

Untersuchungsbericht

über

die überschlägig zu erwartenden Erschütterungsbelastungen infolge von Bautätigkeiten zur Herstellung eines Hochwasserschutzes im Bereich „Herzberg“ (Elster)

Projekt	Hochwasserschutz Herzberg (Elster)
---------	------------------------------------

Bauherr	Landesamt für Umwelt Brandenburg Potsdam
---------	---

Auftraggeber	Planungsgesellschaft Scholz + Lewis mbH Dresden
--------------	--

In der Fassung vom: 30.11.2021

Der Bericht umfasst inkl. Anlagen 51 Seiten

Eine Veröffentlichung dieses Berichtes -auch auszugsweise- bedarf unserer vorherigen Zustimmung.



Ziel der Untersuchungen

Es galt, im Rahmen des Projektes „Hochwasserschutz Herzberg (Elster)“ die zu erwartenden Erschütterungsbelastungen von den Bautätigkeiten nahe gelegenen Gebäuden infolge der Bautätigkeiten zur Herstellung dieses Hochwasserschutzes rechnerisch überschlägig zu prognostizieren.

Projektverantwortlich

Projektverantwortlicher

Dipl.-Ing. Arne Wulkau

Inhalt

1	Aufgabenstellung und Übersicht.....	5
2	Hauptbautätigkeiten.....	6
2.1	Übersicht der Maßnahme	6
2.2	Erschütterungsrelevante Bautätigkeiten - Übersicht	7
2.3	Typische Baugeräte	7
2.4	Minimale Entfernungen der umliegenden Gebäude zu den Bautätigkeiten.....	7
3	Verwendete Unterlagen / Grundlagen	8
4	Vorbemerkungen.....	9
5	Allgemeine Rechenverfahren / Annahmen der Prognoserechnung.....	10
5.1	Ausbreitung von Schwingungen.....	10
5.2	Fundamentalschwingungen direkte Prognose	13
5.3	Prognose der Baugrundschiebungen.....	14
5.4	Übertragung auf das Bauwerk und innerhalb des Bauwerks	14
6	Grundlagen für die Beurteilung der Erschütterungen aus Bautätigkeiten.....	16
6.1	Grundlagen für die Beurteilung der Gebäude- bzw. Bauwerksbelastung – DIN 4150 Teil III.....	16
6.2	Beurteilungsgrundlagen Erschütterungseinwirkung auf den Boden	18
6.3	Erschütterungseinwirkung in Bezug auf den Menschen (Wohlbefinden) – DIN 4150 Teil II.....	20
7	Hochrechnung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen - Gebäudebelastung	24
7.1	Baggerarbeiten, allgemeine Erdbauarbeiten.....	24
7.2	Einsatz von Planiertraupen / von Fahrzeugen mit Kettenfahrwerk.....	24
7.3	Einsatz von Radladern	24
7.4	LKW-Verkehr auf Baustraßen	24
7.5	Pressarbeiten	25
7.6	Verdichtungsarbeiten im Vibrationsverfahren (Walzen und Plattenverdichter).....	25
7.7	Rüttelarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen	28
8	Hochrechnung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen - Menschenbelastung	30
8.1	Verdichtungsarbeiten mit Vibrationswalze	30
8.2	Verdichtungsarbeiten mit Plattenverdichter	31
8.3	Rüttelarbeiten Spundbohlen	31
9	Beurteilung der prognostizierten Erschütterungsimmissionen.....	32
9.1	Beurteilung der Gebäudebelastung.....	32
9.2	Beurteilung der Menschenbelastung (KB-Werte).....	34
10	Schlussbetrachtung	36
10.1	Betrachtung der Gebäudebelastungen.....	37
10.2	Betrachtung der Erschütterungsbelastung von Menschen in Gebäude (Wohlbefinden)	39
10.3	Setzungen durch Nachverdichtung des Baugrundes:	39

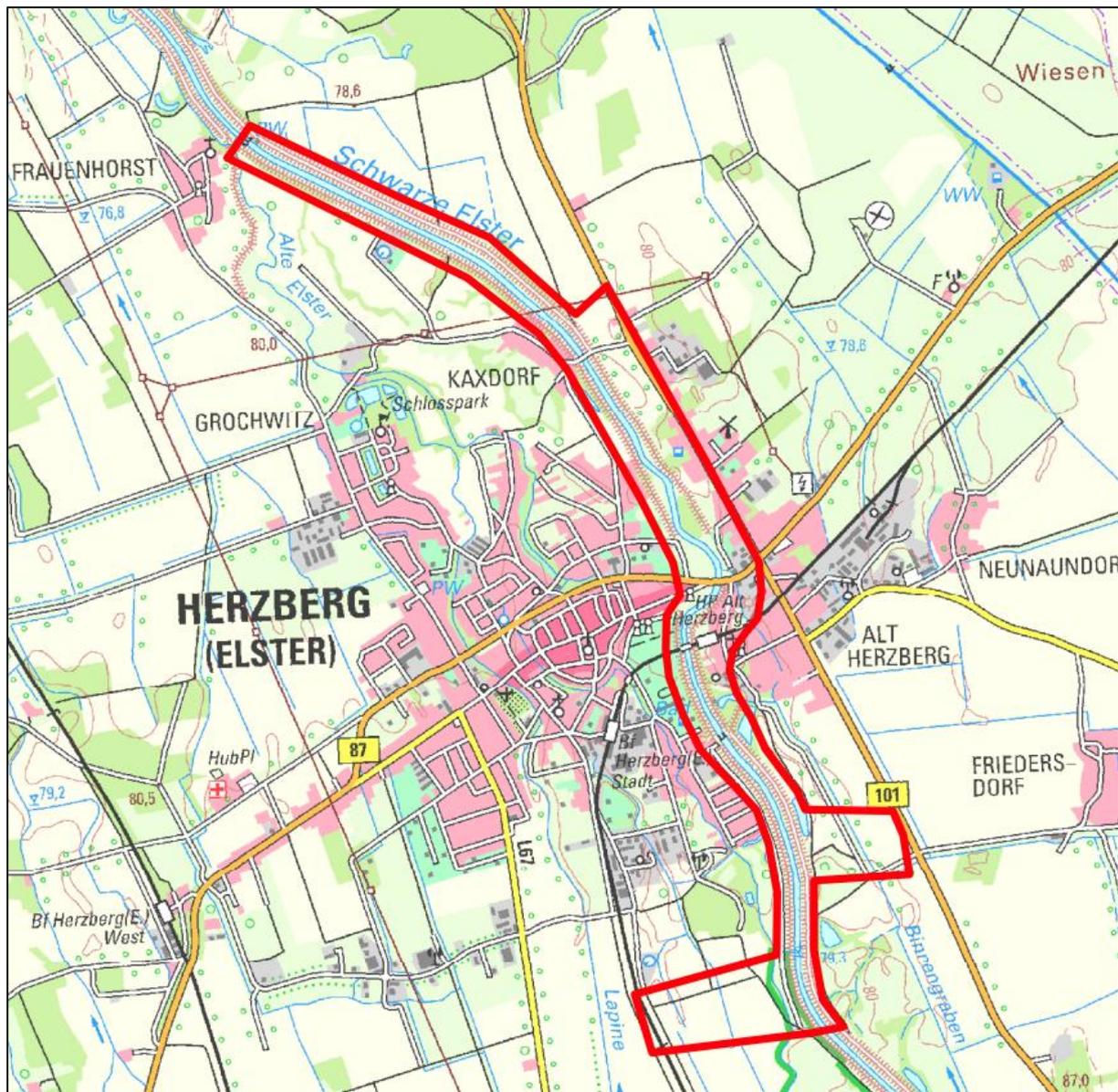
Anlagenverzeichnis

1	Prognostizierte Gebäudeerschütterungen in Abhängigkeit des Schwingerregers	42
1.1	Vibrationswalzen.....	42
1.1.1	Vibromax VM 106 D.....	42
1.1.2	Vibromax VM 146 D.....	43
1.1.3	Vibromax VM 188 D.....	44
1.1.4	Ammann ARS 70.....	45
1.2	Plattenverdichter.....	46
1.2.1	Ammann AVH 5030.....	46
1.2.2	Ammann AVH 7010.....	47
1.2.3	Ammann APH 119-95.....	48
1.3	Vibrationsbären.....	49
1.3.1	ABI HVR 30.....	49
1.3.2	MÜLLER MS-5 HFBV 3.....	50
1.3.3	ABI MRZV 16VV.....	51

1 Aufgabenstellung und Übersicht

Im Rahmen des Projektes „Hochwasserschutz Herzberg (Elster)“ sollen umfangreiche Bautätigkeiten zur Herstellung eines Hochwasserschutzes im Bereich der Gemeinde „Herzberg (Elster)“ durchgeführt werden. Hierfür galt es, die Erschütterungsbelastungen für nahe gelegene Gebäude im Nahbereich zu den Bautätigkeiten näherungsweise zu prognostizieren. Des Weiteren galt es, die zu erwartenden Erschütterungsbelastungen in Bezug auf den Menschen (Wohlbefinden) ebenfalls überschlägig zu ermitteln.

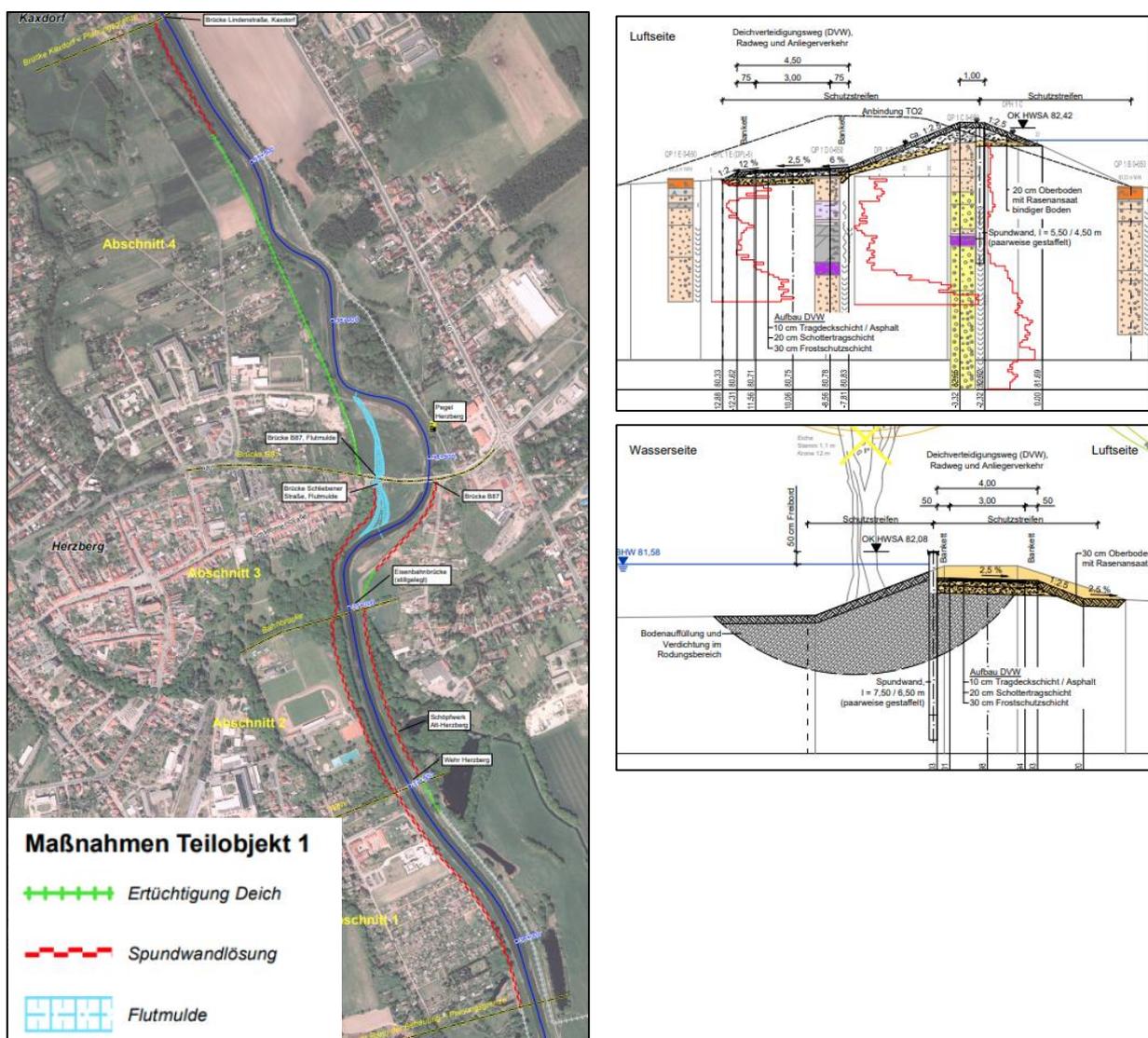
Übersicht –Lage der Baumaßnahme



2 Hauptbautätigkeiten

2.1 Übersicht der Maßnahme

Die Hochwasserschutzmaßnahme gliedert sich in insgesamt 4 Abschnitte. Die baulichen Maßnahmen innerhalb dieser 4 Abschnitte unterscheiden sich im Wesentlichen in der Gestaltung des Deichkörpers mit oder ohne Spundwand als Schutz- bzw. Dichtungselement innerhalb des Deichquerschnitts. In der linken Abbildung ist der derzeitige Planungsstand der HWS-Maßnahme dargestellt. Hier sind die unterschiedlichen Bereiche der jeweiligen Deichkörperausbildung (mit bzw. ohne Spundwand) ersichtlich. Rechts sind zwei exemplarische Deichquerschnitte mit Spundwand dargestellt.



Allen Abschnitten gemein sind die Erhöhung der Deichkörper sowie die Anlage von Deichverteidigungswegen.

