hordlerstraße" sowie südlich des "Klosterweg" und westlich der Straße "Am Schwedengraben" reine Wohngebiet (WR).

Die nächstgelegenen Gebäude im Bereich des Baufeldes Wolkersdorf liegen in einer Entfernung von ca. 170 m westlich der Baumaßnahme sowie die nächstgelegenen Wohngebäude in einer Entfernung von ca. 280 m nördlich der Baumaßnahme. Die Bebauungspläne der Stadt Wolkersdorf [12] weisen für das Gebiet östlich und westlich der Straße "Wolkersdorfer Berg" ein Gewerbegebiet (GE) aus. Für den westlichen Bereich der Breitenfeldstraße wird ein reines Wohngebiet sowie für den östlichen Bereich der Breitenfeldstraße ein allgemeines Wohngebiet (WA) ausgewiesen. Die Gebäude südlich des Gewerbegebietes liegen außerhalb der Geltungsbereiche rechtskräftiger Bebauungspläne. Da es sich bei dem Gebiet um Gebäude mit landwirtschaftlicher Nutzung sowie eine Sandaufbereitungsanlage handelt wird die Schutzbedürftigkeit eines Dorf- oder Mischgebietes (MI) angenommen.

Für die restlichen Gebiete liegen keine rechtskräftigen Bebauungspläne vor. Da die Beurteilung nach DIN 4150-2 keine Differenzierung zwischen einem allgemeinen und reinen Wohngebiet vornimmt, werden die restlichen Gebiete aufgrund der sich nicht ändernden Gebietscharakteristik ebenfalls als reine oder allgemeine Wohngebiete berücksichtigt. Lediglich für das Hallenbad westlich der "Katzwanger Hauptstraße" wird von der Schutzbedürftigkeit eines Mischgebietes ausgegangen.

Eine Übersicht der örtlichen Gegebenheiten mit den Gebietsnutzungen ist Anlage 1 zu entnehmen.

5 Beschreibung der Baumaßnahme

Der geplante Tunnel zwischen Katzwang und Wolkersdorf erstreckt sich über eine Länge von ca. 2,3 km Luftlinie und verläuft dabei überwiegend unterhalb von landwirtschaftlich genutztem und unbebautem Gebiet. Der Tunnel verläuft an der kritischsten Stelle ca. 9 m unterhalb der Oberfläche und weist eine maximale Tiefe von bis zu 32 m auf. Die nächstgelegenen Gebäude liegen in einer Entfernung von ca. 13 m Luftlinie zum Tunnel. Die Überdeckung beträgt an der ungünstigsten Stelle 22 m. Darüber hinaus werden im Zuge der Herstellung des Tunnels zwei Schachtbauwerke errichtet zwischen denen der Tunnelvortrieb erfolgt. Die Material- und Materialablieferungen mittels 40t-LKWs erfolgt dabei in Katzwang über den Marthweg sowie in Wolkersdorf über die Volckamerstraße. Hierbei befinden sich die nächstgelegenen Gebäude in einer Entfernung von nur ca. 2,5 m zur Straßenmittelachse.

Aus den durchgeführten geotechnischen Untersuchungen [10] gehen die vorliegenden Bodeneigenschaften hervor. Dabei führt der Tunnel überwiegend durch sandigen Boden sowie zum Teil auch durch Schluff- und Tonschichten.

Die Baumaßnahme ist für eine Dauer von insgesamt 3,5 Jahre geplant. Der Tunnel wird in zwei Trassen unterteilt: Trasse Nord und Trasse Süd. Der Tunnelvortrieb wird dabei zunächst für die Trasse Nord und im Anschluss für die Trasse Süd durchgeführt und dauert jeweils sechs Monate. Während der gesamten Baumaßnahme erfolgen regelmäßig LKW-An- und Abtransporte. Ebenso erfolgen Abbrucharbeiten sowie Verdichtungsarbeiten im Bereich der Schächte. Der nachfolgenden Tabelle 5.1 können die geplanten Bauphasen sowie die Einsatzdauer der Erschütterungsgeräte je Bauphase entnommen werden.

Tabelle 5.1: Darstellung der geplanten Bauphasen

Bauphase	Katzwang		Wolkersdorf		erschütterungsrelevante Geräte
	Dauer Tag	Dauer Nacht	Dauer Tag	Dauer Nacht	
BP 1: allgemeiner Tiefbau, BE-Flächen, Baustelleneinrichtung, Bauvorbereitung	6 Monate	-	9 Monate	-	• LKW
	1,5 Monate	-	1,5 Monate	-	• Rüttelplatte • Walze
BP 2+3: Baugrube herstellen (Start- und Zielbaugrube)	9 Monate	-	9 Monate	-	• LKW
	1 Monat	-	0,5 Monate	-	• Hydraulikhammer
BP 4: Vortrieb Trasse Nord	6 Monate				• TBM
	9 Monate	-	9 Monate	-	• LKW
BP 5: Vortrieb Trasse Süd	6 Monate				• TBM
	8 Monate	-	8 Monate	-	• LKW
BP 6: Erdkabelstrecken	5 Monate	-	4 Monate	-	• LKW

Bauphase	Katzwang		Wolkersdorf		erschütterungsrelevante Geräte
	Dauer Tag	Dauer Nacht	Dauer Tag	Dauer Nacht	
BP 7: Schachtröh- und Ausbau	6 Monate	-	6 Monate	-	• LKW
BP 8: Kabeleinzug Montage	4 Monate	Insgesamt 12x während 199 Nächten	4 Monate	-	• LKW
BP 9: Herstellung Betriebsgebäude	9 Monate	-	8 Monate	-	• LKW
	ca. 2 Monate	-	ca. 2 Monate	-	• Rüttelplatte • Vibrationswalze
BP 10: TGA	-				
BP 11: Freiflächengestaltung, Rückbau, Oberflächen	4 Monate	-	3 Monate	-	• LKW • Rüttelplatte • Vibrationswalze

6 Erschütterungstechnische Betrachtungen

6.1 Vorbemerkungen

Allgemeine Erschütterungsprognosen zu Bautätigkeiten sind Prognosen mit höherer Unsicherheit, welche zum Beispiel auf Vergleichsmessungen oder auf baubegleitenden Messungen, aus Literaturstudien oder eigenen Messungen basieren.

Wesentlich für Erschütterungen sind immer die individuellen Schwingungsübertragungseigenschaften der Gebäudestruktur des Empfangsgebäudes selbst und die Bodeneigenschaften im Ausbreitungsweg. Ohne Messungen oder genaue Kenntnisse über die Empfangsgebäude und den Boden, ergibt sich zwangsläufig eine geringere Prognosesicherheit.

Von den Bautätigkeiten verursachte Erschütterungen werden im Erdboden weitergeleitet und auf dem Ausbreitungsweg in der Regel gedämpft. Über das Fundament gehen die Schwingungen in das Gebäude ein und breiten sich im Gebäude aus. Je nach Schwingungsverhalten des Gebäudes (Konstruktion, Bauweise, Materialität, ...) können auch relevante verstärkende Effekte (Resonanzen) im Gebäude auftreten, welche die eingeleiteten Schwingungen in bestimmten Frequenzbereichen zusätzlich verstärken können. Im ungünstigsten Fall liegen diese Resonanzen der Gebäude im gleichen Frequenzbereich wie die hauptsächlich anregenden Schwingungen der Baumaschinen. Resonanzen können jedoch nur bei Dauererschütterungen und nicht bei kurzzeitigen Erschütterungen auftreten.

Der Tageszeitraum im Erschütterungsschutz wird als 16-stündiger Zeitraum von 06:00 bis 22:00 Uhr definiert. Dementsprechend ist der Nachtzeitraum von 22:00 bis 06:00 Uhr definiert. Dies unterscheidet sich von der Definition des Tages- und Nachtzeitraum nach AVV Baulärm.

Die Arbeiten, die während dieser Baumaßnahme relevante Erschütterungen auslösen, sind die Abbrucharbeiten mittels Hydraulikhammer, Verdichtungsarbeiten mittels Rüttelplatte und Vibrationswalze, Anlieferungen per LKW und der Tunnelvortrieb mittels Vortriebsmaschine. Dabei erfolgt die Berechnung der Rüttelplatte, Vibrationswalze und des Hydraulikhammers anhand von Literaturdaten [7]. Die Bewertung der Vortriebsmaschine erfolgt anhand Messergebnissen aus Literaturdaten [13][14] sowie die Bewertung des LKW-Verkehrs anhand von eigenen durchgeführten Messungen. Für die Vortriebsmaschine und den LKW liegen entsprechend keine Berechnungsansätze vor, weshalb sich die nachfolgenden Textpassagen ausschließlich auf die Rüttelplatte, Vibrationswalze und den Hydraulikhammer beziehen.

Hinweise für die Beurteilung der Rüttelplatte, Vibrationswalze und des Hydraulikhammers

Es wird für die Berechnungen nach DIN 4150, Teil 3, zur Bestimmung von Einwirkungen auf bauliche Anlagen ein Maximalansatz mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von nur 2,25 % angesetzt, da Schäden so sicher wie möglich ausgeschlossen werden müssen und diese auch schon bei sehr kurzen Einwirkzeiten auftreten können. Bei der Beurteilung der Erschütterungsimmissionen auf Menschen in Gebäuden nach DIN 4150, Teil 2 wird der wahrscheinliche Wert mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 50 % herangezogen. Dies geschieht, da meist längere Einwirkzeiten von mehreren Minuten und Stunden

betrachtet werden und hierbei ein Mittelwert über die Einsatzzeit und nicht Maximalereignisse wie bei der Betrachtung von Gebäudeschäden heranzuziehen sind.

Auch lassen sich für Hydraulikhämmer zu erwartende Schlagenergien und maximal mögliche auftretende Schlagenergien (Tabelle 6.1) berechnen. Hierbei werden die zu erwartenden Energien analog dem oben beschriebenen Vorgehen nach DIN 4150, Teil 2 und die maximal möglich auftretenden Schlagenergien nach DIN 4150, Teil 3 angesetzt.

Tabelle 6.1: Berücksichtigte Baumaschinen für die Erschütterungsprognose

Baumaschine	Klasse / Gewicht	Art der Anregung	Frequenz	Energie / Leistung	
				wahrscheinlich	maximal
Rüttelplatte	0,28 t	harmonisch stationär	65 Hz	4,6 kW	4,6 kW
Vibrationswalze	5,88 t	harmonisch stationär	28 Hz	36,8 kW	36,8 kW
Hydraulikhammer	3,6 t	periodisch stationär	7 Hz	9,64 kNm	13,71 kNm

Für die erschütterungsrelevanten Geräte kann gemäß Literatur [7] die maximale Komponente der Fundamentalschwinggeschwindigkeit $v_{i,max}^F$ mit den in Tabelle 6.2 aufgeführten Berechnungsformeln abgeschätzt werden. Da keine Berechnungsgrundlage in der Literatur für Rückbauarbeiten mithilfe eines Hydraulikhammers bekannt ist, wird hilfsweise die Berechnung für eine Schlagrammung herangezogen, aber anhand der Anhaltswerte für Dauerschütterungen bewertet.

Tabelle 6.2: Berücksichtigte Berechnungsformeln für die Erschütterungsprognose gemäß Literatur

Baumaschine	Formel DIN 4150-3	Formel DIN 4150-2
Rüttelplatte	$v_{i,max}^F = 10,87 \cdot \frac{\sqrt{G}}{r}$	$v_{i,max}^F = 4,31 \cdot \frac{\sqrt{G}}{r}$
Vibrationswalze	$v_{i,max}^F = 10,87 \cdot \frac{\sqrt{G}}{r}$	$v_{i,max}^F = 4,31 \cdot \frac{\sqrt{G}}{r}$
Hydraulikhammer	$v_{i,max}^F = 11,07 \cdot \frac{\sqrt{E}}{r^{1,3}}$	

$v_{i,max}^F$ = maximale Komponente der Fundamentalschwinggeschwindigkeit in mm/s

E = Schlagenergie in kNm

G = Betriebsgewicht in t

W = Leistung in kW

f = Betriebsfrequenz in Hz

r = Abstand zwischen Erschütterungsquelle und Fundament in m

Die Berechnungsansätze liefern Abschätzungen der maximalen zu erwartenden Komponente der Fundamentalschwinggeschwindigkeit $v_{i,max}^F$ in Abhängigkeit der Entfernung zwischen Erschütterungsquelle und betrachtetem Gebäude. Für die Wände und Geschossdecken in den oberen Geschossen muss eine Weiterleitung im Gebäude mit berücksichtigt werden, welche sich mit nachfolgenden Formeln aus der Literatur [7] berechnen lässt:

horizontal:

$$v_{x/y,max}^{OG} = v_{i,max}^F \cdot k_{x/y}^{F-OG}$$

vertikal:

$$v_{z,max}^{OG} = v_{i,max}^F \cdot k_z^{F-OG}$$

$v_{i,max}^F$ = maximale Komponente der Fundamentalschwinggeschwindigkeit in mm/s

$v_{x/y,max}^{F-OG}$ = maximale horizontale Komponente der Schwinggeschwindigkeit im Obergeschoss in mm/s

$k_{x/y}^{F-OG}$ = horizontaler Übertragungsfaktor vom Fundament in das Obergeschoss, abhängig vom Untergrund 0,5 (sehr harter Untergrund) bis 2,0 (sehr weicher Untergrund)

$v_{z,max}^{F-OG}$ = maximale vertikale Schwinggeschwindigkeit im Obergeschoss in mm/s

k_z^{F-OG} = vertikaler Übertragungsfaktor vom Fundament in das Obergeschoss, außerhalb des Resonanzfalls $< 1,5$

Für Berechnungen von eingeschossigen Bauten gemäß DIN 4150-2 kann der Übertragungsfaktor vom Fundament ins Obergeschoss vernachlässigt werden, da sich dort in der Regel keine Menschen (dauerhaft) aufhalten.

Im vorliegenden Fall besteht keine bauliche Verbindung zwischen der Baumaßnahme und den umliegenden Nachbargebäuden. Da die nächstgelegene schützenswerte Bebauung je nach eingesetzter Baumaschine variiert, sind die kürzesten Distanzen zu den jeweiligen Gebäudearten in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 6.3: Berücksichtigte Distanzen der jeweiligen Baumaschinen zu den schützenswerten Bebauungen

Baumaschine	Gebäude / Adresse	Gebäudeart nach DIN 4150-3	Entfernung [m]
Rüttelplatte	Am Roten Bühl 28	Gewerblich genutzte Bauten	23
	Am Roten Bühl 26	Wohngebäude	104
Vibrationswalze	Am Roten Bühl 28	Gewerblich genutzte Bauten	23
	Am Roten Bühl 26	Wohngebäude	104
Hydraulikhammer	Am Kühnleinsgarten 11	Gewerblich genutzte Bauten	60

Baumaschine	Gebäude / Adresse	Gebäudeart nach DIN 4150-3	Entfernung [m]
	Am Roten Bühl 26	Wohngebäude	255

6.2 Ermittlung der Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen gemäß DIN 4150-3

6.2.1 Rüttelplatte, Vibrationswalze und Hydraulikhammer

Für die Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Wohngebäude empfiehlt die DIN 4150-3 [3] in Tabelle 1 Anhaltswerte für die maximal zulässige Schwinggeschwindigkeit in der obersten Deckenebene von 5 mm/s in horizontaler Richtung und 10 mm/s in vertikaler Richtung. Für gewerblich genutzte Gebäude gilt eine maximal zulässige Schwinggeschwindigkeit von 10 mm/s in horizontaler und vertikaler Richtung.

Unter Berücksichtigung der in Tabelle 6.1 dargestellten Leistungen sowie der in Tabelle 6.2 berücksichtigten Formeln ergeben sich für mittelweiche Bodenverhältnisse ($k^F - OG_{x/y} = 1,5$) die in Tabelle 6.4 dargestellten horizontalen und vertikalen Schwinggeschwindigkeiten von Decken und Wänden:

Tabelle 6.4: Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-3

Baumaschine	Adresse	Entfernung [m]	$v^{OG}_{x/y/z,max}$ [mm/s]	Anhaltswert [mm/s] hori. / vert.	Einhaltung
Rüttelplatte	Am Roten Bühl 28	23	0,38	10 / 10	ja
	Am Roten Bühl 26	104	0,08	5 / 10	ja
Vibrationswalze	Am Roten Bühl 28	23	1,72	10 / 10	ja
	Am Roten Bühl 26	104	0,38	5 / 10	ja
Hydraulikhammer	Am Kühnleinsgarten 11	60	0,30	10 / 10	ja
	Am Roten Bühl 26	255	0,05	5 / 10	ja

Wie die Ergebnisse zeigen, werden die Anhaltswerte der DIN 4150-3 für die Rüttelplatte, die Vibrationswalze und den Hydraulikhammer eingehalten.

Der Anhaltswert der Bodenschwingbeschleunigung (Kapitel 3.3) von 3.300 mm/s wird für alle Baumaschinen eingehalten.

Die Ergebnisse für die Berechnungen der maximalen Schwingschnelle an den Fundamenten der betrachteten nächstliegenden Bebauung werden in Anlage 2 dargestellt.

Trotz Einhaltung der Anhaltswerte sind die in den Kapiteln 6.4 und 6.5 aufgeführten allgemeinen und spezifische Minderungsmaßnahmen zu beachten.

