



BeSB

SCHALLTECHNISCHES
BÜRO

Messstelle nach §29b BImSchG

VMPA anerkannte
Schallschutzprüfstelle

DAkKS-akkreditiertes Prüflaboratorium
nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 gem.
Urkundenanlage D-PL-19685-01-00

Ort, Datum

Berlin, 12.07.2024

Gutachten

Nr. 74731G02b

Bearbeiter/in

CP

Umfang

37 Seiten

20 Seiten Anhang

Ein auszugsweises Zitieren ist mit
uns abzustimmen

Auftraggeber

ARGE GP Verlängerung U3
c/o Schüßler-Plan
Greifswalder Straße 80A
10405 Berlin

BV Verlängerung U3:

U-Bahnhof Krumme Lanke bis S-Bahnhof Mexikoplatz

Erschütterungstechnische Untersuchung

Ermittlung der Erschütterungsimmissionen aus den Bauarbeiten

Ersetzt Gutachten Nr. 74731G02a vom 05.07.2024

Anpassung auf aktuellen Planstand

BeSB GmbH Berlin

Schalltechnisches Büro

BeSB GmbH Berlin
Schalltechnisches Büro
Undinestraße 43
12203 Berlin

Telefon: +49 30 844 90 8 - 0
Telefax: +49 30 844 90 8 - 44
E-Mail: info@besb.de

Geschäftsführer

Dipl.-Ing. Alexander Knobloch
M.A. Johannes Scheller

Beirat

Prof. Dr.-Ing. Edelbert Schaffert


M. Sc. Christiane Pfitzner


Dipl.-Ing. Fabian van de Sand

Handelsregister Berlin
HRB 14606

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einleitung und Aufgabenstellung	3
2	Verwendete Unterlagen	4
3	Beurteilungsmaßstab	6
	3.1 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden	6
	3.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen	9
4	Beschreibung des Untersuchungsgebiets	12
	4.1 Angaben zum Baugrund	13
5	Beschreibung des geplanten Bautätigkeiten	16
	5.1 Eingesetzte Baugeräte	17
6	Verfahren zur Prognose baubedingter Erschütterungen	18
	6.1 Erschütterungsemissionen und -ausbreitung	18
	6.1.1 Abbrucharbeiten	21
	6.1.2 Rammarbeiten mit Bagger-Anbau-Vibrator	22
	6.1.3 Verdichten	23
	6.1.4 Gleisstopfmaschine	25
	6.2 Erschütterungsimmission	26
	6.2.1 Übergang vom Boden auf Gebäudefundament	26
	6.2.2 Schwingungsausbreitung im Gebäude	27
	6.2.3 Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	27
7	Prognoseergebnisse	29
	7.1 Einwirkung auf bauliche Anlagen	30
	7.2 Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	32
8	Schlussfolgerung und Empfehlung	35
	8.1 Empfehlung	36

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) planen im Berliner Südwesten eine Erweiterung des bestehenden U-Bahnnetzes. Dafür soll die U-Bahnlinie U3 vom U-Bahnhof *Krumme Lanke* bis zum S-Bahnhof *Mexikoplatz* verlängert werden. Dabei verläuft die Strecke unterhalb der Argentinischen Allee. Außerdem soll eine Kehr- und Abstellanlage südlich an die Strecke anschließen, die sich unterhalb der Lindenthaler Allee bis fast zur Kreuzung Potsdamer Chaussee erstreckt. Der geplante Streckenabschnitt des Lückenschlusses inklusive der Kehr- und Abstellanlage ist etwa 1,34 km lang.

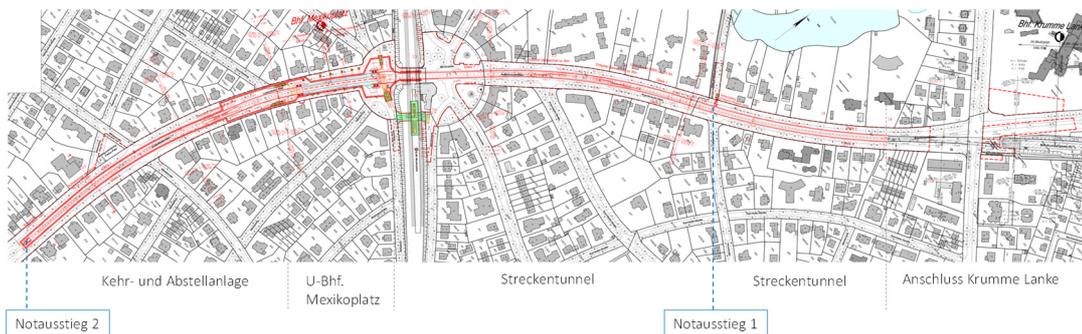


Abb. 1.1: Lageskizze zum Lückenschluss [16]

Das Tunnelbauwerk wird als Rechtecktunnel in offener Bauweise mit geringer Überdeckung errichtet, in welchem zwei Gleise verlaufen. Südlich des S-Bahnhofes Mexikoplatz liegt der U-Bahnhof mit Verteilerebene. Die Notausgänge befinden sich zum einen am Ende der Kehr- und Abstellanlage und zum anderen auf der Höhe des Erdmann-Graeser-Wegs.

Im Rahmen der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung werden die durch den Bau der U-Bahnstrecke, des Bahnhofs sowie der Kehr- und Abstellanlage hervorgerufenen Erschütterungsimmissionen in der angrenzenden Bebauung berechnet und anhand gängiger Normen und Richtlinien bewertet.

2 Verwendete Unterlagen

- [1] DIN 4150-1 *Erschütterungen im Bauwesen* - Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Dezember 2022
- [2] DIN 4150-2 *Erschütterungen im Bauwesen* - Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden; Juni 1999
- [3] DIN 4150-3 *Erschütterungen im Bauwesen* - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Dezember 2016
- [4] DIN 45669-2, *Messung von Schwingungsimmissionen*, Teil 2: Messverfahren; Juni 2005
- [5] VDI 2038 Blatt 1 *Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren* - Blatt 1: Grundlagen - Methoden, Vorgehensweisen und Einwirkungen, Juni 2012
- [6] VDI 2038 Blatt 2 *Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren* - Blatt 2: Schwingungen und Erschütterungen - Prognose, Messungen, Beurteilung und Minderung, Januar 2013
- [7] VDI 2057 Blatt 3 *Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen*, Mai 1987 (zurückgezogen)
- [8] Richtlinie Ril 820.2050, *Erschütterungen und sekundärer Luftschall*, DB Netz AG, Januar 2017
- [9] Informationsreihe - Bericht 20 *Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten - Grundlagen, Messergebnisse und Prognosen*, M. Achmus, J. Kaiser, F. tom Wörden, Institut für Bauforschung IFB
- [10] Einreichprojekt zum UVP-Verfahren, Fachbeitrag *Erschütterungen und Sekundärschall*, P. Steinhauser, Mai 2009
- [11] Artikel *Erschütterungsüberwachung bei Baumaßnahmen*, M. Schalk, F.-O. Henkel, M. Lerzer, Bautechnik 81: 268-278, 2004
- [12] Geoportal des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) <https://geo.brandenburg.de/?page=Geologische-Karten>, zuletzt aufgerufen am 25.03.2024
- [13] Geoportal Berlin / Kartografische Darstellung der in der Denkmalliste Berlin aufgeführten Denkmalpositionen <https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>, veröffentlicht am 11.12.2023
- [14] *Bestandsrecherche zum Baugrund und zur Hydrologie zum BV: U-Bahn-Linie U3 Lückenschluss*, CDM Smith, 25.10.2023

- [15] *Scoping-Unterlage: Verlängerung U3 / U-Bahnhof Krumme Lanke bis S-Bahnhof Mexikoplatz, ARGE U3 MEX, 09.11.2023*
- [16] *Lageplan Trassierung mit Bauwerk, U3_-MEX-00-03-GPR-300-001-F-01, 04.07.2024*
- [17] *Längenschnitt Gleis 2 Trassierung mit Bauwerk -, U3_-MEX-01-12-TRA-372-001-V-01, 14.06.2024*
- [18] *Bebauungsplan X-11 für das Gebiet Kreuzung Argentinische Allee - Fischerhüttenstraße in Berlin-Zehlendorf, 04.01.1956*
- [19] *Bebauungsplan X-13 für den Straßenzug Argentinische Allee - Lindenthaler Allee zwischen U-Bf. Krumme Lanke und Potsdamer Chaussee in Zehlendorf, 28.8.1957*
- [20] *Bebauungsplan X-90 für das Gelände zwischen der Wannseeahn, der Lindenthaler Allee, der Matterhornstraße, der Salzachstraße und dem Elvirasteig im Bezirk Zehlendorf, 22.08.1973*
- [21] *Bebauungsplan X-B 8 für das Gelände zwischen Fischerhüttenstraße, Argentinische Allee, nordöstliche Grenze der Grundstücke Argentinische Allee 33 und Karl-Hofer-Straße 11 A und 11 C, Karl-Hofer-Straße, Roonstraße, Bülowstraße, Am Schlachtensee, Elvirasteig, Goethestraße mit Ausnahme der Grundstücke Argentinische Allee 1/5 B und 2, Beerenstraße 57, Limastraße 1 und 2 sowie Am Schlachtensee 2 im Bezirk Steglitz-Zehlendorf, 10.05.2005*
- [22] *Baunutzungsplan für das gesamte Gebiet von Berlin (west), 30.06.1961*

3 Beurteilungsmaßstab

3.1 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Für die Bewertung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen wird die bewertete Schwingstärke $KB_f(t)$ verwendet. Die KB-Bewertung berücksichtigt die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Körpers gegenüber Erschütterungen.

Die bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} gibt Hinweise auf die menschliche Wahrnehmung. So liegt die menschliche Fühlschwelle bei den meisten Menschen etwa zwischen $KB = 0,1$ und $KB = 0,2$. Die VDI 2057-1 nennt zudem folgende Zuordnungen zur menschlichen Wahrnehmung der bewerteten Schwingstärke KB.

Bewertete Schwingstärke KB [-]	Beschreibung der Wahrnehmung
< 0,1	nicht spürbar
0,1	Wahrnehmungsschwelle
bis 0,4	gerade spürbar
bis 1,6	gut spürbar
bis 6,3	stark spürbar
> 6,3	sehr stark spürbar

Die Bewertung von baubedingten Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden erfolgt anhand der DIN 4150-2 [2]. Für tagsüber durchgeführte Baumaßnahmen (außer Sprengungen) gelten die Anhaltswerte der nachfolgenden Tabelle.

Tab. 3.1: Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zeitdauer	D ≤ 1 Tag			6 Tage < D ≤ 26 Tage			26 Tage < D ≤ 78 Tage		
Stufe	A_u	A_o^*	A_r	A_u	A_o^*	A_r	A_u	A_o^*	A_r
I	0,8	5,0	0,4	0,4	5,0	0,3	0,3	5,0	0,2
II	1,2	5,0	0,8	0,8	5,0	0,6	0,6	5,0	0,4
III	1,6	5,0	1,2	1,2	5,0	1,0	0,8	5,0	0,6

* für Gewerbe- und Industriegebiete gilt $A_o = 6$

A_u : unterer Anhaltswert der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax}

A_o : oberer Anhaltswert der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax}

A_r : Anhaltswert der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}

Die Beurteilung erfolgt in drei Stufen. Bei Unterschreitung der Stufe I ist auch ohne Vorinformation nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen. Bei Unterschreitung der Stufe II ist ebenfalls nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen, wenn entsprechende Maßnahmen ergriffen wurden (Information der Anwohner, Aufklärung über Unvermeidbarkeit, Benennung Ansprechstelle, Nachweis tatsächlicher Erschütterungen).

Bei Überschreitung der Stufe II ist von erheblichen Belästigungen auszugehen. Ist mit Erschütterungen oberhalb der Anhaltswerte der Stufe II zu rechnen, sollte geprüft werden ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist. Bei einer Überschreitung von Stufe III werden die Einwirkungen als unzumutbar eingestuft und besondere Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungen werden notwendig.

Für nachts auftretende Erschütterungen gelten die Anhaltswerte, die üblicherweise für Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen angesetzt werden (siehe Tab. 3.2).

Tab. 3.2: Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen gem. DIN 4150-2

Zeile	Einwirkungsort	Tag			Nacht		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und ggf. ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschafts-personen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, §9)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen unter-gebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, §8)	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, §7, Mischgebiete BauNVO, §6, Dorfgebiete BauNVO, §5)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet BauNVO, §3, allgemeine Wohngebiete BaNVO, §4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, §2)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05
In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.							

A_u : unterer Anhaltswert der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax}

A_o : oberer Anhaltswert der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax}

A_r : Anhaltswert der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}

Die Beurteilungszeiten betragen tags 16 Stunden (06:00 bis 22:00 Uhr) und nachts 8 Stunden (22:00 bis 06:00 Uhr). Zudem werden tags Ruhezeiten zwischen 06:00 bis 07:00 Uhr und von 19:00 bis 22:00 Uhr definiert.

Die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen erfolgt anhand zweier Beurteilungsgrößen:

KB_{Fmax} maximale bewertete Schwingstärke

KB_{FTr} Beurteilungsschwingstärke

Dabei gilt, dass die Anforderungen eingehalten werden, wenn der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} den unteren Anhaltswert A_u nicht übersteigt. Die Anforderungen sind überschritten, wenn der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} den oberen Anhaltswert A_o übersteigt. Sofern der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} zwischen dem unteren Anhaltswert A_u und dem oberen Anhaltswert A_o liegt, ist ein Mittelwert, die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} , zu bilden. Unterschreitet diese den Anhaltswert A_r , so werden die Anforderungen insgesamt ebenfalls eingehalten. Das Bewertungsschema ist auch der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.

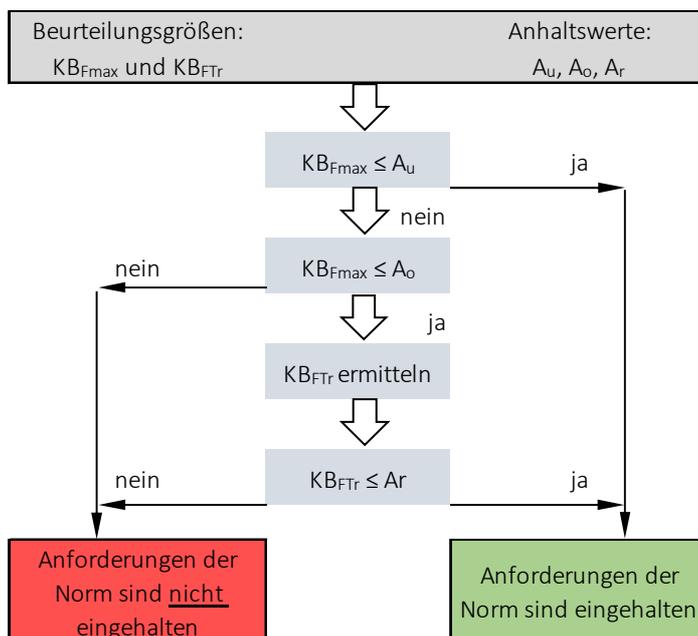


Abb. 3.1: Bewertungsschema DIN 4150-2

Die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} , wird bei Einwirkungen außerhalb von Ruhezeiten mit folgender Formel berechnet:

$$KB_{FTr} = KB_{FTm} \cdot \sqrt{\left(\frac{T_e}{T_r}\right)}$$

Mit:

- T_e Einwirkzeit außerhalb von Ruhezeiten
- T_r Beurteilungszeitraum (tags 16 h, nachts 8 h)
- KB_{FTm} Taktmaximaleffektivwerte für Einwirkzeit T_e

Bei Einwirkungen auch während der Ruhezeiten wird folgende Formel verwendet:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r} (T_{e1} \cdot KB_{FTm1}^2 + 2T_{e2} \cdot KB_{FTm2}^2)}$$

Mit:

- T_{e1} Einwirkzeit außerhalb von Ruhezeiten
- T_{e2} Einwirkzeit während Ruhezeiten
- T_r Beurteilungszeitraum
- KB_{FTm1} Taktmaximaleffektivwerte für Einwirkzeit T_{e1}
- KB_{FTm2} Taktmaximaleffektivwerte für Einwirkzeit T_{e2}

3.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

In der DIN 4150-3 [3] werden Anhaltswerte für Schwinggeschwindigkeiten zur Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen auf Bauwerke angegeben. Werden diese Anhaltswerte eingehalten, sind Schäden im Sinne einer Verminderung der Gebrauchstauglichkeit nicht zu erwarten.

Eine Verminderung der Gebrauchstauglichkeit ist gegeben, wenn die Standsicherheit von Gebäuden beeinträchtigt ist und die Tragfähigkeit von Decken und anderen Bauteilen vermindert ist. Bei Wohngebäuden und besonders erhaltenswerten Gebäuden (z.B. unter Denkmalschutz stehend) ist eine Verminderung der Gebrauchstauglichkeit auch gegeben, wenn Risse im Putz von Wänden auftreten, bereits vorhandene Risse in Gebäuden vergrößert werden oder Trenn- und Zwischendecken von tragenden Wänden oder Decken abreißen.

Die Anhaltswerte unterscheiden sich nach der Art der Anregung (Dauererschütterungen und kurzzeitige Erschütterungen) und der Lage innerhalb des Gebäudes. Die Anforderungen aus der DIN 4150-3 sind in der nachfolgenden Tab. 3.3 angegeben.

Tab. 3.3: Anhaltswerte zur Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen auf Gebäude

Spalte		1	2	3	4	5	
		Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s					
Zeile	Gebäudeart	Fundamentebene (alle Richtungen)			oberste Decken- ebene (horizontal)	Decken (vertikal)	
		1-10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz	alle Frequenzen		
Kurzzeitige Erschütterungen	1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40	20
	2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 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 bis 8	8 bis 10	8	20
Dauererschütterungen	4	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	-	-	-	10	10
	5	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	-	-	-	5	10
	6	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

Kurzzeitige Erschütterungen sind in der DIN 4150-3 definiert als "Erschütterungen, deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungserscheinungen hervorzurufen, und deren zeitliche Abfolge und Dauer nicht geeignet sind, um in der betroffenen Struktur eine wesentliche Vergrößerung der Schwingungen durch Resonanzerscheinungen zu erzeugen." Dauererschütterungen sind dahingegen "alle Erschütterungen, auf die die Definition der kurzzeitigen Erschütterungen nicht zutrifft."

In der nachfolgenden Tabelle aus [11] ist die Art der Erschütterung, kurzzeitige Erschütterung (transient / stoßartig) oder Dauererschütterung (harmonisch / periodisch), für verschiedene erschütterungsintensive Bauverfahren zusammengestellt.