2.2 Erschütterungsrelevante Bautätigkeiten - Übersicht

Im Rahmen des Gesamtbauvorhabens sind -in erster Abschätzung- die folgenden Arbeitsschritte als erschütterungsrelevant anzusehen:

1. **Einbringen von Spundwandprofilen im Vibrationsverfahren (sowie im Pressverfahren)**
2. **Allgemeine Erdbauarbeiten**
3. **Verdichtungsarbeiten im Bereich des Deichkörpers**
4. **Verdichtungsarbeiten im Zuge des Wegebau / Deichverteidigungswege**

2.3 Typische Baugeräte

Als Baugeräte sind hierbei folgende Maschinen typisch und werden hier im ersten Ansatz betrachtet:

1. **Bagger**
2. **Planierdraupe**
3. **Radlader**
4. **Vibrationswalzen**
5. **Vibrationsplatten**
6. **Vibrationsbär**
7. **Spundwandpresse**

2.4 Minimale Entfernungen der umliegenden Gebäude zu den Bautätigkeiten

Der überwiegende Teil der Arbeiten wird in großen Entfernungen zur Bestandsbebauung durchgeführt. In Teilbereichen ergeben sich jedoch teilweise nur geringe Abstände. Die minimalen Entfernungen der bebauten Bereiche (Wohngebäude) wurden grob aus den Planunterlagen abgegriffen und sind in der folgenden Tabelle dargestellt. **Gemäß Information wurde bereits jetzt für Gebiete im unmittelbaren Nahbereich (hier insbesondere der nördliche Bereich der Mühlenstraße im Abschnitt 3) festgelegt, dass hier Verdichtungsarbeiten ohne Vibration (statisch) ausgeführt werden sollen und das Einbringen der Spundbohlen hier bzw. im Nahbereich zu Gebäuden nicht im Rüttel- sondern im erschütterungsarmen Pressverfahren erfolgen soll. Der Fokus der folgenden Betrachtungen liegt demnach insbesondere auf den übrigen Bereichen mit Abständen von ca. 20 bzw. 25 m, es wurden jedoch auch Berechnungen für geringere Entfernungen durchgeführt, um hieraus resultierend mögliche Bereiche mit erschütterungsarmen Bautätigkeiten abzugrenzen.**

Gebäude / Abschnitt	Minimale Entfernungen (ca.)	
	Arbeiten im Bereich des Deichkörpers bzw. im Bereich der Deichverteidigungswege	Arbeiten zum Einbringen von Spundwandprofilen
Badstraße 29 / Abschnitt 1	20 m	25 m
Schliebener Straße / Abschnitt 3	20 m	25 m
Mühlenstraße / Abschnitt 3	< 5 m	7 m
Lindenstraße / Abschnitt 4	20 m	25 m

3 Verwendete Unterlagen / Grundlagen

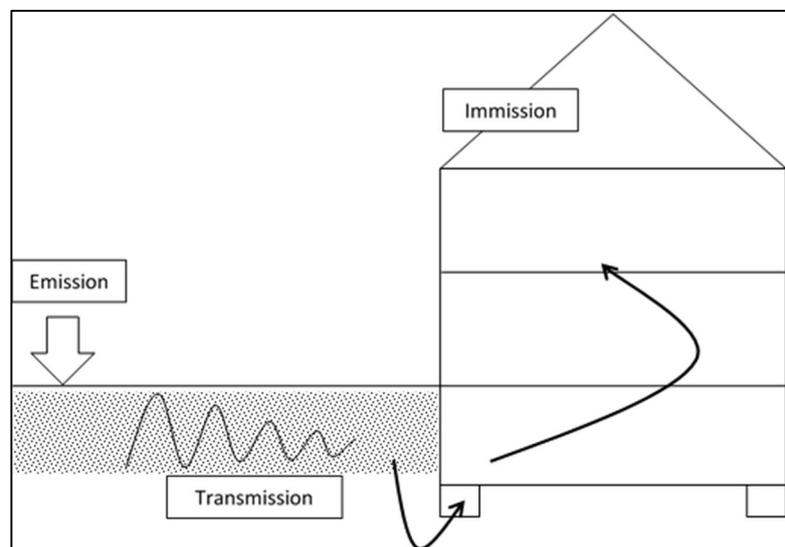
- [1] DIN 4150 Teil 1: Erschütterungen im Bauwesen – Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- [2] DIN 4150 Teil 2: Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [3] DIN 4150 Teil 3: Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Dezember 2016
- [4] VDI 2038 Blatt 1: 2012-06: Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen – Methoden, Vorgehensweisen und Einwirkungen
- [5] VDI 2038 Blatt 2: 2013-01: Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen – Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik
- [6] Statistische Auswertung von Erschütterungsemissionen – Abschlussbericht (Bundesanstalt für Wasserbau (2015)
- [7] Achmus, M.; Kaiser, J, Tom Wörden, F: Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten, Grundlagen – Messergebnisse – Prognosen. Mitteilungsreihe Heft 61. Hannover: Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau, Universität Hannover, 2005
- [8] Wheeler, A.B.S.: The attenuation of ground vibrations caused by vibratory rollers. M.Sc. thesis. University of Durham, UK, 1990
- [9] Wieck, J.: Erschütterungen im Bauwesen. In: Grundbau Taschenbuch Teil 2, Kap. 2.7. 5. Auflage
- [10] diverse Unterlagen zur geplanten Bauausführung

4 Vorbemerkungen

Bei Bautätigkeiten entstehen dynamische Kräfte, die von der Baumaschine auf den Untergrund einwirken. Durch diese dynamischen Kräfte werden Erschütterungen emittiert (Emission), welche sich über den Baugrund ausbreiten (Transmission) und -in Abhängigkeit der Baugrundbeschaffenheit- mit zunehmendem Abstand von der Baumaschine vermindern. Gebäude, welche sich im Einflussbereich dieser Erschütterungen befinden, werden hierbei am Fundament angeregt. Die Schwingungen breiten sich im Gebäude aus und können sich -in Abhängigkeit der Gebäudekonstruktion- verstärken oder auch abschwächen. Ab einer bestimmten Größenordnung können diese Erschütterungen auch durch den Menschen in Form von Vibrationen wahrgenommen werden.

Die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen infolge unterschiedlicher Bautätigkeiten sind ohne vorangegangene Messungen unmittelbar an den betroffenen Objekten nur indirekt mit einer gewissen einschätzbaren Streubreite vorhersagbar. An jeder Baustelle liegen unterschiedliche Boden- bzw. Baugrundverhältnisse vor, welche die Erschütterungsweiterleitung (Transmission) von der Quelle der Erschütterungen (Emission) bis hin zum betroffenen Bauwerk stark beeinflussen. Das Erschütterungsverhalten des Gebäudes selbst (Immission) wird maßgeblich bestimmt durch die Gründung, die Steifheit der Konstruktion, die Deckenspannweiten und Materialien etc..

Schematische Darstellung der prinzipiellen Erschütterungsübertragung



5 Allgemeine Rechenverfahren / Annahmen der Prognoserechnung

5.1 Ausbreitung von Schwingungen

Erschütterungen bei Baumaßnahmen werden im Boden durch Krafterwirkungen auf seine Oberfläche und/oder im Inneren hervorgerufen. Durch die Krafterwirkungen breiten sich Raumwellen (Kompressions- und Scherwellen, bezeichnet auch als P- und S-Wellen) im Boden aus, die im Nahbereich (Nahfeld) dominierend sind. Wenn die P- und S-Wellen die Bodenoberfläche erreichen, wird ein größerer Teil ihrer Energie in Oberflächenwellen (Rayleigh- oder R-Wellen genannt) umgewandelt und ein kleinerer Teil wird in den Boden zurück reflektiert. Die R-Wellen haben sowohl vertikale als auch horizontale Bewegungskomponenten und breiten sich nahe der Bodenoberfläche aus (Fernfeld). Die an der freien Bodenoberfläche auftretenden Schwingungen werden als Freifeldschwingungen bezeichnet.

Durch geometrische Dämpfung und Materialdämpfung nehmen die Freifeldschwingungen in der Regel mit zunehmender Entfernung von der Quelle ab. Da die geometrische Dämpfung der R-Wellen durch die oberflächennahe Ausbreitung geringer ist als die Dämpfung der Raumwellen (P- und S-Wellen), sind im Fernfeld die R-Wellen dominierend. Nach DIN 4150-1 (2001) beginnt der Fernbereich bei der Entfernung R_F ab Mitte der Quelle bei:

$$R_F = a/2 + \lambda_r$$

mit:

a = Länge der Erschütterungsquelle parallel zur Ausbreitungsrichtung in [m]

λ_r = Wellenlänge Oberflächenwelle in [m]

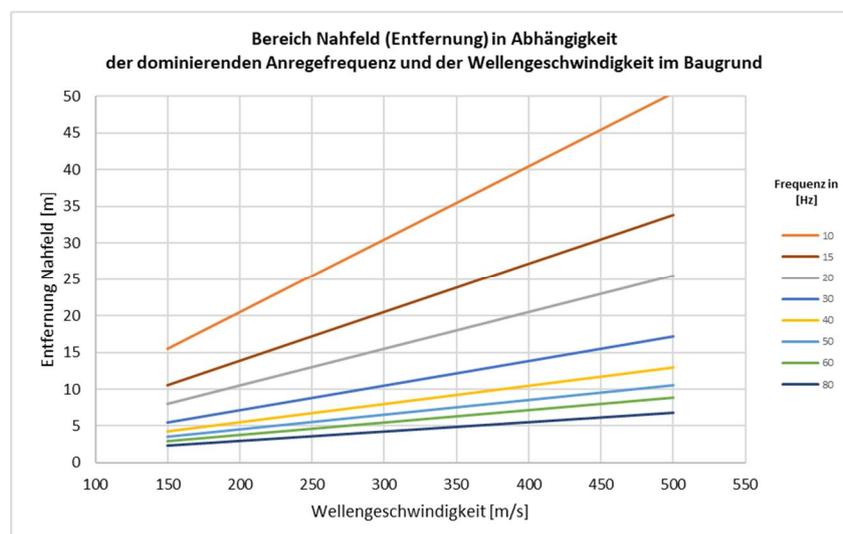
Die Wellenlänge der maßgebenden Oberflächenwelle λ_r ergibt sich hierbei mit

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

mit

c = Ausbreitungsgeschwindigkeit der betrachteten Welle in [m/s]

f = Frequenz der maßgebenden Schwingungsanregung in [Hz]



Bei Erschütterungsquellen in Oberflächennähe erfolgt die Ausbreitung der Schwingungen vorwiegend an der Erdoberfläche. Die Ausbreitung der P-, S- und R-Wellen im Fernfeld ($R > R_F$) lässt sich näherungsweise beschreiben mit Hilfe der Beziehung (DIN 4150-1, 2001):

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

mit:

v - Amplitude der Schwinggeschwindigkeit in der Entfernung R

v_1 - Amplitude der Schwinggeschwindigkeit in der Entfernung R_1

n - Koeffizient der geometrischen Dämpfung, der von der Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung abhängt

α - Koeffizient der Materialdämpfung in m^{-1} , $\alpha = 2 \pi D / \lambda$

D - Dämpfungsgrad des Bodens

λ - Wellenlänge der maßgebenden Schwingungen in m, $\lambda = c / f$

c_i - Ausbreitungsgeschwindigkeit der betrachteten Welle in m/s ($i = p, s, r$)

f - Frequenz der maßgebenden Schwingungen in Hz

Der Koeffizient der geometrischen Dämpfung n hängt vom geometrischen und zeitlichen Quellentyp sowie von der Wellenart ab (s. Tabelle unten). Für impulsförmige Quellen ist die Dispersion der Wellenausbreitung im Boden berücksichtigt.

Koeffizient der geometrischen Dämpfung (DIN 4150-1, 2001)

Wellenart	Geometrie der Quelle	Zeitlicher Verlauf	n
Oberflächenwelle	Punktquelle	harmonisch/stationär	0,5
		impulsförmig	1
	Linienquelle	harmonisch/stationär	0
		impulsförmig	0,5
Raumwellen	Punktquelle	harmonisch/stationär	1
		impulsförmig	1,5
	Linienquelle	harmonisch/stationär	0,5
		impulsförmig	1

Die Scherwellengeschwindigkeit c_s und der Dämpfungsgrad D werden von der Dehnungsamplitude der Scherwellen $\gamma = v / c_s$ geringfügig im Bereich $3 \cdot 10^{-6} \leq \gamma \leq 5 \cdot 10^{-5}$ und maßgeblich oberhalb $\gamma > 5 \cdot 10^{-5}$ beeinflusst (Vucetic, 1994). Die Dämpfung D erhöht sich mit zunehmender Dehnungsamplitude. Bei sehr kleinen Dehnungen $\gamma < 3 \cdot 10^{-6}$ liegt der Dämpfungsgrad im Bereich $0,02 \leq D \leq 0,06$. Für gemischtkörnige Böden lässt sich bei sehr kleinen Dehnungen $\gamma \leq 3 \cdot 10^{-6}$ die Scherwellengeschwindigkeit abschätzen mit Hilfe der Beziehung (Vrettos, 2009):

$$c_s \approx \left[120 + \left(\frac{420 U}{U + 1} - 120 \right) I_D \right] \left[\frac{\sigma_v \sigma_h}{P_a^2} \right]^{0,125}$$

mit:

c_s - Scherwellengeschwindigkeit in m/s

U - Ungleichförmigkeitsgrad des Bodens

I_D - bezogene Lagerungsdichte

σ_v - effektive Vertikalspannung

σ_h - effektive Horizontalspannung

P_a - Bezugsspannung $P_a = 100$ kPa

Vereinfacht kann dies auf folgende Beziehung zurückgeführt werden:

$$c_s \approx \sqrt{\frac{G_d}{\rho}}$$

mit

$$G_d = \frac{1-2\nu}{(1-\nu)} E_{s,d} \text{ (dynamischer Schubmodul)}$$

ρ = Dichte des Bodens

Die Geschwindigkeit der Oberflächenwelle (c_r) ist etwas kleiner als die Scherwellengeschwindigkeit (c_s). Näherungsweise ist c_r eine Funktion der Poissonzahl ν (Vrettos, 2009):

$$c_r \approx c_s \frac{0,862 + 1,14 \nu}{1 + \nu}$$

oder vereinfacht

$$c_r \approx 0,9 c_s$$

Die Geschwindigkeit der Kompressionswelle (c_p) ist wesentlich größer als die Scherwellengeschwindigkeit (c_s), es gilt:

$$c_p \approx c_s \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{(1-2\nu)}}$$

oder vereinfacht

$$c_p \approx 2,1 c_s$$

5.2 Fundamentalschwingungen direkte Prognose

Bei Erschütterungsprognosen liegt im Allgemeinen kein Referenzwert $v(R_1)$ vor. Ersatzweise kann näherungsweise folgende Gleichung verwendet werden:

$$v(r) = K \frac{\sqrt{E}}{r^n}$$

Der Koeffizient n beschreibt hier wiederum die geometrische Dämpfung, die Konstante K hängt von der Bodenart, der Art der Erschütterungsanregung sowie speziell bei Rammarbeiten vom Rammgut ab.

Die tatsächlich als Erschütterungswelle emittierte Energie ist bei Vibrationsverdichtungsgeräten nur bedingt abschätzbar. Daher wurde stattdessen das Walzengewicht G (bzw. das Gewicht des Verdichtungsgeräts) in t als repräsentativer Parameter für den Energieeintrag verwendet. Hieraus ergibt sich die folgende Prognosegleichung für die Abschätzung von maximalen Fundamentalschwingungen, welche sowohl für Vibrationswalzen als auch für Rüttelplatten Anwendung findet:

$$v_F(r) = K_F \frac{\sqrt{G}}{r}$$

Unterschieden wird hier über die Faktoren K_F zwischen den Wahrscheinlichkeiten des Auftretens, also eines wahrscheinlichen mittleren Wertes sowie eines ungünstigen Wertes. In der folgenden Tabelle wurden die jeweiligen Prognosegleichungen mit den entsprechenden Faktoren nach Achmus et al. (2005) bzw. nach Wieck (2004) zusammengefasst:

		Wahrscheinlicher Wert (50 % Überschreitungswahrscheinlichkeit	ungünstiger Wert (2,25 % Überschreitungswahrscheinlichkeit
Verdichtung	Vibrationsplatte	$v_{i,max}^F = 4,31 \frac{\sqrt{G}}{r}$	$v_{i,max}^F = 10,87 \frac{\sqrt{G}}{r}$
	Vibrationswalze		
E bzw. W/f in kNm , r in m , G in t , v in mm/s			

5.3 Prognose der Baugrundschrwingungen

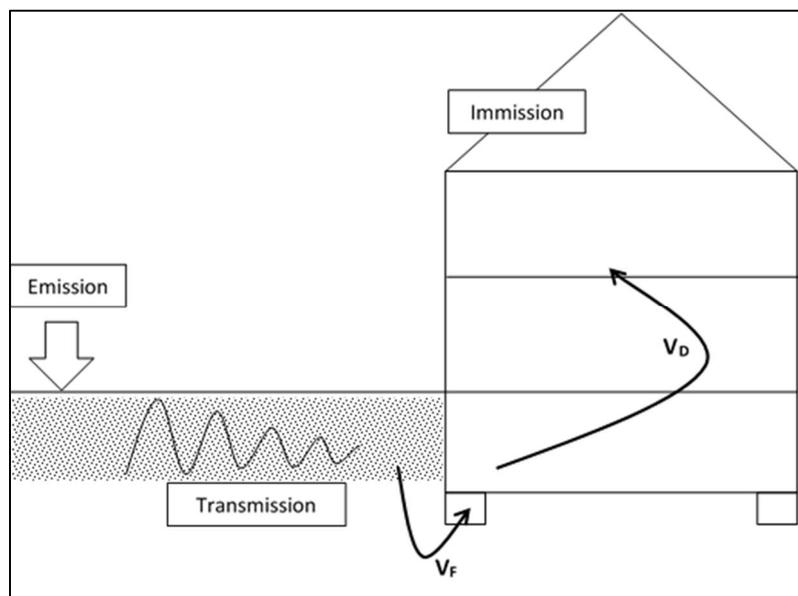
Für die überschlägige Prognose der resultierenden Baugrundschrwingungen in einer Entfernung x zum Schwingerreger können die Gleichungen gemäß folgender Tabelle herangezogen werden. Diese leiten sich aus der entsprechenden Fachliteratur (u.A. Achmus et al. (2005) her.