6.2.2 Vortriebsmaschine

Für die Beurteilung von Vortriebsmaschinen gibt es in der Literatur keine Berechnungsgrundlage. Daher werden nachfolgend durchgeführte Messungen an Vergleichsprojekten zur Beurteilung der zu erwartenden Erschütterungen herangezogen. Unter anderem liegen Messergebnisse für durchgeführte Messungen während Vortriebsarbeiten in Frankreich nach Rallu et al. [13] vor. Die Messungen wurden bei Vortriebsarbeiten durch sandigen Boden, Kies, Ton sowie Schluff durchgeführt. Die Überdeckung der gemessenen Tunnelvortriebe betrug dabei zwischen 10 m und 20 m. Aus dem Messbericht der in Frankreich durchgeführten Messungen geht unter der Berücksichtigung einer Entfernung von 30 m Luftlinie zum Tunnelvortrieb folgende Schwinggeschwindigkeit hervor:

- 0,02-0,1 mm/s in tonigem Sand (30 bis 36 m diagonale Entfernung)
- 0,03-0,2 mm/s in Kiesen und Sanden (30 bis 36 m diagonale Entfernung)
- 0,1-1 mm/s in Granit (30 bis 36 m diagonale Entfernung)

Aus den von Hiller und Crabb [14] durchgeführten Messungen gehen folgende Ergebnisse hervor:

- 0,01 bis 0,02 mm/s in Ton und Sand in 25 bis 55 m Entfernung
- 0,17 bis 0,37 mm/s in Sand und Kies in 10 bis 18 m Entfernung
- 0,05 bis 1,9 mm/s in Fels in 10 bis 100 m Entfernung

Dabei lag eine Überdeckung von 10 bis 55 m vor. Daraus ergibt sich eine diagonale Entfernung von 27 bis 78 m für Ton und Sand, 14 bis 58 m für Sand und Kies sowie von 14 bis 114 m für Fels.

In der nachfolgenden Tabelle 6.5 sind die Gebäude bzw. Bauwerke mit der geringsten Entfernung zur Trasse inkl. der dort vorliegenden Bodenart aufgelistet, durch die die geplante Trasse verlaufen wird. Für die erdverlegte Rohrleitung liegen keine Angaben zum Baustoff der Leitung vor. Auf der sicheren Seite liegend wird der kritischste Baustoff, Mauerwerk oder Kunststoff, angenommen. Dieser Wert ist jedoch nur für kurzzeitige Erschütterungen anwendbar. Da es sich beim Tunnelvortrieb um Dauererschütterungen handelt, wird der Wert daher um 50 % abgemindert, womit noch ein Anhaltswert von 25 mm/s zu berücksichtigen ist. Für das Fundament des nächstgelegenen Mastes wird gemäß DIN 4150-3 ein Anhaltswert von 80 mm/s für Ingenieurbauwerke herangezogen.

Tabelle 6.5: Entfernung der nächstgelegenen Gebäude / Bauwerke zur Trasse und Angabe der Bodenart durch die der Tunnel im Bereich der Gebäude verläuft

Adresse	Gebäudeart	Anhaltswert nach DIN 4150-3 [mm/s] hori./vert.	Entfernung zur Trasse, Luftlinie [m]	Überdeckung [m]
Gebäude westlich Wolkersdorfer Straße 131	Wohngebäude	5 / 10	80	22

Adresse	Gebäudeart	Anhaltswert nach DIN 4150-3 [mm/s] hori./vert.	Entfernung zur Trasse, Luftlinie [m]	Überdeckung [m]
Katzwanger Hauptstraße 24	Wohngebäude	5 / 10	9	25
Kurlandstraße 13	Wohngebäude	5 / 10	25	25
Katzwanger Hauptstraße 25	Gewerbegebäude	10 / 10	19	23
Mast Nr. 81	Ingenieurbauwerk	80	0 m, direkte Kreuzung	12
Fernwasserleitung	erdverlegtes Rohr	25	0 m, direkte Kreuzung	18

Ergänzend zu Tabelle 6.5 wird in der nachfolgenden Tabelle 6.6 die sich aus der Überdeckung und der horizontalen Entfernung zur Trasse ergebende diagonale Entfernung zur Trasse sowie die im Bereich der zu untersuchenden Gebäude vorliegende Bodenart durch welche die Trasse verläuft dargestellt.

Tabelle 6.6: Angabe der Bodenart durch die der Tunnel im Bereich der Gebäude verläuft

Adresse	diagonale Entfernung zum Tunnel [m]	Bodenart
Gebäude westlich Wolkersdorfer Straße 131	83	Sand
Katzwanger Hauptstraße 24	26	Sand
Kurlandstraße 13	30	Sand
Katzwanger Hauptstraße 25	29	Sand, Schluff, Ton
Mast Nr. 81	12	Sand, Kies
Fernwasserleitung	18	Sand, Schluff, Ton

Aus den oben aufgeführten Messergebnissen geht für sandigen und kiesigen Boden eine Schwinggeschwindigkeit von 0,03 bis 0,2 mm/s aus den Messergebnissen nach Rallu et al. [13] sowie von 0,17 bis 0,37 mm/s nach Hiller und Crabb [14] hervor. Für die Messung von Hiller und Crabb wird eine Entfernung von 10 m zu Grunde gelegt und für die Messung von Rallu et al. eine Entfernung von 36 m. Da die Messungen in abweichenden Entfernungen durchgeführt wurden, wird zunächst unter Berücksichtigung der Abstandsänderung

nach DIN 4150-1 Kapitel 4.2 die Messung von Rallu et al. ebenfalls für eine Entfernung von 10 m ausgewertet.

$$v = v_1 \left(\frac{R}{R_1} \right)^{-n} \exp[-a(R - R_1)]$$

Darin ist:

- v = Amplitude der Schwinggeschwindigkeit in mm/s
- v₁ = Amplitude der Schwinggeschwindigkeit in mm/s in der Entfernung R₁
- R₁ = Bezugsabstand in m
- R = Entfernung der Quelle in m
- n = Exponent, der von Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung abhängt
- a = Abklingkoeffizient in m⁻¹, a ≈ 2π D_B / λ
- D_B = Dämpfungsgrad des Bodens
- λ = maßgebende Wellenlänge in m, λ = c/f
- c = Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle in m/s
- f = Frequenz in Hz

Dadurch ergibt sich eine Schwinggeschwindigkeit von 0,38 mm/s in 10 m nach Rallu et al. Im Sinne einer oberen Abschätzung wird nachfolgend eine Schwinggeschwindigkeit von 0,38 mm/s berücksichtigt.

Die Schwinggeschwindigkeit lässt sich nun anhand der Gleichung für die vorliegenden Abstände zu den nächstgelegenen Bauwerken ableiten (siehe Tabelle 6.7). Im Sinne einer oberen Abschätzung wird für den Übertragungsfaktor von dem Boden in das Fundament ein k^{B-F} = 1 gewählt. Gemäß Achmus [7] liegt diese in der Regel jedoch bei 0,7 bis 0,92, weshalb hier ein konservativer Ansatz gewählt wird. Für die Ermittlung der Schwinggeschwindigkeit in der obersten Deckenebene wird im Sinne einer oberen Abschätzung ein Übertragungsfaktor von 2 in horizontaler Richtung sowie von 1,5 in vertikaler Richtung gewählt. Für die Fernwasserleitung und das Fundament des Mastes wird lediglich die Schwinggeschwindigkeit am Fundament v_{F,i,max} berücksichtigt.

Tabelle 6.7: Ermittlung der vertikalen Schwingschnelle

Adresse	Diagonale Entfernung [m]	v ^{OG} _{x/y,max} [mm/s]	v ^{OG} _{z,max} [mm/s]	Anhaltswert [mm/s] hori. / vert.	Einhaltung
Gebäude westlich Wolkersdorfer Straße 131	83	0,26	0,20	5 / 10	ja
Katzwanger Hauptstraße 24	26	0,47	0,25	5 / 10	ja

Adresse	Diagonale Entfernung [m]	$v_{x/y,max}^{OG}$ [mm/s]	$v_{z,max}^{OG}$ [mm/s]	Anhaltswert [mm/s] hori. / vert.	Einhaltung
Kurlandstraße 13	30	0,44	0,23	5 / 10	ja
Katzwanger Hauptstraße 25	29	0,45	0,23	10 / 10	ja
Mast Nr. 81	12	$v_{F,i,max} = 0,35$		80	ja
Fernwasserleitung	18	$v_{F,i,max} = 0,28$		25	ja

Wie sich Tabelle 6.7 entnehmen lässt, werden die Anhaltswerte gemäß DIN 4150-3 für die nächstgelegenen Gebäude und Bauwerke eingehalten.

6.2.3 LKW-Verkehr

Während der gesamten Baumaßnahme kommt es zeitweise zu An- und Ablieferungen durch LKW-Verkehr. Gemäß den Angaben des Auftraggebers ist für den LKW-Verkehr von einem 40t-LKW auszugehen. Der nachfolgenden Tabelle 6.7 können die geplanten LKW-Verkehre getrennt für den Tages- und Nachtzeitraum je Bauphase entnommen werden.

Tabelle 6.8: Übersicht der LKW-Verkehre pro Bauphase für den Tages- und Nachtzeitraum

Bauphase	Anzahl Fahrten pro Tag	Anzahl Fahrten pro Nacht
BP 1: allgemeiner Tiefbau, BE-Flächen, Baustelleneinrichtung, Bauvorbereitung - Katzwang	24	-
BP 1: allgemeiner Tiefbau, BE-Flächen, Baustelleneinrichtung, Bauvorbereitung - Wolkersdorf	20	-
BP 2: Baugrubenherstellung - Katzwang	30	-
BP 3: Baugrubenherstellung - Wolkersdorf	12	-
BP 4: Vortriebsarbeiten Trasse Nord	35	-
BP 5: Vortriebsarbeiten Trasse Süd	35	-
BP 6: Erdkabelstrecken - Katzwang	5	-
BP 6: Erdkabelstrecken - Wolkersdorf	2	-
BP 7: Schachtröh- und Ausbau - Katzwang	4	-
BP 7: Schachtröh- und Ausbau - Wolkersdorf	8	-

Bauphase	Anzahl Fahrten pro Tag	Anzahl Fahrten pro Nacht
BP 8: Kabeleinzug Montage - Katzwang	1	Insgesamt 12x während 199 Nächten
BP 8: Kabeleinzug Montage - Wolkersdorf	1	-
BP 9: Herstellung Betriebsgebäude - Katzwang	2	-
BP 9: Herstellung Betriebsgebäude - Wolkersdorf	2	-
BP 11: Freiflächengestaltung, Rückbau, Oberflächen - Katzwang	16	-
BP 11: Freiflächengestaltung, Rückbau, Oberflächen - Wolkersdorf	12	-

Wie sich der Tabelle 6.7 entnehmen lässt, ist im Worst-Case mit 35 Fahrten im Tageszeitraum zu rechnen, sowie während einer Dauer von 199 Nächten mit insgesamt 12 Fahrten eines 12-achsigen Schwertransporters. In der nachfolgenden Untersuchung wird entsprechend von einer Fahrt im Nachtzeitraum ausgegangen.

Im Rahmen einer Erschütterungsmessung und -prognose aus unserem Hause wurden im Jahr 2018 Erschütterungsmessungen für unterschiedliche 40t-LKW an einer zweispurigen Straße in einer Entfernung von 8 m von der Mittelachse des nächstgelegenen Fahrstreifens zu den Messsensoren durchgeführt. Die Entfernung zur Mitte des zweiten Fahrstreifens betrug 11 m. Insgesamt wurden drei Messsensoren mit Abständen von 30 bzw. 40 m zueinander entlang der Straße aufgestellt. Dabei wurden die Erschütterungsanregungen durch LKW-Vorbeifahrten erfasst. Zudem lagen an einem der Messpunkte zwei Kanaldeckel in der Fahrbahn sowie ein Gullydeckel. Die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten v_{max} sowie die Emissionsspektren wurden ausgewertet und können auf die vorliegende Baumaßnahme übertragen werden. Dabei wurden die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen für Gebäude mit Holzbalkendecken und Gebäude mit Betondecken zunächst für eine Entfernung von 8 m zu den geplanten LKW-Fahrten pro Tag ausgewertet. Im vorliegenden Fall befindet sich das nächstgelegene Gebäude ca. 2,5 m Entfernung bis zur Mitte der Fahrspur an der Straße "An den Weihern 2". Entsprechend wurden die Messergebnisse zudem unter Berücksichtigung der Bodendämpfungsfunktionen nach DB Ril. 800.2502 und 800.2550 [15][16] für eine Entfernung von 3 m für Holzbalken- und Betondecken ausgewertet. Die Ergebnisse der Emissionsprognose kann Anlage 3 entnommen werden. In der nachfolgenden Tabelle werden die Ergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 6.9: maximale KB_{FTm} in Abhängigkeit der Frequenz, Entfernung und Deckenart

Holzbalkendecke		Betondecke	
3 m	8 m	3 m	8 m
0,83 (bei 12,5 Hz)	0,35 (bei 10 Hz)	0,60 (bei 16 Hz)	0,24 (bei 12,5 Hz)

Tabelle 6.10: maximale KB_{FTr} in Abhängigkeit der Frequenz, Entfernung und Deckenart

Holzbalkendecke		Betondecke	
3 m	8 m	3 m	8 m
0,15 (bei 12,5 Hz)	0,06 (bei 12,5 Hz)	0,11 (bei 16 Hz)	0,04 (bei 12,5 Hz)

Dem Entwurf der DIN 4150-2 (2023) lässt sich ein Umrechnungsfaktor von KB_{FTr} zu KB_{Fmax} für Züge entnehmen. Nachfolgend wird dieser Umrechnungsfaktor auch für die nachfolgende Betrachtung der LKW-Fahren herangezogen. Damit ergeben sich folgende KB_{Fmax} :

Tabelle 6.11: maximale KB_{Fmax} in Abhängigkeit der Frequenz, Entfernung und Deckenart

Holzbalkendecke		Betondecke	
3 m	8 m	3 m	8 m
1,25 (bei 12,5 Hz)	0,53 (bei 10 Hz)	0,90 (bei 16 Hz)	0,36 (bei 12,5 Hz)

Unter Berücksichtigung der nachfolgenden Formel nach DIN 4150-2 [2] lässt sich aus dem KB_{Fmax} die maximale Schwinggeschwindigkeit v_{max} bestimmen.

$$KB = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{v_{max}}{\sqrt{1 + (f_0/f)^2}}$$

$$KB_{Fmax} = KB \cdot c_F$$

- f = Frequenz in Hz
- f_0 = 5,6 Hz (Grenzwert des Hochpasses)
- v_{max} = maximale Schwingschnelle in mm/s
- c_F = die Konstante nach Tabelle 3 DIN 4150, Teil 2 bzw. Tabelle 6.13 dieses Berichtes
- KB = Schwingstärke, dimensionslos

Unter Berücksichtigung eines Übertragungsfaktors von 1,5 ergeben sich dann die horizontale und vertikale Schwinggeschwindigkeiten gemäß Tabelle 6.12.

Tabelle 6.12: Ableitung der Schwinggeschwindigkeit v_{max} aus den Messergebnissen

Deckenart und Entfernung	Maximal bewertete Schwingstärke KB_{fmax}	Schwingstärke KB	Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	$v_{x/y/z,max}^{OG}$ [mm/s]	Anhaltswert [mm/s] hori. / vert.	Einhaltung
Holzbalken, 3m	1,25	1,56	2,41	3,62	5 / 10	ja

Deckenart und Entfernung	Maximal bewertete Schwingstärke KB_{fmax}	Schwingstärke KB	Schwinggeschwindigkeit v_{max} in mm/s	$v_{x/y/z,max}^{OG}$ [mm/s]	Anhaltswert [mm/s] hori. / vert.	Einhaltung
Holzbalken, 8 m	0,53	0,66	1,06	1,60	5 / 10	ja
Beton, 3 m	0,90	1,13	1,69	2,53	5 / 10	ja
Beton, 8 m	0,36	0,45	0,70	1,05	5 / 10	ja

Die nächstgelegenen Gebäude befinden sich in einer Entfernung von ca. 3 m zur Mittelachse bzw. ca. 1,5 m zum Straßenrand der nächstgelegenen Fahrbahn. Entsprechend ist nach DIN 4150-3 nicht mit Überschreitungen der Anhaltswerte für Wohngebäude sowohl für Holzbalken- als auch Betondecken zu rechnen.

6.3 Ermittlung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden gemäß DIN 4150-2

Zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden werden die maximale bewertete Schwingstärke KB_{fmax} und die resultierenden Beurteilungsschwingstärken KB_{FT} der DIN 4150, Teil 2 [2] ermittelt.

Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{fmax} ist der Maximalwert der Schwingstärke, der während der jeweiligen Beurteilungszeit einmalig oder wiederholt auftritt und welcher der zu untersuchenden Quelle zuzuordnen ist. Diese maximale bewertete Schwingstärke wird nach DIN 4150, Teil 2 [2] mit der in Kapitel 6.2.3 erwähnten Gleichung berechnet.