Tab. 3.4: Typische Erschütterungsverursacher bei Baumaßnahmen

Baumaßnahme	Erschütterungsverursacher	Erregerfunktion
Straßen- und Wegebau	Verdichtungsarbeiten Unterbau / Oberbau	
	- Rüttelplatten	periodisch
	- Vibrationswalzen	harmonisch / periodisch
	- Walzenzüge	harmonisch / periodisch
	LKW-Verkehr auf Baustraßen	transient / stoßartig
Abbrucharbeiten	Abbruch	
	- Sprengung	stoßartig
	- Hydraulik- / Pressluftmeißel	periodisch
	- Abbruchzange / -greifer	transient
	- Trümmeraufprall	stoßartig
	Zerlegung von Bauteilen	
- wie Abbruch	verschieden	
	LKW Verkehr zum Abtransport	transient
Kanal- / Tiefbau	Lösen von Fels mit dem Reißlöffel	stoßartig
	Lösen von Fels mit Hydraulik- / Pressluftmeißel	periodisch
	Rammen / Ziehen von Spundwandbohlen / Verbauträgern	
	- Vibrationsrammen	periodisch
	- Schlagrammen	stoßartig
	LKW Verkehr für Zulieferungen / Abtransport	transient
	Baggerfahrten o.ä. in engen Gassen	transient

4 Beschreibung des Untersuchungsgebiets

Im Bereich der geplanten Streckenverlängerung befinden sich hauptsächlich Wohngebiete, wobei anhand der vorhandenen Bebauungspläne bzw. des Baunutzungsplans in Allgemeine Wohngebiete (WA, rosa) und Reine Wohngebiete (WR, gelb) zu unterscheiden ist. Zudem liegt nördlich, nahe des Bahnhofs Krumme Lanke, ein Sondergebiet (SO, orange) mit dem Krankenhaus Waldfriede vor. Außerdem sind dort kleinere Bereiche Gewerbegebiet (GE, grau) ausgewiesen. Um den Mexikoplatz sind zudem Mischgebiete (MI, braun) zu finden.

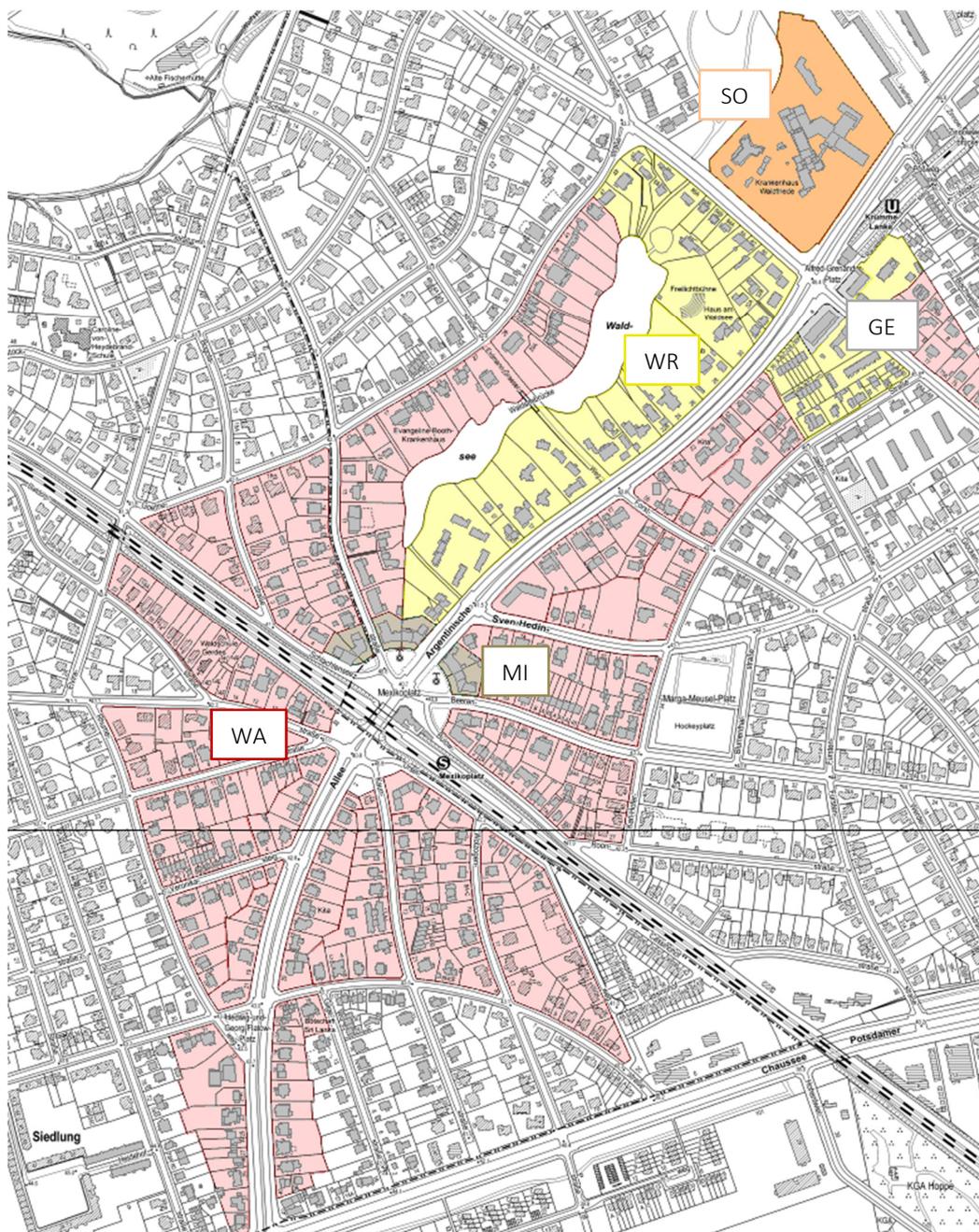


Abb. 4.1: Gebietseinordnungen entsprechend den Bebauungsplänen [18], [19], [20], [21] und des Baunutzungsplans [22]

Im Anhang I ist die Lage der nächstgelegenen Gebäude inkl. der Entfernung zum Tunnelbauwerk dargestellt. Diesen Karten kann auch entnommen werden, welche Gebäude laut Denkmalkarte Berlin [13] unter Denkmalschutz stehen.

4.1 Angaben zum Baugrund

Die Ausbreitung von Erschütterungen ist von den Baugrundeigenschaften abhängig. Für das Gebiet entlang der geplanten U-Bahn-Trasse liegen folgende Angaben zum Baugrund vor (entnommen [9], Geologische Übersichtskarte 1:25 000). Die Angaben gelten für die an der Oberfläche anstehenden geologischen Bildungen.

Tab. 4.1: Beschreibung der vorliegenden Bodenarten

Kennung	Beschreibung
375 - qw1,,gf(vs)	Ablagerungen durch Schmelzwasser (Schmelzwassersande der Vorschüttphase, "Vorstoßsander"): Sand, fein- und mittelkörnig, z. T. schwach grobkörnig
367 - (qw1,,gm) / qw1,,gf(vs)	Grundmoränenbildungen (Erosionsreste von Grundmoräne, meist Geschiebelehm): Lückenhafte, geringmächtige Reste von Schluff bis Sand, kiesig, meist mit Steinanreicherungen über Ablagerungen durch Schmelzwasser der Vorschüttphase des Brandenburger-Stadiums ("Vorstoßsander"): Wechselfolge von fein-, mittel- und grobkörnigen Sanden mit geringen Kiesbeimengungen
363 - qw1,,gm / qw1,,gf(vs)	Grundmoränenbildungen (Geschiebemergel, -lehm): Schluff, stark sandig, schwach kiesig bis kiesig, mit Steinen über Ablagerungen durch Schmelzwasser der Vorschüttphase des Brandenburger-Stadiums ("Vorstoßsander"): Wechselfolge von fein-, mittel- und grobkörnigen Sanden mit geringen Kiesbeimengungen

In der Untersuchung durch das Büro CDM Smith [14] werden aus den Angaben der historischen, geologischen/hydrologischen Karten aus dem Geoportail Berlin folgende Baugrundsichten abgeschätzt:

Tab. 4.2: Geologische Schichten mit den relevanten Eigenschaften

Schicht		Boden- gruppen	Lagerung	Steifemodul $E_{s,k}$ MN/m ²	Dichte, erdfeucht in g/cm ³
S1	Sandige Auffüllungen	A [SE, SU, SU*, ST, OH]	locker bis mitteldicht	8-10	1,65 - 1,7
S2	Sande	SE, SI, SW, SU	locker bis mitteldicht, z. T. dicht gelagert	$15\sqrt{t}$ bis $30\sqrt{t}$	1,8 - 1,8
S3	Organische Weichböden	HN, HZ, F, OH	sehr locker gelagert	-	-
S4	Geschiebemergel, Schluffe, Tone	UL, SU*-TL*	weich bis steif, lokal halbfest bis fest	30-60	1,5 - 2,1

mit t = Tiefe unterhalb GOK

Der höchste zu erwartende Grundwasserstand liegt zwischen +35,1 m NHN und +35,8 m NHN. Der Bemessungswasserstand liegt bei +32,9 m NHN.

Im Mittel kann damit für die Ausbreitung der Erschütterungen ein locker bis mitteldicht gelagerter sandiger Boden angenommen werden. Dafür ergibt sich eine mittlere Ausbreitungsgeschwindigkeit der Raumwellen (Scherwellen) von $c_s = 240$ m/s und der Oberflächenwellen von $c_R = 225$ m/s. Der Dämpfungsgrad des Bodens beträgt im Allgemeinen für Lockergestein maximal $D = 0,01$.

5 Beschreibung des geplanten Bautätigkeiten

Die gesamte Baumaßnahme lässt sich grob in fünf Baubereiche unterteilen. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst sowie in Abb. 5.1 dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Gegebenheiten (Arbeiten im Grundwasser, Arbeiten unterhalb des Brückenbauwerks, etc.) ergeben sich Unterschiede im Bauablauf, insbesondere bei der Herstellung der Baugrube.

Tab. 5.1: Baubereiche (von Nord nach Süd)

Baubereich		Länge	Bauweise	Baugrubensicherung
1	Tunnel Strecke	728 m	Offene Bauweise, trocken	Spundwand
2	Tunnel unter EÜ	593 m + 135 m	Deckelbauweise, im Grundwasser	Schlitzwand + Bohrpfähle
3	Bahnhof Mexikoplatz	155 m	Deckelbauweise, im Grundwasser	Schlitzwand
4	Kehr- und Abstellanlage	457 m (190 m + 267 m)	Deckelbauweise + Offene Bauweise, im Grundwasser	Schlitzwand
5	Kehr- und Abstellanlage		Offene Bauweise, trocken	Schlitzwand

Für die Errichtung des neuen Tunnelbauwerks sowie des Bahnhofsgebäudes sind grob die nachfolgend aufgelisteten Bautätigkeiten vorgesehen. Dabei werden die Arbeiten 1 und 3 bis 6 in allen Baubereichen in ähnlicher Form ausgeführt. Ein wesentlicher Unterschied ergibt sich bei der Herstellung der Baugrube (Punkt 2).

1. Vorabmaßnahmen
 - Baumfällungen
 - Abbruch der vorhandenen Fahrbahn
 - Kampfmittelerkundung
 - Baufeldfreimachung und Leitungsumverlegung
 - Herstellung der provisorischen Verkehrsfläche
 - Einrichtung BE-Fläche
2. Herstellung Baugrube
 - Spundwände / Schlitzwände / Bohrpfähle / Düsenstrahlsohle
3. Erdaushub
4. Baugrubenaussteifung herstellen
5. Herstellung Tunnelbauwerk
 - Herstellung Verschalung & Bewehrung Rohbau
 - Betonage Rohbau
 - Ausbau Tunnelbauwerk (Gleisbau, TGA)
6. Rückbau Baugrubenverbau, Wiederherstellung Straßenaufbau
 - Rückbau Aussteifungen
 - Herstellung endgültiger Straßenaufbau

5.1 Eingesetzte Baugeräte

Für die verschiedenen Arbeiten zum Neubau des Tunnel- und Bahnhofsbauwerks sind folgende, als besonders erschütterungsintensiv eingestufte, Geräte bzw. Bauverfahren geplant.

- Abbruch der bestehenden Fahrbahnen sowie der Bohr- und Schlitzwandköpfe mit einem **Bagger mit Hydraulikmeißel**
- Verdichten der provisorischen Asphalttschicht sowie des endgültigen Straßenaufbaus mit einer **Vibrationswalze und / oder Rüttelplatte**
- Einbringen der Spundwandbohlen mit einem **Bagger-Anbau-Vibrator**
- Verdichten des Schotters im Oberbau mittels **Gleisstopfmaschine**

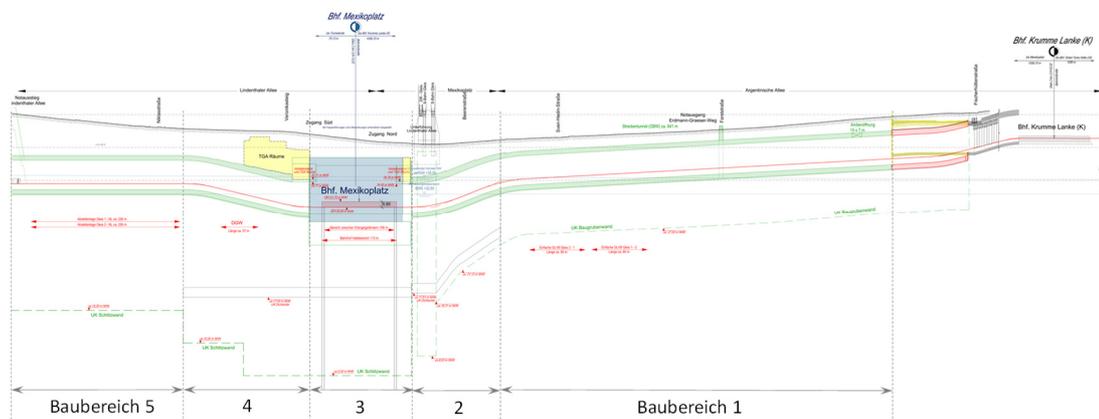


Abb. 5.1: Darstellung der Baubereiche im Tunnelquerschnitt, [17]

Die Abbrucharbeiten mit einem Bagger mit Hydraulikmeißel und auch die Verdichtungsarbeiten sind in allen Baubereichen vorgesehen. Das Einbringen von Spundwandbohlen ist nur in Bereich 1 geplant. Der Einsatz der Gleisstopfmaschine ist nur in den Bereichen 3, 4 und 5 notwendig.

6 Verfahren zur Prognose baubedingter Erschütterungen

Für eine Erschütterungsprognose ist zunächst die Erschütterungsanregung (Emission) zu ermitteln. Bei Bautätigkeiten unterscheiden sich die Verfahren und Maschinen wesentlich hinsichtlich ihres Anregemechanismus. Über den Baugrund breiten sich die Erschütterungen aus, wobei die Bodenparameter einen Einfluss auf die Schwingungsgrößen nehmen (Transmission). Am Immissionsort findet dann die Übertragung vom Baugrund auf das Fundament des Gebäudes statt und die Erschütterungen werden dort innerhalb des Gebäudes weitergeleitet (Immission). Dabei ändern sich je nach Bauart die Erschütterungen aufgrund von Resonanzerscheinungen der einzelnen Bauteile.

6.1 Erschütterungsemissionen und -ausbreitung

Einen allgemeinen Ansatz für die Erschütterungsprognose beinhaltet die VDI 2038 Blatt 1 [5] worin die Eingangsgröße die durch das Gerät bzw. den Vorgang eingetragene Energie ist.

$$v_{\max} = \kappa \cdot \left(\frac{E_E}{E_0} \right)^\beta \cdot \left(\frac{r}{r_{01}} \right)^{-\alpha} \cdot e^{-2\pi\vartheta(r-r_{02})/\lambda}$$

mit:

v_{\max}	gesuchter Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit bzw. des jeweiligen Frequenzanteils im Freifeld in mm/s
E_E	eingetragene Energie in kNm
E_0	Energiebezugsgröße, $E_0 = 1$ kNm
r	Entfernung von der Quelle in m
r_{01}	Bezugsabstand, $r_{01} = 1$ m
r_{02}	Referenzabstand außerhalb des Nahfeldes in m
λ	Wellenlänge des jeweiligen Frequenzanteils
ϑ	Dämpfungsgrad des Baugrunds
κ	empirischer Beiwert, abhängig von Baugrund, Lastankopplung, in mm/s
β	Energieexponent, abhängig vom Einwirkungstyp, hier: $\beta = 0,5$
α	Abnahmeexponent, abhängig von Erregungstyp zeitlich und örtlich sowie vom Wellentyp

Die Abnahme der Amplitude der Schwinggeschwindigkeit im Fernfeld wird im Wesentlichen durch die geometrische Abnahme über die Entfernung (abhängig von Art der Quelle und Anregung sowie der Wellenform) und durch die frequenzabhängige Materialdämpfung des Bodens bestimmt. In der nachfolgenden Abbildung ist die Abnahme der Erschütterungen über die Entfernung bei den in Kap. 4.1 beschriebenen Bodenparametern und der Annahme einer Punktquelle mit harmonischer Schwingungsanregung für verschiedene Anregefrequenzen dargestellt.

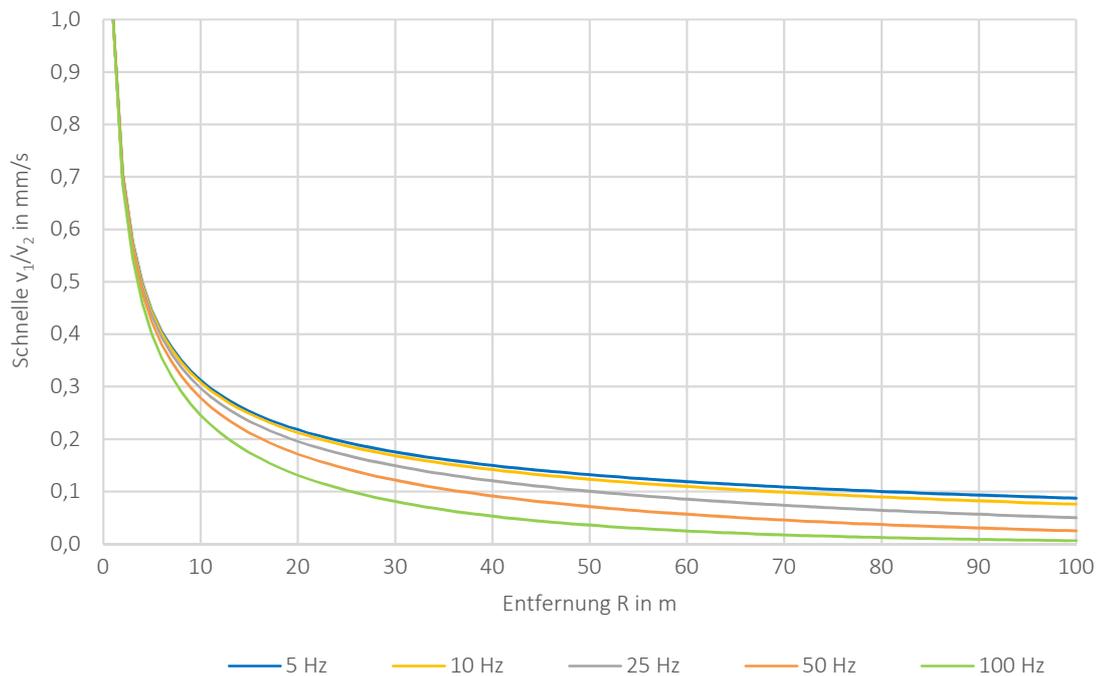


Abb. 6.1: Erschütterungsausbreitung im Erdreich berechnet nach DIN 4150-1, [1]

Abschätzungen für den empirischen Beiwert κ werden anhand der Ergebnisse der Untersuchungen von M. Achmus, J. Kaiser und F. tom Wörden [9] sowie eigener Messungen getroffen.