Tabelle Prognosegleichungen für die resultierende Bodenschwingungsgeschwindigkeit

Verdichtung	Vibrationsplatte	$v_R^B = K \frac{\sqrt{E}}{r}$ mit $K = 100, E = W/f$
	Vibrationswalze	
E in kNm , r in m , v in mm/s		

5.4 Übertragung auf das Bauwerk und innerhalb des Bauwerks

Übertragungsfaktoren



5.4.1 Übertragung Baugrund – Fundament v_F

Erschütterungen werden beim Übergang vom Boden auf das Fundament des Bauwerks durch verschiedene Einflussfaktoren wie die Elastizität des Baugrundes, die Gebäudemasse, die Gebäudegeometrie (Ausmittelungseffekte in Abhängigkeit der Abmessung des Grundrisses im Verhältnis zur relevanten Wellenlänge) verändert.

Typische Boden-Bauwerks-Eigenfrequenzen werden in der Literatur wie folgt als Anhalt angegeben:

- 1 bis 2-geschossige Gebäude = 15 Hz
- 2 bis 6-geschossige Gebäude = 8 – 16 Hz
- Bauwerke mit mehr als 6 Geschossen < 8 Hz

Bei einer Anregung mit Anregefrequenzen oberhalb der Boden-Bauwerks-Eigenfrequenz kann nach DIN 4150 Teil 1 ein mittlerer Übertragungsfaktor Boden-Bauwerksfundament von 0,5 angesetzt werden.

5.4.2 Übertragung im Gebäude V_D

Bei der Übertragung der Erschütterungen innerhalb des Gebäudes sind insbesondere die vertikalen Schwingungskomponenten von Bedeutung. In Stockwerksdeckenmitten können sich -bei Anregung im Bereich der Eigenfrequenz der Decke- deutliche Vergrößerungen der Schwingungsamplituden einstellen. Diese Übertragungsfaktoren ergeben sich überwiegend anhand der Untersuchungen nach Funk.

Typische Eigenfrequenzen von Decken:

- Holzbalkendecken zwischen 8 und 15 Hz, meist 9 - 12 Hz
- Stahlbetondecken im Wohnungsbau zwischen 15 und 35 Hz, meist 20 - 25 Hz
- Weitgespannte Stahlbetondecken im Industriebau zwischen 5 und 15 Hz, meist 7 - 10 Hz

Tabellarische Zusammenfassung der vertikalen Übertragungsfaktoren $V_{D(OG)}$ und V_D

Übertragung		Faktor	
Übergang Fundament - Deckenebene		$V_{D(OG)}$	0,5 - 2
Übergang Fundament - Geschossdecke	Harmonische Anregung bei voller Resonanzanregung	V_D	10 / 15*)
	Harmonische Anregung, aber keine Resonanzanregung (Anregefrequenz deutlich größer (>5) als Eigenfrequenz)		1,5 - 5
	Impulsförmige Anregung		3

*) Stahlbetondecken / Holzbalkendecken

6 Grundlagen für die Beurteilung der Erschütterungen aus Bautätigkeiten

6.1 Grundlagen für die Beurteilung der Gebäude- bzw. Bauwerksbelastung – DIN 4150 Teil III

Zur Betrachtung von Bauwerksbelastungen ist derzeit die in der DIN 4150, Teil 3, vom Dezember 2016, aufgeführte Schwinggeschwindigkeit v_i herzuführen. v_i ist der maximale in den drei Ebenen (x, y und z) gemessene Scheitelwert. Es gelten dort Anhaltswerte für Erschütterungen, bis zu denen Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes nach bisherigen Erfahrungen nicht zu erwarten sind.

Die DIN unterscheidet zwei unterschiedliche Erschütterungsanregungen, welche hier wie folgt definiert sind:

- **Kurzzeitige Erschütterungen:**

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:**

Alle Erschütterungen, auf die die Definition der kurzzeitigen Erschütterungen nicht zutrifft

Erschütterungsspitzen, welche ggf. beim Anlauf oder auch Ablauf von Vibrationsbären, Vibrationswalzen oder auch Plattenverdichtern auftreten können, sind gemäß der DIN aufgrund des nur kurzzeitigen Auftretens nicht als Dauererschütterung sondern als kurzzeitige Ereignisse zu bewerten, also nach Tabelle 1 „Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke“.

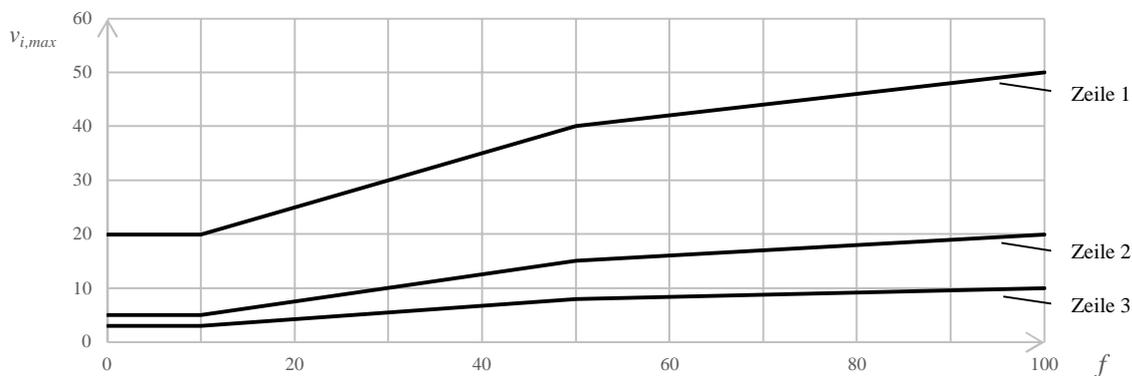
6.1.1 Anhaltswerte Kurzzeitige Erschütterungen

Tabelle 1 - Anhaltswerte für $v_{i,max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Gebäude

Spalte Zeile	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 - 10 Hz	10 Hz - 50 Hz	50 Hz - 100 Hz ^a	alle Frequenzen	alle Frequenzen
	1	2	3	4	5	6
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 Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind.	3	3 bis 8	8 bis 10	8	20 ^b

Anmerkung: Auch bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 1, Spalten 2 bis 5 können leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden.
a Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.
b Unterabschnitt 5.1.2 Absatz 2 ist zu beachten.

Bild 1 - Graphische Darstellung der Fundament-Anhaltswerte von Tabelle 1



6.1.2 Anhaltswerte Dauererschütterungen:

Tabelle 4- Anhaltswerte für $v_{i,max}$ zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Gebäude

Spalte Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für $v_{i,max}$ in mm/s	
		Oberste Deckenebene, horizontal, alle Frequenzen	Decken, vertikal, 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 Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind.	2,5	10 ^a

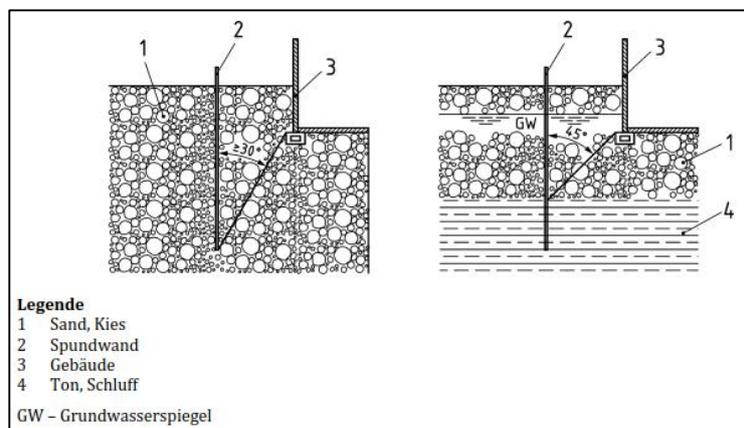
Anmerkung: Auch bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 1, Spalte 2 können leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden.
a Unterabschnitt 6.1.2 ist zu beachten.

6.2 Beurteilungsgrundlagen Erschütterungseinwirkung auf den Boden

6.2.1 DIN 4150 Teil 3

Hinweise auf die Wirkung von Erschütterungen auf Böden werden in der DIN 4150 im Teil 3 gegeben. Hier heißt es, dass Sackungen in nicht bindigen Böden u.a. bei Verwendung von Vibrationsrammen zum Einbringen von Rammgut in deren Nahbereich hervorgerufen werden können. Die DIN gibt hierbei Empfehlungen für den Abstand der Arbeiten zu Gebäuden bzw. den Gebäudefundamenten.

Es sollte hiernach ein Winkel zwischen der Erschütterungsquelle und dem Gebäudefundament von mindestens 30° zur Vertikalen eingehalten werden. Bei Arbeiten im Grundwasser sollte dieser Winkel auf bis zu 45° und mehr vergrößert werden. Dies ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Bei dem Einsatz von Schlagrammen (z.B. Dieselramme, pneumatische Ramme) ist gemäß DIN 4250 die Gefahr von Sackungen dieser Art erheblich geringer.

Weiterhin heißt es, dass auch in größerer Entfernung von Erschütterungsquellen schwingungsinduzierte Fundamentverschiebungen bereits bei Erschütterungsstärken auftreten können, bei denen keine Gebäudeschäden aus direkter Schwingungsbeanspruchung zu erwarten sind. Voraussetzung dafür sind allerdings ein sehr erschütterungsempfindlicher Boden (locker gelagerter, gleichförmiger Sand oder Schluff) und dauernde oder sehr häufig wiederkehrende Erschütterungseinwirkung.

Grundsätzlich ist der Vorgang dynamisch induzierter Sackungen von den lokalen Verhältnissen abhängig bzw. bestimmt.

Eine weitere Auswirkung von Erschütterungen ist die sogenannte Bodenverflüssigung (Liquefaktion), welche im folgenden Kapitel erläutert wird.

6.2.2 Ergänzende Betrachtung der Liquefaktion

Eine Auswirkung von Erschütterungen kann unter anderem auch die Bodenverflüssigung (Liquefaktion) sein. Unter Liquefaktion wird der kurzzeitige, nahezu vollständige Verlust der Tragfähigkeit von Sand- und Schluffschichten insbesondere im Grundwasser durch dynamische Einwirkungen verstanden. Derartige Phänomene treten auch in Bereichen oberhalb des Grundwasserspiegels bei gespannten Böden auf, jedoch sind die Böden hier aufgrund des geringeren Wassersättigungsgrades ggf. weniger erschütterungsempfindlich.

Bodenverflüssigungen sind generell bei feinen und gleichförmigen Sanden stärker zu beobachten als bei ungleichförmigen und groben Sanden. Dies hängt entscheidend von der Lagerungsdichte der Böden ab. Eine Bodenverflüssigung ist umso eher zu erwarten, je lockerer der Sand gelagert ist.

Mit der Intensität und Dauer der Erschütterungseinwirkung nimmt die Gefahr der Verflüssigung zu. In diesem Zusammenhang sind auch die Durchlässigkeit des Sandes und die Entwässerungsbedingungen zu beachten. Bei einer Zunahme der wirksamen Spannungen im Boden nimmt die Gefahr einer Bodenverflüssigung tendenziell ab. Für die Beurteilung der Beeinflussung des Baugrunds durch Erschütterungen werden in der Literatur zwei Grenzwerte aufgeführt:

1. Beschleunigungswert

Eine gravierende Veränderung des Korngefüges bzw. eine Bodenverflüssigung von locker gelagerten Sanden ist nach unseren Erfahrungen und nach Literaturangaben im Allgemeinen bei einer Beschleunigung $< 3,3 \text{ m/s}^2$ ($1/3g$) nicht zu erwarten.

2. Schwinggeschwindigkeitswert

Treten in bindigen oder nichtbindigen Böden große Verzerrungen auf, so verändert sich der Schubmodul und es kann in der Folge zu Setzungen kommen. Bei locker gelagerten Sanden nicht gesättigter Böden kann als Geschwindigkeit der Scherwelle min. 200 m/s angesetzt werden. Die Verzerrungsamplitude sollte hier nicht größer als $5 \cdot 10^{-5}$ werden, damit sich der Schubmodul nicht verändert. Somit ergäbe sich bei einer Scherwellengeschwindigkeit von 200 m/s eine resultierende Schwinggeschwindigkeit im Baugrund von $200 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 10,0 \text{ mm/s}$, bis zu der keine Veränderungen des Schubmoduls zu erwarten sind. Bei mitteldicht gelagerten wassergesättigten Sanden kann mit Scherwellengeschwindigkeiten von $> 300 \text{ m/s}$ gerechnet werden, bei dicht gelagerten wassergesättigten Sanden von $> 400 \text{ m/s}$.

Hieraus gegeben sich resultierende Schwinggeschwindigkeiten im Baugrund von ca. 15 mm/s bei einer angenommenen Scherwellengeschwindigkeit von 300 m/s sowie von ca. 20 mm/s bei einer angenommenen Scherwellengeschwindigkeit von 400 m/s, bis zu denen keine relevante Veränderung des Schubmoduls zu erwarten ist.

Typische Scherwellengeschwindigkeiten werden in der Literatur mit großen Bandbreiten je Bodenklasse angegeben. Die oben jeweils angegebenen Scherwellengeschwindigkeiten beschreiben jeweils den untersten bekannten Literaturwert für die entsprechende Bodenklasse.

6.3 Erschütterungseinwirkung in Bezug auf den Menschen (Wohlbefinden) – DIN 4150 Teil II

6.3.1 Allgemein

Die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen und deren Einwirkung auf Menschen in Gebäuden wird nach der DIN 4150 (Teil 2) und dem Erlass der Länder „Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen“ - kurz „Erschütterungs-Leitlinie“ - vorgenommen. Dieser Erlass dient dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Erschütterungen sowie der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Erschütterungen. Er enthält Beurteilungsmaßstäbe zur Konkretisierung der Anforderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) sowie des Landes-Immissionsschutzgesetzes (LImSchG) zur Abwehr schädlicher Umwelteinwirkungen durch Erschütterungen und zur Vorsorge.

Inhaltlich stimmt die Erschütterungs-Leitlinie mit dem Inhalt der DIN 4150 überein, in der DIN 4150 sind in Ergänzung im Teil 2 auch quellenspezifische Regelungen für eine Beurteilung enthalten.

In der DIN 4150 Teil 2 werden Erschütterungen, welche auf den Menschen einwirken, über das sogenannte KB-Wert-Verfahren beurteilt. Bei den KB-Werten handelt es sich um eine der menschlichen Wahrnehmung angepasste Größe der ermittelten Erschütterungsimmissionen. Die Anpassung erfolgt mittels einer Frequenzbewertung des unbewerteten Erschütterungssignals, prinzipiell vergleichbar mit der A-Bewertung bei Luftschall.

In der ehemaligen VDI-Richtlinie 2057 „Einwirkungen mechanischer Schwingungen auf den Menschen“ werden die Zusammenhänge zwischen der bewerteten Schwingstärke und der subjektiven Wahrnehmung wie folgt angegeben:

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Schwingstärke und Wahrnehmung

KB-Werte	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

6.3.2 Beurteilung der Erschütterungsimmissionen

Die Beurteilung von Erschütterungen in Bezug auf den Menschen im Gebäude erfolgt nach der DIN 4150, Teil 2: „Erschütterungseinwirkung auf Menschen in Gebäuden“. Grundsätzlich werden bei der Betrachtung der Erschütterungseinwirkung von Menschen in Gebäuden (Kriterien für das Wohlbefinden) zwei Beurteilungsgrößen unterschieden:

- KB_{Fmax}** = Maximalwert von KB_{F(t)} (maximale bewertete Schwingstärke während des Beurteilungszeitraums (Tag / Nacht))
- KB_{FTr}** = Beurteilungsschwingstärke, beschreibt den Taktmaximal-Effektivwert über die Beurteilungszeit und setzt sich zusammen aus den energetisch gemittelten Taktmaximalpegel (KB_{F_{Tm}}) in Bezug auf die Einwirkzeit pro Beurteilungszeitraum (Tag/Nacht)

Die Beurteilungsschwingstärke wird allgemein gebildet über

$$KB_{FTr} = KB_{FTm} * \sqrt{T_e / T_r}$$

mit

- T_r** = Beurteilungszeit (tags 16 Std. und nachts 8 Std.)
- T_e** = Einwirkzeit
- KB_{F_{Tm}}** = Taktmaximal-Effektivwert. Dieser Wert ergibt sich aus der Wurzel aus den Mittelwerten der quadrierten Taktmaximalwerte (KB_{F_{Ti}}) der einzelnen Erschütterungsereignisse
- KB_{F_{Ti}}** = Taktmaximalwert. Dieser Wert beschreibt den Maximalwert der bewerteten Schwingstärke KB_{F(t)} innerhalb eines 30-Sekunden Taktes

Die Beurteilung von zeitlich begrenzten Erschütterungen aus Baumaßnahmen erfolgt in drei Stufen, anhand der Tabelle 2 (Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen) der DIN 4150-Teil 2 bzw. des Ländererlasses „Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen“.