Tabelle 6.13: Anhaltswerte für die Konstante c_f für verschiedene Arten von Erschütterungseinwirkungen, Tabelle 3 der DIN 4150, Teil 2

Zeile	Kurzbeschreibung der Einwirkungsart ¹⁾	c_f ²⁾
1	Harmonische Schwingungen mit geringen Verzerrungen (z.B. Sägewerke in großer Entfernung oder bei wesentlicher Resonanzbeteiligung)	0,9
2	Wie Zeile 1, jedoch stärker verzerrt – mehr als etwa 20% Verzerrung (z.B. Sägewerke in enger Nachbarschaft, wenn noch mehrere Oberschwingungen vorhanden sind)	0,8

Zeile	Kurzbeschreibung der Einwirkungsart ¹⁾	C _f ²⁾
3	Stochastische Schwingungen und periodischen Vorgängen mit Schwebungen	
	a) mit Resonanzbeteiligung (z.B. Webereien, Rammen, gemessen auf mitschwingenden Wohnfußböden); b) ohne Resonanzbeteiligung (z.B. auf nicht unterkellerten Wohnfußböden)	0,8 0,7
4	Einzelereignisse kurzer Dauer	
	a) mit Resonanzbeteiligung b) ohne Resonanzbeteiligung	0,8 0,6

- 1) Die Einordnung einer Messung in eine dieser Klassen sollte nach dem Bild der Schwingungsaufzeichnungen erfolgen. Die genannten Beispiele sollten nur eine Orientierung geben, in welchen Situationen die einzelnen Klassen der Erschütterungseinwirkung häufig anzutreffen sind.
- 2) Die Werte für c_f sind mittlere Erfahrungswerte. Abweichungen von etwa ± 15 % können auftreten.

Da die erschütterungsrelevanten Arbeiten stochastische bzw. periodische Schwingungen mit Resonanzbeteiligung sind, kann nach der Tabelle 3 aus der DIN 4150, Teil 2 ein Wert für c_f = 0,8 angenommen werden.

Resonanz ist das verstärkte Mitschwingen eines schwingungsfähigen Systems bei erzwungenen, harmonischen Anregungen. Dieses tritt auf, wenn die Anregungsfrequenz einer Schwingungs- oder Erschütterungsquelle (beispielsweise: harmonisch arbeitende Baumaschine wie Vibrationswalze) der Eigenfrequenz des schwingungsfähigen Systems (Gebäu dewand, Gebäudedecke, etc.) entspricht.

Eine Dauererschütterung im Sinne der DIN 4150, Teil 3 ist definitionsgemäß eine Erschütterung, die geeignet ist, Resonanzerscheinungen hervorzurufen und somit eine wesentliche Verstärkung der eingeleiteten Erschütterungen erzeugen kann. Für Menschen im Gebäude bedeutet das Auftreten von Resonanzeffekten, dass die eingeleitete Erschütterung in das Gebäude zu deutlich höheren Immissionen (wahrgenommene Erschütterungen) führt als bei nicht Auftreten des Resonanzeffektes. In der Praxis treten Verstärkungen zwischen Fundamenterschütterung und Erschütterung einer Decke im Resonanzfall in Abhängigkeit der Dämpfung um den Faktor 10 bis 25 auf. Für die folgende Betrachtung des Resonanzfalles wird ein Übertragungsfaktor von 15 bei der Resonanzfrequenz angesetzt.

Der Literatur [6] können die in der folgenden Tabelle 6.14 dargestellten Eigenfrequenzen von Decken entnommen werden.

Tabelle 6.14: Eigenfrequenzen von Decken

Konstruktion	Eigenfrequenz häufig	Eigenfrequenz seltener
Holzbalkendecke	9 bis 12 Hz	8 bis 15 Hz
Stahlbetondecke im Wohnungsbau	20 bis 25 Hz	15 bis 35 Hz
Weitgespannte Stahlbeton- und Verbunddecke im Industrie-/Gewerbebau	7 bis 10 Hz	3 bis 15 Hz

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} ist der Taktmaximal-Effektivwert über die Beurteilungszeit. Diese Beurteilungs-Schwingstärke für Einwirkungen außerhalb von Ruhezeiten wird nach DIN 4150, Teil 2 [2] mit folgender Gleichung berechnet:

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

Darin sind:

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

Bei gleichen Erschütterungsanregungen, also dem gleichen zu berücksichtigenden KB_{FTm} ohne Berücksichtigung der Ruhezeiten, lässt sich die oben genannte Formel (4 a) der DIN 4150, Teil 2 zu der nachfolgenden Formel (4b) der DIN 4150, Teil 2 vereinfachen.

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

Der Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} wird nach folgender Gleichung berechnet:

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

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 folgenden Berechnungen wird der KB_{FTm} im Sinne einer Worst-Case Betrachtung mit dem KB_{Fmax} abgeschätzt.

Für die Bestimmung der Anhaltswerte sind, wie in Kapitel 3.2 beschrieben, die erschütterungsrelevanten Tage zu bestimmen. Gemäß den Angaben des Auftraggebers kommen die Rüttelplatte, Vibrationswalze und der Hydraulikhammer an insgesamt 8,5 Monaten, der LKW an insgesamt 3 Jahren und 2 Monaten und die Vortriebsmaschine während eines Jahres zum Einsatz.

Die Berechnungsergebnisse unter Verwendung der individuell ermittelten maximalen Schwingschnellen und der sich daraus ergebenden Schwingstärken in den Obergeschossen der betrachteten Gebäude und der Berücksichtigung der aufgeführten Formeln und Annahmen werden in den folgenden Kapiteln getrennt für die erschütterungsrelevanten Geräte dargestellt.

6.3.1 Rüttelplatte, Vibrationswalze und den Hydraulikhammer

In der folgenden Tabelle 6.15 sind für den Tageszeitraum die erschütterungsrelevanten Baumaschinen sowie deren Einsatzzeiten dargestellt.

Tabelle 6.15: Berücksichtigte Gebäude und Anhaltswerte gemäß DIN 4150-2 für den Tageszeitraum

Baumaschine	Adresse / Nutzungsart	Entfernung [m]	Bauphase	Tägliche Einsatzzeit [h]
Rüttelplatte	Am Roten Bühl 26, Wohngebäude	104	Bodenverdichtung	10
Vibrationswalze	Am Roten Bühl 26, Wohngebäude	104	Bodenverdichtung	10
Hydraulikhammer	Am Roten Bühl 26, Wohngebäude	255	Bohrpfahlherstellung	10

Zunächst gilt es zu prüfen, welche Geräte die Anhaltswerte der DIN 4150-2 Tabelle 1 überschreiten. Daraus ergeben sich die erschütterungsrelevanten Tage, welche maßgeblich für die Beurteilung nach DIN 4150-2 Tabelle 2 sind. Die Beurteilung nach Tabelle 1 ist in der nachfolgenden Tabelle 6.16 dargestellt.

Tabelle 6.16: Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-2, Tageszeitraum

Baumaschine	Adresse / Nutzungsart	Entfernung [m]	KB_{Fmax}	KB_{FTr}	Anhaltswert [mm/s] $A_u / A_o / A_r$	Einhaltung der Anhaltswerte
Rüttelplatte	Am Roten Bühl 26, Wohngebäude	104	0,02	0,01	0,2 / 5 / 0,1	ja
Vibrationswalze	Am Roten Bühl 26, Wohngebäude	104	0,08	0,07	0,2 / 5 / 0,1	ja

Baumaschine	Adresse / Nutzungsart	Entfernung [m]	KB_{Fmax}	KB_{FTr}	Anhaltswert [mm/s] $A_u / A_o / A_r$	Einhaltung der Anhaltswerte
Hydraulikhammer	Am Roten Bühl 26, Wohngebäude	255	0,02	0,02	0,2 / 5 / 0,1	ja

Wie die Ergebnisse in Tabelle 6.12 zeigen, werden die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 für alle betrachteten Baumaschinen an den nächstgelegenen Gebäuden eingehalten. Folglich ergeben sich keine erschütterungsrelevanten Tage und somit auch keine zu erwartenden Erschütterungen.

6.3.2 Vortriebsmaschine

Die Vortriebsmaschine ist insgesamt 20 Stunden im Einsatz und wird täglich 4 Stunden gewartet. Daher können sowohl im Tages- als auch Nachtzeitraum Erschütterungen auftreten. Da das Zeitfenster der Wartung noch nicht feststeht, wird nachfolgend der ungünstigste Zeitpunkt, welcher der Tageszeitraum darstellt, angesetzt. Entsprechend ergibt sich für den Tageszeitraum eine Einwirkdauer von 12 Stunden im für den Nachtzeitraum von 8 Stunden. Aus den Unterlagen geht hervor, dass der Vortrieb mit einer Geschwindigkeit von 12 m pro Tag voranschreitet.

Aus der Literatur geht eine Betriebsfrequenz von 5-10 Hz hervor. Im Sinne einer oberen Abschätzung wird eine Betriebsfrequenz von 10 Hz für die nachfolgenden Berechnungen betrachtet. Aus der in Kapitel 6.3 genannten Gleichung lässt sich aus der Schwingbeschleunigung v_{max} die bewertete Schwingstärke KB ermitteln. Der KB_{Fmax} ergibt sich unter Berücksichtigung eines $c_F = 0,9$ gemäß Tabelle 6.12 Zeile 1. Unter der Berücksichtigung, dass die Vortriebsmaschine nachts durchgehend im Einsatz ist, ergibt sich zudem der Schluss, dass $KB_{Fmax} = KB_{FTr}$ ist.

Die Vortriebsarbeiten dauern insgesamt 1 Jahr, wobei 6 Monate vom Startschacht zur Zielgrube gearbeitet wird und im Anschluss 6 Monate von der Zielgrube wieder zum Startschacht. Für den Tageszeitraum wird im Sinne einer oberen Abschätzung ein Anhaltswert von 0,4 / 5 / 0,3 gemäß Abbildung 3.1 für eine Dauer von 6 bis 28 Tagen und unter Berücksichtigung der Stufe I berücksichtigt.

Tabelle 6.17: Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-2, Tageszeitraum

Adresse	Nutzungsart	diagonale Entfernung [m]	KB _{Fmax}	KB _{FTr}	Anhaltswert [mm/s] A _u / A _o / A _r	Einhaltung der Anhaltswerte
Gebäude westlich Wolkersdorfer Straße 131	Wohngebäude	83	0,07	0,06	0,4 / 5 / 0,3	ja
Katzwanger Hauptstraße 24	Wohngebäude	26	0,13	0,12	0,4 / 5 / 0,3	ja
Kurlandstraße 13	Wohngebäude	30	0,12	0,11	0,4 / 5 / 0,3	ja
Katzwanger Hauptstraße 25	Gewerbegebäude	29	0,12	0,11	0,4 / 5 / 0,3	ja

Wie die Ergebnisse in Tabelle 6.17 zeigen, werden die Anhaltswerte der DIN 4150-2 unter Berücksichtigung konservativer Anhaltswerte für die nächstgelegenen Gebäude eingehalten.

Für die nachfolgende Betrachtung des Nachtzeitraumes wird das gewerblich genutzte Gebäude "Katzwanger Hauptstraße 25" nicht berücksichtigt, da dort von keiner nächtlichen Nutzung ausgegangen wird.

Tabelle 6.18: Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-2, Nachtzeitraum

Adresse	Gebietsnutzung	diagonale Entfernung [m]	KB _{Fmax}	KB _{FTr}	Anhaltswert [mm/s] A _u / A _o / A _r	Einhaltung der Anhaltswerte
Gebäude westlich Wolkersdorfer Straße 131	WA / WR	83	0,07	0,07	0,1 / 0,2 / 0,05	ja
Katzwanger Hauptstraße 24	WA / WR	26	0,13	0,13	0,1 / 0,2 / 0,05	nein
Kurlandstraße 13	WR, BPlan	30	0,12	0,12	0,1 / 0,2 / 0,05	nein

Zieht man die in Kapitel 6.2.2 beschriebenen maximal zu erwartenden Schwingbeschleunigung von 0,38 mm/s heran, so ergeben sich gemäß Tabelle 6.18 Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 für den Nachtzeitraum für Entfernungen unterhalb von 39 m. Unter Berücksichtigung eines Vortriebs von 12 m / Tag, ergeben sich entsprechend 4 Tage (je Vortriebsrichtung) bzw. insgesamt 8 Tage an denen es zu Überschreitungen der Anhaltswerte im Nachtzeitraum kommt. Wie zuvor beschrieben, handelt es sich bei dieser Betrachtung um den Worst-Case. Daher wird nachfolgend die Bewertung im Nachtzeitraum noch einmal unter Berücksichtigung einer mittleren Schwingbeschleunigung von 0,27 mm/s durchgeführt.

Tabelle 6.19: Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-2, Nachtzeitraum unter Berücksichtigung eines $v_{max} = 0,27 \text{ mm/s}$

Adresse	Gebietsnutzung	diagonale Entfernung [m]	KB_{Fmax}	KB_{FTr}	Anhaltswert [mm/s] $A_u / A_o / A_r$	Einhaltung der Anhaltswerte
Gebäude westlich Wolkersdorfer Straße 131	WA / WR, Vermutung	83	0,05	0,05	0,1 / 0,2 / 0,05	ja
Katzwanger Hauptstraße 24	WA / WR, Vermutung	26	0,09	0,09	0,1 / 0,2 / 0,05	ja
Kurlandstraße 13	WR, BPlan	30	0,09	0,09	0,1 / 0,2 / 0,05	Ja

Unter Berücksichtigung einer mittleren Schwingbeschleunigung geht aus Tabelle 6.19 hervor, dass die Anhaltswerte für die nächstgelegenen Gebäude eingehalten werden. Unter dieser Annahme werden die Anhaltswerte ab einer Entfernung von 21 m eingehalten, womit sich eine Betroffenheit von 2 Tagen bzw. insgesamt 4 Tagen ergeben würde. Im vorliegenden Fall befinden sich jedoch keine Gebäude in Entfernungen unterhalb von 21 m zur Trasse. Da Erschütterungsprognosen aufgrund diverser Faktoren (Übertragungsfaktor, Ausbreitung im Boden, Eigenschaften der Gebäude etc.) mit höheren Unsicherheiten verbunden sind, wird zur Validierung der Prognose ein Erschütterungsmonitoring anhand einer Dauermessung empfohlen.

6.3.3 LKW-Verkehr

Die LKW-Anlieferungen mit einem 40-Tonnen-LKW erfolgen ausschließlich im Tageszeitraum. Darüber hinaus erfolgen LKW-Anlieferungen mit einem 12-achsigen LKW auch im Nachtzeitraum. Wie zuvor bereits erwähnt, liegen keine Messergebnisse für den 12-achsigen LKW vor, welcher auch im Nachtzeitraum in Katzwang unter Berücksichtigung einer Fahrt pro Nacht fahren wird. Entsprechend werden die Messergebnisse des 40t-LKW auch für den 12-achsigen LKW herangezogen.

Abbildung 3.1 macht nur Aussagen zu Anhaltswerten für eine Einwirkdauer bis maximal 78 Tagen. Darüber hinaus sind nach DIN 4150-2 individuelle Bewertungen durchzuführen. Da die Erschütterungen wiederkehrend über eine Dauer von 3,5 Jahren auftreten können, werden die Anhaltswerte im Sinne der Anwohner trotz vorheriger Information der Anwohner die Stufe I nach Abbildung 3.1 für eine Dauer bis 78 Tagen herangezogen.

Die Ergebnisse für den Tageszeitraum sind in der nachfolgenden Tabelle 6.20 dargestellt.

Tabelle 6.20: Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-2, Tageszeitraum

Quelle	Deckenart	Entfernung [m]	KB _{Fmax}	KB _{FTr}	Anhaltswert [mm/s] A _u / A _o / A _r	Einhaltung der Anhaltswerte
40 t-LKW	Holzbalkendecke	3	1,25	0,15	0,3 / 5 / 0,2	ja
40 t-LKW	Holzbalkendecke	8	0,53	0,06	0,3 / 5 / 0,2	ja
40 t-LKW	Betondecke	3	0,90	0,11	0,3 / 5 / 0,2	ja
40 t-LKW	Betondecke	8	0,36	0,04	0,3 / 5 / 0,2	ja

Wie sich den Ergebnissen in Tabelle 6.20 entnehmen lässt, wird der Anhaltswert A_u durch den KB_{Fmax} für alle Entfernungen und Deckenarten überschritten. Da jedoch der Anhaltswert A_r durch den KB_{FTr} eingehalten wird, gelten die Anhaltswerte nach DIN 4150-2 als eingehalten.

Die Ergebnisse für den Nachtzeitraum sind in der nachfolgenden Tabelle 6.21 dargestellt.

Tabelle 6.21: Ergebnisse der Immissionsberechnungen und Beurteilung nach DIN 4150-2, Nachtzeitraum

Quelle	Deckenart	Entfernung [m]	KB _{Fmax}	KB _{FTr}	Anhaltswert [mm/s] A _u / A _o / A _r	Einhaltung der Anhaltswerte
40 t-LKW	Holzbalkendecke	3	1,25	0,036	0,3 / 5 / 0,2	ja
40 t-LKW	Holzbalkendecke	8	0,53	0,015	0,3 / 5 / 0,2	ja

Quelle	Deckenart	Entfernung [m]	KB_{Fmax}	KB_{FTTr}	Anhaltswert [mm/s] $A_u / A_o / A_r$	Einhaltung der Anhaltswerte
40 t-LKW	Betondecke	3	0,90	0,026	0,3 / 5 / 0,2	ja
40 t-LKW	Betondecke	8	0,36	0,01	0,3 / 5 / 0,2	ja

Analog zum Tageszeitraum sind auch im Nachtzeitraum die Anhaltswerte A_u durch den KB_{Fmax} überschritten jedoch wird der Anhaltswert A_r durch den KB_{FTTr} eingehalten, weshalb die Anhaltswerte der DIN 4150-2 als eingehalten gelten.