Die im Rahmen des Neubaus eingesetzten, besonders erschütterungsrelevanten Bauverfahren bzw. Baugeräte sind in Kap. 5.1 zusammengefasst. Es handelt sich um:

- Abbrucharbeiten mit Bagger mit Hydraulikmeißel
- Rammen von Spundwänden mit Bagger-Anbau-Vibrator
- Verdichten von Erdreich (Vibrationswalze / Vibrationsplatte)
- Gleisstopfmaschine

Abbruchverfahren wie Sägen / Schneiden oder mittels einer Hydraulikschere sind als erschütterungsarm einzustufen.

Weiterhin können Erschütterungen durch LKW-Fahrten, insbesondere über Schwellen oder Kanten und durch die sonstigen Fahrbewegungen mit den unterschiedlichen Baugeräten (insbesondere Kettenbagger) entstehen. Diese sind jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Bei der Herstellung von Ortbetonpfählen sowie der Schlitzwandherstellung entstehen nur geringe Erschütterungen. Lediglich beim Auftreffen auf Hindernisse oder beim Verkanten des Bohrgeräts kann es zu kurzzeitigen impulsförmigen Erschütterungen kommen.

In den nachfolgenden Kapiteln wurden für die einzelnen o.g. erschütterungsintensiven Baugeräte / -verfahren die Bodenerschütterungen in Abhängigkeit der Entfernung zur Erschütterungsquelle berechnet.

Dafür wurden jeweils einige beispielhafte Gerätedaten unterschiedlicher Gewichts- oder Leistungsklassen herangezogen, die tabellarisch zusammengefasst sind, da der genaue Geräteeinsatz noch nicht bekannt ist.¹ Die Eingangsdaten beruhen auf Herstellerangaben oder wurden aus früheren Untersuchungen und Messungen entnommen. Die Berechnungsergebnisse sind grafisch dargestellt (maximale Komponente der Schwinggeschwindigkeit im Erdreich v_i^B in mm/s über die Entfernung zur Quelle r in m für jedes untersuchte Baugerät).

¹ Sollte der Einsatz noch „größerer / schwererer / leistungsstärkerer“ Geräte notwendig werden, müssen diese gesondert betrachtet werden.

6.1.1 Abbrucharbeiten

Für Abbrucharbeiten werden in der Regel hydraulische Stemmgeräte an einem Bagger als Trägergerät eingesetzt. Die Erschütterungsanregung ist abhängig von der Schlagenergie sowie der Schlagzahl des Hydraulikhammers.

Tab. 6.1: Eingangsdaten verschiedener Hydraulikhämmer

Nr.	Hydraulikhammer	Trägergewichts- klasse	Betriebsgewicht in kg	Schlagfrequenz in Hz	Schlagenergie in J
I	Epiroc SB 102	0 - 5 t	90	12,5 - 38,3	230
II	Epiroc SB 302	5 - 10 t	300	10,0 - 23,3	860
III	Epiroc SB 702	10 - 20 t	720	10,0 - 17,5	1.940

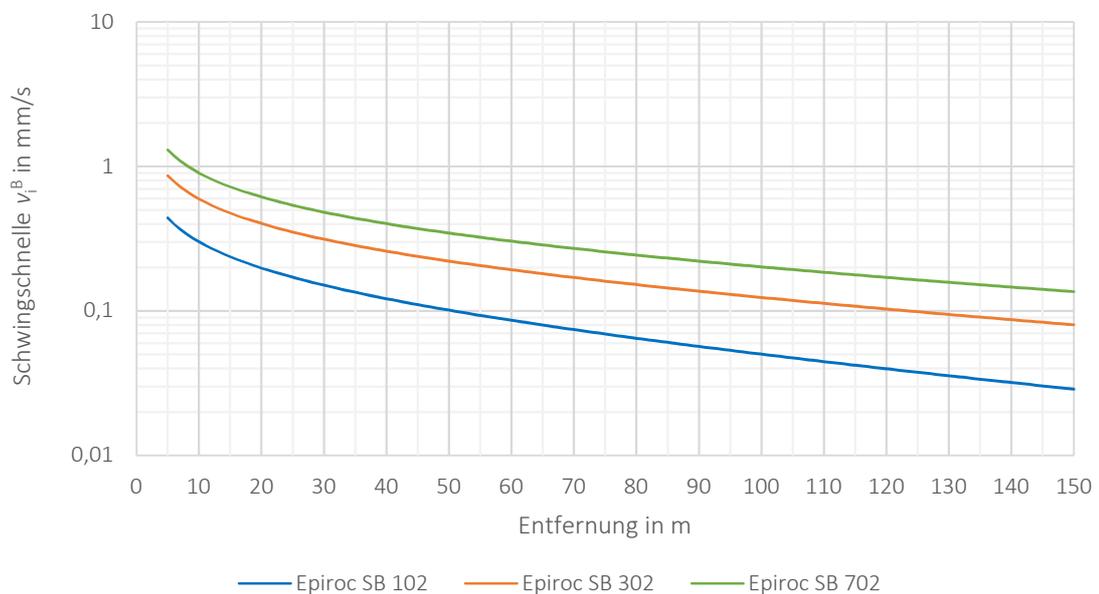


Abb. 6.2: Entfernungsabhängigkeit der Bodenschwinggeschwindigkeit beim Abbruch mit Hydraulikmeißeln

6.1.2 Rammarbeiten mit Bagger-Anbau-Vibrator

Zur Baugrubensicherung sollen in einigen Bereichen Spundwände eingebracht werden. Dafür werden in der Regel Vibrationsrammen in Form von Bagger-Anbau-Vibratoren eingesetzt. Für die Ermittlung der Emissionen sind die Leistungsaufnahme des Geräts sowie die Anregefrequenz maßgebend.

Tab. 6.2.: Eingangsdaten verschiedener Vibrationsrammen

Nr.	Vibrationsramme	Betriebsgewicht in kg	Leistungsaufnahme in kW	Anregefrequenz in Hz	Fliehkraft in kN
I	ABI HVR 45	1.160	70	41	300
II	Müller MS-7 HFBV	1.680	126	42,5	478
III	ABI HVR 100	2.300	170	35,6	500

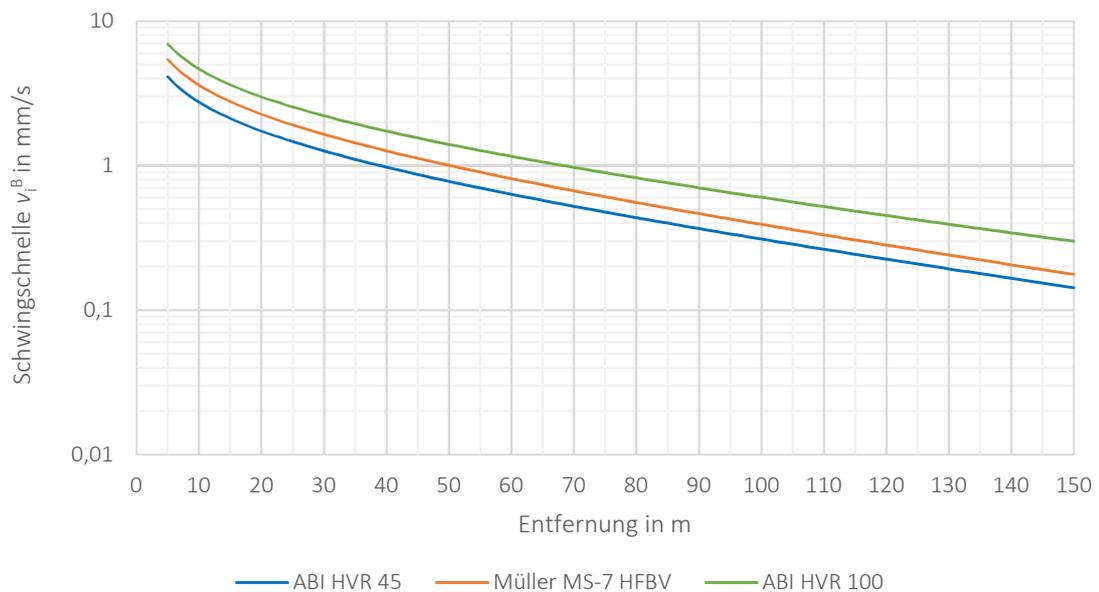


Abb. 6.3: Entfernungsabhängigkeit der Bodenschwinggeschwindigkeit beim Einvibrieren von Spundwandbohlen

6.1.3 Verdichten

Für die Herstellung der provisorischen Verkehrsflächen sowie den endgültigen Straßenaufbau sind Verdichtungsarbeiten (Asphalt) notwendig. Dabei werden in der Regel Vibrationswalzen und Rüttelplatten eingesetzt. Die Erschütterungsemissionen sind abhängig vom Betriebsgewicht und der Anregefrequenz.

Vibrationswalze (Walzenzug / Tandemwalze)

Bei der Zusammenstellung der beispielhaften Gerätedaten wurde zusätzlich zwischen Walzenzug (Gruppe WZ) und Tandemwalzen (Gruppe TW) unterschieden.

Tab. 6.3: Eingangsdaten verschiedener Vibrationswalzen

Nr.	Vibrationswalzen	Betriebsgewicht in kg	Motorleistung in kW	Anregefrequenz in Hz	Zentrifugalkraft in kN	Gruppe
I	Ammann ARS70	6.490	55,4	25-36	31-64	WZ
II	BOMAG 211 D-5	10.600	95	30-34	158-240	
III	Ammann ARX 45-2	4.395	32,8	41-55	45-57	TW
IV	Ammann ARX 90C	9.570	74,4	45-54	69-84	

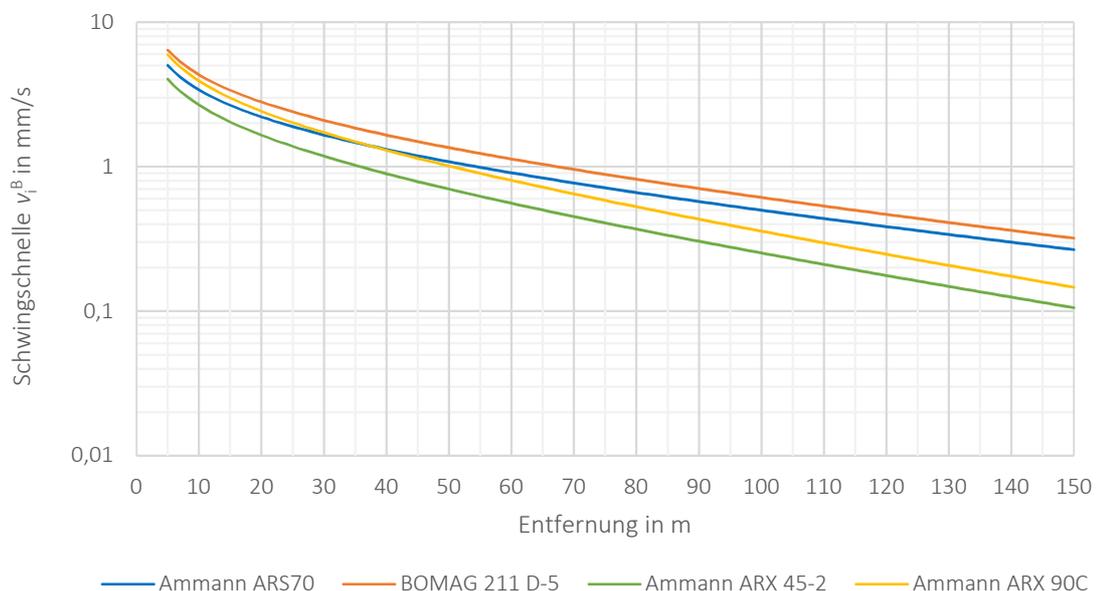


Abb. 6.4: Entfernungabhängigkeit der Bodenschwinggeschwindigkeit beim Verdichten mit Vibrationswalzen

Rüttelplatten

Tab. 6.4: Eingangsdaten verschiedener Rüttelplatten

Nr.	Vibrationsplatte	Betriebsgewicht in kg	Motorleistung in kW	Anregerefrequenz in Hz	Zentrifugalkraft in kN
I	BOMAG BPR35/42	190	3,6	80	35
II	Ammann APH55/75	362	7,0	70	55
III	Ammann APH110/95	825	17,5	48	110

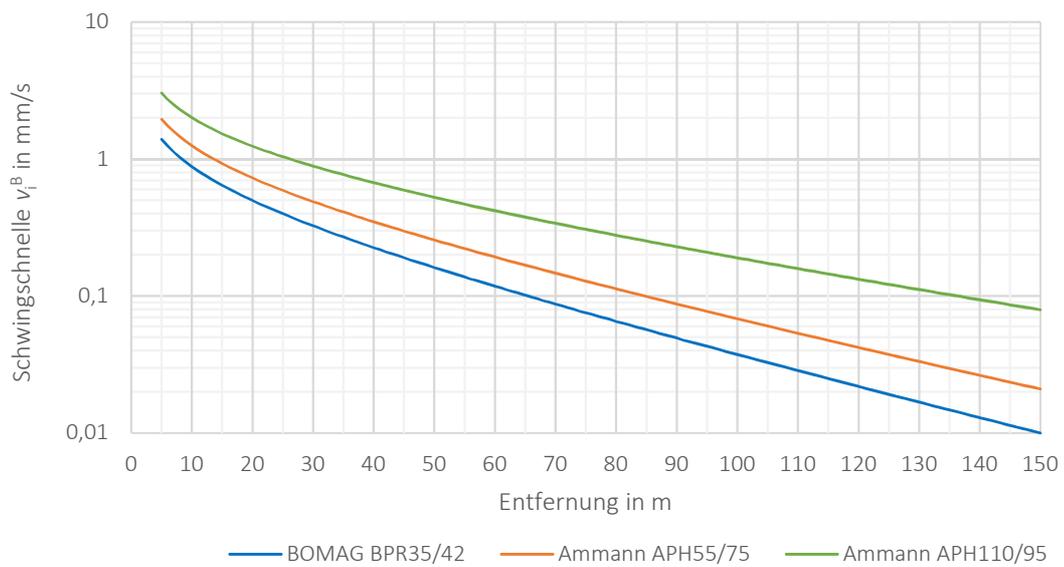


Abb. 6.5: Entfernungsabhängigkeit der Bodenschwinggeschwindigkeit beim Verdichten mit Rüttelplatten

6.1.4 Gleisstopfmaschine

Für Gleisstopfmaschinen liegen keine allgemeinen Prognoseansätze vor. Es wurde daher auf Ergebnisse einer Untersuchung durch Prof. Steinhauser [10] zurückgegriffen, worin in einer Entfernung von 7 m eine Schwingschnelle von etwa 2 mm/s vorliegt. Dies deckt sich auch mit anderen Untersuchungen. Die Anregfrequenzen liegen zwischen 35 und 45 Hz. Damit ergibt sich bei der Ausbreitungsrechnung nach DIN 4150-1 mit den in Kap. 4.1 genannten Bodenparametern die folgende Ausbreitungskurve.

Tab. 6.5: Eingangsdaten beispielhafter Gleisstopfmaschine

Nr.	Gleisstopfmaschine	Gesamtmasse in t	Motorleistung in kW	Anrege- frequenz in Hz
I	Plasser & Theurer 08-275/4 ZW	36	170	35-42

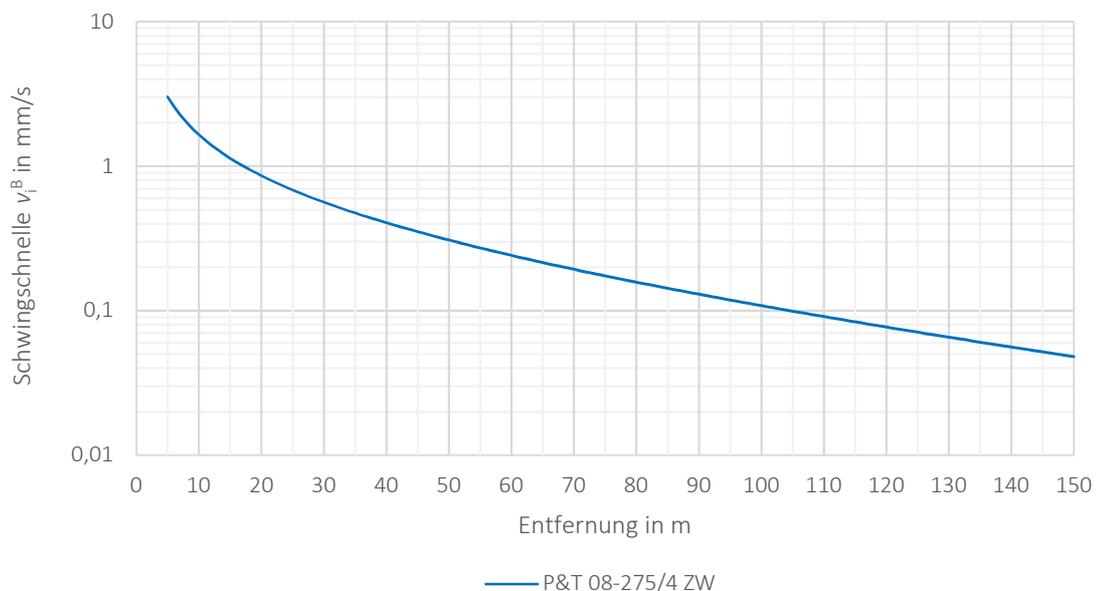


Abb. 6.6: Entfernungsabhängigkeit der Bodenschwinggeschwindigkeit beim Einsatz einer Gleisstopfmaschine

6.2 Erschütterungsimmissionion

Die Baugrunderschütterungen werden beim Übergang auf das Gebäudefundament und bei der Weiterleitung innerhalb des Gebäudes in ihrer Intensität verändert. Die Amplitudenveränderungen können allgemein durch Übertragungsfaktoren beschrieben werden. Ausgangspunkt ist die Schwinggeschwindigkeit im Boden v_i^B . Die Übertragungsfaktoren k_i^{B-F} beschreiben den Übergang vom Baugrund (B) zum Fundament (F). Die Übertragung vom Fundament zum Obergeschoss (OG) bzw. einer Decke (D) im Obergeschoss wird durch die Faktoren $k_{x,y}^{F-OG}$ bzw. k_z^{F-D} beschrieben. Die drei Richtungskomponenten $i = x, y$ und z werden dabei einzeln betrachtet.

6.2.1 Übergang vom Boden auf Gebäudefundament

Bei der Übertragung der Schwingungen vom Baugrund auf das Fundament eines Gebäudes werden diese in der Regel abgeschwächt. Die Wechselwirkung zwischen Baugrund und Fundament hängt von verschiedenen Faktoren ab und wird durch die Boden-Bauwerk-Eigenfrequenz $f_{0,B-B}$ charakterisiert. Diese liegt laut Achmus und Kaiser [9] für mittlere Bodensteifigkeiten näherungsweise in folgender Größenordnung. Ähnliche Werte finden sich auch in der DIN 4150-1.