Auszug aus Tabelle 2, DIN 4150-Teil 2

Dauer	≤ 1 Tag			6 bis 26 Tage			> 26 Tage		
	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

Die oben angegebenen Anhaltswerte A_u sowie A_o sind im Zeitfenster zwischen 1 und 6 Tagen zu interpolieren.

Prüfverfahren gemäß DIN 4150-Teil 2

Prüfschritt 1	Prüfschritt 2	Prüfschritt 3 Seltenes Ereignis	Prüfschritt 4	Anforderung der Norm erfüllt
$KB_{Fmax} \leq A_u$				ja
$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} \leq A_o$	ja		ja
$KB_{Fmax} > A_u$	$KB_{Fmax} \leq A_o$	nein	$KB_{FTr} \leq A_r$	ja

Bei Unterschreitung der Stufe I (oben aufgeführte Tabelle) ist nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen. Bei Überschreitung der Stufe I und Unterschreitung der Stufe II ist ebenfalls noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen, sofern folgende Maßnahmen ergriffen wurden:

- umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahmen, die Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen
- Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen und der damit verbundenen Belästigungen
- zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen (Pausen, Ruhezeiten, usw.)
- Benennung einer Ansprechstelle, an die sich Betroffene wenden können, wenn sie besondere Probleme durch Erschütterungseinwirkungen haben
- Information der Betroffenen über die Erschütterungseinwirkungen auf das Gebäude
- Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkung auf Menschen und Gebäude

Bei Überschreitung der Stufe II ist der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Bauverfahren zu prüfen und bei Überschreitung der Stufe III sind die Einwirkungen unzumutbar.

6.3.3 Ermittlung des KB-Wertes:

Der Teil 2 der DIN 4150 enthält Angaben für die Beurteilung von Erschütterungen im Frequenzbereich von 1 Hz – 80 Hz, die in Gebäuden auf Menschen einwirken. Entweder ist die Beurteilungsgröße KB_{Fmax} direkt durch Messungen ermittelt worden, oder wenn dies nicht der Fall ist, ist unter bestimmten Bedingungen (Frequenzbereich des verwendeten Aufnehmer-Registriersystems von unter 2 Hz bis über 80 Hz) näherungsweise die Bestimmung der Beurteilungsgröße KB_{Fmax} auch aus der Registrierung des Signals (v_t) möglich. Im Rahmen einer Prognose wird ersatzweise zum Messwert $v(t)$ die prognostizierte maximale Schwinggeschwindigkeit v_{max} sowie die angenommene dominierende Frequenz der Erregung zum Ansatz gebracht.

Sind die oben genannten Bedingungen erfüllt, ist der Maximalwert des v_t -Signals der Aufzeichnung und ein zugehöriger Schätzwert der Frequenz zu bestimmen. Daraus ist zunächst das KB-bewertete Signal nach der Zahlengleichung (6) und nach der Gleichung (7) mit c_F nach Tabelle 3 der DIN 4150 T2 der Schätzwert des gleitenden Effektivwertes wie folgt zu berechnen:

$$KB = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{v_{max}}{\sqrt{1+(\frac{f_0}{f})^2}} \quad \text{(Gleichung 6 in der DIN 4150 T2)}$$

$$KB_{Fmax} = KB \times c_F \quad \text{(Gleichung 7 in der DIN 4150 T2)}$$

Hierin sind:

v_{max} = max. gemessene bzw. prognostizierte Schwinggeschwindigkeit (mm/s)

KB = hat die Einheit 1

f_0 = 5,6 Hz (Grenzfrequenz des Hochpasses)

f = Frequenz in Hz (gemessen bzw. prognostiziert aus Geräteangaben oder Erfahrungswerten)

c_F = Konstante nach Tabelle 3 (s. u.)

Tabelle 3: Erfahrungswerte für die Konstante c_F für verschiedene Arten von Erschütterungseinwirkungen

Zeile	Kurzbeschreibung der Einwirkungsart ¹⁾	c_F ²⁾
1	Harmonische Schwingungen mit geringen Verzerrungen (z.B. Sägewerk in großer Entfernung oder bei wesentlicher Resonanzbeteiligung)	0,9
2	wie Zeile 1, jedoch stärker verzerrt – mehr als 20% Verzerrungen (z.B. Sägewerk in enger Nachbarschaft, wenn noch mehr Oberschwingungen vorhanden sind)	0,8
3	Stochastische Schwingungen und periodische Vorgänge mit Schwebungen a) mit Resonanzbeteiligung (z.B. Webereien, Rammen, gemessen auf mitschwingenden Wohnungsfußböden); b) ohne Resonanzbeteiligung (z.B. auf nicht unterkellerten Wohnungsfußböden)	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 Schwingungsaufzeichnung 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

7 Hochrechnung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen - Gebäudebelastung

7.1 Baggerarbeiten, allgemeine Erdbauarbeiten

Bei fachgerecht ausgeführten Baggerarbeiten sind keine für die Gebäude kritischen Erschütterungsbelastungsgrößen zu erwarten. Dies setzt jedoch voraus, dass -insbesondere bei Baggern mit Kettenfahrwerk- Kippbewegungen o.Ä., bei welchen das Gerät einseitig hochgehoben und wieder fallengelassen wird, verlässlich unterbunden werden.

Auf eine detailliertere Betrachtung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen wurde hier im ersten Ansatz verzichtet.

7.2 Einsatz von Planierraupen / von Fahrzeugen mit Kettenfahrwerk

Bei einem Einsatz von Planierraupen bzw. Fahrzeugen mit Kettenfahrwerk werden die Erschütterungen überwiegend durch das Kettenfahrwerk in den Baugrund übertragen. Eine höhere Fahrgeschwindigkeit führt in der Regel zu höheren Erschütterungsimmissionen. Daher sollten Kettenraupen bzw. Fahrzeuge mit Kettenfahrwerk im Nahbereich zu Gebäuden mit möglichst geringer Fahrgeschwindigkeit eingesetzt werden. Des Weiteren sollte ein abruptes Abstoppen -insbesondere im Nahbereich zu Gebäuden- vermieden werden. Bei einem ordnungsgemäßen fachgerechten Einsatz der Planierraupen / der Kettenfahrzeuge sowie möglichst geringer Fahrgeschwindigkeit im Nahbereich zu Gebäuden sind kritische Erschütterungsbelastungsgrößen der Gebäude (Überschreitung der DIN-Anhaltswerte 4150 Teil 3) im ersten Ansatz eher nicht zu erwarten, jedoch nicht gänzlich auszuschließen. Bei einem Einsatz von Planierraupen / von Kettenfahrzeugen sind zu Beginn der Bautätigkeiten Erschütterungsmessungen dringend zu empfehlen, um so ggf. die Machbarkeit eines Einsatzes abzuleiten.

Auf eine detailliertere Betrachtung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen wurde hier im ersten Ansatz verzichtet.

7.3 Einsatz von Radladern

Der Einsatz von Radlader ist im Allgemeinen -auch bei Arbeiten im Nahbereich zu Gebäuden- als unkritisch hinsichtlich der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen zu betrachten. Auf eine detailliertere Betrachtung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen wurde hier im ersten Ansatz verzichtet.

7.4 LKW-Verkehr auf Baustraßen

Erschütterungsimmissionen infolge von LKW-Verkehr sind regelmäßig als erschütterungsarm zu bewerten. Dies setzt jedoch eine homogene ebene Straßenoberfläche ohne markante Schwellen, Schlaglöcher o.Ä. voraus. Während der Bauphase ist daher darauf zu achten, dass eine entsprechende Straßenoberfläche vorhanden ist sowie sich im Bauverlauf keine gravierenden Veränderungen einstellen. Erschütterungen oberhalb der DIN-Anhaltswerte in Bezug auf eine etwaige Gebäudebelastung, welche für Wohngebäude gelten, sind im ersten Ansatz unter Berücksichtigung der oben getroffenen Bemerkungen nicht zu erwarten.

Auf eine detailliertere Betrachtung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen wurde hier im ersten Ansatz verzichtet.

7.5 Pressarbeiten

Pressarbeiten von Spundbohlen sind generell als erschütterungsarm anzusehen. Bei einem ordnungsgemäßen fachgerechten Einsatz der Spundwandpresse sowie dem Ausbleiben von Hindernissen im Baugrund ist von keinen für die Gebäude kritischen Erschütterungsbelastungsgrößen auszugehen.

Auf eine detailliertere Betrachtung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen wurde hier im ersten Ansatz verzichtet.

7.6 Verdichtungsarbeiten im Vibrationsverfahren (Walzen und Plattenverdichter)

Bodenverdichtungsarbeiten sind Arbeiten, welche im Vibrationsverfahren durchgeführt werden und müssen als potentiell am kritischsten in Bezug auf die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen betrachtet werden, da hier die Möglichkeit eines Resonanzfalles mit entsprechend großen bzw. überhöhten Schwingungsamplituden besteht.

Die im Folgenden durchgeführten Berechnungen bzw. Berechnungsergebnisse fußen auf den vorseitig dargestellten Berechnungsansätzen für überschlägige Erschütterungsprognosen. Bei den Berechnungsergebnissen wurde von typischen Übertragungsfaktoren der Ausbreitung im Gebäude ausgegangen.

Mit welchen Verdichtungsgeräten die späteren Arbeiten erfolgen sollen, ist derzeit nicht bekannt. Daher wurden im Folgenden für den Belastungsfall „Bodenverdichtungsarbeiten mit Rüttelplatte sowie mit Vibrationswalze“ Hochrechnungen der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen für unterschiedliche Gerätschaften (Leistungsklassen) und für unterschiedliche Entfernungen durchgeführt. Es wurden hier ungünstige Werte mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 2,25 % sowie wahrscheinliche Werte mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 50% rechnerisch ermittelt. Die Ergebnisse der Berechnungen sind tabellarisch für die angenommenen Gerätetypen auf den Folgeseiten dargestellt und können im Detail den Anlagen entnommen werden.

Bei den folgenden Untersuchungen wurde für den eigentlichen jeweiligen Rüttelvorgang / Vibrationsvorgang von folgenden mittleren Parametern der Erschütterungsausbreitung innerhalb der Gebäude ausgegangen:

- Übertragungsfaktor (Bauteil) horizontal [-] = 1,5
- Übertragungsfaktor (Bauteil) vertikal [-] = 3

(keine Resonanzanregung mit Anregefrequenz $\gg 5$ als Deckeneigenfrequenz)

Die tatsächlichen Übertragungsfaktoren sind unmittelbar abhängig von den individuellen Gebäudeeigenschaften und können demzufolge von den angenommenen Faktoren abweichen.

7.6.1 Vibrationswalzen

7.6.1.1 Vibromax VM 106 D

Betriebsgewicht 11,6 t
Leistung 93 kW
Betriebsfrequenz 36 Hz

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung

Wahrscheinliche Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	2,9	2,0	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
Deckenebene	4,4	2,9	2,2	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
Deckenmitte	8,8	5,9	4,4	3,5	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

Ungünstige Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	7,4	4,9	3,7	3,0	2,5	2,1	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9
Deckenebene	11,1	7,4	5,6	4,4	3,7	3,2	2,8	2,5	2,2	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4
Deckenmitte	22,2	14,8	11,1	8,9	7,4	6,3	5,6	4,9	4,4	4,0	3,7	3,4	3,2	3,0	2,8

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

7.6.1.2 Vibromax VM 146 D

Betriebsgewicht 14,9 t
Leistung 129 kW
Betriebsfrequenz 35 Hz

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung

Wahrscheinliche Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	3,3	2,2	1,7	1,3	1,1	1,0	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4
Deckenebene	5,0	3,3	2,5	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
Deckenmitte	10,0	6,7	5,0	4,0	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

Ungünstige Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	8,4	5,6	4,2	3,4	2,8	2,4	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
Deckenebene	12,6	8,4	6,3	5,0	4,2	3,6	3,1	2,8	2,5	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7	1,6
Deckenmitte	25,2	16,8	12,6	10,1	8,4	7,2	6,3	5,6	5,0	4,6	4,2	3,9	3,6	3,4	3,1

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

7.6.1.3 Vibromax VM 188 D

Betriebsgewicht 19,7 t
Leistung 129 kW
Betriebsfrequenz 35 Hz

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung

Wahrscheinliche Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	3,8	2,6	1,9	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
Deckenebene	5,7	3,8	2,9	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
Deckenmitte	11,5	7,7	5,7	4,6	3,8	3,3	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

Ungünstige Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	9,6	6,4	4,8	3,9	3,2	2,8	2,4	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
Deckenebene	14,5	9,6	7,2	5,8	4,8	4,1	3,6	3,2	2,9	2,6	2,4	2,2	2,1	1,9	1,8
Deckenmitte	28,9	19,3	14,5	11,6	9,6	8,3	7,2	6,4	5,8	5,3	4,8	4,5	4,1	3,9	3,6

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

7.6.1.4 Ammann ARS 70

Betriebsgewicht 6,5 t
Leistung 56 kW
Betriebsfrequenz 30 Hz

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung

Wahrscheinliche Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	2,2	1,5	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Deckenebene	3,3	2,2	1,6	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
Deckenmitte	6,6	4,4	3,3	2,6	2,2	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

Ungünstige Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	5,5	3,7	2,8	2,2	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7
Deckenebene	8,3	5,5	4,2	3,3	2,8	2,4	2,1	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
Deckenmitte	16,6	11,1	8,3	6,7	5,5	4,8	4,2	3,7	3,3	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,1

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

7.6.2 Plattenverdichter

7.6.2.1 Ammann AVH 5030

Betriebsgewicht 0,433 t
Leistung 7 kW
Betriebsfrequenz 65 Hz

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung

Wahrscheinliche Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %

Entfernung	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
Fundament	1,1	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Deckenebene	1,7	0,9	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Deckenmitte	3,4	1,7	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

Ungünstige Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %

Entfernung	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
Fundament	2,9	1,4	1,0	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Deckenebene	4,3	2,1	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Deckenmitte	8,6	4,3	2,9	2,1	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

7.6.2.2 Ammann AVH 7010

Betriebsgewicht 0,69 t
Leistung 10,5 kW
Betriebsfrequenz 46 Hz

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung

Wahrscheinliche Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %

Entfernung	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
Fundament	1,4	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Deckenebene	2,1	1,1	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Deckenmitte	4,3	2,1	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

Ungünstige Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %

Entfernung	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
Fundament	3,6	1,8	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Deckenebene	5,4	2,7	1,8	1,4	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
Deckenmitte	10,8	5,4	3,6	2,7	2,2	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

7.6.2.3 Ammann APH 119-95
 Betriebsgewicht 0,778 t
 Leistung 17,5 kW
 Betriebsfrequenz 48 Hz

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung

Wahrscheinliche Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %

Entfernung	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
Fundament	1,5	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Deckenebene	2,3	1,1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Deckenmitte	4,6	2,3	1,5	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

Ungünstige Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %

Entfernung	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
Fundament	3,8	1,9	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Deckenebene	5,8	2,9	1,9	1,4	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
Deckenmitte	11,5	5,8	3,8	2,9	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

7.7 Rüttelarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen

Rüttelarbeiten sind -wie auch die Bodenverdichtungsarbeiten- Arbeiten, welche im Vibrationsverfahren durchgeführt werden und müssen demzufolge ebenfalls als potentiell am kritischsten in Bezug auf die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen betrachtet werden, da hier die Möglichkeit eines Resonanzfalles mit entsprechend großen bzw. überhöhten Schwingungsamplituden besteht.