6.4 Allgemeine Minderungsmaßnahmen und Empfehlungen

Da die in dieser Erschütterungsuntersuchung angegebenen Maschinendaten auf Literaturangaben basieren, kann es während der Baumaßnahme dazu kommen, dass leichtere und weniger leistungsfähige sowie auch schwerere und leistungstärkere Maschinen eingesetzt werden könnten.

Konkrete Aussagen zu den zu erwartenden Erschütterungsimmissionen sind ohne Messungen kaum möglich, da die Bauweise der Gebäude die Höhe der Erschütterungsimmissionen maßgeblich bestimmt. Die Situation kann prinzipiell an jedem Gebäude anders sein. Vor diesem Hintergrund und aus rechtlichen Gründen wird zu einer bautechnischen Beweissicherung vor Beginn der Baumaßnahmen geraten.

Grundsätzlich ist es zu empfehlen, Anwohner von schützenswerten Nutzungen in der Umgebung vor Beginn der Baumaßnahmen schriftlich über den Sinn und Zweck, den Bauablauf und die Dauer der Baumaßnahme zu informieren (Informationsschreiben). Im Falle der Beurteilung der Erschütterungsimmissionen der Baumaßnahmen (außer Sprengungen) können durch den Grad der Information der Anlieger im Tageszeitraum höhere Anhaltswerte angesetzt werden. Es dürfen daher bei guter Informationslage mehr Erschütterungsimmissionen vorliegen als ohne Information der Anwohner.

Eine rechtzeitige Information der Anwohner wäre auch aus erschütterungstechnischer Sichtweise eine Möglichkeit, die Akzeptanz der Anwohner für die geplante Baumaßnahme zu erhöhen. Zudem wird die Benennung einer Ansprechstelle empfohlen. Der notwendige Grad der Information, sowie die Beurteilung ist nachfolgend dargestellt. Gemäß Punkt 6.5.4.3 der DIN 4150, Teil 2 sind folgende Maßnahmen geeignet erhebliche Belästigungen (psychische Auswirkungen) durch baustelleninduzierte Erschütterungen zu mindern:

- a) Umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahmen, die Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Baubetrieb;
- b) Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen und die damit verbundenen Belästigungen;

- c) Zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen (Pausen, Ruhezeiten, Betriebsweise der Erschütterungsquelle usw.);
- d) Benennung einer Ansprechstelle, an die sich Betroffene wenden können, wenn sie besondere Probleme durch Erschütterungseinwirkungen haben;
- e) Information der Betroffenen über die Erschütterungswirkungen auf das Gebäude;
- f) Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkungen auf Menschen und Gebäude.

Die Maßnahmen a) bis e) sind vor Beginn der erschütterungsverursachenden Baumaßnahme durchzuführen. Die Maßnahme f) ist im Falle von Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 2 in Betracht zu ziehen. Im vorliegenden Fall werden die Anhaltswerte an den nächstgelegenen Gebäuden eingehalten, sofern der Resonanzfall ausgeschlossen werden kann.

6.5 Minderungsmaßnahmen für das vorliegende Bauvorhaben

Wie den Ergebnissen in Kapitel 6.3.1 entnommen werden kann, kann es zu Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 für den Einsatz der Vortriebsmaschine kommen. Da Erschütterungsprognosen mit erhöhten Unsicherheiten verbunden sind, wird empfohlen an dem am stärksten betroffenen Gebäude ein Erschütterungsmonitoring in Form einer Dauermessung durchzuführen. Dies wäre das Gebäude "Katzwanger Hauptstraße 24". Aus den Ergebnissen geht hervor, dass das Gebäude ungefähr während eine Dauer von 4 Tagen bzw. Nächten von Überschreitungen betroffen sein könnte.

7 Zusammenfassung

Der Auftraggeber plant den Ersatzneubau der 380-/220-Höchstspannungsleitung (Juraleitung) Raitersaich – Altheim sowie den Rückbau der Bestandsleitung. Die geplante Juraleitung verläuft durch die Regierungsbezirke Mittelfranken, Oberpfalz, Ober- und Niederbayern. Die Strecke ist in die Abschnitte "A-West" (Raitersaich – Ludersheim), "A-Katzwang", "A-Ost" (Ludersheim – Ezelsdorf), "B-Nord" (Ludersheim – Dietfurt), "B-Süd" (Dietfurt – Sittling) und "C" (Sittling – Alheim) unterteilt.

In der vorliegenden Untersuchung sollten Aussagen zu den zu erwartenden Erschütterungen aus dem Tunnelvortrieb, den Rückbau- und Verdichtungsarbeiten sowie LKW-Anlieferungen für den Abschnitt "A-Katzwang" getätigt werden. Es wurden hierbei die in den nächstgelegenen Gebäuden durch die Baumaßnahmen entstehenden Erschütterungen prognostiziert und anhand der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 [2] und Teil 3 [3] beurteilt. Bei Überschreitungen der Anhaltswerte wurden Minderungsmaßnahmen empfohlen.

Es gilt zu beachten, dass es sich bei den berücksichtigten Angaben, auf dessen Grundlage die nachfolgenden Untersuchungen durchgeführt wurden, um einen beispielhaften Bauablauf handelt, welcher im Rahmen des Planungsprozesses ermittelt wurde. In Folge dessen können die angegeben Dauern und Zeiträume in der tatsächlichen Bauausführung von denen in dieser Untersuchung abweichen. Da lediglich eine deutliche Verkürzung der Baumaßnahme auf maximal 78 Tage zu einer anderen Bewertung der Erschütterungen nach DIN 4150-2 führen würde, wovon nicht auszugehen ist, liegen die Ergebnisse auf der sicheren Seite. Die Ergebnisse nach DIN 4150-3 stehen ohnehin nicht im Bezug zur Dauer der Bautätigkeiten.

Der geplante Tunnel zwischen Katzwang und Wolkersdorf erstreckt sich über eine Länge von ca. 2,3 km Luftlinie und verläuft dabei überwiegend unterhalb von landwirtschaftlich genutztem und unbebautem Gebiet. Der Tunnel verläuft an der kritischsten Stelle ca. 9 m unterhalb der Oberfläche und weist eine maximale Tiefe von bis zu 32 m auf. Die nächstgelegenen Gebäude liegen in einer Entfernung von ca. 13 m Luftlinie zum Tunnel.

Aus den durchgeführten geotechnischen Untersuchungen [10] gingen die vorliegenden Bodeneigenschaften hervor. Dabei führt der Tunnel überwiegend durch sandigen Boden sowie zum Teil auch durch Schluff- und Tonschichten.

Die Baumaßnahme ist für eine Dauer von insgesamt 3,5 Jahre geplant. Der Tunnel wird in zwei Trassen unterteilt: Trasse Nord und Trasse Süd. Der Tunnelvortrieb wird dabei zunächst für die Trasse Nord und im Anschluss für die Trasse Süd durchgeführt und dauert jeweils sechs Monate. Während der gesamten Baumaßnahme erfolgen regelmäßig LKW-An- und Abtransporte. Ebenso erfolgen Abbrucharbeiten sowie Verdichtungsarbeiten im Bereich der Schächte.

Die Arbeiten, die während dieser Baumaßnahme relevante Erschütterungen auslösen, sind die Abbrucharbeiten mittels Hydraulikhammer, Verdichtungsarbeiten mittels Rüttelplatte und Vibrationswalze, Anlieferungen per LKW und der Tunnelvortrieb mittels Vortriebsmaschine. Dabei erfolgte die Berechnung der Rüttelplatte, Vibrationswalze und des Hydraulikhammers anhand von Literaturdaten [7]. Die Bewertung der Vortriebsmaschine erfolgte anhand Messergebnisse aus der Literatur [13][14] sowie die Bewertung des LKW-Verkehrs anhand selbst durchgeführten Messungen.

Die je Erschütterungsgeräte nächstgelegenen Gebäude bzw. Bauwerke können den jeweiligen Kapiteln 6.2 und 6.3 entnommen werden.

Wie die Ergebnisse nach DIN 4150-3 (Einwirkung auf Gebäude) zeigen, werden die Anhaltswerte für die Rüttelplatte, Vibrationswalze, den Hydraulikhammer, den LKW-Verkehr sowie die Vortriebsmaschine eingehalten.

Nach DIN 4150-2 (Einwirkung auf Menschen in Gebäuden) ist für den Einsatz der Rüttelplatte, der Vibrationswalze und des Hydraulikhammers mit Einhaltung der Anhaltswerte zu rechnen. Auch für den LKW-Verkehr im Tages- und Nachtzeitraum werden die Anhaltswerte eingehalten.

Für die Vortriebsmaschine wurde anhand der vorliegenden Messergebnisse von Rallu et al. [13] sowie Hiller und Crabb [14] die höchste zu erwartende Schwinggeschwindigkeit im Sinne einer konservativen Abschätzung herangezogen. Unter dieser Annahme kommt es zu Überschreitungen der Anhaltswerte im Nachtzeitraum. Entsprechend werden die Anhaltswerte nach DIN 4150-2 für den Nachtzeitraum für Entfernungen unterhalb von 39 m überschritten. Unter Berücksichtigung eines Vortriebs von 12 m / Tag (bzw. 24 Stunden), ergeben sich entsprechend 4 Nächte (je Vortriebsrichtung) bzw. insgesamt 8 Nächte an denen es zu Überschreitungen der Anhaltswerte im Nachtzeitraum kommt. Darüber hinaus wurde auch eine mittlere Schwinggeschwindigkeit aus den Messergebnissen herangezogen, womit die Anhaltswerte im Nachtzeitraum eingehalten werden würden.

Da Erschütterungsprognosen mit erhöhten Unsicherheiten verbunden sind, wird empfohlen an dem am stärksten betroffenen Gebäude ein Erschütterungsmonitoring in Form einer Dauermessung durchzuführen. Dies wäre das Gebäude "Katzwanger Hauptstraße 24". Aus den Ergebnissen geht hervor, dass das Gebäude ungefähr während einer Dauer von 4 Tagen bzw. Nächten von Überschreitungen betroffen sein könnte.

Peutz Consult GmbH



Dipl.-Ing. Mark Bless
(Messstellenleitung)

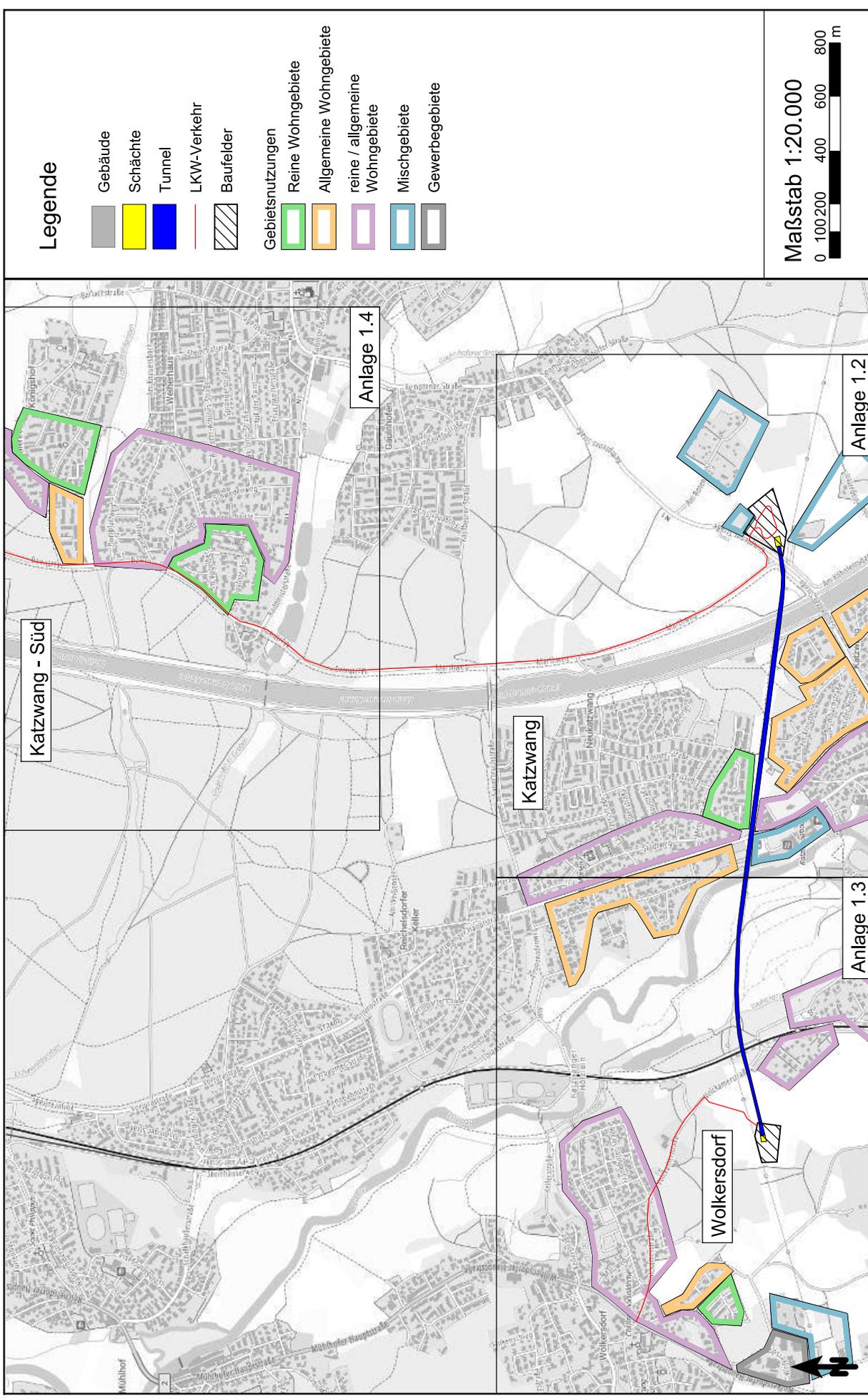
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Sina Schäfer-Brandenburg'.

i.V. M. Sc. Sina Schäfer-Brandenburg
(Projektleitung / Projektbearbeitung)

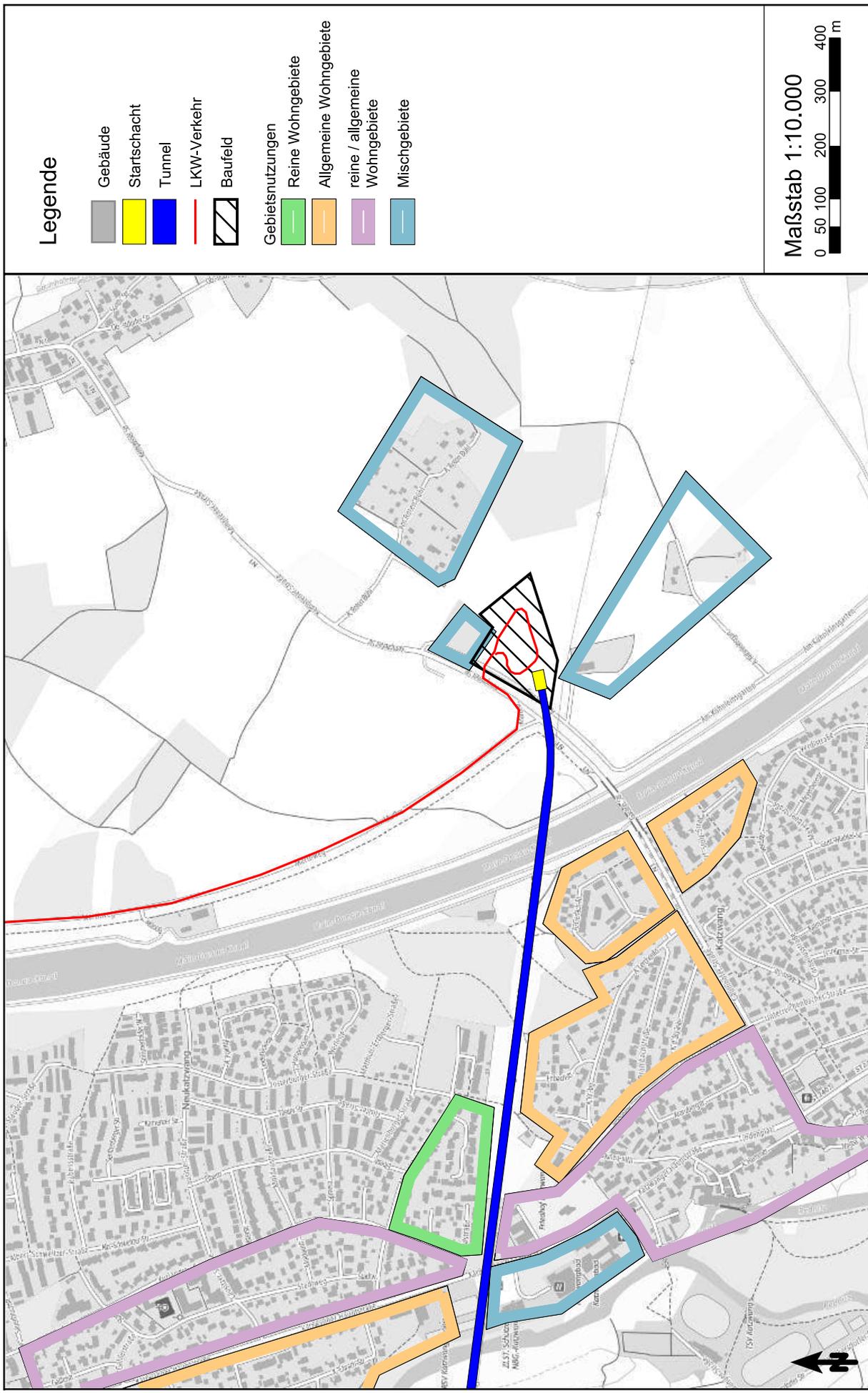
Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Übersichtslageplan
- Anlage 2: Ergebnisse der Emissionsberechnungen nach DIN 4150-3
- Anlage 3: Ergebnisse der Immissionsprognose für Baustellenverkehr

