

Untersuchungsbericht

über

die zu erwartenden Erschütterungsbelastungen
bei Bautätigkeiten im Rahmen der Verbesserung des
Hochwasserschutzes in Frankfurt (Oder)

Projekt	Verbesserung des Hochwasserschutzes Frankfurt (Oder) auf ein HW 200 Abschnitt 2 und 1 - Stadtbrücke (Oder-km 584,14) bis Ziegelstraße (Oder km 584,70)
---------	---

Auftraggeber	Landesamt für Umwelt (LfU) Brandenburg
Ausführungsplanung	Dr.-Ing. Heinrich Ingenieurgesellschaft mbH Freiberg/Sachsen

In der Fassung vom: 28.01.2020

Der Bericht umfasst inklusive Anlagen 47 Seiten

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

DMT Gründungstechnik GmbH
Zum Audorfer See 9
24782 Büdelsdorf
Tel. : 04331/43 755-0
Fax : 04331/43 755-22



Austraße 1
71665 Vaihingen (Enz)
Tel. : 07042/7073
Fax : 07042/7074

Ziel der Prognose

Es galt, die im Rahmen des Bauvorhabens „Verbesserung des Hochwasserschutzes Frankfurt (Oder) auf ein HW 200 – Abschnitt 2 und 1“ die zu erwartende Erschütterungsbelastung durch Bautätigkeiten in Folge der für den Abschnitt 1 geplanten Bautätigkeiten für derzeit vorhandene und diesen Arbeiten nächstgelegene Gebäude überschlägig zu prognostizieren.

Projektverantwortlich

Projektverantwortlicher

Dipl.-Ing. Arne Wulkau

Inhalt

1	Aufgabenstellung und Übersicht.....	4
2	Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	5
3	Verwendete Unterlagen / Grundlagen	6
4	Vorbemerkungen.....	7
5	Allgemeine Rechenverfahren / Annahmen der Prognoserechnung.....	8
5.1	Ausbreitung von Schwingungen.....	8
5.2	Übertragung auf das Bauwerk und innerhalb des Bauwerks	11
5.3	Fundamentalschwingungen direkte Prognose	13
5.4	Prognose der Baugrundschiebungen.....	14
6	Grundlagen für die Beurteilung der Erschütterungen aus Bautätigkeiten.....	15
6.1	Grundlagen für die Beurteilung der Gebäude- bzw. Bauwerksbelastung – DIN 4150 Teil III.....	15
6.2	Beurteilungsgrundlagen Erschütterungseinwirkung auf den Boden	17
6.3	Erschütterungseinwirkung in Bezug auf den Menschen (Wohlbefinden) – DIN 4150 Teil II.....	19
7	Technische Kurz-Beschreibung der Baumaßnahme	23
8	Geplante Bautätigkeiten.....	24
8.1	Bauphasen 1 - 6.....	24
8.2	Bauphase 7	26
8.3	Bauphase 8.....	26
9	Erschütterungsquellen – Hochrechnung der zu erwartenden Immissionen	27
9.1	Pressarbeiten	27
9.2	Rüttelarbeiten	27
9.3	Rammarbeiten	28
9.4	Bohrarbeiten / Ankerbohrarbeiten für Verpressanker.....	31
9.5	Stemmarbeiten, allgemeine Abbrucharbeiten mit hydraulischer baggergeführter Schere.....	31
9.6	Baggerarbeiten, allgemeine Bautätigkeiten.....	31
9.7	Einsatz von Fahrzeugen mit Kettenfahrwerk	31
9.8	Bodenverdichtungsarbeiten.....	32
10	Baugrunderschütterung – Ergänzende Betrachtungen Liquefaktion.....	34
11	Schlussbetrachtung	35

Anlagenverzeichnis

In den Anlagen sind die für unterschiedliche Bauverfahren sowie unterschiedliche Baugeräte zu erwartenden Gebäudeerschütterungen -getrennt nach Fundament, Deckenebene sowie Deckenmitte- für differierende Entfernungen der Erschütterungsquelle zum Gebäude tabellarisch als auch grafisch dargestellt.