Die im Folgenden durchgeführten Berechnungen bzw. Berechnungsergebnisse fußen zum einen auf den vorseitig dargestellten Berechnungsansätzen für überschlägige Erschütterungsprognosen als auch auf Erfahrungswerten, welche bei Messungen bei vergleichbaren Anregungen sowie Umgebungsverhältnissen generiert wurden.

Bei den vorstehenden Berechnungsergebnissen wurde von typischen Übertragungsfaktoren der Ausbreitung im Gebäude ausgegangen. Die tatsächlichen Übertragungsfaktoren sind unmittelbar abhängig von den individuellen Gebäudeeigenschaften und können demzufolge von den angenommenen Faktoren abweichen.

Mit welchem Vibrationsbären die Rüttelarbeiten durchgeführt werden sollen, ist derzeit noch nicht bekannt. Daher wurden im Folgenden beispielhaft für den Belastungsfall „Rüttelarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen“ exemplarische Hochrechnungen der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen für Vibrationsbären unterschiedlicher Leistungsklassen -ebenfalls für unterschiedliche Entfernungen- durchgeführt. Es wurden auch hier ungünstige Werte mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 2,25 % sowie wahrscheinliche Werte mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 50% rechnerisch ermittelt. Die Ergebnisse der Berechnungen sind tabellarisch für die angenommenen Gerätetypen auf den Folgeseiten dargestellt und können im Detail den Anlagen entnommen werden.

Bei den folgenden Untersuchungen wurde grundsätzlich von folgenden mittleren Parametern der Erschütterungsausbreitung innerhalb der Gebäude ausgegangen:

- Übertragungsfaktor (Bauteil) horizontal [-] = 1,5
- Übertragungsfaktor (Bauteil) vertikal [-] = 3

(keine Resonanzanregung mit Anregefrequenz >>5 als Deckeneigenfrequenzeigenfrequenz)

Die tatsächlichen Übertragungsfaktoren sind unmittelbar abhängig von den individuellen Gebäudeeigenschaften und können demzufolge von den angenommenen Faktoren abweichen.

7.7.1 Rüttelarbeiten Einbringen Spundbohlen

7.7.1.1 ABI HVR 30

Leistung: 45 kW

Betriebsfrequenz: 38 Hz

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung

Wahrscheinliche Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	1,7	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Deckenebene	2,6	1,7	1,3	1,0	0,9	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
Deckenmitte	5,2	3,4	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

Ungünstige Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	4,0	2,7	2,0	1,6	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
Deckenebene	6,0	4,0	3,0	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8
Deckenmitte	12,1	8,1	6,0	4,8	4,0	3,5	3,0	2,7	2,4	2,2	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

7.7.1.2 Müller MS-5 HFBV 3

Leistung: 95 kW

Betriebsfrequenz: 45 Hz

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung

Wahrscheinliche Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	2,3	1,5	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Deckenebene	3,4	2,3	1,7	1,4	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
Deckenmitte	6,9	4,6	3,4	2,8	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,3	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

Ungünstige Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	5,4	3,6	2,7	2,2	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7
Deckenebene	8,1	5,4	4,0	3,2	2,7	2,3	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0
Deckenmitte	16,1	10,8	8,1	6,5	5,4	4,6	4,0	3,6	3,2	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	2,0

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

7.7.1.3 ABI MRZV 16VV

Leistung: 280 kW

Betriebsfrequenz: 40 Hz

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung

Wahrscheinliche Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	4,2	2,8	2,1	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5
Deckenebene	6,3	4,2	3,1	2,5	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8
Deckenmitte	12,5	8,4	6,3	5,0	4,2	3,6	3,1	2,8	2,5	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7	1,6

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

Ungünstige Werte – Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %

Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	9,8	6,5	4,9	3,9	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
Deckenebene	14,7	9,8	7,3	5,9	4,9	4,2	3,7	3,3	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1	2,0	1,8
Deckenmitte	29,4	19,6	14,7	11,8	9,8	8,4	7,3	6,5	5,9	5,3	4,9	4,5	4,2	3,9	3,7

Entfernung in m ; Schwinggeschwindigkeit in mm/s

8 Hochrechnung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen - Menschenbelastung

Auf Basis der vorseitig ermittelten zu erwartenden Schwinggeschwindigkeiten wurden im Folgenden die zu erwartenden Schwingstärken -als Beurteilungskriterium für die Erschütterungsbelastung von Menschen in Gebäuden- rechnerisch ermittelt. Der Fokus der Betrachtungen liegt hierbei auf die Arbeiten im Vibrationsverfahren, da hier jeweils in Bezug auf das menschliche Empfinden von der größten und maßgebenden „Störwirkung“ auszugehen ist.

Die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärken erfolgte auf Basis der rechnerisch ermittelten Schwinggeschwindigkeiten im Geschoßdeckenbereich. Hierbei wurden die jeweils ermittelten „Wahrscheinlichen Werte“ herangezogen. Die Berechnung einer jeweiligen Tagesdosis wurde zum einen für eine tagesbezogene Einwirkdauer von 8 Stunden durchgeführt. Zusätzlich wurde auf Basis von Erfahrungswerten eine typische tagesbezogene Betriebsdauer des jeweiligen Geräteinsatzes (prozentuale Auslastung) für die Berechnungen zum Ansatz gebracht. Die Ergebnisse der Berechnungen sind im Folgenden tabellarisch für die angenommenen Gerätetypen für unterschiedliche Entfernungen dargestellt.

8.1 Verdichtungsarbeiten mit Vibrationswalze

8.1.1 Vibromax VM 106 D, dominierende Betriebsfrequenz 36 Hz

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	$KB_{F_{\max}}$	Betriebszeit tags	$KB_{F_{Tr}}$	Auslastung	$KB_{F_{Tr}}$
10 m	4,4 mm/s	2,77	8 Std	1,96	25 %	0,98
20 m	2,2 mm/s	1,38		0,98		0,49
30 m	1,5 mm/s	0,94		0,67		0,33

8.1.2 Vibromax VM 146 D, dominierende Betriebsfrequenz 35 Hz

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	$KB_{F_{\max}}$	Betriebszeit tags	$KB_{F_{Tr}}$	Auslastung	$KB_{F_{Tr}}$
10 m	5,0 mm/s	3,14	8 Std	2,22	25 %	1,11
20 m	2,5 mm/s	1,57		1,11		0,56
30 m	1,7 mm/s	1,07		0,76		0,38

8.1.3 Vibromax VM 188 D, dominierende Betriebsfrequenz 35 Hz

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	$KB_{F_{\max}}$	Betriebszeit tags	$KB_{F_{Tr}}$	Auslastung	$KB_{F_{Tr}}$
10 m	5,7 mm/s	3,58	8 Std	2,53	25 %	1,27
20 m	2,9 mm/s	1,82		1,29		0,64
30 m	1,9 mm/s	1,19		0,84		0,42

8.1.4 Ammann ARS 70, dominierende Betriebsfrequenz 30 Hz

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	$KB_{F_{\max}}$	Betriebszeit tags	$KB_{F_{Tr}}$	Auslastung	$KB_{F_{Tr}}$
10 m	3,3 mm/s	2,06	8 Std	1,46	25 %	0,73
20 m	1,6 mm/s	1,00		0,71		0,35
30 m	1,1 mm/s	0,69		0,49		0,24

8.2 Verdichtungsarbeiten mit Plattenverdichter

8.2.1 Ammann AVH 5030, dominierende Betriebsfrequenz 65 Hz

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	$KB_{F_{\max}}$	Betriebszeit tags	$KB_{F_{Tr}}$	Auslastung	$KB_{F_{Tr}}$
5 m	1,7 mm/s	1,08	8 Std	0,76	25 %	0,38
10 m	0,9 mm/s	0,57		0,40		0,20
20 m	0,4 mm/s	0,25		0,18		0,09

8.2.2 Ammann AVH 7010, dominierende Betriebsfrequenz 46 Hz

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	$KB_{F_{\max}}$	Betriebszeit tags	$KB_{F_{Tr}}$	Auslastung	$KB_{F_{Tr}}$
5 m	2,1 mm/s	1,33	8 Std	0,94	25 %	0,47
10 m	1,1 mm/s	0,69		0,49		0,25
20 m	0,5 mm/s	0,32		0,22		0,11

8.2.3 Ammann APH 119-95, dominierende Betriebsfrequenz 48 Hz

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	$KB_{F_{\max}}$	Betriebszeit tags	$KB_{F_{Tr}}$	Auslastung	$KB_{F_{Tr}}$
5 m	2,3 mm/s	1,45	8 Std	1,03	25 %	0,51
10 m	1,1 mm/s	0,70		0,49		0,25
20 m	0,6 mm/s	0,38		0,27		0,13

8.3 Rüttelarbeiten Spundbohlen

8.3.1 ABI HVR 30, dominierende Betriebsfrequenz 38 Hz

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	$KB_{F_{\max}}$	Betriebszeit tags	$KB_{F_{Tr}}$	Auslastung	$KB_{F_{Tr}}$
20 m	1,3 mm/s	0,82	8 Std	0,58	50 %	0,41
25 m	1,0 mm/s	0,63		0,44		0,31
30 m	0,9 mm/s	0,57		0,40		0,28

8.3.2 Müller MS-5 HFBV 3, dominierende Betriebsfrequenz 45 Hz

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	$KB_{F_{\max}}$	Betriebszeit tags	$KB_{F_{Tr}}$	Auslastung	$KB_{F_{Tr}}$
20 m	1,7 mm/s	1,07	8 Std	0,76	50 %	0,54
25 m	1,4 mm/s	0,88		0,63		0,44
30 m	1,1 mm/s	0,69		0,49		0,35

8.3.3 ABI MRZV 16VV, dominierende Betriebsfrequenz 40 Hz

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	$KB_{F_{\max}}$	Betriebszeit tags	$KB_{F_{Tr}}$	Auslastung	$KB_{F_{Tr}}$
20 m	3,1 mm/s	1,95	8 Std	1,38	50 %	0,98
25 m	2,5 mm/s	1,58		1,11		0,79
30 m	2,1 mm/s	1,32		0,94		0,66

9 Beurteilung der prognostizierten Erschütterungsimmissionen

9.1 Beurteilung der Gebäudebelastung

Gemäß Information handelt es sich bei den Gebäuden in minimaler Entfernung zu den Bautätigkeiten um „Wohngebäude“ bzw. ähnlich konstruierte Gebäude, so dass hier eine Einstufung hinsichtlich der Schutzwürdigkeit gemäß der DIN 4150-3 in die Kategorie „Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten“ (Tabelle 1 und 4, Zeile 2) vorgenommen wird (siehe hierzu Übersicht der Anhaltswerte auf Seite 17).

Die hier formulierten Anhaltswerte werden im Folgenden als Beurteilungskriterium verwendet. Für die Beurteilung der Erschütterungsbelastung wurden -zur Schaffung eines Sicherheitsspielraums im Sinne einer worst-case Betrachtung- die prognostizierten „Ungünstigen Werte“ mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 2,25 % herangezogen.

9.1.1 Verdichtungsarbeiten mit Vibrationswalzen

Vibromax VM 106 D

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	Anhaltswerte Deckenmitte	Kriterium erfüllt	v_{\max} Deckenebene	Anhaltswerte Deckenebene	Kriterium erfüllt
10 m	11,1	10 mm/s	nein	5,6	5 mm/s	nein
20 m	5,6		ja	2,8		ja
30 m	3,7		ja	1,9		ja

Vibromax VM 146 D

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	Anhaltswerte Deckenmitte	Kriterium erfüllt	v_{\max} Deckenebene	Anhaltswerte Deckenebene	Kriterium erfüllt
10 m	12,6	10 mm/s	nein	6,3	5 mm/s	nein
20 m	6,3		ja	3,1		ja
30 m	4,2		ja	2,1		ja

Vibromax VM 188 D

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	Anhaltswerte Deckenmitte	Kriterium erfüllt	v_{\max} Deckenebene	Anhaltswerte Deckenebene	Kriterium erfüllt
10 m	14,5	10 mm/s	nein	7,2	5 mm/s	nein
20 m	7,2		ja	3,6		ja
30 m	4,8		ja	2,4		ja

Ammann ARS 70

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	Anhaltswerte Deckenmitte	Kriterium erfüllt	v_{\max} Deckenebene	Anhaltswerte Deckenebene	Kriterium erfüllt
10 m	8,3	10 mm/s	ja	4,2	5 mm/s	ja
20 m	4,2		ja	2,1		ja
30 m	2,8		ja	1,4		ja

9.1.2 Verdichtungsarbeiten mit Rüttelplatten

Ammann AVH -5030

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	Anhaltswerte Deckenmitte	Kriterium erfüllt	v_{\max} Deckenebene	Anhaltswerte Deckenebene	Kriterium erfüllt
5 m	4,3	10 mm/s	ja	2,1	5 mm/s	ja
10 m	2,1		ja	1,1		ja
20 m	1,1		ja	0,5		ja

Ammann AVH 7010

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	Anhaltswerte Deckenmitte	Kriterium erfüllt	v_{\max} Deckenebene	Anhaltswerte Deckenebene	Kriterium erfüllt
5 m	5,4	10 mm/s	ja	2,7	5 mm/s	ja
10 m	2,7		ja	1,4		ja
20 m	1,4		ja	0,7		ja

Ammann APH 119-95

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	Anhaltswerte Deckenmitte	Kriterium erfüllt	v_{\max} Deckenebene	Anhaltswerte Deckenebene	Kriterium erfüllt
5 m	5,8	10 mm/s	ja	2,9	5 mm/s	ja
10 m	2,9		ja	1,4		ja
20 m	1,4		ja	0,7		ja

9.1.3 Rüttelarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen

ABI HVR 30

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	Anhaltswerte Deckenmitte	Kriterium erfüllt	v_{\max} Deckenebene	Anhaltswerte Deckenebene	Kriterium erfüllt
20 m	3,0	10 mm/s	ja	1,5	5 mm/s	ja
25 m	2,4		ja	1,2		ja
30 m	2,0		ja	1,0		ja

Müller MS-5 HFBV 3

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	Anhaltswerte Deckenmitte	Kriterium erfüllt	v_{\max} Deckenebene	Anhaltswerte Deckenebene	Kriterium erfüllt
20 m	4,0	10 mm/s	ja	2,0	5 mm/s	ja
25 m	3,2		ja	1,6		ja
30 m	2,7		ja	1,3		ja

ABI MRZV 16VV

Entfernung	v_{\max} Deckenmitte	Anhaltswerte Deckenmitte	Kriterium erfüllt	v_{\max} Deckenebene	Anhaltswerte Deckenebene	Kriterium erfüllt
20 m	7,3	10 mm/s	ja	3,7	5 mm/s	ja
25 m	5,9		ja	2,9		ja
30 m	4,9		ja	2,4		ja

9.2 Beurteilung der Menschenbelastung (KB-Werte)

Für die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen in Bezug auf den Menschen wurden die Anhaltswerte der DIN 4150-2 gemäß der folgenden Tabelle für die Stufe II mit einer Einwirkdauer von 6 bis 26 Tagen herangezogen. Bei dieser Einwirkdauer werden nur die Tage berücksichtigt, an denen gemäß der Norm auch tatsächlich relevante Erschütterungen durch die jeweiligen Bautätigkeiten auftreten, d.h. es handelt sich hierbei nicht um die Gesamtdauer der Baumaßnahme.