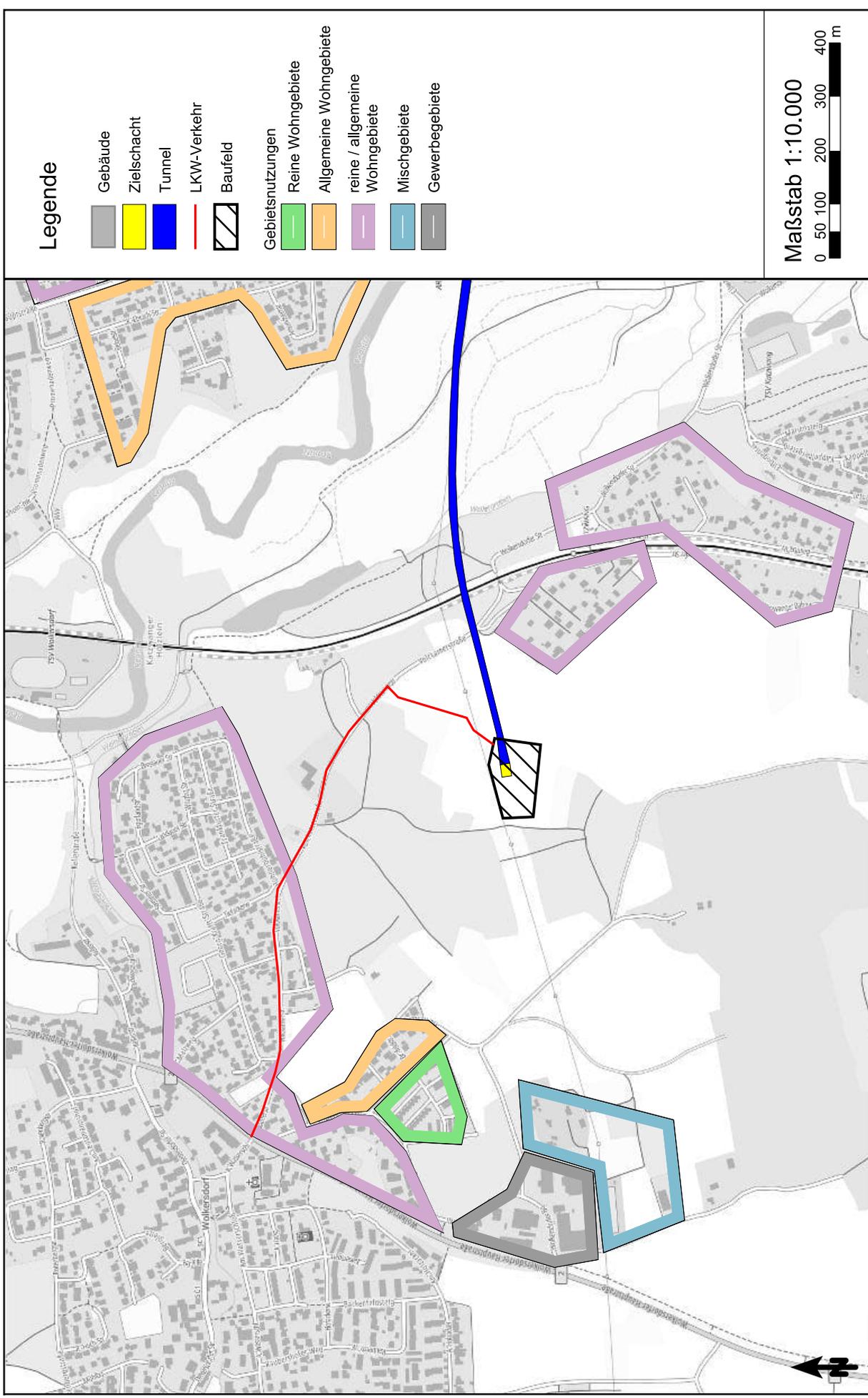
Anlage 1.1: Übersichtslageplan mit Darstellung der Lage der Baumaßnahme und den umliegenden Nutzungen



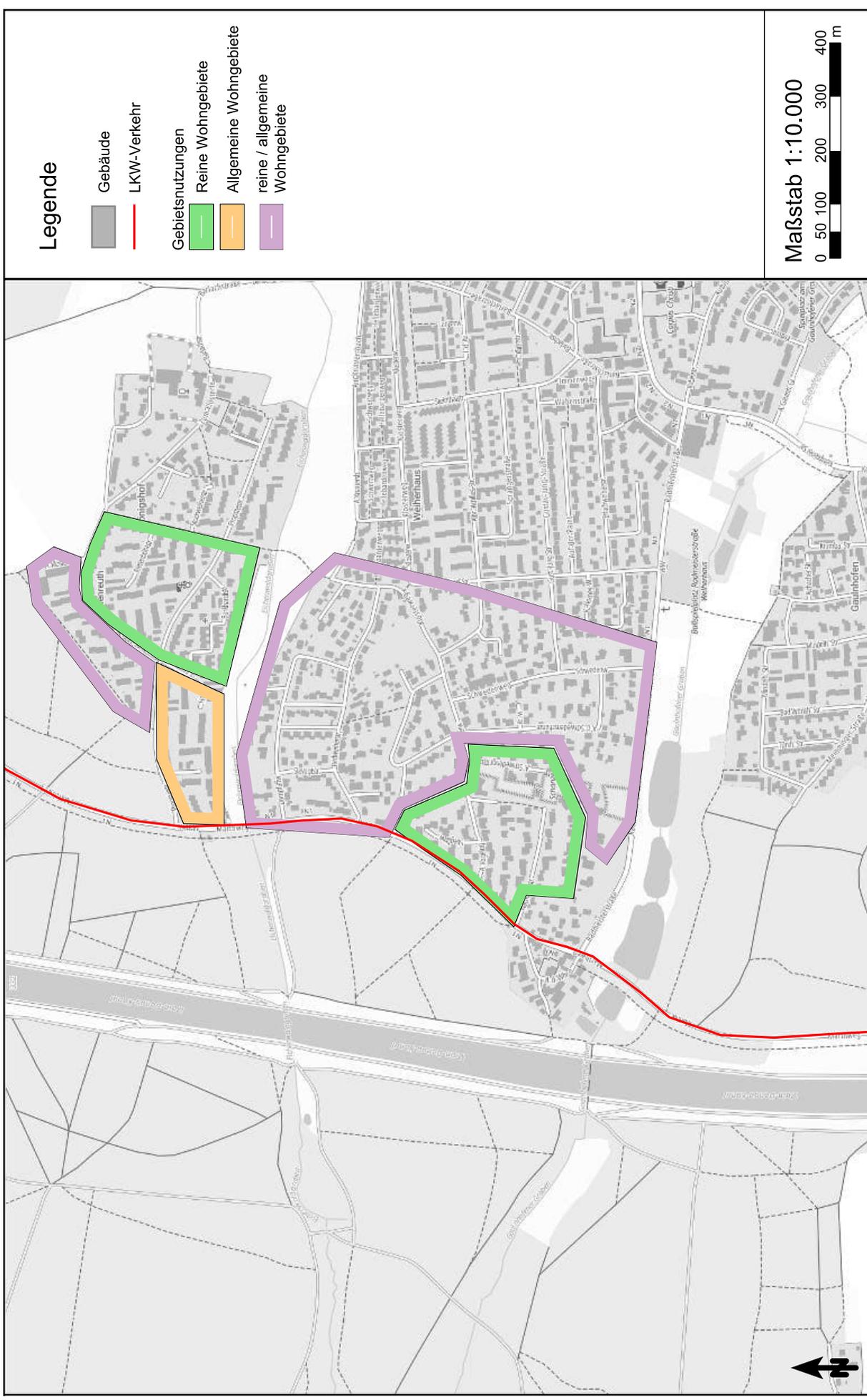
Anlage 1.2: Übersichtslageplan mit Darstellung der Lage der Baumaßnahme und den umliegenden Nutzungen Startgrube Katzwang



Anlage 1.3: Übersichtslageplan mit Darstellung der Lage der Baumaßnahme und den umliegenden Nutzungen Zielschacht Wolkersdorf



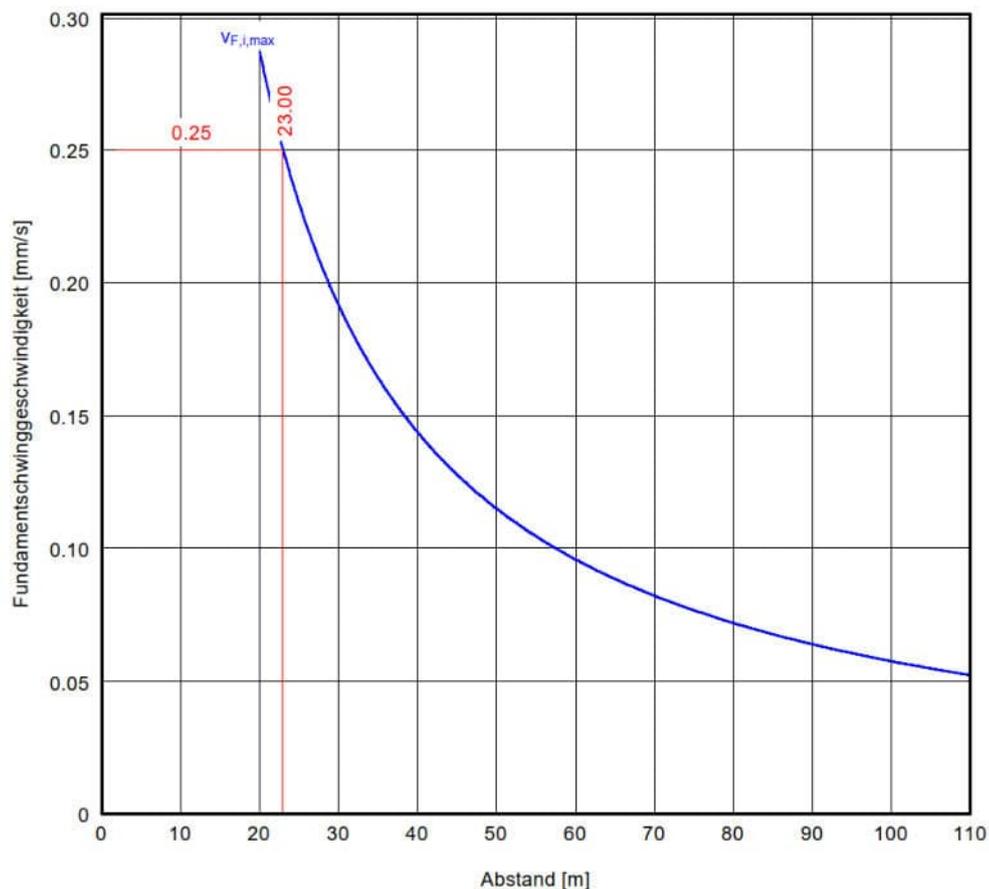
Anlage 1.4: Übersichtslageplan mit Darstellung der Lage der Baumaßnahme und den umliegenden Nutzungen
LKW-Verkehr über Marthweg, Katzwang-Süd



Vibrationsplatte
Ungünstige Werte (2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit)
Gewerbe-, Industriebauten
Abstand zum Gebäude r [m]: 23.00

Betriebsgewicht Vibrationsplatte [t]: 0.28
Leistung Vibrationsplatte [kW]: 4.60
Frequenz Vibrationsplatte [1/s]: 65.00

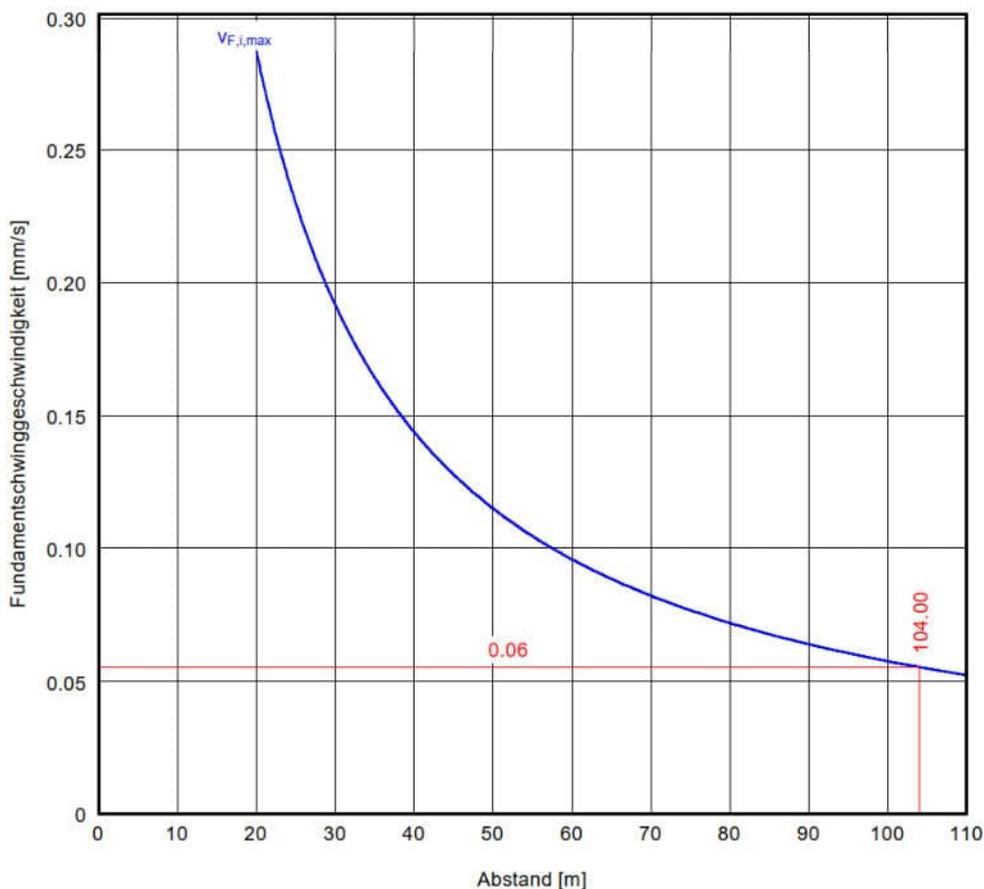
Ergebnisse
Energie pro Schwingungsperiode E [kN·m] = 0.07
Resultierende Bodenschwingbeschleunigung $a_{\text{Boden,R}}$ [mm/s²] = 472.38
Max zulässige Bodenschwingbeschleunigung [mm/s²] = g/3 = 3300.00
Fundamentalschwinggeschwindigkeit $v_{F,i,\text{max}}$ [mm/s] = 0.25
Übertragungsfaktor (Bauteil) horizontal [-] = 1.50
Horizontale Schwinggeschwindigkeit (Decken, Wände) [mm/s] = 0.38
Zulässiger Wert [mm/s] = 10.00
Übertragungsfaktor (Bauteil) vertikal [-] = 1.50
Vertikale Schwinggeschwindigkeit (Deckenmitte) [mm/s] = 0.38
Zulässiger Wert [mm/s] = 10.00



Vibrationsplatte
Ungünstige Werte (2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit)
Wohngebäude
Abstand zum Gebäude r [m]: 104.00

Betriebsgewicht Vibrationsplatte [t]: 0.28
Leistung Vibrationsplatte [kW]: 4.60
Frequenz Vibrationsplatte [1/s]: 65.00