Tab. 6.6: Typische Boden-Bauwerk-Eigenfrequenzen

Boden-Bauwerk-Eigenfrequenz $f_{0,B-B}$	Anzahl der Bauwerksgeschosse
≈ 15 Hz	1 bis 2
≈ 8 bis 12 Hz	2 bis 6
< 8 Hz	> 6

Der maximale Übertragungsfaktor vom Baugrund auf das Fundament bei resonanznaher Anregung wird in der DIN 4150-1 mit $k_z^{B-F} = 2$ angegeben. Erfahrungswerte ergeben, dass sich im Summenwert jedoch keine Verstärkung, sondern eher eine Reduzierung ergibt, weshalb ein mittlerer Übertragungsfaktor von $k_z^{B-F} = 0,8$ angewendet wird. Bei impulsförmiger Anregung sowie bei einer Anregung oberhalb der Boden-Bauwerk-Eigenfrequenz beträgt der Übertragungsfaktor im Mittel $k_z^{B-F} = 0,5$. Für die Horizontalkomponenten ist der Übertragungsfaktor mit $k_{x,y}^{B-F} = 0,2$ kleiner, da Resonanzeffekte in horizontaler Richtung im Gebäudefundament keine Rolle spielen.

6.2.2 Schwingungsausbreitung im Gebäude

Innerhalb des Gebäudes werden die Schwingungsamplituden insbesondere auf den schwingfähigen Decken verstärkt. Diese Verstärkung ist von Deckentyp bzw. dem Deckenaufbau und der Art der Anregung abhängig. Für Holzbalken-, Stahlstein- und Stahlträgerdecken liegt der maximale Übertragungsfaktor erfahrungsgemäß bei $k_z^{F-D} < 15$ und bei Stahlbetondecken bei $k_z^{F-D} < 10$. Bei nichtresonanter Anregung kann ein Übertragungsfaktor von $k_z^{F-D} = 1,5$ angesetzt werden. Typische Deckeneigenfrequenzen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 6.7: Typische Deckeneigenfrequenzen nach [9]

Deckenart	Resonanzfrequenzbereich
Holzbalkendecken	8 bis 15 Hz, meist 9 bis 12 Hz
Stahlbetondecken im Wohnungsbau	15 bis 35 Hz, meist 20 bis 25 Hz
Weitgespannte Stahlbetondecken im Industriebau	5 bis 15 Hz, meist 7 bis 10 Hz

Bei impulsförmiger Anregung gilt ein mittlerer Übertragungsfaktor von $k_z^{F-D} = 2,5$. Wie beim Übergang der Schwingungen vom Boden auf das Fundament spielen auch bei der Weiterleitung der horizontalen Komponenten im Gebäude Resonanzeffekte kaum eine Rolle. Der Übertragungsfaktor kann daher vorliegend mit $k_{x,y}^{F-OG} = 1,5$ abgeschätzt werden.

6.2.3 Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Anhand der DIN 4150-2 kann aus der Schwingschnelle v unter Berücksichtigung des Frequenzinhaltes die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} näherungsweise bestimmt werden. Dazu ist zunächst die KB-Bewertung durchzuführen und anschließend mit einer Konstante zur Berücksichtigung der Art der Anregung zu gewichten.

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

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

mit:

- v_{max} Maximale Schwingschnelle in mm/s
- f Frequenz in Hz
- f_0 5,6 Hz (Grenzfrequenz des Hochpasses)
- c_F Konstante zur Berücksichtigung der Art der Erschütterungseinwirkung

Tab. 6.8: Erfahrungswerte für die Konstante c_F aus [1]

Zeile	Kurzbeschreibung der Einwirkungsart	c_F^*
1	Harmonische Schwingung mit geringer Verzerrung (z.B. Sägewerke in großer Entfernung oder bei wesentlicher Resonanzbeteiligung)	0,9
2	Wie Zeile 1, jedoch stärker verzerrt – mehr als 20% Verzerrungen (z.B. Sägewerke in enger Nachbarschaft, wenn noch mehrere Oberschwingungen vorhanden sind)	0,8
3	Stochastische Schwingungen und periodische Vorgänge mit Schwebungen a) mit Resonanzbeteiligung (z.B. Webereien, Rammen, gemessen auf mitschwingenden Wohnungsfußböden)	0,8
	b) ohne Resonanzbeteiligung (z.B. auf nicht unterkellerten Wohnungsfußböden)	0,7
4	Einzelereignisse kurzer Dauer a) mit Resonanzbeteiligung	0,8
	b) ohne Resonanzbeteiligung	0,6

* Die Werte für c_F sind mittlere Erfahrungswerte. Abweichungen von etwa $\pm 15\%$ können auftreten.

7 Prognoseergebnisse

Die Berechnung der Erschütterungsimmissionen wurde in Abhängigkeit der Entfernung (auf Basis der Ausbreitungsrechnung der Emissionen der Baumaschinen) durchgeführt. Zusammenfassend werden in den nachfolgenden Tabellen Tab. 7.1 und Tab. 7.2 die Entfernungen dargestellt, bei deren Unterschreitung erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden bzw. die Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht mehr ausgeschlossen werden können.

Die Ergebnisse sind abhängig von der Gebäudeart bzw. des Deckenaufbaus (Holzbalkendecken oder Stahlbetondecken). Je nach Anregfrequenz kann es zu Resonanzerscheinungen auf den Decken kommen. Ist eine Anregung in der Resonanzfrequenz der Decken unwahrscheinlich, sind die Ergebnisse grau dargestellt.

Da die Berechnungsansätze für den Bereich der freien Erschütterungsausbreitung, das "Fernfeld" gelten, können keine Aussagen für Entfernungen von weniger als 5 m zur Quelle getroffen werden. Hier spielen komplexere Vorgänge eine Rolle, für die die angegebenen Nahrungsbeziehungen nicht gelten. In geringer Entfernung als 5 m zu benachbarten Gebäuden sind vorliegend aber auch keine Arbeiten zu erwarten.

Eine tabellarische Darstellung der prognostizierten Schwingschnellen und Schwingstärken für die einzelnen Bauverfahren bis zu einer Entfernung von 125 m ist zusätzlich in den Anhängen II bis VI zu finden.

Es gelten folgende Abkürzungen / Formelzeichen:

HB	Holzbalkendecke
StB	Stahlbetondecke
f_{0D}	Resonanzfrequenz der Decke
Ω	Anregfrequenz des Baugeräts

7.1 Einwirkung auf bauliche Anlagen

Für die Berechnung der kritischen Abstände wurden die Anhaltswerte der DIN 4150-3 für die jeweilige Art der Erschütterung und den Gebäudetyp berücksichtigt.

Tab. 7.1: Kritische Entfernungen zur Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150-3 für Dauererschütterungen

Quelle	mittlere Anrege- frequenz Ω in Hz	Kritische Entfernungen in m					
		OG $v_{x,y}^{OG}$ in mm/s			Decke v_z^D in mm/s		
		Gebäude Z. 1/4 Tab. 3.3	Gebäude Z. 2/5 Tab. 3.3	Gebäude Z. 3/6 Tab. 3.3	$\Omega \neq f_{0D}$	$\Omega \approx f_{0D}$ HB	$\Omega \approx f_{0D}$ StB
Hydraulikhammer²							
I	25	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
II	17	< 5	< 5	< 5	< 5	6	< 5
III	14	< 5	< 5	< 5	< 5	12	6
Vibrationsrammen							
I	41	< 5	< 5	8	< 5	29	17
II	43	< 5	< 5	12	< 5	38	24
III	36	< 5	6	18	< 5	53	34
Vibrationswalzen							
I	31	< 5	< 5	11	< 5	40	24
II	32	< 5	< 5	16	5	51	32
III	48	< 5	< 5	7	< 5	27	16
IV	50	< 5	< 5	13	5	39	26
Rüttelplatten							
I	80	< 5	< 5	< 5	< 5	6	< 5
II	70	< 5	< 5	< 5	< 5	10	5
III	48	< 5	< 5	< 5	< 5	19	11
Gleisstopfmaschine							
I	40	< 5	< 5	< 5	< 5	13	9

² Aufgrund der Arbeitsweise eines Hydraulikbaggers ist das Einschwingen von Geschossdecken auch bei Übereinstimmung von Anrege- und Deckeneigenfrequenz unwahrscheinlich. Der Hydraulikhammer arbeitet nicht über einen ausreichend langen Zeitraum mit der gleichen Anregefrequenz. Zudem muss regelmäßig an einer neuen Stelle angesetzt werden, was zusätzlich den Stemmvorgang unterbricht.

Bei **Abbrucharbeiten mit Hydraulikhämmern** ist eine Verminderung der Gebrauchstauglichkeit beim Einsatz der untersuchten Stemmgeräte ab einer Entfernung von etwa 5 m nicht mehr zu erwarten. Aufgrund der Anregecharakteristik beim Stemmen (Anregung variiert je nach Widerstand, regelmäßiges neu Ansetzen) ist nicht mit Resonanzerscheinungen auf den Geschossdecken zu rechnen.

Die Anregefrequenzen von **Vibrationsrammen** liegen i.d.R. oberhalb der üblichen Deckeneigenfrequenzen, aber es kann beim An- und Abschaltvorgang zu Überhöhungen kommen. Für diese kurzen Zeiträume können die Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen angesetzt werden (in der Ermittlung der Abstände in Tab. 7.1 nicht berücksichtigt). Der minimale Abstand zur nächstgelegenen Bebauung würde dann je nach Gerät zwischen 10 - 23 m für Holzbalkendecken und 5 - 12 m für Betondecken betragen. Durch die Verwendung von resonanzfrei anfahrenden Bagger-Anbau-Vibratoren mit variablem statischem Moment können diese Überhöhungen vermieden werden.

Bei **Vibrationswalzen** ist zwischen Walzenzügen und Tandemwalzen zu unterscheiden. Die Tandemwalzen weisen deutlich höhere Anregefrequenzen auf, womit eine Übereinstimmung mit üblichen Deckeneigenfrequenzen unwahrscheinlich ist. Lediglich beim An- und Abschalten der Vibrationsfunktion kann es beim "Durchfahren" eines breiten Frequenzbereichs wie bei den Vibrationsrammen zu Überhöhungen im Deckenresonanzbereich kommen. Für diese kurzen Zeiträume sind ebenfalls die Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen anzusetzen. Grundsätzlich empfiehlt sich der Einsatz von Walzen mit einer möglichst hohen Anregefrequenz (Tandemwalzen), da eine Übereinstimmung mit den Deckeneigenfrequenzen dann unwahrscheinlich ist.

Deutlich niedrigere Erschütterungen erzeugen bei Verdichtungsarbeiten die **Rüttelplatten**. Zudem liegen deren Anregefrequenzen in der Regel weit oberhalb der Deckenresonanzen und sind deshalb auch im Nahbereich von Gebäuden einsetzbar.

Beim Einsatz der **Gleisstopfmaschine** kann ab einem Abstand von ca. 5 m die Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150-3 sichergestellt werden.

7.2 Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Die Berechnung der kritischen Entfernungen beruht auf der Annahme, dass die Erschütterungseinwirkungen jeweils im Einwirkungsbereich des Immissionsortes zwischen 6 und 26 Tagen andauern (siehe Tab. 3.1). Damit ergibt sich für die Stufe II ein unterer Anhaltswert von $A_u = 0,8$. Der obere Anhaltswert $A_o = 5$ darf nicht überschritten werden. Für Werte dazwischen ergibt sich eine Einschränkung der täglichen Einwirkdauer, die abhängig von der Intensität der Bautätigkeiten ist. Nacharbeiten sind aufgrund der erschütterungsintensiven Arbeiten und der teilweise geringen Entfernung zu Wohnbebauung ausgeschlossen.

Tab. 7.2: Kritische Entfernung zur Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150-2

Quelle	mittlere Anregungsfrequenz Ω in Hz	Kritische Entfernungen zur Einhaltung der DIN 4150-2 in m (Unterschreitung Stufe II, 6 - 26 Tage)					
		$KB_{Fmax} < A_u$			$KB_{Fmax} < A_o$		
		$\Omega \neq f_{0D}$	$\Omega \approx f_{0D}$ HB	$\Omega \approx f_{0D}$ StB	$\Omega \neq f_{0D}$	$\Omega \approx f_{0D}$ HB	$\Omega \approx f_{0D}$ StB
Hydraulikhammer²							
I	25	< 5	21	11	< 5	< 5	< 5
II	17	< 5	100	63	< 5	< 5	< 5
III	14	< 5	160	106	< 5	6	< 5
Vibrationsrammen							
I	41	15	131	106	< 5	33	20
II	43	22	146	120	< 5	43	28
III	36	30	185	154	< 5	59	39
Vibrationswalzen							
I	31	21	179	144	< 5	45	27
II	32	29	194	159	< 5	57	37
III	48	14	116	94	< 5	30	19
IV	50	23	136	113	< 5	44	29
Rüttelplatten							
I	80	< 5	46	34	< 5	7	< 5
II	70	5	61	47	< 5	11	6
III	48	9	101	79	< 5	22	13
Gleisstopfmaschine							
I	35	8	71	53	< 5	15	10

Beim Einsatz von **Hydraulikhämmern** ist aufgrund der Anregecharakteristik nicht mit Resonanzerscheinungen auf den Geschosdecken zu rechnen, womit bereits bei einer Entfernung von 5 m der untere Anhaltswert A_u unterschritten wird.

Für hochfrequente **Vibrationsrammen** muss der Abstand je nach Gerät zwischen 15 m und 30 m betragen um den unteren Anhaltswert A_u zu unterschreiten. Im näherliegenden Bereich ergeben sich Beschränkungen der Einsatzzeit damit die Beurteilungsschwingstärke die Anforderungen A_r einhält. Je nach Gerätetyp ergeben sich die folgenden zulässigen Arbeitszeiten (reale Einsatzzeit des Geräts) in Abhängigkeit der Entfernung von der Quelle.

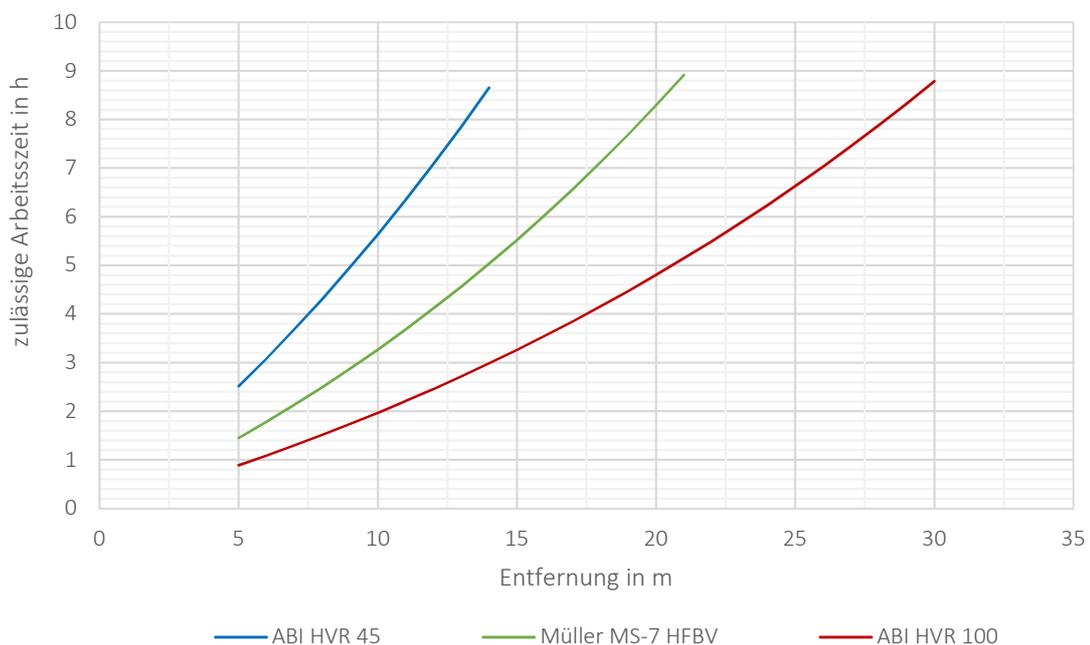


Abb. 7.1: Zulässige Arbeitszeit zur Einhaltung der Stufe II für Rammarbeiten

Der obere Anhaltswert A_o kann beim Einsatz von **Vibrationswalzen** der Gruppe WZ (Gerät I und II, Walzenzüge) ab einem Abstand von 37 m für alle Deckentypen unterschritten werden. Bei den Tandemwalzen ist ein Mindestabstand von weniger als 5 m notwendig. Es empfiehlt sich daher auch im Hinblick auf die Einwirkungen von Menschen in Gebäuden der Einsatz der hochfrequenten Anregung mittels Tandemwalzen. Die Einschränkung der Arbeitszeiten in Abhängigkeit der Entfernung vom Immissionsort ist nachfolgend dargestellt.

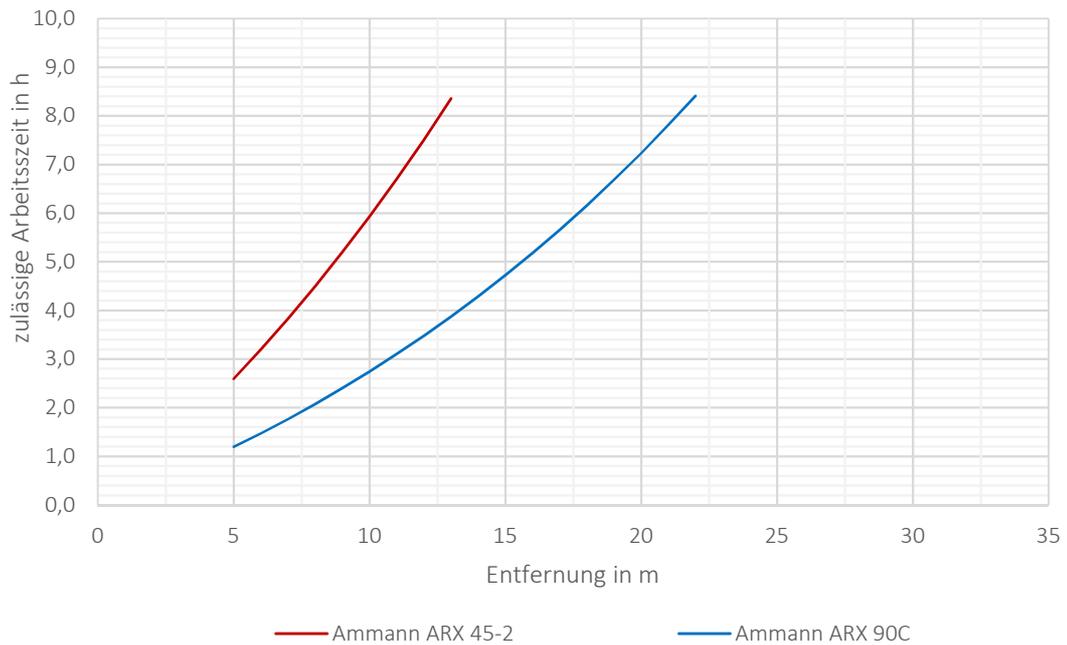


Abb. 7.2: Zulässige Arbeitszeit zur Einhaltung der Stufe II für Tandemwalzen

Aufgrund der hohen Anregefrequenzen der **Rüttelplatten** ist eine Übereinstimmung mit den Deckenresonanzen unwahrscheinlich. Daher ist bereits ab einem Abstand von 9 m für die schwerste Rüttelplatte eine Unterschreitung des unteren Anhaltswerts möglich.