Dauer	≤ 1 Tag			6 bis 26 Tage			> 26 Tage		
	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

In den folgenden Tabellen wurden die für die unterschiedlichen Gerätetypen für unterschiedliche Entfernungen zur Wohnbebauung prognostizierten Schwingbelastungen (bewertete Schwingstärken) diesen Anhaltswerten gegenübergestellt. Grundsätzlich wurde für die Ermittlung der bewerteten Schwingstärken von einem Einsatzzeitfenster pro Tag von 8 Stunden ausgegangen. Des Weiteren wurde für jeden Gerätetyp auf Basis von Erfahrungswerten eine prozentuale Auslastung (tatsächliche Einsatzzeit) für dieses 8-Stunden-Zeitfenster angenommen und bei der Berechnung der Schwingstärken in Bezug auf die Tagesdosis (KB_{FTT}) berücksichtigt.

9.2.1 Bodenverdichtungsarbeiten mit Vibrationswalze

Vibromax VM 106 D

Entfernung	KB _{Fmax}	KB _{Fmax} < A _u	KB _{Fmax} < A _o	Auslastung	KB _{FTT}	KB _{FTT} < A _r
10 m	2,77	nein	ja	25 %	0,98	nein
20 m	1,38	nein	ja		0,49	ja
30 m	0,94	nein	ja		0,33	ja

Vibromax VM 146 D

Entfernung	KB _{Fmax}	KB _{Fmax} < A _u	KB _{Fmax} < A _o	Auslastung	KB _{FTT}	KB _{FTT} < A _r
10 m	3,14	nein	ja	25 %	1,11	nein
20 m	1,57	nein	ja		0,56	ja
30 m	1,07	nein	ja		0,38	ja

Vibromax VM 188 D

Entfernung	KB _{Fmax}	KB _{Fmax} < A _u	KB _{Fmax} < A _o	Auslastung	KB _{FTT}	KB _{FTT} < A _r
10 m	3,58	nein	ja	25 %	1,27	nein
20 m	1,82	nein	ja		0,64	nein
30 m	1,19	nein	ja		0,42	ja

Ammann ARS 70

Entfernung	KB _{Fmax}	KB _{Fmax} < A _u	KB _{Fmax} < A _o	Auslastung	KB _{FTT}	KB _{FTT} < A _r
10 m	2,06	nein	ja	25 %	0,73	nein
20 m	1,00	nein	ja		0,35	ja
30 m	0,69	ja			0,24	

9.2.2 Bodenverdichtungsarbeiten mit Rüttelplatte

Ammann AVH 5030

Entfernung	KB _{Fmax}	KB _{Fmax} < A _u	KB _{Fmax} < A _o	Auslastung	KB _{FTr}	KB _{FTr} < A _r
5 m	1,08	nein	ja	25 %	0,38	ja
10 m	0,57	ja			0,20	
20 m	0,25	ja			0,09	

Ammann AVH 7010

Entfernung	KB _{Fmax}	KB _{Fmax} < A _u	KB _{Fmax} < A _o	Auslastung	KB _{FTr}	KB _{FTr} < A _r
5 m	1,33	nein	ja	25 %	0,47	ja
10 m	0,69	ja			0,25	
20 m	0,32	ja			0,11	

Ammann APH 119-95

Entfernung	KB _{Fmax}	KB _{Fmax} < A _u	KB _{Fmax} < A _o	Auslastung	KB _{FTr}	KB _{FTr} < A _r
5 m	1,45	nein	ja	25 %	0,51	ja
10 m	0,70	ja			0,25	
20 m	0,38	ja			0,13	

9.2.3 Rüttelarbeiten zum Einbringen der Spundbohlen

ABI HVR 30

Entfernung	KB _{Fmax}	KB _{Fmax} < A _u	KB _{Fmax} < A _o	Auslastung	KB _{FTr}	KB _{FTr} < A _r
20 m	0,82	nein	ja	50 %	0,41	ja
25 m	0,63	ja			0,31	
30 m	0,57	ja			0,28	

Müller MS-5 HFBV 3

Entfernung	KB _{Fmax}	KB _{Fmax} < A _u	KB _{Fmax} < A _o	Auslastung	KB _{FTr}	KB _{FTr} < A _r
20 m	1,07	nein	ja	50 %	0,54	ja
25 m	0,88	nein	ja		0,44	ja
30 m	0,69	ja			0,35	

ABI MRZV 16VV

Entfernung	KB _{Fmax}	KB _{Fmax} < A _u	KB _{Fmax} < A _o	Auslastung	KB _{FTr}	KB _{FTr} < A _r
20 m	1,95	nein	ja	50 %	0,98	nein
25 m	1,58	nein	ja		0,79	nein
30 m	1,32	nein	ja		0,66	nein

10 Schlussbetrachtung

Im Rahmen des Projektes „Hochwasserschutz Herzberg (Elster)“ sollen umfangreiche Bautätigkeiten zur Herstellung eines Hochwasserschutzes im Bereich der Gemeinde „Herzberg (Elster)“ durchgeführt werden. Hierfür galt es, die Erschütterungsbelastungen für nahe gelegene Gebäude im Nahbereich zu den Bautätigkeiten näherungsweise zu prognostizieren. Des Weiteren galt es, die zu erwartenden Erschütterungsbelastungen in Bezug auf den Menschen (Wohlbefinden) ebenfalls überschlägig zu ermitteln.

Die einzelnen geplanten Bautätigkeiten / Bauphasen sowie die jeweiligen zu erwartenden Baugeräteeinsätzen wurden auf den vorangegangenen Seiten in Kurzform dargestellt.

Die wesentlichen erschütterungsträchtigen Arbeiten, bei welchen potentiell auch kritische Erschütterungsbelastungsgrößen für die Bestandsbebauung nicht ausgeschlossen werden können, sind die Boden- bzw. Baugrundverdichtungsarbeiten im Vibrationsverfahren sowie die Arbeiten zum Einbringen der Spundbohlen – ebenfalls im Vibrationsverfahren. Auf diese Bautätigkeiten wurde der Fokus der durchgeführten Betrachtungen gelegt. Die Prognose der zu erwartenden Erschütterungsbelastungen in Bezug auf Bauwerke wurde anhand anerkannter typischer Ansätze der Ausbreitungsrechnung, typischer Übertragungsfaktoren in Bezug auf die Baugrund-Gebäude-Interaktion sowie typischer Übertragungsfaktoren für die Ausbreitung der Erschütterungen innerhalb des Gebäudes selbst vorgenommen. Hieraus abgeleitet wurden die zu erwartenden Erschütterungsbelastungen in Bezug auf den Menschen überschlägig ermittelt.

Der überwiegende Teil der Arbeiten wird in großen Entfernungen zur Bestandsbebauung durchgeführt. In Teilbereichen ergeben sich jedoch teilweise nur geringe Abstände. Die minimalen Entfernungen der bebauten Bereiche (Wohngebäude) wurden grob aus den Planunterlagen abgegriffen und sind in der folgenden Tabelle dargestellt. **Gemäß Information wurde bereits jetzt für Gebiete im unmittelbaren Nahbereich (hier insbesondere der nördliche Bereich der Mühlstraße im Abschnitt 3) festgelegt, dass hier Verdichtungsarbeiten ohne Vibration (statisch) ausgeführt werden sollen und das Einbringen der Spundbohlen hier bzw. im Nahbereich zu Gebäuden nicht im Rüttel- sondern im erschütterungsarmen Pressverfahren erfolgen soll. Der Fokus der folgenden Betrachtungen liegt demnach insbesondere auf den übrigen Bereichen mit Abständen von ca. 20 bzw. 25 m, es wurden jedoch auch Berechnungen für geringere Entfernungen durchgeführt, um hieraus resultierend mögliche Bereiche mit erschütterungsarmen Bautätigkeiten abzugrenzen.**

Gebäude / Abschnitt	Minimale Entfernungen (ca.)	
	Arbeiten im Bereich des Deichkörpers bzw. im Bereich der Deichverteidigungswege	Arbeiten zum Einbringen von Spundwandprofilen
Badstraße 29 / Abschnitt 1	20 m	25 m
Schliebener Straße / Abschnitt 3	20 m	25 m
Mühlstraße / Abschnitt 3	< 5 m	7 m
Lindenstraße / Abschnitt 4	20 m	25 m

10.1 Betrachtung der Gebäudebelastungen

Einsatz von Vibrationswalzen

In Bezug auf die Gebäudebelastungen erscheint auf Basis der Prognoseergebnisse ein Einsatz von mittelgroßen Vibrationswalzen in einer Entfernung von 20 m und mehr erschütterungsverträglich durchführbar zu sein. Bei geringeren Entfernungen empfehlen wir den Einsatz von Plattenverdichtern und/oder die Durchführung baubegleitender Erschütterungsmessungen an den nächstgelegenen bzw. betroffenen Gebäuden, um so die Möglichkeit eines Einsatzes von Vibrationswalzen in geringeren Abständen zu untersuchen und ggf. zu verifizieren.

Zusätzliche Bemerkungen

Bei den An- und Ablaufvorgängen insbesondere von Vibrationswalzen können technisch bedingt auch Anregungen in Frequenzbereichen erzeugt werden, welche im Bereich der Deckeneigenfrequenz von Gebäuden liegen. Dies kann zu entsprechenden Erschütterungsspitzen führen, welche sehr kurzzeitig beim Durchlaufen dieses Frequenzbereiches an einem Gebäude auftreten können. Diese Erschütterungen werden gemäß der DIN 4150-3 explizit jedoch nicht als Dauererschütterungen bewertet, sondern als kurzzeitige Erschütterungen, so dass hierfür eine Bewertung dieser Erschütterungsspitzen die Anhaltswerte der DIN 4150-3 für kurzzeitige Erschütterungen gelten. Im ersten Ansatz erfolgt an dieser Stelle keine detaillierte Betrachtung dieser Erschütterungsspitzen. An- sowie Abschaltvorgänge sind in größtmöglicher Entfernung zu den Gebäuden (> 35 m) vorzunehmen.

Moderne Vibrationswalzen verfügen überwiegend über die Möglichkeit, die Wirkrichtung der Energieeinleitung der Vibrationen stufenweise von horizontaler Schwingung auf vertikale Schwingung zu verstellen. Somit wäre es möglich, auch mit einer schweren Walze mit hoher Leistung die Energieeinleitung und damit auch die resultierende Baugrunderschütterung zu reduzieren, was dann ggf. einen Einsatz einer derartigen Walze auch in näher zur Bebauung gelegenen Bereichen möglich erscheinen lässt, als vorseitig rechnerisch hochgerechnet.

Einsatz von Plattenverdichtern

Auf Basis der Prognoseergebnisse erscheint der Einsatz mittelgroßer Rüttelplatten (wie in der Prognoserechnung angenommen) auch in Entfernungen von 5 m zu den Gebäuden in Bezug auf die Gebäudebelastung noch erschütterungsverträglich durchführbar zu sein.

Die An- und Ablaufvorgänge sollten auch hier -analog zu den Vibrationswalzen- in größtmöglicher Entfernung (> 10 m) erfolgen. Über einen erschütterungsverträglichen Einsatz können Messungen weiteren Aufschluss geben bzw. die Prognoseergebnisse verifizieren.

Einsatz von Vibrationsbären – Rüttelarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen

In Bezug auf die Gebäudebelastungen erscheint auf Basis der Prognoseergebnisse ein Einsatz der hier beispielhaft angenommenen Vibrationsbären in einer Entfernung von 20 m und mehr noch erschütterungsverträglich durchführbar zu sein. Hierbei wird vorausgesetzt, dass es sich bei dem verwendeten Vibrationsbären um ein hochfrequentes Gerät mit wirkfreiem An- und Ablauf bzw. variabler Amplitudensteuerung handelt sowie keine Hindernisse oder Ähnliches im Baugrund auftreten.

Pressarbeiten von Spundbohlen

Pressarbeiten von Spundbohlen sind generell als erschütterungsarm anzusehen. Bei einem ordnungsgemäßen fachgerechten Einsatz der Spundwandpresse sowie dem Ausbleiben von Hindernissen im Baugrund ist von keinen für die Gebäude kritischen Erschütterungsbelastungsgrößen auszugehen.

Allgemeine Erdbauarbeiten – Baggerarbeiten – Radladerbetrieb – Raupeneinsatz – LKW-Verkehr

Im Rahmen dieser Tätigkeiten sind -bei sachgemäßer und fachkundiger Ausführung- keine für die umliegende Bebauung schädlichen Erschütterungsimmissionen zu erwarten.

(Siehe hierzu die Betrachtungen und Ausführungen in den Abschnitten 7.1 – 7.4 auf Seite 25)

Ergänzende allgemeine Empfehlung:

Generell sollte bei dem Einsatz von Fahrzeugen mit Kettenwerk darauf geachtet werden, dass beim Arbeiten bzw. auch beim Verfahren im Nahbereich zur Bebauung mit möglichst geringer Fahrgeschwindigkeit gefahren wird. Ein abruptes Stoppen sollte vermieden werden.

Generell ist zu empfehlen, den Zustand der Baustraßen sowie sämtlicher im Bauverlauf hergestellter auch temporärer Wege fortlaufend zu prüfen und Schlaglöcher, Unebenheiten oder ähnliches -insbesondere im Nahbereich zu Gebäuden- unmittelbar auszubessern, um die Erschütterungen infolge des Baustellenverkehrs zu minimieren.

10.2 Betrachtung der Erschütterungsbelastung von Menschen in Gebäude (Wohlbefinden)

Eine detaillierte Aussage hinsichtlich der Erschütterungsbelastung des Menschen in Gebäuden (KB-Wert-Betrachtung) ist -ohne Kenntnis der später tatsächlich eingesetzten Baumaschinen, der Anzahl der Baumaschinen sowie insbesondere ohne Kenntnis des zeitlichen und räumlichen Bauablaufes- nicht hinreichend möglich, da hierbei für eine Beurteilung ein Tagesmittel, zu verstehen als Tagesdosis der Erschütterungsbelastung, heranzuziehen ist.

Infolgedessen wurden durch uns Annahmen hinsichtlich des jeweiligen Geräteeinsatzes getroffen. Es wurden hierzu für die Bauphasen Bodenverdichtungsarbeiten sowie Rüttelarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen Berechnungen mit für die jeweilige Ausführung typischen Geräten mit unterschiedlichen Leistungsklassen und Dimensionierungen vorgenommen, um so ein möglichst breites Spektrum näher zu untersuchen.

Einsatz von Vibrationswalzen

In Bezug auf die Menschenbelastung in Gebäuden erscheint auf Basis der Prognoseergebnisse -unter Berücksichtigung der Annahmen hinsichtlich des tagesbezogenen zeitlichen Einsatzes im Nahbereich zu Gebäuden- der Einsatz mittelgroßer Vibrationswalzen in Entfernungen von 20 m und mehr noch erschütterungsverträglich durchführbar zu sein.

Einsatz von Plattenverdichtern

Auf Basis der Prognoseergebnisse erscheint der Einsatz mittelgroßer Rüttelplatten (wie in der Prognoserechnung angenommen) auch in Entfernungen von 5 m zu den Gebäuden -unter Berücksichtigung der Annahmen hinsichtlich des tagesbezogenen zeitlichen Einsatzes im Nahbereich zu Gebäuden- noch erschütterungsverträglich durchführbar zu sein.

Einsatz von Vibrationsbären

In Bezug auf die Menschenbelastung können -unter Berücksichtigung der Annahmen hinsichtlich des tagesbezogenen zeitlichen Einsatzes im Nahbereich zu Gebäuden- nur die Vibrationsbären mit geringer Leistung (ca. 100 kW) noch erschütterungsverträglich betrieben werden. Für Vibrationsbären mit höherer Leistung (z.B. ABI MRZ 16VV, 280 kW) können die Anhaltswerte nicht ohne weiteres eingehalten werden. Hier wäre eine Reduzierung der tagesbezogenen Einwirkzeit im Nahbereich eines Immissionsortes anzudenken.

Generell empfehlen wir, die betroffenen Anwohner über die jeweils nächsten Bautätigkeiten zu informieren. Als Mindestmaß für die Art, den Umfang und den Zeitpunkt der Information kann hier der auf Seite 22 dargestellte Stufenplan gemäß der DIN 4150 Teil 2 dienen.