A1. Rüttelarbeiten zum Einbringen / Ziehen von Spundbohlen	41
Vibrationsbär ABI HVR 30.....	41
A2. Rammarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen	42
Rambbär Typ IHC S 35 – volle Energieeinleitung	42
Rambbär Typ IHC S 35 – reduzierte Energieeinleitung.....	44
A3: Bodenverdichtungsarbeiten mit Rüttelplatte	46
Rüttelplatte Ammann AVH 6030-ACE.....	46
Rüttelplatte Ammann AVP 2220 Hatz	47

1 Aufgabenstellung und Übersicht

Die Stadt Frankfurt (Oder) und das Landesamt für Umwelt (LfU) beabsichtigen, den Hochwasserschutz für einen Teil der Uferpromenade auf ein HW 200 zu verbessern. Der Hochwasserschutz soll im geplanten Abschnitt 1 durch den Ersatzneubau einer erhöhten Ufermauer und die Erweiterung der Hochwasserschutzanlage um ein Stemmtor verbessert werden. Das Vorhabengebiet für den Abschnitt 1 erstreckt sich von der Römertreppe im Süden etwa bis Höhe Ziegelstraße auf einer Gesamtlänge von ca. 400 m.

Der vorliegende Untersuchungsbericht befasst sich mit möglichen Auswirkungen aus Erschütterungen infolge der oben beschriebenen geplanten Bautätigkeiten auf hierzu nahe gelegene Immissionsbereiche (Bestandsbebauung bzw. derzeit vorhandene Nachbarschaft).

Übersicht – Lage der Baumaßnahme



2 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die Ertüchtigung des Hochwasserschutzes im Abschnitt 1 soll von ca. der Römertreppe im Süden bis in etwa auf Höhe der Ziegelstraße im Norden vorgenommen werden. Die nächstgelegene Bebauung befindet sich unmittelbar westlich hierzu. Bei den hier gelegenen Bauwerken handelt es sich überwiegend um mehrstöckige Wohnbauten, teilweise durchmischt mit Kulturbauten. Die Bebauung weist teilweise eine sehr geringe Entfernung zu den geplanten Bautätigkeiten auf. Die folgenden perspektivischen Abbildungen zeigen zum einen die Lage der Bestandshochwasserschutzwand als auch die topografischen Merkmale des Untersuchungsgebiets.

Übersicht - Luftbild



Übersicht 3D-Modell – Gelände, topografische Ansicht



Zusätzlich zur eigentlichen Ertüchtigung des Hochwasserschutzes ist der Bau eines Stemmtors als integraler Bestandteil der Hochwasserschutzlinie geplant. Des Weiteren sind Umgestaltungsmaßnahmen der Promenade geplant, einhergehend mit dem Neubau einer Römertreppe.

Die im Abschnitt 1 gelegene Hochwasserschutzwand soll mittels einer wasserseitig verschalteten Bohrpfahlwand ertüchtigt werden. Hierzu ist eine temporäre Sicherung in Form einer Spundwand für diesen Bereich erforderlich.

3 Verwendete Unterlagen / Grundlagen

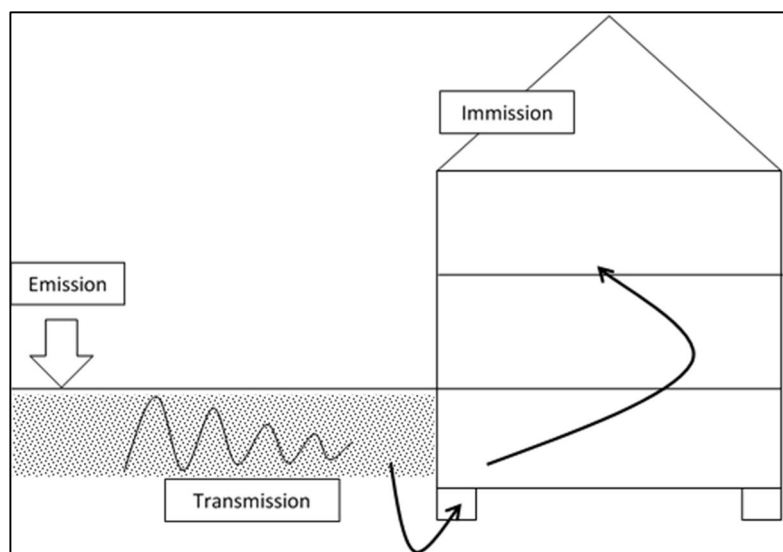
- [1] DIN 4150 Teil 1: Erschütterungen im Bauwesen – Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- [2] DIN 4150 Teil 2: Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [3] DIN 4150 Teil 3: Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Dezember 2016
- [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