Findet die Anregung der **Gleisstopfmaschine** nicht im Bereich der Deckenresonanzen statt (wie es bei einer typischen Anregefrequenz von 35 - 45 Hz zu erwarten ist), kann ab einem Abstand von 8 m der untere Anhaltswert A_u unterschritten werden.

8 Schlussfolgerung und Empfehlung

Die **Abbrucharbeiten mit Hydraulikhämmern** sind im gesamten Baubereich notwendig, wobei die Entfernung zu den angrenzenden Gebäuden i.d.R. deutlich mehr als 5 m beträgt. Da keine wesentlichen Resonanzüberhöhungen auf den Decken zu erwarten sind, ergeben sich aus den Berechnungen keine Einschränkungen für die untersuchten Geräte / Geräteklassen. Sowohl die Anforderungen der DIN 4150-3 für Gebäude als auch die Anforderungen der DIN 4150-2 für Menschen in Gebäuden können eingehalten werden.

In den Bereichen in denen **Vibrationsrammen** eingesetzt werden (Baubereich 1) um bei der Baugrubenherstellung Spundwände einzubringen, liegen die nächsten Gebäude zwischen 10 und 15 m entfernt. Hinsichtlich der DIN 4150-3 sind für Wohngebäude ab 6 m keine Überschreitungen zu erwarten, für besonders schützenswerte Gebäude muss der Mindestabstand je nach eingesetztem Gerät bis zu 18 m betragen um die Anhaltswerte zu unterschreiten. Dies betrifft mindestens folgende Adressen:

- Argentinische Allee 1
- Argentinische Allee 2
- Argentinische Allee 3

Bis zu einer Entfernung von 30 m kann zudem der untere Anhaltswert A_u der DIN 4150-2 für Stufe II überschritten werden, weshalb sich eine Einschränkung der täglichen Einsatzzeit ergibt (siehe Abb. 7.1).

Werden für die notwendigen Verdichtungsarbeiten (gesamter Baubereich) **Rüttelplatten** eingesetzt, sind keine Beeinträchtigungen an den Gebäuden zu erwarten. Ab einem Abstand von 9 m sind auch die Anhaltswerte für Menschen in Gebäuden unterschritten.

Bei der Verdichtung mit Vibrationswalzen ist zwischen Tandemwalzen und Walzenzügen zu unterscheiden. Werden die schwingungstechnisch günstigeren **Tandemwalzen** eingesetzt, werden die Anhaltswerte der DIN 4150-3 ab 13 m für alle Gebäudetypen unterschritten. Damit liegen mindestens folgende Gebäude, die unter Denkmalschutz stehen, im betroffenen Bereich:

- Argentinische Allee 1
- Argentinische Allee 2
- Mexikoplatz 1
- Lindenthaler Allee 4
- Lindenthaler Allee 5
- Lindenthaler Allee 6
- Lindenthaler Allee 14
- Lindenthaler Allee 16

Ab einer Entfernung von 23 m wird bei Einsatz der Tandemwalzen der untere Anhaltswert A_u der DIN 4150-2 für Stufe II unterschritten. Für geringere Entfernungen ergibt sich eine Einschränkung der täglichen Einsatzzeit (siehe Abb. 7.2).

Gleisstopfarbeiten sind nur in den Baubereichen 3 bis 5 notwendig. Einschränkungen der Gebrauchstauglichkeit sind für keinen Gebäudetyp zu erwarten. Ab einer Entfernung von 8 m wird zudem der untere Anhaltswert A_u der DIN 4150-2 für Stufe II unterschritten.

Die Sekundärluftschallimmissionen (durch Schwingungen der Bauteile eines Gebäudes wie Decken und Wände abgestrahlter Luftschall), die durch die baubedingten Erschütterungen entstehen können, werden vorliegend nicht gesondert betrachtet, da der Direktschall / Baulärm aufgrund der geringen Entfernung zu den Arbeiten deutlich überwiegt.

Sollte der Einsatz noch „größerer / schwererer / leistungsstärkerer“ Geräte, als der in Kap. 6.1 aufgeführten, notwendig werden, müssen diese gesondert betrachtet und die Prognoseberechnung erweitert werden.

8.1 Empfehlung

Bei der Auswahl der Baugeräte spielt die Anregefrequenz eine wesentliche Rolle. Die Erschütterungsimmissionen auf den Geschossdecken sind wesentlich davon abhängig ob Anregefrequenz des Baugerätes und Resonanzfrequenz der Decke übereinstimmen. Dies kann im Vorfeld nur schwer abgeschätzt werden, da eine Vielzahl an unterschiedlichen Gebäuden verschiedener Bauart entlang des Baubereichs liegen. Dennoch sollte, wenn es das Bauverfahren zulässt, eine Anregung im Bereich der typischen Deckeneigenfrequenzen (siehe Tab. 6.7) vermieden werden. Dafür sollten insbesondere

- die eingesetzten Vibrationsrammen eine Anregefrequenz von $f_A > 35$ Hz aufweisen und möglichst ein resonanzfreies Anfahren ermöglichen und
- Tandemwalzen mit einer Anregefrequenz $f_A > 40$ Hz eingesetzt werden, wobei die Vibrationsfunktion in möglichst großer Entfernung zu den Gebäuden eingeschaltet werden sollte.

Grundsätzlich ist es empfehlenswert zu Beginn erschütterungskritischer Arbeiten je eine Kurzzeitmessung (Tagesmessung) am jeweils nächstgelegenen Immissionsort durchzuführen. Dabei können die tatsächlich auftretenden Erschütterungsimmissionen erfasst und der Geräteeinsatz überprüft und ggf. optimiert werden.

In den sehr nahegelegenen Gebäuden (Entfernung bis ca. 20 m zur Baugrenze) ist zusätzlich eine bautechnische Beweissicherung vor Beginn der Baumaßnahme empfehlenswert. Ergänzend sollte in den denkmalgeschützten Gebäuden, in denen die Einhaltung der DIN 4150-3 beim Einsatz von Vibrationsramme bzw. Vibrationswalze nicht in jedem Fall sichergestellt ist, für den Zeitraum der jeweiligen Arbeiten eine Erschütterungsüberwachung durchgeführt werden.

Zudem sollten die Maßnahmen der DIN 4150-2 zur Minderung erheblicher Belästigungen an allen umliegenden Immissionsorten in einer Entfernung von bis zu 100 m getroffen werden. In diesem Bereich kann es zu spürbaren Erschütterungen mit $KB_{F_{max}} \geq 0,2$ kommen. Im Nahbereich der Baustelle können auch bei der Einhaltung des unteren Anhaltswerts der Stufe II der DIN 4150-2 Schwingstärken von bis zu $KB_{F_{max}} = 0,8$ auftreten, die in einem gut spürbaren Bereich liegen. Der Einsatz der genannten erschütterungsintensiven Arbeiten ist außerdem auf den Tag-Zeitraum zu beschränken.

Maßnahmen zur Minderung erheblicher Belästigungen

Die psychischen Auswirkungen von Erschütterungseinwirkungen können vermindert werden durch:

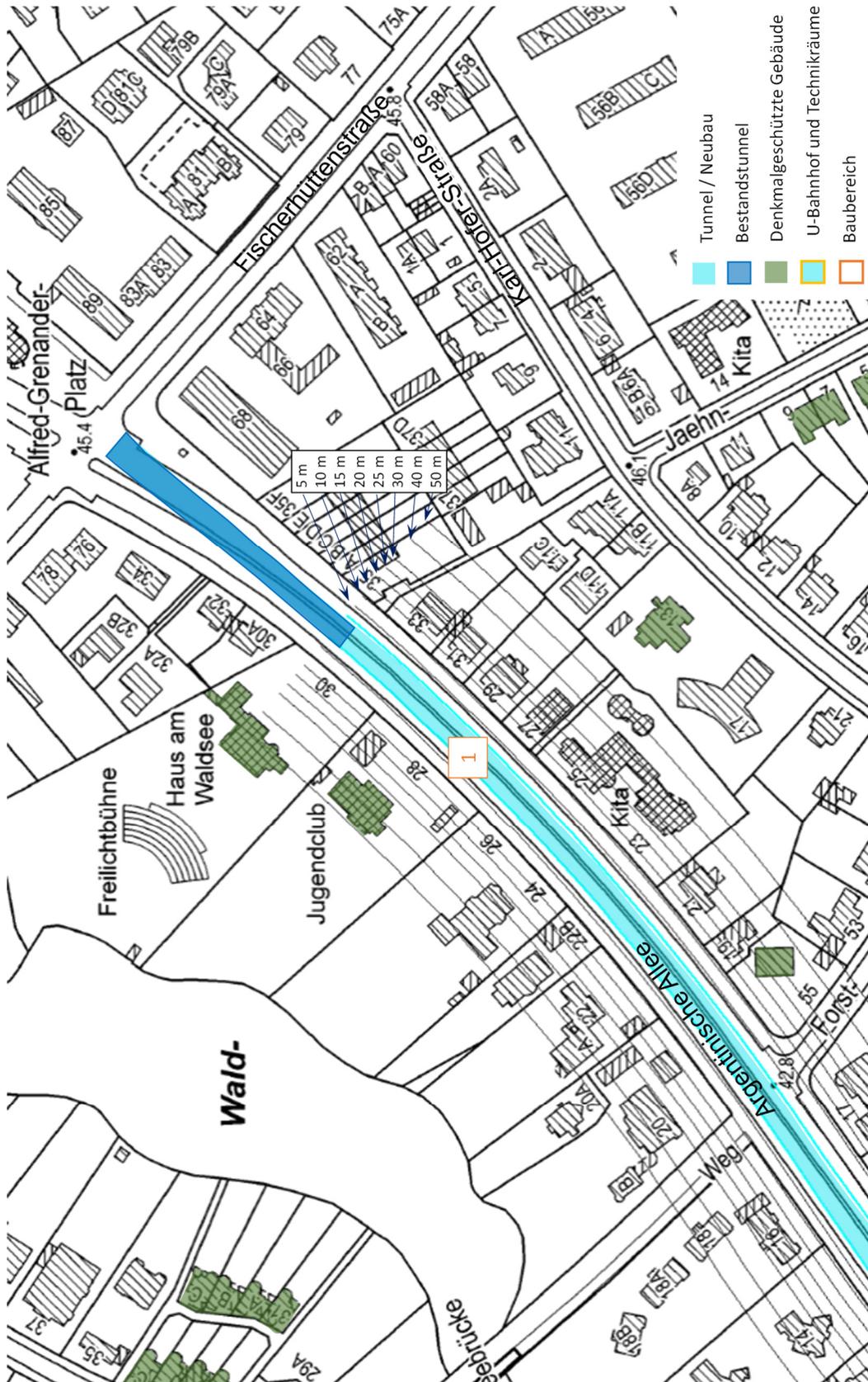
- a. umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahmen, die Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Baubetrieb;
- b. Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen und die damit verbundenen Belästigungen;
- c. zusätzliche baubetriebliche 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 Erschütterungseinwirkungen auf das Gebäude;
- f. Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkung auf Menschen und Gebäude.

Anhang

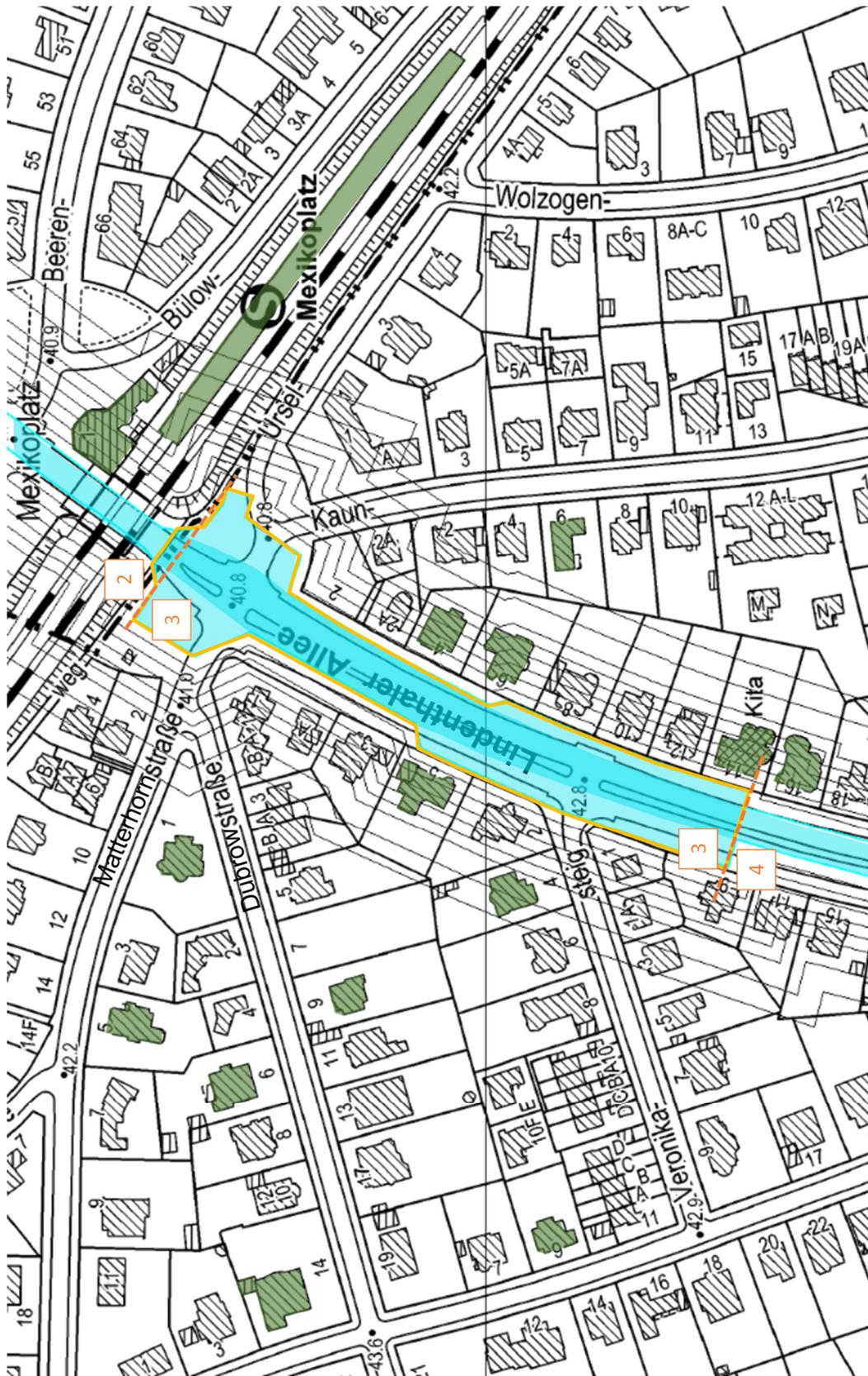
zum Gutachten Nr. 74731G02b

Anlagenverzeichnis	Seite
I. Lage der Immissionsorte	2
Entfernungsabhängige Schwingschnellen und Schwingstärken für	
II. Abbruch mit Hydraulikhämmern	6
III. Rammarbeiten mit Bagger-Anbau-Vibrator	9
IV. Verdichten mit Vibrationswalzen	12
V. Verdichten mit Rüttelplatten	15
VI. Gleisstopfmaschine	18

I. Lage der Immissionsorte









II. Abbruch mit Hydraulikhämmern

Gerät	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Entfernung Quelle - IO in m	$v_{i,Boden}$ in mm/s			$v_{i,Fundament}$ in mm/s			$v_{x,y,OG}$ in mm/s		
5	0,44	0,86	1,30	0,22	0,69	1,04	0,33	1,04	1,56
6	0,40	0,78	1,18	0,20	0,63	0,95	0,30	0,94	1,42
7	0,37	0,72	1,09	0,18	0,58	0,87	0,28	0,87	1,31
8	0,34	0,67	1,02	0,17	0,54	0,81	0,26	0,81	1,22
9	0,32	0,63	0,96	0,16	0,51	0,76	0,24	0,76	1,15
10	0,30	0,60	0,90	0,15	0,48	0,72	0,23	0,72	1,08
11	0,28	0,57	0,86	0,14	0,45	0,69	0,21	0,68	1,03
12	0,27	0,54	0,82	0,14	0,43	0,65	0,20	0,65	0,98
13	0,26	0,52	0,78	0,13	0,41	0,63	0,19	0,62	0,94
14	0,25	0,49	0,75	0,12	0,40	0,60	0,19	0,59	0,90
15	0,24	0,48	0,72	0,12	0,38	0,58	0,18	0,57	0,87
16	0,23	0,46	0,70	0,11	0,37	0,56	0,17	0,55	0,84
17	0,22	0,44	0,67	0,11	0,35	0,54	0,16	0,53	0,81
18	0,21	0,43	0,65	0,11	0,34	0,52	0,16	0,51	0,78
19	0,20	0,41	0,63	0,10	0,33	0,51	0,15	0,50	0,76
20	0,20	0,40	0,61	0,10	0,32	0,49	0,15	0,48	0,74
21	0,19	0,39	0,60	0,10	0,31	0,48	0,14	0,47	0,72
22	0,19	0,38	0,58	0,09	0,30	0,47	0,14	0,46	0,70
23	0,18	0,37	0,57	0,09	0,30	0,45	0,14	0,44	0,68
24	0,18	0,36	0,55	0,09	0,29	0,44	0,13	0,43	0,66
25	0,17	0,35	0,54	0,09	0,28	0,43	0,13	0,42	0,65
26	0,17	0,34	0,53	0,08	0,27	0,42	0,12	0,41	0,63
27	0,16	0,34	0,51	0,08	0,27	0,41	0,12	0,40	0,62
28	0,16	0,33	0,50	0,08	0,26	0,40	0,12	0,39	0,60
29	0,15	0,32	0,49	0,08	0,26	0,39	0,12	0,38	0,59
30	0,15	0,31	0,48	0,08	0,25	0,39	0,11	0,38	0,58
35	0,13	0,28	0,44	0,07	0,23	0,35	0,10	0,34	0,53
40	0,12	0,26	0,40	0,06	0,21	0,32	0,09	0,31	0,48
45	0,11	0,24	0,37	0,06	0,19	0,30	0,08	0,29	0,45
50	0,10	0,22	0,35	0,05	0,18	0,28	0,08	0,27	0,42
55	0,09	0,21	0,32	0,05	0,17	0,26	0,07	0,25	0,39
60	0,09	0,19	0,30	0,04	0,15	0,24	0,06	0,23	0,37
65	0,08	0,18	0,29	0,04	0,14	0,23	0,06	0,22	0,34
70	0,07	0,17	0,27	0,04	0,14	0,22	0,06	0,20	0,33
75	0,07	0,16	0,26	0,03	0,13	0,21	0,05	0,19	0,31
80	0,06	0,15	0,24	0,03	0,12	0,20	0,05	0,18	0,29
85	0,06	0,14	0,23	0,03	0,12	0,19	0,05	0,17	0,28
90	0,06	0,14	0,22	0,03	0,11	0,18	0,04	0,16	0,27
95	0,05	0,13	0,21	0,03	0,10	0,17	0,04	0,16	0,25
100	0,05	0,12	0,20	0,03	0,10	0,16	0,04	0,15	0,24
105	0,05	0,12	0,19	0,02	0,09	0,15	0,04	0,14	0,23
110	0,04	0,11	0,19	0,02	0,09	0,15	0,03	0,14	0,22
115	0,04	0,11	0,18	0,02	0,09	0,14	0,03	0,13	0,21
120	0,04	0,10	0,17	0,02	0,08	0,14	0,03	0,12	0,21
125	0,04	0,10	0,16	0,02	0,08	0,13	0,03	0,12	0,20