10.3 Setzungen durch Nachverdichtung des Baugrundes:

Insbesondere bei Rüttelarbeiten zum Einbringen der Spundbohlen im Nahbereich zu Gebäuden kann es zu Nachverdichtungen im Baugrund unterhalb der Gründungsebene von Gebäuden kommen, was ggf. entsprechende Setzungserscheinungen mit entsprechenden Schadensbildern nach sich ziehen kann.

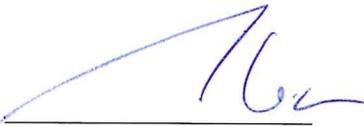
Gemäß derzeitigem Informationsstand sind derartige Arbeiten im unmittelbaren Nahbereich nicht geplant bzw. ausgeschlossen.

Qualität der Prognose:

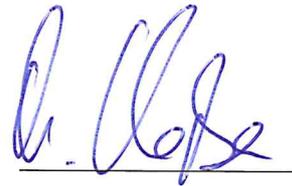
Die Prognose der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen an den umliegenden Gebäuden wurde auf Grundlage des derzeitigen Informationsstandes durchgeführt. Für die Hochrechnung / Modellrechnung wurden anerkannte typischer Ansätze der Ausbreitungsrechnung, typische Übertragungsfaktoren in Bezug auf die Baugrund-Gebäude-Interaktion sowie typische Übertragungsfaktoren für die Ausbreitung der Erschütterungen innerhalb des Gebäudes angewandt. Es wurde von einem typischen Baugeräteinsatz sowie von Baugeräten typischer Dimensionierung ausgegangen.

Es wird empfohlen, insbesondere bei dem Einsatz der Vibrationswalzen, der Rüttelplatten sowie der Vibrationsbären zum Einbringen der Spundbohlen im Nahbereich zu Gebäuden, die Prognoseergebnisse durch Messungen vor Ort zu verifizieren und ggf. dauerhaft zu überwachen. Hierbei könnte dann ggf. der Einsatz der Gerätschaften weiter optimiert werden.

Büdelisdorf 30.11.2021



Dipl.-Ing. Arne Wulkau



Dipl.-Ing. Michael Claßen
DMT Ingenieure GmbH

Anlagen:

1	Prognostizierte Gebäudeerschütterungen in Abhängigkeit des Schwingerregers	42
1.1	Vibrationswalzen.....	42
1.1.1	Vibromax VM 106 D.....	42
1.1.2	Vibromax VM 146 D.....	43
1.1.3	Vibromax VM 188 D.....	44
1.1.4	Ammann ARS 70.....	45
1.2	Plattenverdichter.....	46
1.2.1	Ammann AVH 5030.....	46
1.2.2	Ammann AVH 7010.....	47
1.2.3	Ammann APH 119-95.....	48
1.3	Vibrationsbären.....	49
1.3.1	ABI HVR 30.....	49
1.3.2	MÜLLER MS-5 HFBV 3.....	50
1.3.3	ABI MRZV 16VV.....	51

1 Prognostizierte Gebäudeerschütterungen in Abhängigkeit des Schwingerregers

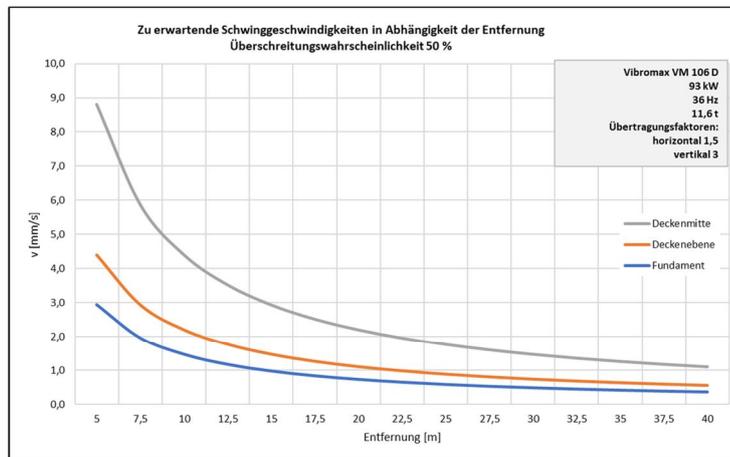
1.1 Vibrationswalzen

1.1.1 Vibromax VM 106 D

Gerätetyp: Vibromax VM 106 D

Leistung [kW]:	93
Betriebsfrequenz [Hz]:	36
Gewicht [t]:	11,6
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

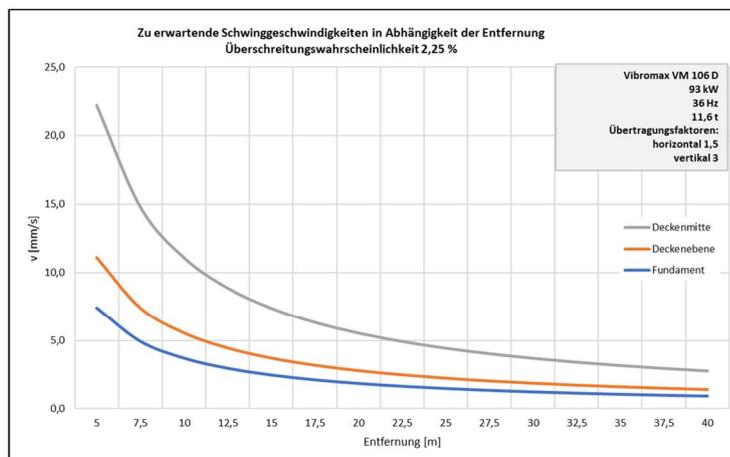
zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	2,9	2,0	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
Deckenebene	4,4	2,9	2,2	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
Deckenmitte	8,8	5,9	4,4	3,5	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1

Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	7,4	4,9	3,7	3,0	2,5	2,1	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9
Deckenebene	11,1	7,4	5,6	4,4	3,7	3,2	2,8	2,5	2,2	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4
Deckenmitte	22,2	14,8	11,1	8,9	7,4	6,3	5,6	4,9	4,4	4,0	3,7	3,4	3,2	3,0	2,8

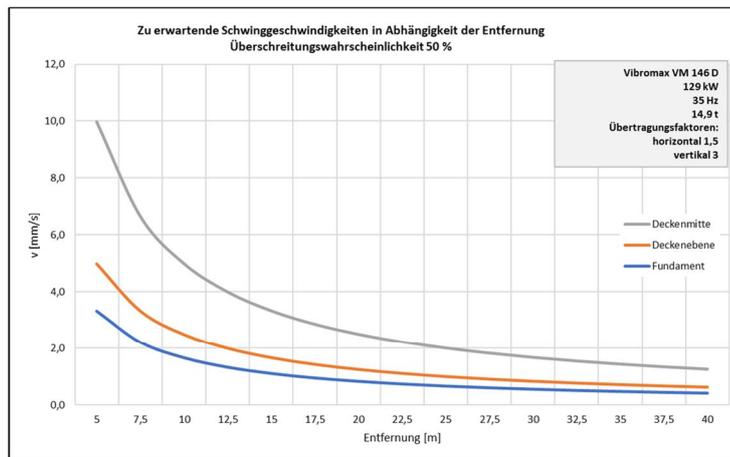
Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

1.1.2 Vibromax VM 146 D

Gerätetyp: Vibromax VM 146 D

Leistung [kW]:	129
Betriebsfrequenz [Hz]:	35
Gewicht [t]:	14,9
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

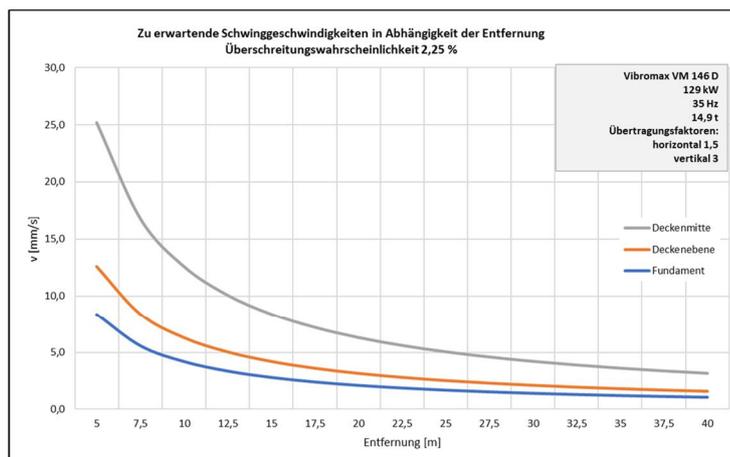
zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	3,3	2,2	1,7	1,3	1,1	1,0	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4
Deckenebene	5,0	3,3	2,5	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
Deckenmitte	10,0	6,7	5,0	4,0	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2

Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	8,4	5,6	4,2	3,4	2,8	2,4	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
Deckenebene	12,6	8,4	6,3	5,0	4,2	3,6	3,1	2,8	2,5	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7	1,6
Deckenmitte	25,2	16,8	12,6	10,1	8,4	7,2	6,3	5,6	5,0	4,6	4,2	3,9	3,6	3,4	3,1

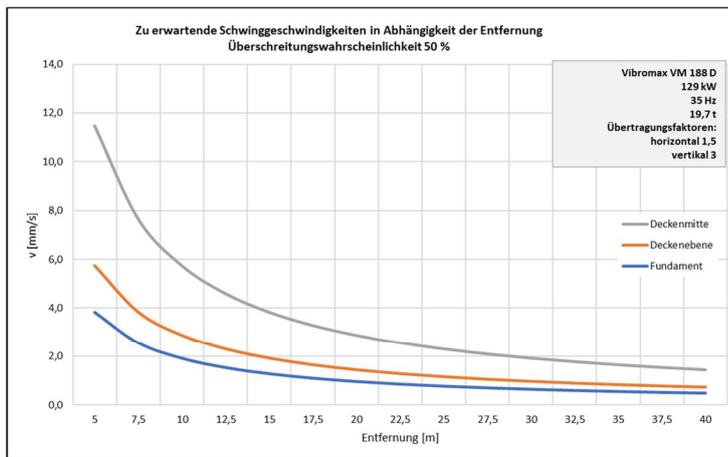
Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

1.1.3 Vibromax VM 188 D

Gerätetyp: Vibromax VM 188 D

Leistung [kW]:	129
Betriebsfrequenz [Hz]:	35
Gewicht [t]:	19,7
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

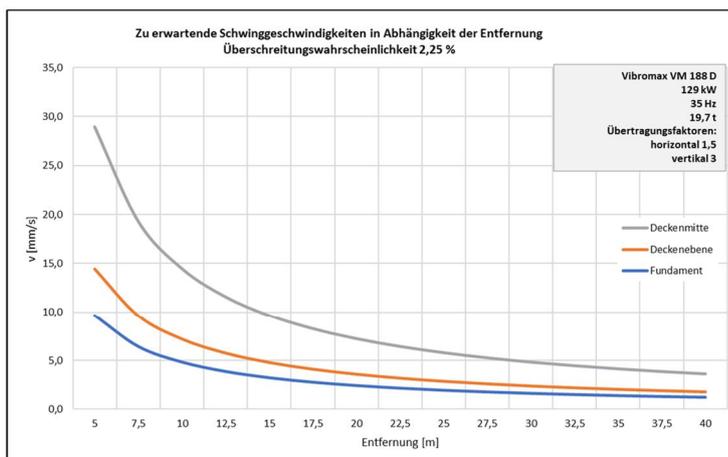
zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	3,8	2,6	1,9	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
Deckenebene	5,7	3,8	2,9	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
Deckenmitte	11,5	7,7	5,7	4,6	3,8	3,3	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4

Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	9,6	6,4	4,8	3,9	3,2	2,8	2,4	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
Deckenebene	14,5	9,6	7,2	5,8	4,8	4,1	3,6	3,2	2,9	2,6	2,4	2,2	2,1	1,9	1,8
Deckenmitte	28,9	19,3	14,5	11,6	9,6	8,3	7,2	6,4	5,8	5,3	4,8	4,5	4,1	3,9	3,6

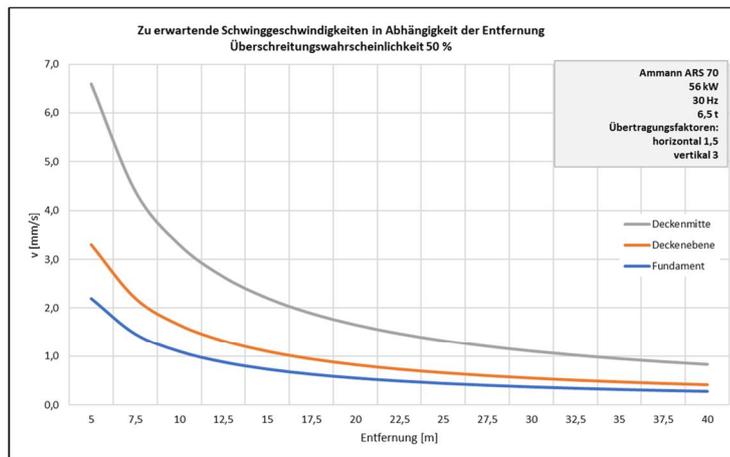
Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

1.1.4 Ammann ARS 70

Gerätetyp: Ammann ARS 70

Leistung [kW]:	56
Betriebsfrequenz [Hz]:	30
Gewicht [t]:	6,5
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

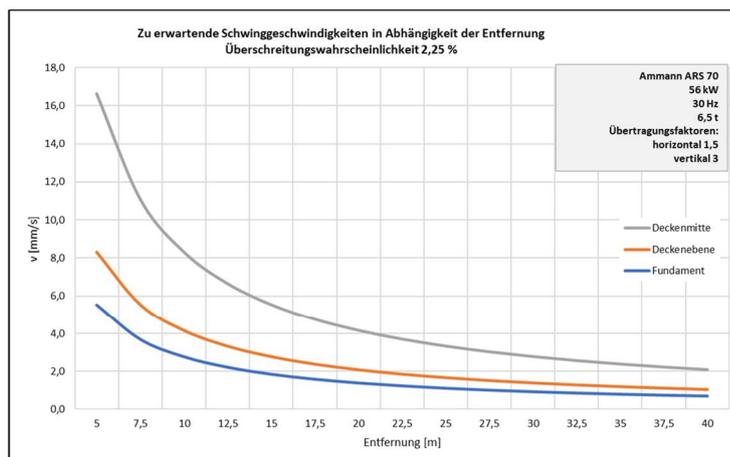
zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	2,2	1,5	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Deckenebene	3,3	2,2	1,6	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
Deckenmitte	6,6	4,4	3,3	2,6	2,2	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8

Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	5,5	3,7	2,8	2,2	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7
Deckenebene	8,3	5,5	4,2	3,3	2,8	2,4	2,1	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
Deckenmitte	16,6	11,1	8,3	6,7	5,5	4,8	4,2	3,7	3,3	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,1

Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

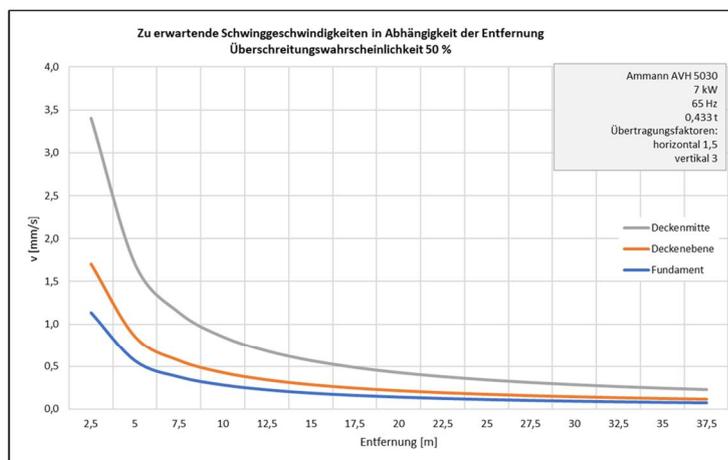
1.2 Plattenverdichter

1.2.1 Ammann AVH 5030

Gerätetyp: Ammann AVH 5030

Leistung [kW]:	7
Betriebsfrequenz [Hz]:	65
Gewicht [t]	0,433
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