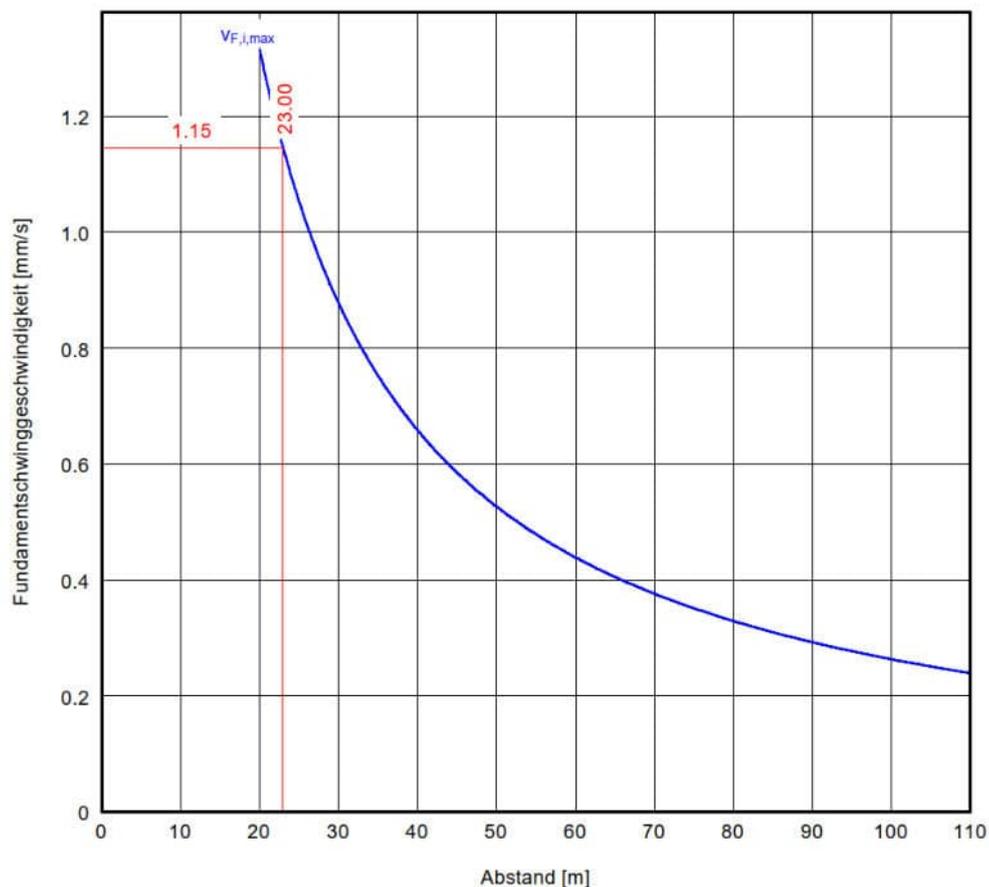
Ergebnisse
Energie pro Schwingungsperiode E [kN·m] = 0.07
Resultierende Bodenschwingbeschleunigung $a_{\text{Boden,R}}$ [mm/s²] = 104.47
Max zulässige Bodenschwingbeschleunigung [mm/s²] = g/3 = 3300.00
Fundamentalschwinggeschwindigkeit $v_{F,i,\text{max}}$ [mm/s] = 0.06
Übertragungsfaktor (Bauteil) horizontal [-] = 1.50
Horizontale Schwinggeschwindigkeit (Decken, Wände) [mm/s] = 0.08
Zulässiger Wert [mm/s] = 5.00
Übertragungsfaktor (Bauteil) vertikal [-] = 1.50
Vertikale Schwinggeschwindigkeit (Deckenmitte) [mm/s] = 0.08
Zulässiger Wert [mm/s] = 10.00



Vibrationswalze
Ungünstige Werte (2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit)
Gewerbe-, Industriebauten
Abstand zum Gebäude r [m]: 23.00

Betriebsgewicht Vibrationswalze [t]: 5.88
Leistung Vibrationswalze [kW]: 36.80
Frequenz Vibrationswalze [1/s]: 28.00

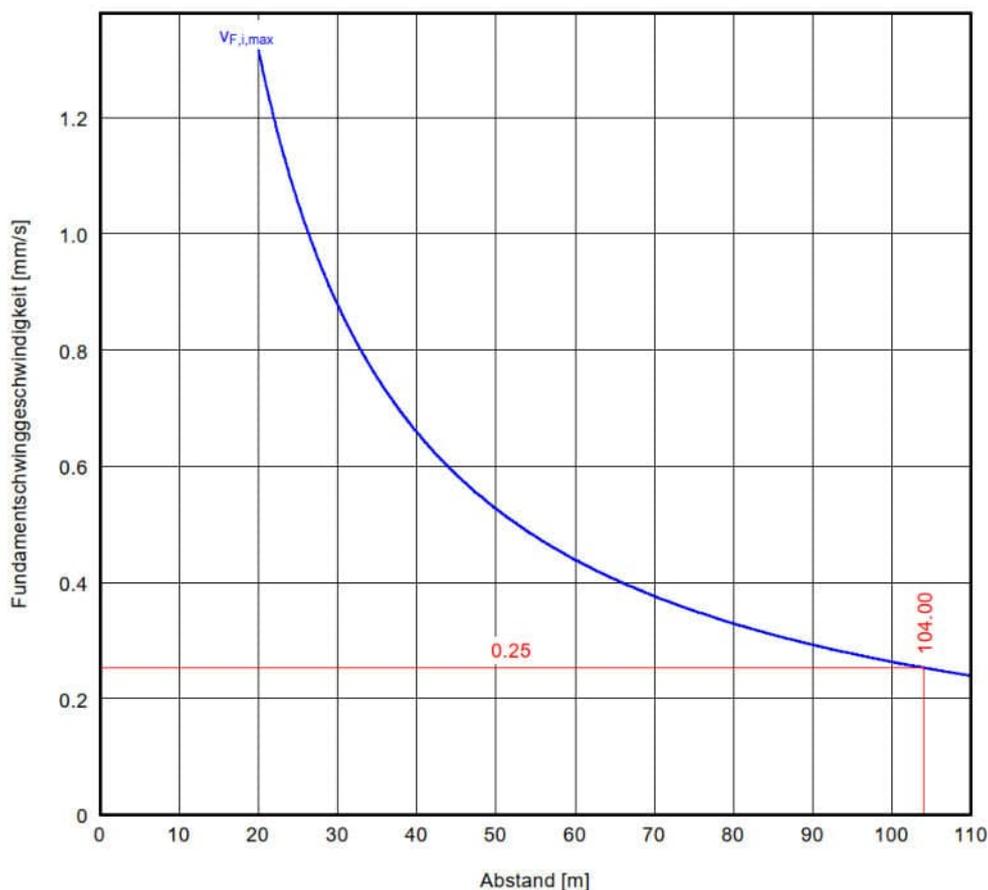
Ergebnisse
Energie pro Schwingungsperiode E [kJ·m] = 1.31
Resultierende Bodenschwingbeschleunigung $a_{\text{Boden,R}}$ [mm/s²] = 876.91
Max zulässige Bodenschwingbeschleunigung [mm/s²] = g/3 = 3300.00
Fundamentalschwinggeschwindigkeit $v_{F,i,\text{max}}$ [mm/s] = 1.15
Übertragungsfaktor (Bauteil) horizontal [-] = 1.50
Horizontale Schwinggeschwindigkeit (Decken, Wände) [mm/s] = 1.72
Zulässiger Wert [mm/s] = 10.00
Übertragungsfaktor (Bauteil) vertikal [-] = 1.50
Vertikale Schwinggeschwindigkeit (Deckenmitte) [mm/s] = 1.72
Zulässiger Wert [mm/s] = 10.00



Vibrationswalze
Ungünstige Werte (2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit)
Wohngebäude
Abstand zum Gebäude r [m]: 104.00

Betriebsgewicht Vibrationswalze [t]: 5.88
Leistung Vibrationswalze [kW]: 36.80
Frequenz Vibrationswalze [1/s]: 28.00

Ergebnisse
Energie pro Schwingungsperiode E [kN·m] = 1.31
Resultierende Bodenschwingbeschleunigung $a_{\text{Boden,R}}$ [mm/s²] = 193.93
Max zulässige Bodenschwingbeschleunigung [mm/s²] = g/3 = 3300.00
Fundamentalschwinggeschwindigkeit $v_{F,i,\text{max}}$ [mm/s] = 0.25
Übertragungsfaktor (Bauteil) horizontal [-] = 1.50
Horizontale Schwinggeschwindigkeit (Decken, Wände) [mm/s] = 0.38
Zulässiger Wert [mm/s] = 5.00
Übertragungsfaktor (Bauteil) vertikal [-] = 1.50
Vertikale Schwinggeschwindigkeit (Deckenmitte) [mm/s] = 0.38
Zulässiger Wert [mm/s] = 10.00

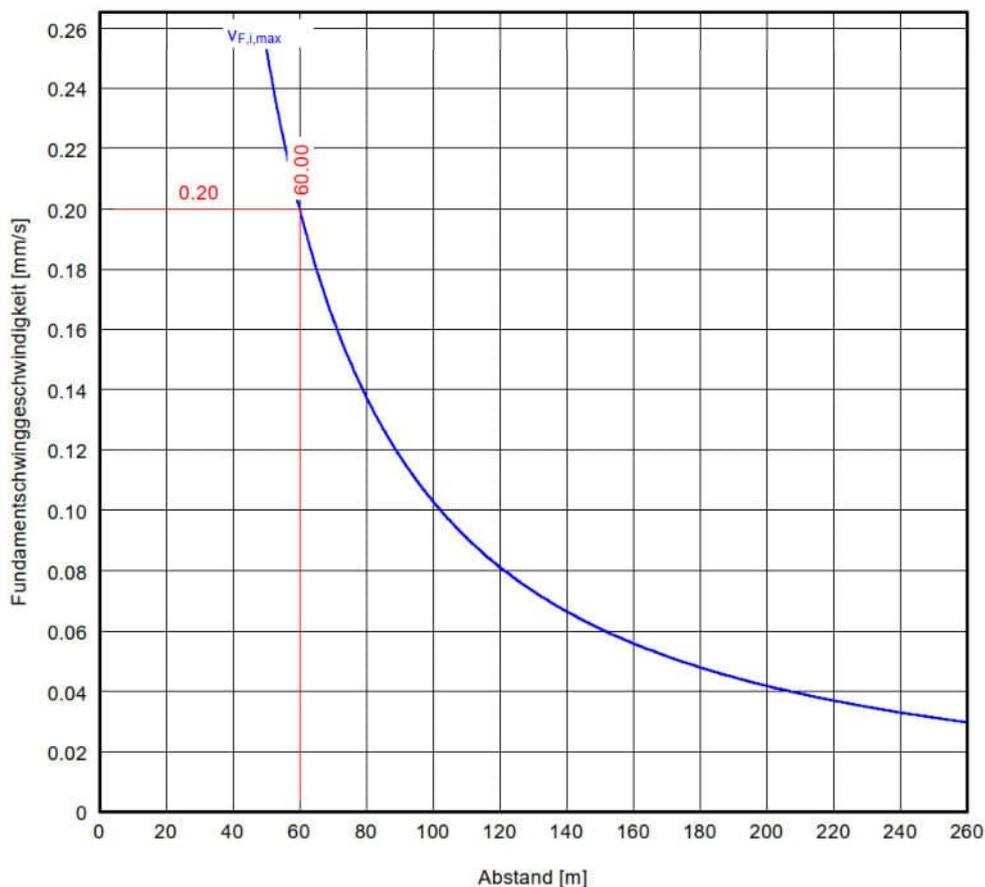


Hydraulikhammer
Gewerbe-, Industriebauten
Boden: bindige Böden
Boden ist weich bzw. locker
Abstand zum Gebäude r [m]: 60.00

Energie pro Rammschlag [kN·m] = 13.70
Schwingfrequenz [Hz]: 7.00

Ergebnisse
Resultierende Bodenschwingbeschleunigung $a_{\text{Boden,R}}$ [mm/s²] = 48.99
Max zulässige Bodenschwingbeschleunigung [mm/s²] = $g/3 = 3300.00$
Fundamentalschwinggeschwindigkeit $v_{F,i,\text{max}}$ [mm/s] = 0.20

Übertragungsfaktor (Bauteil) horizontal [-] = 1.50
Horizontale Schwinggeschwindigkeit (Decken, Wände) [mm/s] = 0.30
Zulässiger Wert [mm/s] = 10.00
Übertragungsfaktor (Bauteil) vertikal [-] = 1.50
Vertikale Schwinggeschwindigkeit (Deckenmitte) [mm/s] = 0.30
Zulässiger Wert [mm/s] = 10.00

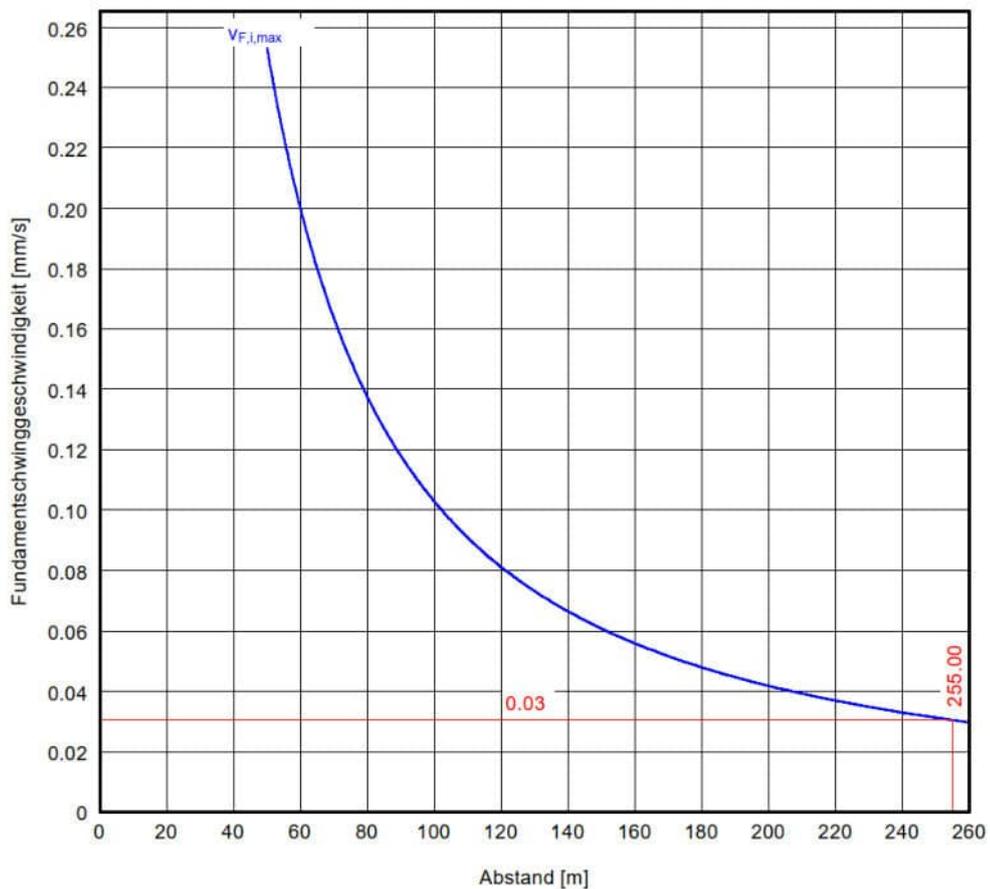


Hydraulikhammer
Wohngebäude
Boden: bindige Böden
Boden ist weich bzw. locker
Abstand zum Gebäude r [m]: 255.00

Energie pro Rammschlag [kN·m] = 13.70
Schwingfrequenz [Hz]: 7.00

Ergebnisse
Resultierende Bodenschwingbeschleunigung $a_{\text{Boden,R}}$ [mm/s²] = 11.53
Max zulässige Bodenschwingbeschleunigung [mm/s²] = g/3 = 3300.00
Fundamentalschwinggeschwindigkeit $v_{F,i,\text{max}}$ [mm/s] = 0.03

Übertragungsfaktor (Bauteil) horizontal [-] = 1.50
Horizontale Schwinggeschwindigkeit (Decken, Wände) [mm/s] = 0.05
Zulässiger Wert [mm/s] = 5.00
Übertragungsfaktor (Bauteil) vertikal [-] = 1.50
Vertikale Schwinggeschwindigkeit (Deckenmitte) [mm/s] = 0.05
Zulässiger Wert [mm/s] = 10.00