Gerät	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Entfernung Quelle - IO in m	V _{z,Decke} in mm/s keine Anregung in Resonanz			V _{z,Decke} in mm/s Holzbalkendecke			V _{z,Decke} in mm/ Stahlbetondecke		
	5	0,33	1,04	1,56	3,31	10,36	15,62	2,21	6,91
6	0,30	0,94	1,42	3,00	9,41	14,20	2,00	6,27	9,47
7	0,28	0,87	1,31	2,76	8,67	13,10	1,84	5,78	8,73
8	0,26	0,81	1,22	2,56	8,08	12,21	1,71	5,38	8,14
9	0,24	0,76	1,15	2,40	7,58	11,46	1,60	5,05	7,64
10	0,23	0,72	1,08	2,26	7,16	10,83	1,50	4,77	7,22
11	0,21	0,68	1,03	2,14	6,79	10,29	1,42	4,53	6,86
12	0,20	0,65	0,98	2,03	6,47	9,81	1,35	4,31	6,54
13	0,19	0,62	0,94	1,94	6,19	9,39	1,29	4,13	6,26
14	0,19	0,59	0,90	1,85	5,94	9,02	1,24	3,96	6,01
15	0,18	0,57	0,87	1,78	5,71	8,68	1,19	3,81	5,79
16	0,17	0,55	0,84	1,71	5,50	8,37	1,14	3,67	5,58
17	0,16	0,53	0,81	1,65	5,31	8,09	1,10	3,54	5,39
18	0,16	0,51	0,78	1,59	5,14	7,83	1,06	3,43	5,22
19	0,15	0,50	0,76	1,54	4,98	7,59	1,02	3,32	5,06
20	0,15	0,48	0,74	1,49	4,83	7,37	0,99	3,22	4,92
21	0,14	0,47	0,72	1,44	4,69	7,17	0,96	3,13	4,78
22	0,14	0,46	0,70	1,40	4,56	6,98	0,93	3,04	4,65
23	0,14	0,44	0,68	1,36	4,44	6,80	0,90	2,96	4,53
24	0,13	0,43	0,66	1,32	4,33	6,63	0,88	2,89	4,42
25	0,13	0,42	0,65	1,28	4,22	6,47	0,86	2,81	4,31
26	0,12	0,41	0,63	1,25	4,12	6,32	0,83	2,75	4,21
27	0,12	0,40	0,62	1,22	4,02	6,18	0,81	2,68	4,12
28	0,12	0,39	0,60	1,19	3,93	6,04	0,79	2,62	4,03
29	0,12	0,38	0,59	1,16	3,85	5,91	0,77	2,56	3,94
30	0,11	0,38	0,58	1,13	3,76	5,79	0,75	2,51	3,86
35	0,10	0,34	0,53	1,01	3,41	5,26	0,67	2,27	3,51
40	0,09	0,31	0,48	0,91	3,11	4,83	0,61	2,07	3,22
45	0,08	0,29	0,45	0,83	2,87	4,47	0,55	1,91	2,98
50	0,08	0,27	0,42	0,76	2,66	4,16	0,51	1,77	2,77
55	0,07	0,25	0,39	0,70	2,48	3,89	0,47	1,65	2,59
60	0,06	0,23	0,37	0,65	2,32	3,65	0,43	1,54	2,43
65	0,06	0,22	0,34	0,60	2,17	3,44	0,40	1,45	2,29
70	0,06	0,20	0,33	0,56	2,05	3,25	0,37	1,36	2,17
75	0,05	0,19	0,31	0,52	1,93	3,08	0,35	1,29	2,05
80	0,05	0,18	0,29	0,49	1,83	2,93	0,32	1,22	1,95
85	0,05	0,17	0,28	0,45	1,73	2,79	0,30	1,15	1,86
90	0,04	0,16	0,27	0,43	1,64	2,66	0,28	1,10	1,77
95	0,04	0,16	0,25	0,40	1,56	2,54	0,27	1,04	1,69
100	0,04	0,15	0,24	0,38	1,49	2,43	0,25	0,99	1,62
105	0,04	0,14	0,23	0,36	1,42	2,32	0,24	0,95	1,55
110	0,03	0,14	0,22	0,33	1,36	2,23	0,22	0,90	1,48
115	0,03	0,13	0,21	0,32	1,30	2,13	0,21	0,86	1,42
120	0,03	0,12	0,21	0,30	1,24	2,05	0,20	0,83	1,37
125	0,03	0,12	0,20	0,28	1,19	1,97	0,19	0,79	1,31

Gerät	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Entfernung Quelle - IO in m	KB_{Fmax} keine Anregung in Resonanz			KB_{Fmax} Holzbalkendecke			KB_{Fmax} Stahlbetondecke		
	5	0,16	0,49	0,72	1,83	5,55	8,18	1,22	3,70
6	0,14	0,44	0,65	1,66	5,05	7,44	1,10	3,36	4,96
7	0,13	0,41	0,60	1,52	4,65	6,86	1,01	3,10	4,58
8	0,12	0,38	0,56	1,41	4,33	6,40	0,94	2,89	4,26
9	0,12	0,36	0,53	1,32	4,06	6,01	0,88	2,71	4,00
10	0,11	0,34	0,50	1,25	3,84	5,68	0,83	2,56	3,78
11	0,10	0,32	0,47	1,18	3,64	5,39	0,79	2,43	3,59
12	0,10	0,30	0,45	1,12	3,47	5,14	0,75	2,31	3,43
13	0,09	0,29	0,43	1,07	3,32	4,92	0,71	2,21	3,28
14	0,09	0,28	0,41	1,02	3,18	4,72	0,68	2,12	3,15
15	0,09	0,27	0,40	0,98	3,06	4,55	0,66	2,04	3,03
16	0,08	0,26	0,38	0,94	2,95	4,39	0,63	1,97	2,92
17	0,08	0,25	0,37	0,91	2,85	4,24	0,61	1,90	2,83
18	0,08	0,24	0,36	0,88	2,76	4,10	0,59	1,84	2,74
19	0,07	0,23	0,35	0,85	2,67	3,98	0,57	1,78	2,65
20	0,07	0,23	0,34	0,82	2,59	3,86	0,55	1,73	2,57
21	0,07	0,22	0,33	0,80	2,52	3,75	0,53	1,68	2,50
22	0,07	0,21	0,32	0,77	2,45	3,65	0,51	1,63	2,44
23	0,07	0,21	0,31	0,75	2,38	3,56	0,50	1,59	2,37
24	0,06	0,20	0,30	0,73	2,32	3,47	0,49	1,55	2,31
25	0,06	0,20	0,30	0,71	2,26	3,39	0,47	1,51	2,26
26	0,06	0,19	0,29	0,69	2,21	3,31	0,46	1,47	2,21
27	0,06	0,19	0,28	0,67	2,16	3,24	0,45	1,44	2,16
28	0,06	0,18	0,28	0,66	2,11	3,17	0,44	1,41	2,11
29	0,06	0,18	0,27	0,64	2,06	3,10	0,43	1,38	2,07
30	0,05	0,18	0,27	0,62	2,02	3,03	0,42	1,35	2,02
35	0,05	0,16	0,24	0,56	1,83	2,76	0,37	1,22	1,84
40	0,04	0,15	0,22	0,50	1,67	2,53	0,34	1,11	1,69
45	0,04	0,13	0,20	0,46	1,54	2,34	0,31	1,02	1,56
50	0,04	0,12	0,19	0,42	1,42	2,18	0,28	0,95	1,45
55	0,03	0,12	0,18	0,39	1,33	2,04	0,26	0,88	1,36
60	0,03	0,11	0,17	0,36	1,24	1,91	0,24	0,83	1,28
65	0,03	0,10	0,16	0,33	1,17	1,80	0,22	0,78	1,20
70	0,03	0,10	0,15	0,31	1,10	1,70	0,21	0,73	1,14
75	0,03	0,09	0,14	0,29	1,04	1,61	0,19	0,69	1,08
80	0,02	0,09	0,13	0,27	0,98	1,53	0,18	0,65	1,02
85	0,02	0,08	0,13	0,25	0,93	1,46	0,17	0,62	0,97
90	0,02	0,08	0,12	0,24	0,88	1,39	0,16	0,59	0,93
95	0,02	0,07	0,12	0,22	0,84	1,33	0,15	0,56	0,89
100	0,02	0,07	0,11	0,21	0,80	1,27	0,14	0,53	0,85
105	0,02	0,07	0,11	0,20	0,76	1,22	0,13	0,51	0,81
110	0,02	0,06	0,10	0,18	0,73	1,17	0,12	0,48	0,78
115	0,02	0,06	0,10	0,17	0,69	1,12	0,12	0,46	0,75
120	0,01	0,06	0,09	0,16	0,66	1,07	0,11	0,44	0,72
125	0,01	0,06	0,09	0,16	0,64	1,03	0,10	0,42	0,69

III. Rammarbeiten mit Bagger-Anbau-Vibratoren

Gerät	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Entfernung Quelle - IO in m	$v_{i,Boden}$ in mm/s			$v_{i,Fundament}$ in mm/s			$v_{x,y,OG}$ in mm/s		
5	4,12	5,41	6,93	2,06	2,71	3,47	3,09	4,06	5,20
6	3,71	4,88	6,27	1,86	2,44	3,13	2,79	3,66	4,70
7	3,40	4,47	5,75	1,70	2,23	2,87	2,55	3,35	4,31
8	3,14	4,13	5,32	1,57	2,06	2,66	2,36	3,10	3,99
9	2,93	3,85	4,97	1,47	1,92	2,48	2,20	2,89	3,73
10	2,75	3,61	4,67	1,37	1,80	2,33	2,06	2,70	3,50
11	2,59	3,40	4,40	1,30	1,70	2,20	1,94	2,55	3,30
12	2,45	3,22	4,18	1,23	1,61	2,09	1,84	2,41	3,13
13	2,33	3,05	3,97	1,16	1,53	1,99	1,75	2,29	2,98
14	2,22	2,91	3,79	1,11	1,45	1,89	1,66	2,18	2,84
15	2,12	2,78	3,62	1,06	1,39	1,81	1,59	2,08	2,72
16	2,03	2,66	3,48	1,01	1,33	1,74	1,52	1,99	2,61
17	1,95	2,55	3,34	0,97	1,27	1,67	1,46	1,91	2,50
18	1,87	2,44	3,21	0,93	1,22	1,61	1,40	1,83	2,41
19	1,80	2,35	3,10	0,90	1,18	1,55	1,35	1,76	2,32
20	1,73	2,26	2,99	0,87	1,13	1,49	1,30	1,70	2,24
21	1,67	2,18	2,89	0,84	1,09	1,44	1,25	1,64	2,16
22	1,62	2,11	2,79	0,81	1,05	1,40	1,21	1,58	2,09
23	1,56	2,04	2,70	0,78	1,02	1,35	1,17	1,53	2,03
24	1,51	1,97	2,62	0,76	0,99	1,31	1,13	1,48	1,97
25	1,46	1,91	2,54	0,73	0,95	1,27	1,10	1,43	1,91
26	1,42	1,85	2,47	0,71	0,92	1,23	1,06	1,39	1,85
27	1,38	1,79	2,40	0,69	0,90	1,20	1,03	1,35	1,80
28	1,34	1,74	2,33	0,67	0,87	1,17	1,00	1,31	1,75
29	1,30	1,69	2,27	0,65	0,85	1,13	0,97	1,27	1,70
30	1,26	1,64	2,21	0,63	0,82	1,10	0,95	1,23	1,66
35	1,10	1,43	1,95	0,55	0,72	0,97	0,83	1,07	1,46
40	0,97	1,26	1,73	0,49	0,63	0,87	0,73	0,95	1,30
45	0,87	1,12	1,55	0,43	0,56	0,78	0,65	0,84	1,16
50	0,78	1,00	1,40	0,39	0,50	0,70	0,58	0,75	1,05
55	0,70	0,90	1,27	0,35	0,45	0,64	0,53	0,68	0,95
60	0,63	0,81	1,16	0,32	0,41	0,58	0,47	0,61	0,87
65	0,57	0,74	1,06	0,29	0,37	0,53	0,43	0,55	0,79
70	0,52	0,67	0,97	0,26	0,33	0,49	0,39	0,50	0,73
75	0,48	0,61	0,89	0,24	0,30	0,45	0,36	0,46	0,67
80	0,44	0,56	0,82	0,22	0,28	0,41	0,33	0,42	0,62
85	0,40	0,51	0,76	0,20	0,25	0,38	0,30	0,38	0,57
90	0,37	0,47	0,70	0,18	0,23	0,35	0,27	0,35	0,53
95	0,34	0,43	0,65	0,17	0,21	0,33	0,25	0,32	0,49
100	0,31	0,39	0,60	0,16	0,20	0,30	0,23	0,29	0,45
105	0,29	0,36	0,56	0,14	0,18	0,28	0,21	0,27	0,42
110	0,26	0,33	0,52	0,13	0,17	0,26	0,20	0,25	0,39
115	0,24	0,31	0,48	0,12	0,15	0,24	0,18	0,23	0,36
120	0,23	0,28	0,45	0,11	0,14	0,23	0,17	0,21	0,34
125	0,21	0,26	0,42	0,10	0,13	0,21	0,16	0,20	0,32

Gerät	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Entfernung Quelle - IO in m	V _{z,Decke} in mm/s keine Anregung in Resonanz			V _{z,Decke} in mm/s Holzbalkendecke			V _{z,Decke} in mm/ Stahlbetondecke		
	5	3,09	4,06	5,20	30,87	40,59	52,01	20,58	27,06
6	2,79	3,66	4,70	27,86	36,62	47,01	18,57	24,41	31,34
7	2,55	3,35	4,31	25,50	33,50	43,09	17,00	22,33	28,73
8	2,36	3,10	3,99	23,58	30,97	39,91	15,72	20,65	26,61
9	2,20	2,89	3,73	21,98	28,85	37,25	14,65	19,24	24,84
10	2,06	2,70	3,50	20,61	27,05	34,99	13,74	18,03	23,33
11	1,94	2,55	3,30	19,43	25,49	33,03	12,95	16,99	22,02
12	1,84	2,41	3,13	18,39	24,11	31,32	12,26	16,08	20,88
13	1,75	2,29	2,98	17,47	22,89	29,79	11,65	15,26	19,86
14	1,66	2,18	2,84	16,64	21,80	28,42	11,09	14,53	18,95
15	1,59	2,08	2,72	15,89	20,81	27,19	10,60	13,88	18,12
16	1,52	1,99	2,61	15,21	19,91	26,06	10,14	13,28	17,38
17	1,46	1,91	2,50	14,59	19,09	25,03	9,73	12,73	16,69
18	1,40	1,83	2,41	14,02	18,34	24,09	9,35	12,22	16,06
19	1,35	1,76	2,32	13,49	17,64	23,21	8,99	11,76	15,48
20	1,30	1,70	2,24	13,00	16,99	22,40	8,67	11,32	14,94
21	1,25	1,64	2,16	12,54	16,38	21,65	8,36	10,92	14,43
22	1,21	1,58	2,09	12,11	15,82	20,94	8,08	10,54	13,96
23	1,17	1,53	2,03	11,71	15,29	20,28	7,81	10,19	13,52
24	1,13	1,48	1,97	11,33	14,79	19,65	7,56	9,86	13,10
25	1,10	1,43	1,91	10,98	14,32	19,07	7,32	9,55	12,71
26	1,06	1,39	1,85	10,64	13,87	18,51	7,10	9,25	12,34
27	1,03	1,35	1,80	10,33	13,45	17,98	6,88	8,97	11,99
28	1,00	1,31	1,75	10,02	13,06	17,49	6,68	8,70	11,66
29	0,97	1,27	1,70	9,74	12,68	17,01	6,49	8,45	11,34
30	0,95	1,23	1,66	9,46	12,32	16,56	6,31	8,21	11,04
35	0,83	1,07	1,46	8,28	10,75	14,59	5,52	7,16	9,73
40	0,73	0,95	1,30	7,31	9,47	12,98	4,87	6,32	8,66
45	0,65	0,84	1,16	6,51	8,42	11,65	4,34	5,61	7,77
50	0,58	0,75	1,05	5,83	7,52	10,51	3,89	5,02	7,01
55	0,53	0,68	0,95	5,25	6,76	9,54	3,50	4,51	6,36
60	0,47	0,61	0,87	4,75	6,10	8,69	3,16	4,07	5,79
65	0,43	0,55	0,79	4,31	5,52	7,94	2,87	3,68	5,30
70	0,39	0,50	0,73	3,92	5,02	7,28	2,61	3,34	4,86
75	0,36	0,46	0,67	3,58	4,57	6,70	2,38	3,04	4,46
80	0,33	0,42	0,62	3,27	4,17	6,17	2,18	2,78	4,11
85	0,30	0,38	0,57	3,00	3,81	5,69	2,00	2,54	3,80
90	0,27	0,35	0,53	2,75	3,49	5,27	1,83	2,33	3,51
95	0,25	0,32	0,49	2,53	3,20	4,88	1,68	2,13	3,25
100	0,23	0,29	0,45	2,33	2,94	4,52	1,55	1,96	3,02
105	0,21	0,27	0,42	2,14	2,70	4,20	1,43	1,80	2,80
110	0,20	0,25	0,39	1,98	2,49	3,90	1,32	1,66	2,60
115	0,18	0,23	0,36	1,83	2,29	3,63	1,22	1,53	2,42
120	0,17	0,21	0,34	1,69	2,12	3,38	1,13	1,41	2,26
125	0,16	0,20	0,32	1,56	1,95	3,16	1,04	1,30	2,10