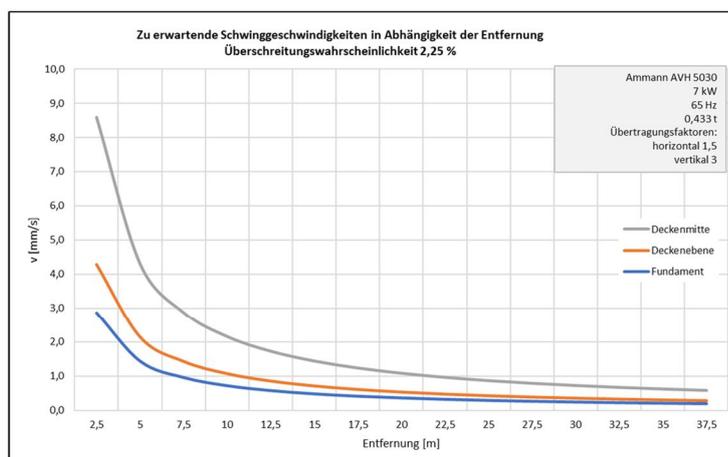
zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
Fundament	1,1	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Deckenebene	1,7	0,9	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Deckenmitte	3,4	1,7	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2

Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %



Entfernung	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
Fundament	2,9	1,4	1,0	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Deckenebene	4,3	2,1	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Deckenmitte	8,6	4,3	2,9	2,1	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6

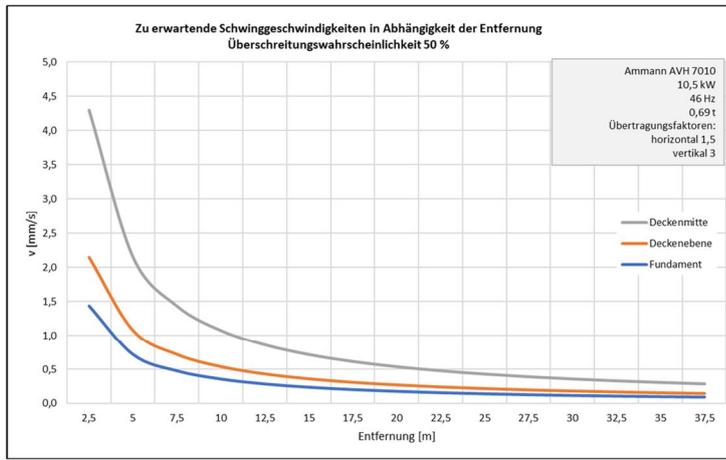
Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

1.2.2 Ammann AVH 7010

Gerätetyp: Ammann AVH 7010

Leistung [kW]:	10,5
Betriebsfrequenz [Hz]:	46
Gewicht [t]	0,69
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

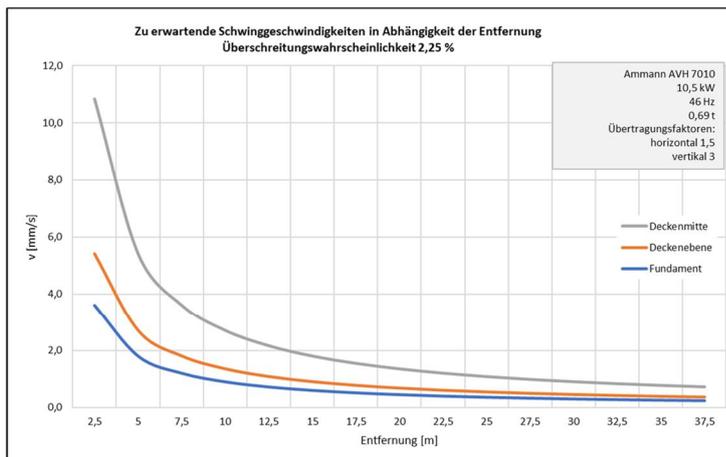
zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
Fundament	1,4	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Deckenebene	2,1	1,1	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Deckenmitte	4,3	2,1	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3

Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %



Entfernung	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
Fundament	3,6	1,8	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Deckenebene	5,4	2,7	1,8	1,4	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
Deckenmitte	10,8	5,4	3,6	2,7	2,2	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7

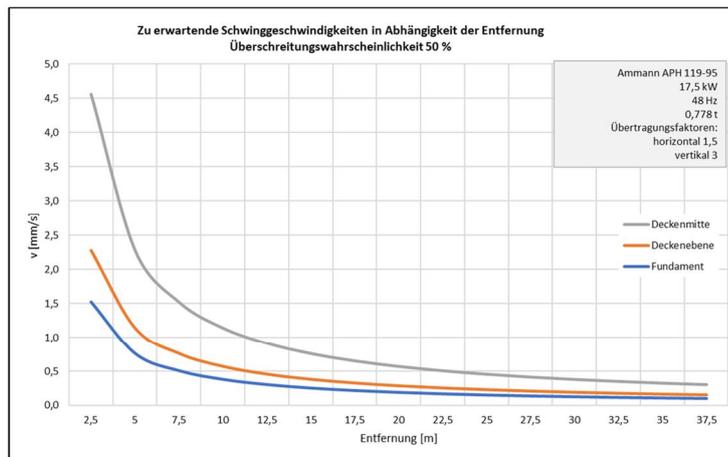
Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

1.2.3 Ammann APH 119-95

Gerätetyp: Ammann APH 119-95

Leistung [kW]:	17,5
Betriebsfrequenz [Hz]:	48
Gewicht [t]	0,778
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

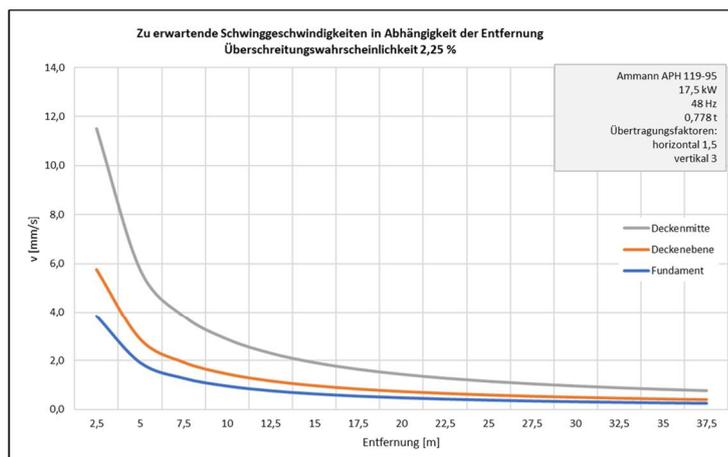
zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
Fundament	1,5	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Deckenebene	2,3	1,1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Deckenmitte	4,6	2,3	1,5	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3

Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %



Entfernung	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
Fundament	3,8	1,9	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Deckenebene	5,8	2,9	1,9	1,4	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
Deckenmitte	11,5	5,8	3,8	2,9	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8

Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

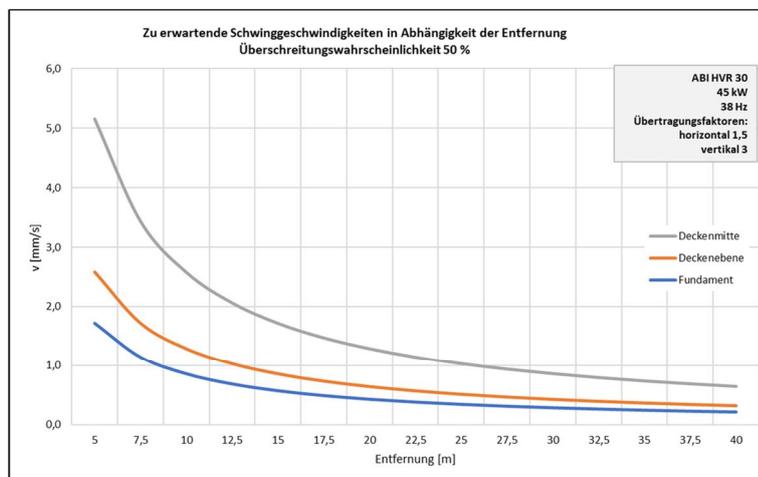
1.3 Vibrationsbären

1.3.1 ABI HVR 30

Gerätetyp: ABI HVR 30

Leistung [kW]:	45
Betriebsfrequenz [Hz]:	38
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

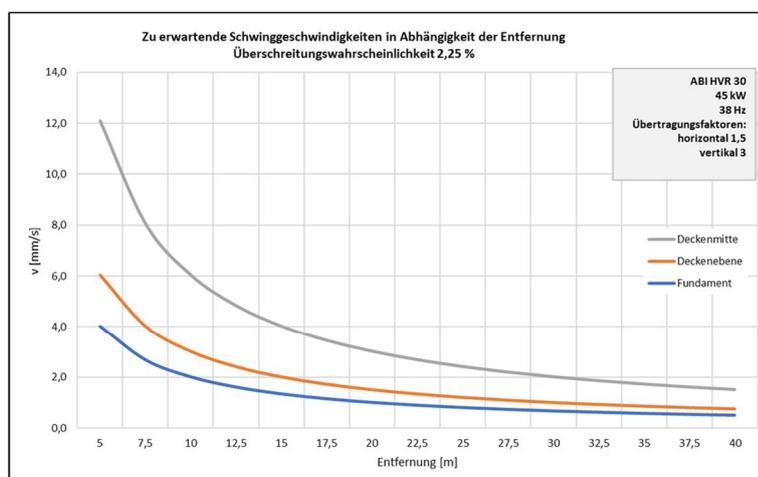
zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	1,7	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Deckenebene	2,6	1,7	1,3	1,0	0,9	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
Deckenmitte	5,2	3,4	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6

Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	4,0	2,7	2,0	1,6	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
Deckenebene	6,0	4,0	3,0	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8
Deckenmitte	12,1	8,1	6,0	4,8	4,0	3,5	3,0	2,7	2,4	2,2	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5

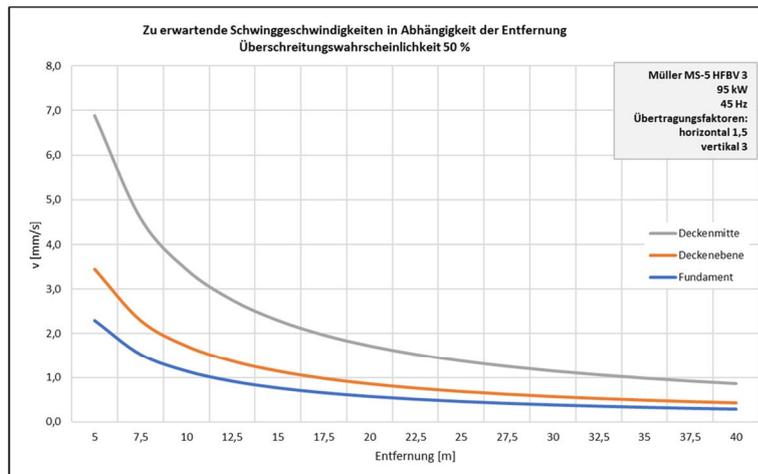
Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

1.3.2 MÜLLER MS-5 HFBV 3

Gerätetyp: Müller MS-5 HFBV 3

Leistung [kW]:	95
Betriebsfrequenz [Hz]:	45
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

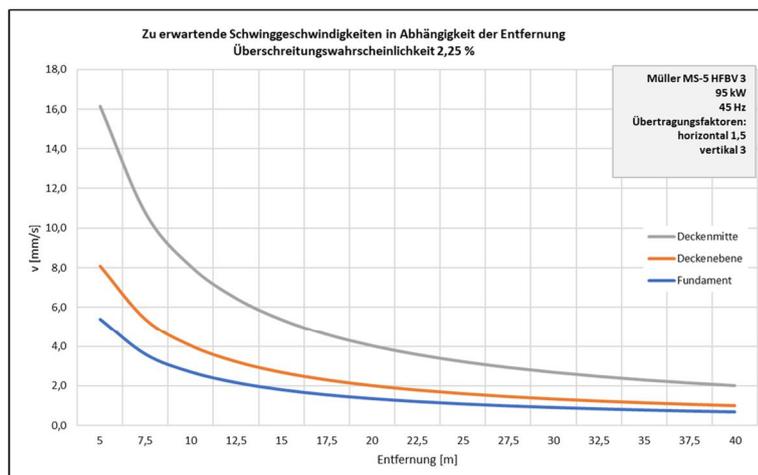
zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	2,3	1,5	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Deckenebene	3,4	2,3	1,7	1,4	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
Deckenmitte	6,9	4,6	3,4	2,8	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,3	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9

Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	5,4	3,6	2,7	2,2	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7
Deckenebene	8,1	5,4	4,0	3,2	2,7	2,3	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0
Deckenmitte	16,1	10,8	8,1	6,5	5,4	4,6	4,0	3,6	3,2	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	2,0

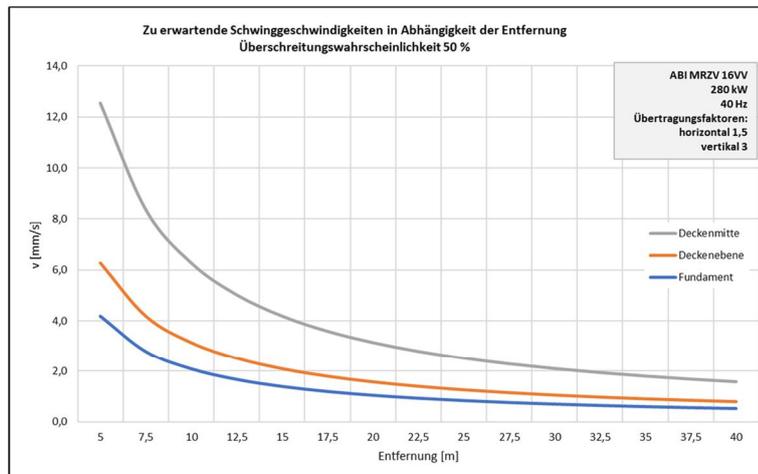
Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

1.3.3 ABI MRZV 16VV

Gerätetyp: ABI MRZV 16VV

Leistung [kW]:	280
Betriebsfrequenz [Hz]:	40
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

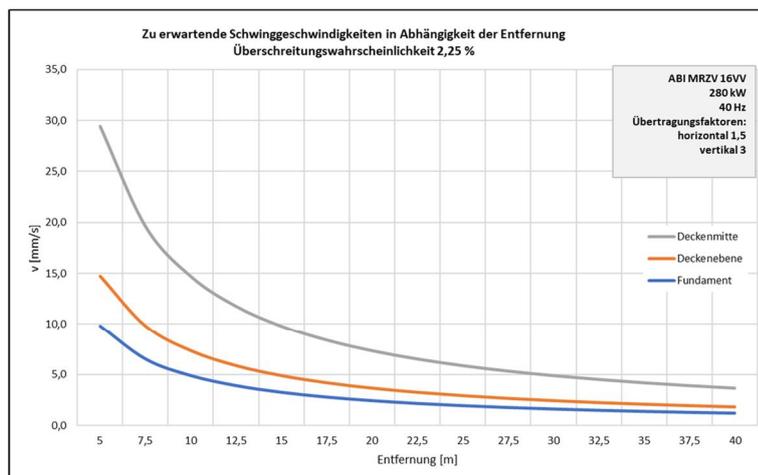
zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	4,2	2,8	2,1	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5
Deckenebene	6,3	4,2	3,1	2,5	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8
Deckenmitte	12,5	8,4	6,3	5,0	4,2	3,6	3,1	2,8	2,5	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7	1,6

Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %



Entfernung	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Fundament	9,8	6,5	4,9	3,9	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
Deckenebene	14,7	9,8	7,3	5,9	4,9	4,2	3,7	3,3	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1	2,0	1,8
Deckenmitte	29,4	19,6	14,7	11,8	9,8	8,4	7,3	6,5	5,9	5,3	4,9	4,5	4,2	3,9	3,7

Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]