Berechnung der Immissionen für Betondecken durch Baustellenverkehr in 8 m Entfernung																						
Frequenz [Hz]	4	6	8	16	32	63	125	250	Anzahl Ereignisse Tag Nacht													
Emissionsspektren																						
Lkw 40t (nahe Fahrspur)	28,5	33,2	42,2	49,7	53,9	56,9	59,3	57,3	53,6	50,0	49,7	46,0	43,2	45,2	39,8	32,1	28,0	29,5	24,5	27,8	27,4	
Lkw 40t (ferne Fahrspur)	29,7	32,9	40,4	48,3	52,3	53,3	57,9	56,6	52,1	46,7	44,1	39,8	37,7	39,2	33,6	28,5	26,5	23,3	25,4	28,7	28,8	
Übertragungsfunktionen																						
Beton 8 Hz	-1,3	-0,5	1,4	6,9	15,0	5,9	0,2	-1,3	-1,0	-2,6	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	
Beton 10 Hz	-1,5	-1,3	-0,5	1,4	6,9	15,0	5,9	0,2	-1,3	-1,0	-2,6	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	
Beton 12,5 Hz	-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	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	
Beton 16 Hz	-1,5	-1,4	-1,2	-1,3	-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	-5,0	
Beton 20 Hz	-1,5	-1,3	-1,2	-1,0	-1,1	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	-5,0	
Beton 25 Hz	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-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	-4,8	
Beton 31,5 Hz	-1,6	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-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	-4,8	
Beton 40 Hz	-2,0	-1,6	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-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	
Beton 50 Hz	-2,5	-2,0	-1,6	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-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	
Beton 62,5 Hz	-3,1	-2,5	-2,0	-1,6	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-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	
Beton 80 Hz																						
Immissionsspektren																						
Lkw 40t (nahe Fahrspur)																						
Beton 8 Hz	27,1	32,7	43,6	56,6	68,9	62,7	58,4	56,1	52,7	47,4	46,2	42,6	38,4	40,2	34,8	27,1	24,0	24,5	19,5	22,8	22,4	
Beton 10 Hz	27,0	31,9	41,7	51,2	60,8	71,9	64,1	57,5	52,4	49,1	47,1	42,5	39,7	40,4	34,8	27,1	24,0	24,5	19,5	22,8	22,4	
Beton 12,5 Hz	27,1	31,8	40,9	49,2	58,3	67,3	73,3	63,2	53,8	48,8	48,7	43,5	39,7	41,7	35,0	27,1	24,0	24,5	19,5	22,8	22,4	
Beton 16 Hz	27,0	31,9	40,7	48,4	53,4	58,3	65,1	72,3	59,5	50,2	48,4	45,1	40,6	41,7	36,3	27,3	24,0	24,5	19,5	22,8	22,4	
Beton 20 Hz	27,1	31,8	41,0	48,4	52,7	56,4	59,5	63,3	66,7	55,2	49,8	44,9	42,4	42,9	36,7	28,6	24,2	24,5	19,5	22,8	22,4	
Beton 25 Hz	27,0	31,9	41,0	48,7	52,8	55,9	57,9	58,4	58,8	61,3	54,1	46,2	42,2	44,5	37,8	29,8	25,9	26,0	19,7	22,8	22,4	
Beton 31,5 Hz	27,2	32,0	41,1	48,7	53,0	55,9	57,4	57,0	54,5	54,4	59,2	49,8	43,3	44,4	39,2	31,4	27,1	27,2	21,5	24,3	22,6	
Beton 40 Hz	26,8	32,0	41,0	48,7	52,9	56,0	57,3	56,5	53,3	50,9	54,0	55,5	46,9	45,3	39,0	31,4	27,1	27,2	21,5	24,3	22,6	
Beton 50 Hz	26,5	31,6	41,0	48,5	52,8	55,8	57,4	56,4	52,8	49,7	50,6	50,4	52,7	48,9	39,9	31,3	28,3	27,5	22,3	24,7	23,9	
Beton 62,5 Hz	26,0	31,2	40,6	48,5	52,6	55,8	57,2	56,4	52,7	49,2	49,3	46,9	47,6	54,7	43,5	32,2	28,2	28,7	22,6	25,5	24,4	
Beton 80 Hz	25,4	30,7	40,2	48,1	52,7	55,6	57,2	56,3	52,7	49,1	48,8	45,7	44,1	49,6	49,3	35,8	29,1	28,7	23,8	25,8	25,2	
Lkw 40t (ferne Fahrspur)																						
Beton 8 Hz	28,3	32,4	41,8	55,2	67,3	59,1	58,1	55,4	51,1	44,1	40,6	36,3	33,0	34,2	28,6	23,5	21,5	23,3	20,4	23,7	23,8	
Beton 10 Hz	28,2	31,6	39,9	49,7	59,1	68,3	63,8	56,8	50,8	45,8	41,5	36,3	34,3	34,4	28,6	23,5	21,5	23,3	20,4	23,7	23,8	
Beton 12,5 Hz	28,3	31,4	39,1	47,8	53,7	60,1	72,9	62,5	52,2	45,5	43,1	37,2	34,2	35,7	28,8	23,5	21,5	23,3	20,4	23,7	23,8	
Beton 16 Hz	28,2	31,5	38,9	46,9	51,7	54,7	64,8	71,6	57,9	46,9	42,8	38,8	35,2	35,7	30,1	23,7	21,5	23,3	20,4	23,7	23,8	
Beton 20 Hz	28,3	31,5	39,2	47,0	51,1	52,8	59,2	62,6	65,2	51,9	44,3	38,7	36,9	36,9	30,5	23,7	21,5	23,3	20,4	23,7	23,8	
Beton 25 Hz	28,2	31,6	39,2	47,2	51,1	52,3	57,5	57,7	57,2	58,0	46,5	38,9	36,8	38,5	31,6	26,2	23,4	24,8	20,6	23,7	23,8	
Beton 31,5 Hz	28,4	31,7	39,3	47,3	51,4	52,3	57,1	56,3	53,0	51,1	53,6	43,5	37,8	38,4	33,0	27,8	24,6	26,1	22,3	25,3	24,0	
Beton 40 Hz	28,0	31,7	39,2	47,2	51,2	52,4	57,0	55,8	51,8	47,6	48,5	49,3	41,5	39,3	32,8	27,8	24,6	26,1	22,3	25,3	24,0	
Beton 50 Hz	27,7	31,3	39,2	47,0	51,2	52,2	57,1	55,7	51,2	46,4	45,0	44,1	47,2	42,9	37,7	28,8	26,4	23,1	25,7	25,3	24,0	
Beton 62,5 Hz	27,2	30,9	38,8	47,1	51,0	52,2	56,9	55,7	51,1	45,9	43,8	40,7	42,1	48,7	37,3	28,6	25,7	27,6	23,4	26,5	25,8	
Beton 80 Hz	26,6	30,4	38,4	46,7	51,0	52,0	56,8	55,6	51,2	45,8	43,3	39,5	38,6	43,5	43,1	32,2	26,6	27,5	24,6	26,8	26,6	
(Max-Hold, Fast) alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s																						
KB_{min}:	Beton 8 Hz	Beton 10 Hz	Beton 12,5 Hz	Beton 16 Hz	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz	Beton 12,5 Hz	Beton 16 Hz	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz	Beton 12,5 Hz	
	0,025	0,006	0,033	0,008	0,044	0,010	0,041	0,010				6,2	-6,2	6,4	-6,0	6,8	-5,6	7,2	-5,2			
KB_{min}:	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz	Beton 12,5 Hz	Beton 16 Hz	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz	Beton 12,5 Hz	Beton 16 Hz	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	
	0,025	0,010	0,017	0,006	0,014	0,004	0,013	0,003				7,9	-4,5	9,3	-3,1	9,9	-2,5	10,4	-2,0			
KB_{min}:	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz	Beton 12,5 Hz	Beton 16 Hz	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz	Beton 12,5 Hz	Beton 16 Hz	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz	
	0,012	0,003	0,012	0,003	0,012	0,003				11,3	-1,1	13,0	0,5	12,5	0,1							

Zur Berechnung von KB_{FT} in bzw. KB_{FT} werden die Spektren
laut DIN 4150 bis maximal 80 Hz herangezogen.



Berechnung der Immissionen für Betondecken durch Baustellenverkehr in 3 m Entfernung																																				
Frequenz [Hz]	4	6	8	16	32	63	125	250	Anzahl Ereignisse Tag Nacht																											
Emissionsspektren																																				
Lkw 40t (nahe Fahrspur)	28,5	33,2	42,2	49,7	53,9	56,9	59,3	57,3	53,6	50,0	49,7	46,0	43,2	45,2	39,8	32,1	28,0	29,5	24,5	27,8	27,4															
Lkw 40t (ferne Fahrspur)	29,7	32,9	40,4	48,3	52,3	53,3	57,9	56,6	52,1	46,7	44,1	39,8	37,7	39,2	33,6	28,5	26,5	29,3	25,4	28,7	28,8															
Übertragungsfunktionen																																				
Beton 8 Hz	-1,3	-0,5	1,4	6,9	15,0	5,9	0,2	-1,3	-1,0	-2,6	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0															
Beton 10 Hz	-1,5	-1,3	-0,5	1,4	6,9	15,0	5,9	0,2	-1,3	-1,0	-2,6	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0															
Beton 12,5 Hz	-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	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0															
Beton 16 Hz	-1,5	-1,4	-1,2	-1,3	-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	-5,0															
Beton 20 Hz	-1,5	-1,3	-1,2	-1,0	-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	-5,0	-5,0	-5,0															
Beton 25 Hz	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-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	-5,0															
Beton 31,5 Hz	-1,6	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-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															
Beton 40 Hz	-2,0	-1,6	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-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															
Beton 50 Hz	-2,5	-2,0	-1,6	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-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															
Beton 62,5 Hz	-3,1	-2,5	-2,0	-1,6	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-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															
Beton 80 Hz																																				
Immissionsspektren																																				
Lkw 40t (nahe Fahrspur)																																				
Beton 8 Hz	31,4	37,1	48,3	61,8	74,7	69,3	66,0	64,7	62,6	58,9	58,2	57,4	55,2	58,1	55,9	50,7	50,2	53,4	51,4	57,7	60,6															
Beton 10 Hz	31,2	36,3	46,4	56,3	66,6	78,5	71,7	66,2	62,3	60,5	60,1	57,3	56,5	58,3	55,9	50,7	50,2	53,4	51,4	57,7	60,6															
Beton 12,5 Hz	31,3	36,2	45,6	54,4	61,1	70,3	80,8	71,9	63,7	60,2	61,7	58,3	56,5	60,6	56,1	50,7	50,2	53,4	51,4	57,7	60,6															
Beton 16 Hz	31,2	36,3	45,4	53,6	59,2	64,9	72,7	81,0	69,4	61,6	61,4	59,9	57,4	60,6	57,4	50,9	50,2	53,4	51,4	57,7	60,6															
Beton 20 Hz	31,3	36,2	45,7	53,6	58,5	63,0	67,0	72,0	76,7	66,6	62,9	59,7	59,1	61,8	57,8	52,2	50,4	53,4	51,4	57,7	60,6															
Beton 25 Hz	31,2	36,3	45,7	53,9	58,6	62,5	65,4	67,1	68,7	72,7	67,2	61,0	59,0	63,3	59,0	53,4	52,1	54,9	51,6	57,7	60,6															
Beton 31,5 Hz	31,5	36,4	45,8	53,9	58,8	62,5	65,0	65,7	64,5	65,8	72,2	64,6	60,1	63,3	60,3	54,9	53,2	56,1	53,3	59,2	60,8															
Beton 40 Hz	31,1	36,4	45,6	53,8	58,7	62,6	64,9	65,0	63,3	62,3	67,1	70,3	63,7	64,2	60,1	54,9	53,2	56,1	53,3	59,2	60,8															
Beton 50 Hz	30,7	36,0	45,7	53,7	58,6	62,4	64,8	65,0	62,6	61,1	63,6	65,2	64,8	61,0	54,9	54,4	56,4	54,1	59,7	62,1	60,8															
Beton 62,5 Hz	30,2	35,6	45,3	53,7	58,4	62,4	64,8	65,1	62,6	60,6	62,4	61,7	64,3	73,6	64,6	55,8	54,4	57,7	54,4	60,5	62,5															
Beton 80 Hz	29,6	35,1	44,9	53,3	58,5	62,2	64,7	65,0	62,7	60,5	61,9	60,5	60,9	68,4	70,4	59,4	55,3	57,6	55,7	60,8	63,3															
Lkw 40t (ferne Fahrspur)																																				
Beton 8 Hz	32,6	36,8	46,5	60,3	73,0	65,7	64,0	61,1	55,6	53,6	51,1	49,7	53,0	49,7	47,1	47,7	52,2	52,2	58,7	62,0	62,0															
Beton 10 Hz	32,4	36,0	44,6	54,9	64,9	74,8	71,4	65,5	60,8	57,2	54,6	51,1	51,0	53,3	49,7	47,1	47,7	52,2	52,2	58,7	62,0															
Beton 12,5 Hz	32,5	35,8	43,8	52,9	59,5	66,2	70,5	71,2	62,2	56,9	56,2	52,0	51,0	54,6	49,9	47,1	47,7	52,2	52,2	58,7	62,0															
Beton 16 Hz	32,4	35,9	43,6	52,1	57,5	61,3	72,4	80,3	67,9	58,3	55,9	53,6	51,9	54,5	51,2	47,3	47,7	52,2	52,2	58,7	62,0															
Beton 20 Hz	32,5	35,9	43,9	52,1	56,9	59,4	66,7	71,3	75,2	63,3	57,3	53,5	53,6	56,8	51,6	48,6	47,9	52,2	52,2	58,7	62,0															
Beton 25 Hz	32,4	36,0	43,9	52,4	56,9	58,8	65,1	66,4	67,2	69,4	61,5	54,7	53,5	57,3	52,8	49,8	49,6	53,8	52,4	58,7	62,0															
Beton 31,5 Hz	32,7	36,0	44,0	52,4	57,2	58,9	64,6	65,0	62,9	62,5	66,6	58,3	54,6	57,2	54,1	51,3	50,7	55,0	54,1	60,2	62,2															
Beton 40 Hz	32,3	36,1	43,9	52,4	57,0	59,0	64,5	64,4	61,7	59,0	61,5	64,1	58,2	56,2	53,9	51,3	50,7	55,0	54,1	60,2	62,2															
Beton 50 Hz	31,9	35,7	43,9	52,2	57,0	58,8	64,6	64,3	61,2	57,8	58,0	58,9	64,0	61,3	51,9	55,3	54,9	60,6	63,5	0,18	40,9															
Beton 62,5 Hz	31,4	35,3	43,5	52,2	56,8	58,8	64,5	64,4	61,1	57,3	56,8	56,8	67,5	58,4	52,2	51,9	56,5	55,3	61,4	63,9	0,20															
Beton 80 Hz	30,8	34,8	43,1	51,8	56,8	58,6	64,4	64,3	61,2	57,2	56,3	54,3	55,4	62,4	55,8	52,8	56,4	56,5	61,7	64,7	43,2															
(Max-Hold, Fast)																																				
alle Spektren [dB], re 5*10 ⁻⁵ mm/s																																				
KB_{min}:	Beton 8 Hz	Beton 10 Hz	Beton 12,5 Hz	Beton 16 Hz	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz	Beton 8 Hz	Beton 10 Hz	Beton 12,5 Hz	Beton 16 Hz	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz														
	0,054	0,013	0,075	0,018	0,106	0,025	0,110	0,026				18,0	5,6	18,1	5,7	18,4	6,0	18,8	6,3																	
KB_{min}:	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz	Beton 8 Hz	Beton 10 Hz	Beton 12,5 Hz	Beton 16 Hz	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz	Beton 8 Hz	Beton 10 Hz	Beton 12,5 Hz	Beton 16 Hz	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz							
	0,076	0,029	0,056	0,018	0,049	0,013	0,046	0,012				19,4	6,9	20,3	7,8	20,9	8,5	21,3	8,9																	
KB_{min}:	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz	Beton 8 Hz	Beton 10 Hz	Beton 12,5 Hz	Beton 16 Hz	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz	Beton 8 Hz	Beton 10 Hz	Beton 12,5 Hz	Beton 16 Hz	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz	Beton 8 Hz	Beton 10 Hz	Beton 12,5 Hz	Beton 16 Hz	Beton 20 Hz	Beton 25 Hz	Beton 31,5 Hz	Beton 40 Hz	Beton 50 Hz	Beton 62,5 Hz	Beton 80 Hz
	0,046	0,011	0,051	0,011	0,045	0,012						22,5	10,0	24,5	12,1	24,9	12,5																			

Zur Berechnung von KB_{FT} in bzw. KB_{FT} werden die Spektren
laut DIN 4150 bis maximal 80 Hz herangezogen.

Berechnung der Immissionen für Holzdecken durch Baustellenverkehr in 8 m Entfernung

Frequenz [Hz]	4		8		16		32		63		125		250		Anzahl Ereignisse Tag Nacht						
Emissionsspektren																					
Lkw 40t (nahe Fahrspur)	28,5	33,2	42,2	49,7	53,9	56,9	58,3	57,3	53,6	50,0	49,7	46,0	43,2	45,2	39,8	32,1	29,0	29,5	24,5	27,8	27,4
Lkw 40t (ferne Fahrspur)	29,7	32,9	40,4	48,3	52,3	53,3	57,9	56,6	52,1	46,7	44,1	39,8	37,7	39,2	33,6	28,5	26,5	28,3	25,4	28,7	28,8

Übertragungsfunktionen																					
Holz 8 Hz	3,8	5,1	7,6	12,6	20,0	10,6	4,4	0,4	-2,3	-3,8	-4,6	-4,9	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0
Holz 10 Hz	2,6	3,8	5,1	7,6	12,6	20,0	10,6	4,4	0,4	-2,3	-3,8	-4,6	-4,9	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0
Holz 12,5 Hz	1,2	2,2	3,4	4,6	6,8	11,3	18,0	9,6	3,9	0,4	-2,0	-3,4	-4,1	-4,4	-4,5	-4,6	-4,9	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0
Holz 16 Hz	0,0	1,0	2,0	3,0	4,1	6,0	10,1	16,0	8,5	3,5	0,3	-1,8	-3,0	-3,7	-4,0	-4,1	-4,4	-4,5	-4,6	-4,9	-5,0
Holz 20 Hz	-0,4	-0,2	0,9	1,7	2,6	3,6	5,3	8,8	14,0	7,5	3,1	0,3	-1,6	-2,7	-3,2	-3,7	-4,0	-4,1	-4,4	-4,5	-4,6
Holz 25 Hz	-0,2	-0,5	-0,2	0,7	1,5	2,3	3,1	4,5	7,6	12,0	6,4	2,6	0,2	-1,4	-2,3	-2,7	-3,2	-3,7	-4,0	-4,1	-4,4
Holz 31,5 Hz	-0,2	-0,5	-0,4	-0,1	0,6	1,2	1,9	2,6	3,8	6,3	10,0	5,3	2,2	0,2	-1,1	-1,4	-2,3	-2,7	-3,2	-3,7	-4,0
Holz 40 Hz	-0,3	-0,2	-0,5	-0,4	-0,1	0,6	1,2	1,9	2,6	3,8	6,3	10,0	5,3	2,2	0,2	-1,1	-1,4	-2,3	-2,7	-3,2	-3,7
Holz 50 Hz	-0,5	-0,3	-0,2	-0,5	-0,4	-0,1	0,6	1,2	1,9	2,6	3,8	6,3	10,0	5,3	2,2	0,2	-1,1	-1,4	-2,3	-2,7	-3,2
Holz 62,5 Hz	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,5	-0,4	-0,1	0,6	1,2	1,9	2,6	3,8	6,3	10,0	5,3	2,2	0,2	-1,1	-1,4	-2,3	-2,7
Holz 80 Hz	-1,0	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,5	-0,4	-0,1	0,6	1,2	1,9	2,6	3,8	6,3	10,0	5,3	2,2	0,2	-1,1	-1,4	-2,3