Gerät	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Entfernung Quelle - IO in m	KB_{Fmax} keine Anregung in Resonanz			KB_{Fmax} Holzbalkendecke			KB_{Fmax} Stahlbetondecke		
	5	1,51	1,99	2,54	17,30	22,77	29,06	11,53	15,18
6	1,37	1,80	2,30	15,61	20,54	26,27	10,41	13,69	17,51
7	1,25	1,64	2,11	14,29	18,79	24,08	9,53	12,53	16,05
8	1,16	1,52	1,95	13,22	17,37	22,30	8,81	11,58	14,87
9	1,08	1,42	1,82	12,32	16,18	20,82	8,21	10,79	13,88
10	1,01	1,33	1,71	11,55	15,17	19,55	7,70	10,11	13,04
11	0,95	1,25	1,62	10,89	14,29	18,46	7,26	9,53	12,31
12	0,90	1,18	1,53	10,31	13,52	17,50	6,87	9,02	11,67
13	0,86	1,12	1,46	9,79	12,84	16,65	6,53	8,56	11,10
14	0,82	1,07	1,39	9,33	12,23	15,88	6,22	8,15	10,59
15	0,78	1,02	1,33	8,91	11,67	15,19	5,94	7,78	10,13
16	0,75	0,98	1,27	8,53	11,17	14,56	5,68	7,45	9,71
17	0,72	0,94	1,22	8,18	10,71	13,99	5,45	7,14	9,33
18	0,69	0,90	1,18	7,86	10,28	13,46	5,24	6,86	8,97
19	0,66	0,87	1,14	7,56	9,89	12,97	5,04	6,59	8,65
20	0,64	0,83	1,10	7,29	9,53	12,52	4,86	6,35	8,35
21	0,62	0,80	1,06	7,03	9,19	12,10	4,69	6,12	8,06
22	0,59	0,78	1,02	6,79	8,87	11,70	4,53	5,91	7,80
23	0,57	0,75	0,99	6,56	8,57	11,33	4,38	5,72	7,55
24	0,56	0,73	0,96	6,35	8,29	10,98	4,24	5,53	7,32
25	0,54	0,70	0,93	6,15	8,03	10,65	4,10	5,35	7,10
26	0,52	0,68	0,91	5,97	7,78	10,34	3,98	5,19	6,90
27	0,51	0,66	0,88	5,79	7,55	10,05	3,86	5,03	6,70
28	0,49	0,64	0,86	5,62	7,32	9,77	3,75	4,88	6,51
29	0,48	0,62	0,83	5,46	7,11	9,51	3,64	4,74	6,34
30	0,46	0,60	0,81	5,30	6,91	9,25	3,54	4,61	6,17
35	0,41	0,53	0,71	4,64	6,03	8,15	3,09	4,02	5,43
40	0,36	0,46	0,63	4,10	5,31	7,26	2,73	3,54	4,84
45	0,32	0,41	0,57	3,65	4,72	6,51	2,43	3,15	4,34
50	0,29	0,37	0,51	3,27	4,22	5,88	2,18	2,81	3,92
55	0,26	0,33	0,47	2,94	3,79	5,33	1,96	2,53	3,55
60	0,23	0,30	0,42	2,66	3,42	4,86	1,77	2,28	3,24
65	0,21	0,27	0,39	2,41	3,10	4,44	1,61	2,07	2,96
70	0,19	0,25	0,36	2,20	2,81	4,07	1,46	1,88	2,71
75	0,18	0,22	0,33	2,00	2,56	3,74	1,34	1,71	2,49
80	0,16	0,20	0,30	1,83	2,34	3,45	1,22	1,56	2,30
85	0,15	0,19	0,28	1,68	2,14	3,18	1,12	1,42	2,12
90	0,13	0,17	0,26	1,54	1,96	2,94	1,03	1,30	1,96
95	0,12	0,16	0,24	1,42	1,79	2,73	0,94	1,20	1,82
100	0,11	0,14	0,22	1,30	1,65	2,53	0,87	1,10	1,68
105	0,11	0,13	0,21	1,20	1,52	2,35	0,80	1,01	1,56
110	0,10	0,12	0,19	1,11	1,40	2,18	0,74	0,93	1,45
115	0,09	0,11	0,18	1,02	1,29	2,03	0,68	0,86	1,35
120	0,08	0,10	0,17	0,95	1,19	1,89	0,63	0,79	1,26
125	0,08	0,10	0,15	0,88	1,10	1,76	0,58	0,73	1,18

IV. Verdichten mit Vibrationswalze

Gerät	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Entfernung Quelle - IO in m	$v_{i,Boden}$ in mm/s				$v_{i,Fundament}$ in mm/s				$v_{x,y,OG}$ in mm/s			
5	5,02	6,40	4,04	5,95	2,51	3,20	2,02	2,98	3,77	4,80	3,03	4,46
6	4,54	5,79	3,64	5,36	2,27	2,90	1,82	2,68	3,41	4,35	2,73	4,02
7	4,17	5,32	3,33	4,89	2,09	2,66	1,66	2,45	3,13	3,99	2,49	3,67
8	3,87	4,93	3,07	4,51	1,93	2,46	1,53	2,26	2,90	3,70	2,30	3,39
9	3,62	4,61	2,86	4,20	1,81	2,30	1,43	2,10	2,71	3,45	2,14	3,15
10	3,40	4,33	2,67	3,93	1,70	2,17	1,34	1,96	2,55	3,25	2,00	2,95
11	3,22	4,09	2,51	3,69	1,61	2,05	1,26	1,85	2,41	3,07	1,89	2,77
12	3,05	3,88	2,38	3,49	1,53	1,94	1,19	1,74	2,29	2,91	1,78	2,62
13	2,91	3,70	2,25	3,31	1,45	1,85	1,13	1,65	2,18	2,77	1,69	2,48
14	2,78	3,53	2,14	3,14	1,39	1,77	1,07	1,57	2,08	2,65	1,61	2,36
15	2,66	3,38	2,04	2,99	1,33	1,69	1,02	1,50	2,00	2,54	1,53	2,24
16	2,56	3,24	1,95	2,86	1,28	1,62	0,97	1,43	1,92	2,43	1,46	2,14
17	2,46	3,12	1,87	2,73	1,23	1,56	0,93	1,37	1,84	2,34	1,40	2,05
18	2,37	3,01	1,79	2,62	1,18	1,50	0,89	1,31	1,78	2,25	1,34	1,97
19	2,29	2,90	1,72	2,52	1,14	1,45	0,86	1,26	1,71	2,17	1,29	1,89
20	2,21	2,80	1,65	2,42	1,10	1,40	0,83	1,21	1,66	2,10	1,24	1,81
21	2,14	2,71	1,59	2,33	1,07	1,35	0,80	1,16	1,60	2,03	1,19	1,75
22	2,07	2,62	1,53	2,24	1,04	1,31	0,77	1,12	1,55	1,97	1,15	1,68
23	2,01	2,54	1,48	2,16	1,00	1,27	0,74	1,08	1,51	1,91	1,11	1,62
24	1,95	2,47	1,43	2,09	0,97	1,23	0,71	1,04	1,46	1,85	1,07	1,57
25	1,89	2,40	1,38	2,02	0,95	1,20	0,69	1,01	1,42	1,80	1,04	1,51
26	1,84	2,33	1,34	1,95	0,92	1,16	0,67	0,98	1,38	1,75	1,00	1,46
27	1,79	2,26	1,30	1,89	0,90	1,13	0,65	0,94	1,34	1,70	0,97	1,42
28	1,74	2,20	1,25	1,83	0,87	1,10	0,63	0,92	1,31	1,65	0,94	1,37
29	1,70	2,15	1,22	1,77	0,85	1,07	0,61	0,89	1,27	1,61	0,91	1,33
30	1,66	2,09	1,18	1,72	0,83	1,05	0,59	0,86	1,24	1,57	0,89	1,29
35	1,47	1,85	1,02	1,49	0,73	0,93	0,51	0,74	1,10	1,39	0,77	1,11
40	1,32	1,66	0,89	1,30	0,66	0,83	0,45	0,65	0,99	1,24	0,67	0,97
45	1,19	1,49	0,79	1,14	0,60	0,75	0,39	0,57	0,89	1,12	0,59	0,86
50	1,08	1,35	0,70	1,01	0,54	0,68	0,35	0,51	0,81	1,02	0,52	0,76
55	0,99	1,24	0,62	0,90	0,49	0,62	0,31	0,45	0,74	0,93	0,47	0,67
60	0,91	1,13	0,56	0,80	0,45	0,57	0,28	0,40	0,68	0,85	0,42	0,60
65	0,84	1,04	0,50	0,72	0,42	0,52	0,25	0,36	0,63	0,78	0,38	0,54
70	0,77	0,96	0,45	0,65	0,39	0,48	0,23	0,32	0,58	0,72	0,34	0,49
75	0,71	0,88	0,41	0,58	0,36	0,44	0,20	0,29	0,54	0,66	0,31	0,44
80	0,66	0,82	0,37	0,53	0,33	0,41	0,18	0,26	0,50	0,61	0,28	0,40
85	0,62	0,76	0,34	0,48	0,31	0,38	0,17	0,24	0,46	0,57	0,25	0,36
90	0,57	0,71	0,30	0,43	0,29	0,35	0,15	0,22	0,43	0,53	0,23	0,32
95	0,54	0,66	0,28	0,39	0,27	0,33	0,14	0,20	0,40	0,49	0,21	0,30
100	0,50	0,61	0,25	0,36	0,25	0,31	0,13	0,18	0,37	0,46	0,19	0,27
105	0,47	0,57	0,23	0,33	0,23	0,29	0,12	0,16	0,35	0,43	0,17	0,24
110	0,44	0,53	0,21	0,30	0,22	0,27	0,11	0,15	0,33	0,40	0,16	0,22
115	0,41	0,50	0,19	0,27	0,21	0,25	0,10	0,14	0,31	0,37	0,14	0,20
120	0,38	0,47	0,18	0,25	0,19	0,23	0,09	0,12	0,29	0,35	0,13	0,19
125	0,36	0,44	0,16	0,23	0,18	0,22	0,08	0,11	0,27	0,33	0,12	0,17

Gerät	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Entfernung Quelle - IO in m	V _z Decke in mm/s keine Anregung in Resonanz				V _z Decke in mm/s Holzbalkendecke				V _z Decke in mm/ Stahlbetondecke			
	5	3,77	4,80	3,03	4,46	37,65	48,03	30,31	44,65	25,10	32,02	20,21
6	3,41	4,35	2,73	4,02	34,08	43,46	27,30	40,20	22,72	28,97	18,20	26,80
7	3,13	3,99	2,49	3,67	31,29	39,87	24,94	36,70	20,86	26,58	16,63	24,47
8	2,90	3,70	2,30	3,39	29,02	36,97	23,02	33,86	19,34	24,64	15,35	22,57
9	2,71	3,45	2,14	3,15	27,13	34,54	21,41	31,49	18,08	23,03	14,28	20,99
10	2,55	3,25	2,00	2,95	25,52	32,48	20,04	29,46	17,01	21,65	13,36	19,64
11	2,41	3,07	1,89	2,77	24,12	30,69	18,86	27,70	16,08	20,46	12,57	18,47
12	2,29	2,91	1,78	2,62	22,90	29,12	17,81	26,16	15,27	19,42	11,88	17,44
13	2,18	2,77	1,69	2,48	21,81	27,73	16,89	24,79	14,54	18,49	11,26	16,53
14	2,08	2,65	1,61	2,36	20,84	26,49	16,06	23,56	13,89	17,66	10,70	15,71
15	2,00	2,54	1,53	2,24	19,96	25,36	15,31	22,45	13,31	16,91	10,20	14,97
16	1,92	2,43	1,46	2,14	19,17	24,34	14,62	21,44	12,78	16,22	9,75	14,29
17	1,84	2,34	1,40	2,05	18,44	23,40	14,00	20,51	12,29	15,60	9,33	13,67
18	1,78	2,25	1,34	1,97	17,77	22,54	13,42	19,66	11,84	15,03	8,95	13,11
19	1,71	2,17	1,29	1,89	17,14	21,74	12,89	18,87	11,43	14,49	8,59	12,58
20	1,66	2,10	1,24	1,81	16,57	21,00	12,40	18,14	11,05	14,00	8,26	12,09
21	1,60	2,03	1,19	1,75	16,03	20,31	11,94	17,46	10,69	13,54	7,96	11,64
22	1,55	1,97	1,15	1,68	15,53	19,67	11,51	16,83	10,35	13,11	7,67	11,22
23	1,51	1,91	1,11	1,62	15,06	19,07	11,10	16,23	10,04	12,71	7,40	10,82
24	1,46	1,85	1,07	1,57	14,62	18,50	10,72	15,67	9,75	12,33	7,15	10,45
25	1,42	1,80	1,04	1,51	14,20	17,96	10,37	15,14	9,47	11,98	6,91	10,10
26	1,38	1,75	1,00	1,46	13,81	17,46	10,03	14,65	9,21	11,64	6,69	9,76
27	1,34	1,70	0,97	1,42	13,43	16,98	9,71	14,17	8,96	11,32	6,48	9,45
28	1,31	1,65	0,94	1,37	13,08	16,53	9,41	13,73	8,72	11,02	6,27	9,15
29	1,27	1,61	0,91	1,33	12,74	16,09	9,12	13,30	8,50	10,73	6,08	8,87
30	1,24	1,57	0,89	1,29	12,42	15,68	8,85	12,90	8,28	10,46	5,90	8,60
35	1,10	1,39	0,77	1,11	11,02	13,88	7,66	11,15	7,35	9,26	5,11	7,43
40	0,99	1,24	0,67	0,97	9,88	12,42	6,70	9,73	6,59	8,28	4,47	6,49
45	0,89	1,12	0,59	0,86	8,93	11,20	5,91	8,56	5,95	7,47	3,94	5,71
50	0,81	1,02	0,52	0,76	8,12	10,16	5,24	7,58	5,41	6,77	3,50	5,05
55	0,74	0,93	0,47	0,67	7,42	9,26	4,68	6,74	4,94	6,18	3,12	4,50
60	0,68	0,85	0,42	0,60	6,80	8,48	4,19	6,03	4,54	5,65	2,79	4,02
65	0,63	0,78	0,38	0,54	6,26	7,79	3,76	5,40	4,18	5,20	2,51	3,60
70	0,58	0,72	0,34	0,49	5,79	7,18	3,39	4,86	3,86	4,79	2,26	3,24
75	0,54	0,66	0,31	0,44	5,36	6,63	3,06	4,38	3,57	4,42	2,04	2,92
80	0,50	0,61	0,28	0,40	4,97	6,14	2,77	3,96	3,31	4,10	1,85	2,64
85	0,46	0,57	0,25	0,36	4,62	5,70	2,52	3,58	3,08	3,80	1,68	2,39
90	0,43	0,53	0,23	0,32	4,30	5,30	2,29	3,25	2,87	3,53	1,52	2,17
95	0,40	0,49	0,21	0,30	4,01	4,93	2,08	2,95	2,68	3,29	1,39	1,97
100	0,37	0,46	0,19	0,27	3,75	4,60	1,90	2,69	2,50	3,06	1,26	1,79
105	0,35	0,43	0,17	0,24	3,51	4,29	1,73	2,45	2,34	2,86	1,15	1,63
110	0,33	0,40	0,16	0,22	3,28	4,01	1,58	2,23	2,19	2,67	1,05	1,49
115	0,31	0,37	0,14	0,20	3,08	3,75	1,45	2,03	2,05	2,50	0,96	1,36
120	0,29	0,35	0,13	0,19	2,89	3,51	1,32	1,86	1,92	2,34	0,88	1,24
125	0,27	0,33	0,12	0,17	2,71	3,29	1,21	1,70	1,81	2,19	0,81	1,13

Gerät	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Entfernung Quelle - IO in m	KB_{Fmax} keine Anregung in Resonanz				KB_{Fmax} Holzbalkendecke				KB_{Fmax} Stahlbetondecke			
	5	1,83	2,34	1,49	2,20	20,95	26,76	17,03	25,09	13,97	17,84	11,35
6	1,66	2,12	1,34	1,98	18,96	24,21	15,34	22,59	12,64	16,14	10,23	15,06
7	1,52	1,94	1,23	1,81	17,41	22,22	14,01	20,63	11,60	14,81	9,34	13,75
8	1,41	1,80	1,13	1,67	16,14	20,60	12,93	19,03	10,76	13,73	8,62	12,69
9	1,32	1,68	1,05	1,55	15,09	19,25	12,03	17,70	10,06	12,83	8,02	11,80
10	1,24	1,58	0,99	1,45	14,20	18,10	11,26	16,56	9,46	12,07	7,51	11,04
11	1,17	1,50	0,93	1,36	13,42	17,10	10,60	15,57	8,95	11,40	7,06	10,38
12	1,11	1,42	0,88	1,29	12,74	16,23	10,01	14,70	8,49	10,82	6,67	9,80
13	1,06	1,35	0,83	1,22	12,14	15,45	9,49	13,93	8,09	10,30	6,33	9,29
14	1,01	1,29	0,79	1,16	11,60	14,76	9,02	13,24	7,73	9,84	6,01	8,83
15	0,97	1,24	0,75	1,10	11,11	14,13	8,60	12,62	7,41	9,42	5,73	8,41
16	0,93	1,19	0,72	1,05	10,66	13,56	8,22	12,05	7,11	9,04	5,48	8,03
17	0,90	1,14	0,69	1,01	10,26	13,04	7,86	11,53	6,84	8,69	5,24	7,69
18	0,86	1,10	0,66	0,97	9,88	12,56	7,54	11,05	6,59	8,37	5,03	7,37
19	0,83	1,06	0,63	0,93	9,54	12,11	7,24	10,61	6,36	8,08	4,83	7,07
20	0,81	1,02	0,61	0,89	9,22	11,70	6,96	10,20	6,15	7,80	4,64	6,80
21	0,78	0,99	0,59	0,86	8,92	11,32	6,71	9,82	5,95	7,55	4,47	6,54
22	0,76	0,96	0,57	0,83	8,64	10,96	6,46	9,46	5,76	7,31	4,31	6,31
23	0,73	0,93	0,55	0,80	8,38	10,62	6,24	9,12	5,59	7,08	4,16	6,08
24	0,71	0,90	0,53	0,77	8,13	10,31	6,03	8,81	5,42	6,87	4,02	5,87
25	0,69	0,88	0,51	0,74	7,90	10,01	5,83	8,51	5,27	6,67	3,88	5,67
26	0,67	0,85	0,49	0,72	7,68	9,73	5,64	8,23	5,12	6,49	3,76	5,49
27	0,65	0,83	0,48	0,70	7,47	9,46	5,46	7,97	4,98	6,31	3,64	5,31
28	0,64	0,81	0,46	0,68	7,28	9,21	5,29	7,72	4,85	6,14	3,53	5,14
29	0,62	0,78	0,45	0,65	7,09	8,97	5,13	7,48	4,73	5,98	3,42	4,99
30	0,60	0,76	0,44	0,63	6,91	8,74	4,97	7,25	4,61	5,83	3,32	4,83
35	0,54	0,68	0,38	0,55	6,13	7,74	4,31	6,27	4,09	5,16	2,87	4,18
40	0,48	0,61	0,33	0,48	5,50	6,92	3,77	5,47	3,67	4,61	2,51	3,65
45	0,43	0,55	0,29	0,42	4,97	6,24	3,32	4,81	3,31	4,16	2,21	3,21
50	0,40	0,50	0,26	0,37	4,52	5,66	2,95	4,26	3,01	3,77	1,96	2,84
55	0,36	0,45	0,23	0,33	4,13	5,16	2,63	3,79	2,75	3,44	1,75	2,53
60	0,33	0,41	0,21	0,30	3,79	4,73	2,35	3,39	2,52	3,15	1,57	2,26
65	0,30	0,38	0,18	0,27	3,49	4,34	2,11	3,04	2,32	2,89	1,41	2,02
70	0,28	0,35	0,17	0,24	3,22	4,00	1,90	2,73	2,15	2,67	1,27	1,82
75	0,26	0,32	0,15	0,22	2,98	3,70	1,72	2,46	1,99	2,46	1,15	1,64
80	0,24	0,30	0,14	0,19	2,77	3,42	1,56	2,22	1,84	2,28	1,04	1,48
85	0,22	0,28	0,12	0,18	2,57	3,18	1,41	2,01	1,71	2,12	0,94	1,34
90	0,21	0,26	0,11	0,16	2,39	2,95	1,28	1,83	1,60	1,97	0,86	1,22
95	0,20	0,24	0,10	0,15	2,23	2,75	1,17	1,66	1,49	1,83	0,78	1,11
100	0,18	0,22	0,09	0,13	2,09	2,56	1,07	1,51	1,39	1,71	0,71	1,01
105	0,17	0,21	0,09	0,12	1,95	2,39	0,97	1,37	1,30	1,59	0,65	0,92
110	0,16	0,20	0,08	0,11	1,83	2,23	0,89	1,25	1,22	1,49	0,59	0,84
115	0,15	0,18	0,07	0,10	1,71	2,09	0,81	1,14	1,14	1,39	0,54	0,76
120	0,14	0,17	0,07	0,09	1,61	1,95	0,74	1,04	1,07	1,30	0,50	0,70
125	0,13	0,16	0,06	0,08	1,51	1,83	0,68	0,96	1,01	1,22	0,45	0,64

V. Verdichten mit Rüttelplatten

Gerät	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Entfernung Quelle - IO in m	$v_{i,Boden}$ in mm/s			$v_{i,Fundament}$ in mm/s			$v_{x,y,OG}$ in mm/s		
5	1,39	1,95	3,04	0,70	0,98	1,52	1,05	1,46	2,28
6	1,24	1,75	2,73	0,62	0,87	1,37	0,93	1,31	2,05
7	1,13	1,59	2,50	0,56	0,79	1,25	0,84	1,19	1,87
8	1,03	1,45	2,31	0,52	0,73	1,15	0,77	1,09	1,73
9	0,95	1,34	2,14	0,48	0,67	1,07	0,71	1,01	1,61
10	0,88	1,25	2,01	0,44	0,63	1,00	0,66	0,94	1,51
11	0,82	1,17	1,89	0,41	0,58	0,94	0,62	0,88	1,42
12	0,77	1,10	1,78	0,38	0,55	0,89	0,58	0,82	1,34
13	0,72	1,03	1,69	0,36	0,52	0,85	0,54	0,78	1,27
14	0,68	0,98	1,61	0,34	0,49	0,80	0,51	0,73	1,21
15	0,64	0,93	1,53	0,32	0,46	0,77	0,48	0,69	1,15
16	0,61	0,88	1,46	0,30	0,44	0,73	0,46	0,66	1,10
17	0,58	0,84	1,40	0,29	0,42	0,70	0,43	0,63	1,05
18	0,55	0,80	1,34	0,27	0,40	0,67	0,41	0,60	1,01
19	0,52	0,76	1,29	0,26	0,38	0,65	0,39	0,57	0,97
20	0,50	0,73	1,24	0,25	0,36	0,62	0,37	0,55	0,93
21	0,48	0,70	1,20	0,24	0,35	0,60	0,36	0,52	0,90
22	0,45	0,67	1,15	0,23	0,33	0,58	0,34	0,50	0,86
23	0,43	0,64	1,11	0,22	0,32	0,56	0,33	0,48	0,83
24	0,42	0,61	1,07	0,21	0,31	0,54	0,31	0,46	0,81
25	0,40	0,59	1,04	0,20	0,30	0,52	0,30	0,44	0,78
26	0,38	0,57	1,00	0,19	0,28	0,50	0,29	0,43	0,75
27	0,37	0,55	0,97	0,18	0,27	0,49	0,28	0,41	0,73
28	0,35	0,53	0,94	0,18	0,26	0,47	0,26	0,39	0,71
29	0,34	0,51	0,91	0,17	0,25	0,46	0,25	0,38	0,69
30	0,33	0,49	0,89	0,16	0,24	0,44	0,24	0,37	0,66
35	0,27	0,41	0,77	0,13	0,21	0,38	0,20	0,31	0,58
40	0,23	0,35	0,67	0,11	0,17	0,34	0,17	0,26	0,50
45	0,19	0,30	0,59	0,10	0,15	0,30	0,14	0,22	0,44
50	0,16	0,26	0,53	0,08	0,13	0,26	0,12	0,19	0,39
55	0,14	0,22	0,47	0,07	0,11	0,23	0,10	0,17	0,35
60	0,12	0,19	0,42	0,06	0,10	0,21	0,09	0,14	0,31
65	0,10	0,17	0,38	0,05	0,08	0,19	0,08	0,13	0,28
70	0,09	0,15	0,34	0,04	0,07	0,17	0,07	0,11	0,25
75	0,08	0,13	0,31	0,04	0,06	0,15	0,06	0,10	0,23
80	0,07	0,11	0,28	0,03	0,06	0,14	0,05	0,08	0,21
85	0,06	0,10	0,25	0,03	0,05	0,13	0,04	0,07	0,19
90	0,05	0,09	0,23	0,02	0,04	0,11	0,04	0,07	0,17
95	0,04	0,08	0,21	0,02	0,04	0,10	0,03	0,06	0,16
100	0,04	0,07	0,19	0,02	0,03	0,09	0,03	0,05	0,14
105	0,03	0,06	0,17	0,02	0,03	0,09	0,02	0,05	0,13
110	0,03	0,05	0,16	0,01	0,03	0,08	0,02	0,04	0,12
115	0,02	0,05	0,14	0,01	0,02	0,07	0,02	0,04	0,11
120	0,02	0,04	0,13	0,01	0,02	0,07	0,02	0,03	0,10
125	0,02	0,04	0,12	0,01	0,02	0,06	0,01	0,03	0,09

Gerät	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Entfernung Quelle - IO in m	V _{z,Decke} in mm/s keine Anregung in Resonanz			V _{z,Decke} in mm/s Holzbalkendecke			V _{z,Decke} in mm/ Stahlbetondecke		
5	1,05	1,46	2,28	10,45	14,63	22,77	6,97	9,75	15,18
6	0,93	1,31	2,05	9,33	13,10	20,51	6,22	8,73	13,67
7	0,84	1,19	1,87	8,45	11,89	18,73	5,63	7,93	12,49
8	0,77	1,09	1,73	7,73	10,91	17,29	5,15	7,27	11,53
9	0,71	1,01	1,61	7,13	10,08	16,08	4,75	6,72	10,72
10	0,66	0,94	1,51	6,61	9,38	15,06	4,41	6,25	10,04
11	0,62	0,88	1,42	6,16	8,77	14,16	4,11	5,85	9,44
12	0,58	0,82	1,34	5,77	8,24	13,38	3,85	5,49	8,92
13	0,54	0,78	1,27	5,42	7,76	12,68	3,61	5,17	8,46
14	0,51	0,73	1,21	5,11	7,33	12,06	3,41	4,89	8,04
15	0,48	0,69	1,15	4,83	6,95	11,50	3,22	4,63	7,66
16	0,46	0,66	1,10	4,57	6,60	10,98	3,05	4,40	7,32
17	0,43	0,63	1,05	4,34	6,28	10,51	2,89	4,18	7,01
18	0,41	0,60	1,01	4,12	5,98	10,08	2,75	3,99	6,72
19	0,39	0,57	0,97	3,92	5,71	9,68	2,61	3,81	6,45
20	0,37	0,55	0,93	3,74	5,46	9,31	2,49	3,64	6,21
21	0,36	0,52	0,90	3,57	5,22	8,97	2,38	3,48	5,98
22	0,34	0,50	0,86	3,41	5,00	8,64	2,27	3,34	5,76
23	0,33	0,48	0,83	3,26	4,80	8,34	2,17	3,20	5,56
24	0,31	0,46	0,81	3,12	4,61	8,06	2,08	3,07	5,37
25	0,30	0,44	0,78	2,99	4,43	7,79	1,99	2,95	5,19
26	0,29	0,43	0,75	2,87	4,26	7,54	1,91	2,84	5,02
27	0,28	0,41	0,73	2,75	4,10	7,30	1,83	2,73	4,86
28	0,26	0,39	0,71	2,64	3,94	7,07	1,76	2,63	4,71
29	0,25	0,38	0,69	2,54	3,80	6,85	1,69	2,53	4,57
30	0,24	0,37	0,66	2,44	3,66	6,65	1,63	2,44	4,43
35	0,20	0,31	0,58	2,02	3,08	5,76	1,35	2,05	3,84
40	0,17	0,26	0,50	1,69	2,61	5,04	1,13	1,74	3,36
45	0,14	0,22	0,44	1,43	2,23	4,44	0,95	1,49	2,96
50	0,12	0,19	0,39	1,21	1,92	3,94	0,81	1,28	2,63
55	0,10	0,17	0,35	1,03	1,66	3,51	0,69	1,11	2,34
60	0,09	0,14	0,31	0,88	1,44	3,14	0,59	0,96	2,10
65	0,08	0,13	0,28	0,76	1,26	2,83	0,51	0,84	1,88
70	0,07	0,11	0,25	0,65	1,10	2,55	0,44	0,73	1,70
75	0,06	0,10	0,23	0,57	0,96	2,30	0,38	0,64	1,53
80	0,05	0,08	0,21	0,49	0,84	2,08	0,33	0,56	1,39
85	0,04	0,07	0,19	0,42	0,74	1,89	0,28	0,50	1,26
90	0,04	0,07	0,17	0,37	0,65	1,72	0,25	0,44	1,14
95	0,03	0,06	0,16	0,32	0,58	1,56	0,21	0,39	1,04
100	0,03	0,05	0,14	0,28	0,51	1,42	0,19	0,34	0,95
105	0,02	0,05	0,13	0,24	0,45	1,30	0,16	0,30	0,87
110	0,02	0,04	0,12	0,21	0,40	1,19	0,14	0,27	0,79
115	0,02	0,04	0,11	0,19	0,36	1,09	0,12	0,24	0,72
120	0,02	0,03	0,10	0,16	0,32	0,99	0,11	0,21	0,66
125	0,01	0,03	0,09	0,14	0,28	0,91	0,10	0,19	0,61

Gerät	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Entfernung Quelle - IO in m	KB_{Fmax} keine Anregung in Resonanz			KB_{Fmax} Holzbalkendecke			KB_{Fmax} Stahlbetondecke		
	5	0,52	0,72	1,12	5,90	8,25	12,79	3,93	5,50
6	0,46	0,65	1,01	5,27	7,39	11,52	3,51	4,92	7,68
7	0,42	0,59	0,92	4,77	6,71	10,53	3,18	4,47	7,02
8	0,38	0,54	0,85	4,36	6,15	9,72	2,91	4,10	6,48
9	0,35	0,50	0,79	4,02	5,69	9,04	2,68	3,79	6,03
10	0,33	0,46	0,74	3,73	5,29	8,46	2,49	3,53	5,64
11	0,30	0,43	0,70	3,48	4,95	7,96	2,32	3,30	5,31
12	0,28	0,41	0,66	3,26	4,64	7,52	2,17	3,10	5,01
13	0,27	0,38	0,62	3,06	4,38	7,13	2,04	2,92	4,75
14	0,25	0,36	0,59	2,88	4,13	6,78	1,92	2,76	4,52
15	0,24	0,34	0,57	2,72	3,92	6,46	1,82	2,61	4,31
16	0,23	0,33	0,54	2,58	3,72	6,17	1,72	2,48	4,11
17	0,21	0,31	0,52	2,45	3,54	5,91	1,63	2,36	3,94
18	0,20	0,30	0,50	2,33	3,37	5,66	1,55	2,25	3,78
19	0,19	0,28	0,48	2,21	3,22	5,44	1,48	2,15	3,63
20	0,18	0,27	0,46	2,11	3,08	5,23	1,41	2,05	3,49
21	0,18	0,26	0,44	2,01	2,94	5,04	1,34	1,96	3,36
22	0,17	0,25	0,42	1,92	2,82	4,86	1,28	1,88	3,24
23	0,16	0,24	0,41	1,84	2,71	4,69	1,23	1,80	3,12
24	0,15	0,23	0,40	1,76	2,60	4,53	1,17	1,73	3,02
25	0,15	0,22	0,38	1,69	2,50	4,38	1,13	1,66	2,92
26	0,14	0,21	0,37	1,62	2,40	4,23	1,08	1,60	2,82
27	0,14	0,20	0,36	1,55	2,31	4,10	1,04	1,54	2,73
28	0,13	0,19	0,35	1,49	2,22	3,97	0,99	1,48	2,65
29	0,13	0,19	0,34	1,43	2,14	3,85	0,96	1,43	2,57
30	0,12	0,18	0,33	1,38	2,07	3,74	0,92	1,38	2,49
35	0,10	0,15	0,28	1,14	1,73	3,23	0,76	1,16	2,16
40	0,08	0,13	0,25	0,95	1,47	2,83	0,64	0,98	1,89
45	0,07	0,11	0,22	0,80	1,26	2,49	0,54	0,84	1,66
50	0,06	0,09	0,19	0,68	1,08	2,21	0,46	0,72	1,48
55	0,05	0,08	0,17	0,58	0,94	1,97	0,39	0,62	1,32
60	0,04	0,07	0,15	0,50	0,81	1,77	0,33	0,54	1,18
65	0,04	0,06	0,14	0,43	0,71	1,59	0,29	0,47	1,06
70	0,03	0,05	0,13	0,37	0,62	1,43	0,25	0,41	0,95
75	0,03	0,05	0,11	0,32	0,54	1,29	0,21	0,36	0,86
80	0,02	0,04	0,10	0,28	0,48	1,17	0,18	0,32	0,78
85	0,02	0,04	0,09	0,24	0,42	1,06	0,16	0,28	0,71
90	0,02	0,03	0,08	0,21	0,37	0,96	0,14	0,25	0,64
95	0,02	0,03	0,08	0,18	0,33	0,88	0,12	0,22	0,59
100	0,01	0,03	0,07	0,16	0,29	0,80	0,11	0,19	0,53
105	0,01	0,02	0,06	0,14	0,25	0,73	0,09	0,17	0,49
110	0,01	0,02	0,06	0,12	0,23	0,67	0,08	0,15	0,45
115	0,01	0,02	0,05	0,11	0,20	0,61	0,07	0,13	0,41
120	0,01	0,02	0,05	0,09	0,18	0,56	0,06	0,12	0,37
125	0,01	0,01	0,04	0,08	0,16	0,51	0,05	0,11	0,34

VI. Gleisstopfmaschine

Gerät	I	I	I
Entfernung Quelle - IO in m	$v_{i,Boden}$ in mm/s	$v_{i,Fundament}$ in mm/s	$v_{x,y,OG}$ in mm/s
5	3,01	1,51	2,26
6	2,58	1,29	1,94
7	2,26	1,13	1,69
8	2,01	1,01	1,51
9	1,81	0,91	1,36
10	1,65	0,82	1,24
11	1,51	0,76	1,13
12	1,40	0,70	1,05
13	1,30	0,65	0,97
14	1,21	0,61	0,91
15	1,14	0,57	0,85
16	1,07	0,53	0,80
17	1,01	0,50	0,76
18	0,95	0,48	0,71
19	0,90	0,45	0,68
20	0,86	0,43	0,64
21	0,82	0,41	0,61
22	0,78	0,39	0,59
23	0,75	0,37	0,56
24	0,71	0,36	0,54
25	0,68	0,34	0,51
26	0,66	0,33	0,49
27	0,63	0,32	0,47
28	0,61	0,30	0,46
29	0,58	0,29	0,44
30	0,56	0,28	0,42
35	0,47	0,24	0,36
40	0,41	0,20	0,30
45	0,35	0,18	0,26
50	0,31	0,15	0,23
55	0,27	0,14	0,20
60	0,24	0,12	0,18
65	0,22	0,11	0,16
70	0,19	0,10	0,15
75	0,17	0,09	0,13
80	0,16	0,08	0,12
85	0,14	0,07	0,11
90	0,13	0,07	0,10
95	0,12	0,06	0,09
100	0,11	0,05	0,08
105	0,10	0,05	0,07
110	0,09	0,05	0,07
115	0,08	0,04	0,06
120	0,08	0,04	0,06
125	0,07	0,04	0,05

Gerät	l	l	l
Entfernung Quelle - IO in m	$v_{z,Decke}$ in mm/s keine Anregung in Resonanz	$v_{z,Decke}$ in mm/s Holzbalkendecke	$v_{z,Decke}$ in mm/ Stahlbetondecke
5	2,26	22,61	15,07
6	1,94	19,35	12,90
7	1,69	16,94	11,29
8	1,51	15,08	10,05
9	1,36	13,59	9,06
10	1,24	12,37	8,24
11	1,13	11,35	7,56
12	1,05	10,48	6,99
13	0,97	9,74	6,49
14	0,91	9,09	6,06
15	0,85	8,51	5,68
16	0,80	8,01	5,34
17	0,76	7,55	5,04
18	0,71	7,15	4,76
19	0,68	6,78	4,52
20	0,64	6,44	4,29
21	0,61	6,13	4,09
22	0,59	5,85	3,90
23	0,56	5,59	3,73
24	0,54	5,35	3,57
25	0,51	5,13	3,42
26	0,49	4,92	3,28
27	0,47	4,73	3,15
28	0,46	4,55	3,03
29	0,44	4,38	2,92
30	0,42	4,22	2,82
35	0,36	3,56	2,37
40	0,30	3,04	2,03
45	0,26	2,64	1,76
50	0,23	2,31	1,54
55	0,20	2,04	1,36
60	0,18	1,81	1,21
65	0,16	1,62	1,08
70	0,15	1,45	0,97
75	0,13	1,31	0,87
80	0,12	1,18	0,79
85	0,11	1,07	0,71
90	0,10	0,98	0,65
95	0,09	0,89	0,59
100	0,08	0,81	0,54
105	0,07	0,74	0,50
110	0,07	0,68	0,46
115	0,06	0,63	0,42
120	0,06	0,58	0,39
125	0,05	0,53	0,36

Gerät	I	I	I
Entfernung Quelle - IO in m	KB _{Fmax} keine Anregung in Resonanz	KB _{Fmax} Holzbalkendecke	KB _{Fmax} Stahlbetondecke
5	1,11	12,63	8,42
6	0,95	10,81	7,21
7	0,83	9,46	6,31
8	0,74	8,42	5,61
9	0,66	7,59	5,06
10	0,60	6,91	4,61
11	0,55	6,34	4,23
12	0,51	5,85	3,90
13	0,48	5,44	3,63
14	0,44	5,08	3,38
15	0,42	4,76	3,17
16	0,39	4,47	2,98
17	0,37	4,22	2,81
18	0,35	3,99	2,66
19	0,33	3,79	2,52
20	0,31	3,60	2,40
21	0,30	3,43	2,28
22	0,29	3,27	2,18
23	0,27	3,12	2,08
24	0,26	2,99	1,99
25	0,25	2,87	1,91
26	0,24	2,75	1,83
27	0,23	2,64	1,76
28	0,22	2,54	1,69
29	0,21	2,45	1,63
30	0,21	2,36	1,57
35	0,17	1,99	1,32
40	0,15	1,70	1,13
45	0,13	1,47	0,98
50	0,11	1,29	0,86
55	0,10	1,14	0,76
60	0,09	1,01	0,67
65	0,08	0,90	0,60
70	0,07	0,81	0,54
75	0,06	0,73	0,49
80	0,06	0,66	0,44
85	0,05	0,60	0,40
90	0,05	0,54	0,36
95	0,04	0,50	0,33
100	0,04	0,45	0,30
105	0,04	0,42	0,28
110	0,03	0,38	0,25
115	0,03	0,35	0,23
120	0,03	0,32	0,22
125	0,03	0,30	0,20