Immissionsspektren																					KB _{Fm} :	Lmax (dB(A))
Lkw 40t (nahe Fahrspur)																						
Holz 8 Hz	32,2	38,4	49,8	62,3	73,9	67,5	62,6	57,7	51,4	46,2	45,1	41,1	38,2	40,2	34,8	27,1	24,0	24,5	19,5	22,8	22,4	
Holz 10 Hz	31,0	37,0	47,3	57,3	66,5	76,9	68,9	61,7	54,0	47,8	45,9	41,4	38,3	40,2	34,8	27,1	24,0	24,5	19,5	22,8	22,4	
Holz 12,5 Hz	29,7	35,4	45,6	54,4	60,7	68,2	76,3	66,9	57,5	50,4	47,6	42,6	39,1	40,8	35,3	27,5	24,1	24,5	19,5	22,8	22,4	
Holz 16 Hz	28,4	34,2	44,2	52,8	58,0	62,9	68,3	73,3	62,1	53,5	50,0	44,2	40,2	41,5	35,8	28,0	24,6	24,9	19,9	22,8	22,4	
Holz 20 Hz	28,1	33,1	43,1	51,5	56,5	60,5	63,5	66,1	67,6	57,5	52,7	46,3	41,6	42,6	36,6	28,4	25,0	25,3	20,1	23,3	22,8	
Holz 25 Hz	28,2	32,8	42,0	50,5	55,4	59,1	61,3	61,8	61,2	62,0	56,0	48,6	43,4	43,9	37,5	29,5	25,8	25,8	20,6	23,8	23,0	
Holz 31,5 Hz	28,2	32,8	41,8	49,6	54,5	58,1	60,1	59,9	57,4	56,3	59,7	51,4	45,4	45,4	38,6	30,8	26,7	26,8	21,3	24,1	23,5	
Holz 40 Hz	28,2	33,0	41,7	49,3	53,8	57,5	59,5	59,2	56,2	53,8	56,0	56,0	48,5	47,4	40,0	31,0	27,6	27,2	21,9	24,6	23,7	
Holz 50 Hz	28,0	33,0	42,0	49,3	53,5	56,7	58,9	58,5	55,5	52,6	53,4	52,3	53,2	50,5	42,0	32,3	27,9	28,1	22,3	25,1	24,2	
Holz 62,5 Hz	27,8	32,7	41,9	49,5	53,4	56,5	58,1	57,9	54,8	51,9	52,2	49,8	49,5	55,2	45,1	34,3	29,2	28,3	23,2	25,5	24,8	
Holz 80 Hz	27,5	32,5	41,7	49,5	53,7	56,4	57,8	57,2	54,2	51,2	51,5	48,6	47,0	51,5	49,8	37,4	31,2	29,7	23,4	26,4	25,1	
Lkw 40t (ferne Fahrspur)																						
Holz 8 Hz	33,4	38,0	48,0	60,9	72,3	63,9	62,3	57,0	49,8	42,9	39,5	34,8	32,7	34,2	28,6	23,5	21,5	23,3	20,4	23,7	23,8	
Holz 10 Hz	32,2	36,7	45,6	55,8	64,8	73,3	68,6	61,0	52,5	44,5	40,3	35,2	32,8	34,2	28,6	23,5	21,5	23,3	20,4	23,7	23,8	
Holz 12,5 Hz	30,9	35,1	43,8	52,9	59,0	64,6	75,9	66,2	56,0	47,1	42,1	36,4	33,6	34,7	29,1	23,9	21,6	23,3	20,4	23,7	23,8	
Holz 16 Hz	29,6	33,9	42,4	51,3	56,4	59,3	68,0	72,6	60,6	50,2	44,4	38,0	34,7	35,5	29,6	24,4	22,1	23,8	20,8	23,8	23,8	
Holz 20 Hz	29,3	32,7	41,3	50,0	54,9	56,9	63,2	65,4	66,1	54,2	47,2	40,1	36,2	36,5	30,3	24,8	22,5	24,2	20,9	24,2	24,2	
Holz 25 Hz	29,4	32,4	40,3	49,0	53,7	55,5	61,0	61,1	59,6	58,7	50,5	42,4	38,0	37,8	31,3	25,8	23,3	24,6	21,4	24,6	24,4	
Holz 31,5 Hz	29,4	32,4	40,0	48,2	52,9	54,5	59,8	59,2	55,8	53,0	54,1	45,1	39,9	39,4	32,4	27,1	24,2	25,7	22,1	25,1	24,9	
Holz 40 Hz	29,4	32,7	39,9	47,9	52,1	53,9	59,1	58,5	54,6	50,5	50,4	49,8	43,1	41,4	33,8	27,4	25,1	26,0	22,7	25,5	25,1	
Holz 50 Hz	29,2	32,6	40,2	47,8	51,8	53,1	58,5	57,8	54,0	49,3	47,9	46,1	47,7	44,5	35,7	28,7	25,4	27,0	23,1	26,1	25,6	
Holz 62,5 Hz	29,0	32,4	40,2	48,0	51,8	52,8	57,8	57,2	53,3	48,6	46,7	43,5	44,0	49,2	38,9	30,7	26,7	27,2	24,0	26,5	26,2	
Holz 80 Hz	28,7	32,2	39,9	48,0	52,0	52,8	57,5	56,5	52,7	47,9	46,0	42,3	41,5	45,5	43,6	33,8	28,7	28,5	24,2	27,4	26,5	
																					0,20	28,0
																					0,26	28,0
																					0,32	28,4
																					0,24	29,0
																					0,16	29,8
																					0,11	31,0
																					0,08	31,4
																					0,08	31,9
																					0,07	32,7
																					0,07	33,7
																					0,06	33,5

(Max-Hold, Fast) alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s	KB _{Fm} :	Holz 8 Hz	Holz 10 Hz	Holz 12,5 Hz	Holz 16 Hz	Lr (dB(A)):	Holz 8 Hz	Holz 10 Hz	Holz 12,5 Hz	Holz 16 Hz							
		Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht		Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht							
		0,043	0,010	0,059	0,014	0,063	0,015	0,049	0,012	9,1	0,0	9,2	0,0	9,5	0,0	10,1	0,0
	KB _{Fm} :	Holz 20 Hz	Holz 25 Hz	Holz 31,5 Hz	Holz 40 Hz	Lr (dB(A)):	Holz 20 Hz	Holz 25 Hz	Holz 31,5 Hz	Holz 40 Hz							
		Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht		Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht							
		0,032	0,012	0,023	0,008	0,018	0,005	0,016	0,004	10,8	0,0	11,9	0,0	12,5	0,0	13,1	0,0
KB _{Fm} :	Holz 50 Hz	Holz 62,5 Hz	Holz 80 Hz	Lr (dB(A)):	Holz 50 Hz	Holz 62,5 Hz	Holz 80 Hz										
	Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht		Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht										
	0,015	0,004	0,014	0,004	0,013	0,003	13,9	0,0	15,0	0,0	14,7	0,0					

Zur Berechnung von KB_{Fm} bzw. KB_{FTr} werden die Spektren laut DIN 4150 bis maximal 80 Hz herangezogen.

Berechnung der Immissionen für Holzdecken durch Baustellenverkehr in 3 m Entfernung

Frequenz [Hz]	4		8		16		32		63		125		250		Anzahl Ereignisse Tag Nacht						
Emissionsspektren																					
Lkw 40t (nahe Fahrspur)	28,5	33,2	42,2	49,7	53,9	56,9	58,3	57,3	53,6	50,0	49,7	46,0	43,2	45,2	39,8	32,1	29,0	29,5	24,5	27,8	27,4
Lkw 40t (ferne Fahrspur)	29,7	32,9	40,4	48,3	52,3	53,3	57,9	56,6	52,1	46,7	44,1	39,8	37,7	39,2	33,6	28,5	26,5	28,3	25,4	28,7	28,8

Übertragungsfunktionen																					
Holz 8 Hz	3,8	5,1	7,6	12,6	20,0	10,6	4,4	0,4	-2,3	-3,8	-4,6	-4,9	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0
Holz 10 Hz	2,6	3,8	5,1	7,6	12,6	20,0	10,6	4,4	0,4	-2,3	-3,8	-4,6	-4,9	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0
Holz 12,5 Hz	1,2	2,2	3,4	4,6	6,8	11,3	18,0	9,6	3,9	0,4	-2,0	-3,4	-4,1	-4,4	-4,5	-4,6	-4,9	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0
Holz 16 Hz	0,0	1,0	2,0	3,0	4,1	6,0	10,1	16,0	8,5	3,5	0,3	-1,8	-3,0	-3,7	-4,0	-4,1	-4,4	-4,5	-4,6	-4,9	-5,0
Holz 20 Hz	-0,4	-0,2	0,9	1,7	2,6	3,6	5,3	8,8	14,0	7,5	3,1	0,3	-1,6	-2,7	-3,2	-3,7	-4,0	-4,1	-4,4	-4,5	-4,6
Holz 25 Hz	-0,2	-0,5	-0,2	0,7	1,5	2,3	3,1	4,5	7,6	12,0	6,4	2,6	0,2	-1,4	-2,3	-2,7	-3,2	-3,7	-4,0	-4,1	-4,4
Holz 31,5 Hz	-0,2	-0,5	-0,4	-0,1	0,6	1,2	1,9	2,6	3,8	6,3	10,0	5,3	2,2	0,2	-1,1	-1,4	-2,3	-2,7	-3,2	-3,7	-4,0
Holz 40 Hz	-0,3	-0,2	-0,5	-0,4	-0,1	0,6	1,2	1,9	2,6	3,8	6,3	10,0	5,3	2,2	0,2	-1,1	-1,4	-2,3	-2,7	-3,2	-3,7
Holz 50 Hz	-0,5	-0,3	-0,2	-0,5	-0,4	-0,1	0,6	1,2	1,9	2,6	3,8	6,3	10,0	5,3	2,2	0,2	-1,1	-1,4	-2,3	-2,7	-3,2
Holz 62,5 Hz	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,5	-0,4	-0,1	0,6	1,2	1,9	2,6	3,8	6,3	10,0	5,3	2,2	0,2	-1,1	-1,4	-2,3	-2,7
Holz 80 Hz	-1,0	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,5	-0,4	-0,1	0,6	1,2	1,9	2,6	3,8	6,3	10,0	5,3	2,2	0,2	-1,1	-1,4	-2,3

Immissionsspektren																					KB _{Fm} :	L _{max} (dB(A))	
Lkw 40t (nahe Fahrspur)																							
Holz 8 Hz	36,5	42,8	54,4	67,5	79,7	74,1	70,2	66,4	61,3	57,7	58,1	55,9	55,0	59,1	55,9	50,7	50,2	53,4	51,4	57,7	60,6		
Holz 10 Hz	35,3	41,4	52,0	62,5	72,3	83,5	76,4	70,3	64,0	59,2	58,9	56,2	55,0	59,1	55,9	50,7	50,2	53,4	51,4	57,7	60,6		
Holz 12,5 Hz	33,9	39,8	50,3	59,5	66,5	74,8	83,8	75,6	67,5	61,8	60,7	57,4	55,8	59,6	56,4	51,1	50,2	53,4	51,4	57,7	60,6		
Holz 16 Hz	32,7	38,6	48,8	57,9	63,8	69,5	75,9	82,0	72,1	64,9	63,0	59,0	56,9	60,4	56,9	51,5	50,7	53,9	51,8	57,8	60,6		
Holz 20 Hz	32,3	37,5	47,8	56,6	62,3	67,1	71,1	74,8	77,6	68,9	65,8	61,1	58,4	61,4	57,7	52,0	51,2	54,2	51,9	58,2	61,0		
Holz 25 Hz	32,5	37,1	46,7	55,6	61,2	65,7	68,9	70,5	71,1	73,4	69,1	63,5	60,2	62,7	58,6	53,0	51,9	54,7	52,4	58,6	61,2		
Holz 31,5 Hz	32,5	37,1	46,5	54,8	60,3	64,7	67,7	68,6	67,3	67,7	72,7	66,2	62,1	64,3	59,8	54,3	52,9	55,7	53,7	59,0	61,6		
Holz 40 Hz	32,4	37,4	46,4	54,5	59,6	64,1	67,0	67,9	66,1	65,2	69,0	70,8	65,3	66,2	61,1	54,5	53,8	56,1	53,2	59,5	61,9		
Holz 50 Hz	32,2	37,4	46,7	54,4	59,3	63,3	66,4	67,2	65,5	64,0	66,5	67,1	70,0	69,4	63,1	55,9	54,0	57,0	54,1	60,1	62,4		
Holz 62,5 Hz	32,0	37,1	46,6	54,7	59,2	63,0	65,7	66,6	64,8	63,3	65,3	64,6	66,2	74,1	66,2	57,8	55,4	57,2	55,0	60,4	62,9		
Holz 80 Hz	31,7	36,9	46,4	54,6	59,5	63,0	65,4	65,9	64,2	62,7	64,6	63,4	63,7	70,4	70,9	61,0	57,3	58,6	55,2	61,4	63,3		

Lkw 40t (ferne Fahrspur)																							
Holz 8 Hz	37,7	42,4	52,7	66,0	78,0	70,5	69,8	65,7	59,8	54,4	52,5	49,6	49,5	53,0	49,7	47,1	47,7	52,2	52,2	58,7	62,0		
Holz 10 Hz	36,5	41,1	50,2	61,0	70,6	79,8	76,1	69,6	62,4	55,9	53,4	50,0	49,5	53,0	49,7	47,1	47,7	52,2	52,2	58,7	62,0		
Holz 12,5 Hz	35,1	39,5	48,5	58,1	64,8	71,2	83,5	74,9	66,0	58,5	55,1	51,2	50,3	53,6	50,2	47,5	47,7	52,2	52,2	58,7	62,0		
Holz 16 Hz	33,9	38,3	47,1	56,5	62,2	65,9	75,6	81,3	70,5	61,6	57,5	52,8	51,5	54,4	50,7	47,9	48,2	52,7	52,6	58,7	62,0		
Holz 20 Hz	33,5	37,1	46,0	55,2	60,7	63,4	70,8	74,1	76,0	65,6	60,2	54,9	52,9	55,4	51,5	48,4	48,7	53,1	52,8	59,1	62,4		
Holz 25 Hz	33,7	36,8	44,9	54,2	59,5	62,1	68,6	69,8	69,6	70,1	63,5	57,2	54,7	56,7	52,4	49,4	49,4	53,6	53,2	59,5	62,6		
Holz 31,5 Hz	33,7	36,8	44,7	53,3	58,7	61,1	67,4	67,9	65,8	64,4	67,1	59,9	56,7	58,2	53,6	50,7	50,4	54,6	54,0	60,0	63,0		
Holz 40 Hz	33,6	37,1	44,6	53,0	57,9	60,5	66,7	67,2	64,6	61,9	63,4	64,6	59,8	60,2	54,9	50,9	51,3	55,0	54,5	60,4	63,3		
Holz 50 Hz	33,4	37,0	44,9	53,0	57,6	59,7	66,1	66,5	63,9	60,7	60,9	60,9	64,5	63,4	56,9	52,3	51,5	55,9	54,9	61,0	63,8		
Holz 62,5 Hz	33,2	36,8	44,8	53,2	57,6	59,4	65,4	65,9	63,3	60,0	59,7	58,4	60,8	68,0	60,0	54,2	52,9	56,1	55,8	61,4	64,3		
Holz 80 Hz	32,9	36,6	44,6	53,2	57,8	59,4	65,1	65,2	62,7	59,4	59,0	57,2	58,3	64,3	64,7	57,4	54,8	57,4	56,1	62,3	64,7		

(Max-Hold, Fast) alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s	KB _{Fm} :	Holz 8 Hz	Holz 10 Hz	Holz 12,5 Hz	Holz 16 Hz	Lr (dB(A)):	Holz 8 Hz	Holz 10 Hz	Holz 12,5 Hz	Holz 16 Hz									
		Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht		Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht									
			0,088	0,021	0,129	0,031	0,152	0,036	0,130	0,031		18,4	6,0	18,5	6,0	18,7	6,3	19,1	6,6
	KB _{Fm} :	Holz 20 Hz	Holz 25 Hz	Holz 31,5 Hz	Holz 40 Hz	Lr (dB(A)):	Holz 20 Hz	Holz 25 Hz	Holz 31,5 Hz	Holz 40 Hz									
		Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht		Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht									
			0,093	0,031	0,070	0,022	0,060	0,017	0,056	0,014		19,5	7,1	20,2	7,8	20,9	8,5	21,6	9,2
KB _{Fm} :	Holz 50 Hz	Holz 62,5 Hz	Holz 80 Hz	Lr (dB(A)):	Holz 50 Hz	Holz 62,5 Hz	Holz 80 Hz												
	Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht		Tag Nacht	Tag Nacht	Tag Nacht												
		0,055	0,013	0,059	0,013	0,052	0,014		22,6	10,2	24,0	11,6	24,4	11,9					

Zur Berechnung von KB_{Fm} bzw. KB_{FTr} werden die Spektren laut DIN 4150 bis maximal 80 Hz herangezogen.