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 Krafteinwirkungen auf seine Oberfläche und/oder im Inneren hervorgerufen. Durch die Krafteinwirkungen 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]

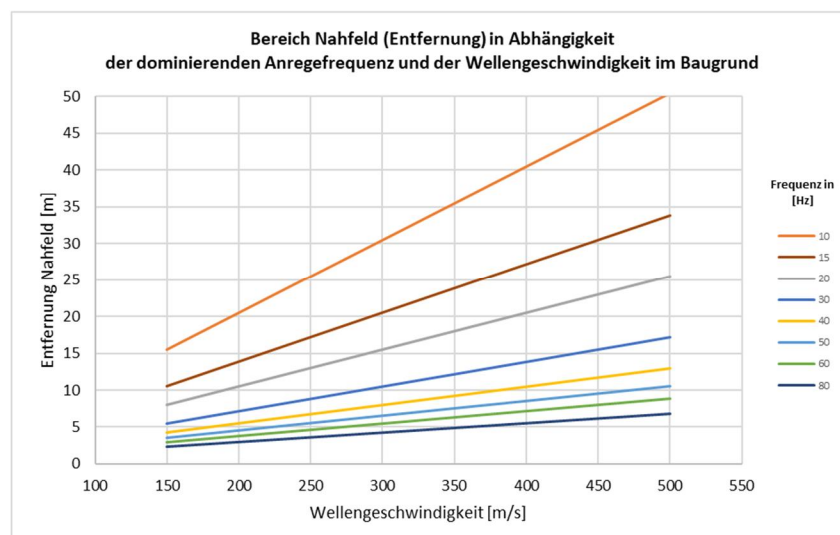
Die Wellenlänge der maßgebenden Oberflächenwelle λ_r ergibt sich hierbei mit

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

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:

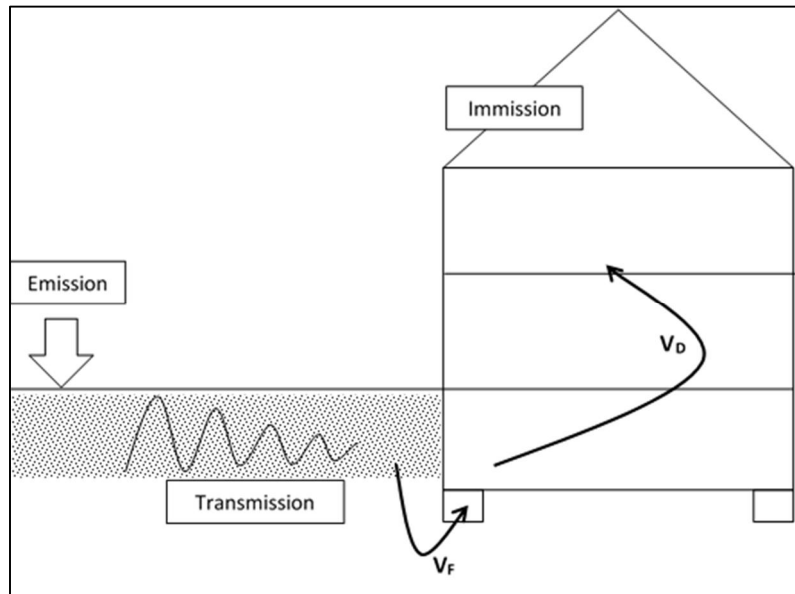
$$c_p \approx c_s \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{(1-2\nu)}}$$

oder vereinfacht

$$c_p \approx 2,1 c_s$$

5.2 Übertragung auf das Bauwerk und innerhalb des Bauwerks

Übertragungsfaktoren



5.2.1 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.

5.2.2 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 (Anregfrequenz deutlich größer (>5) als Eigenfrequenz)		1,5 - 5
	Impulsförmige Anregung		3

*) Stahlbetondecken / Holzbalkendecken

5.3 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
Rammung	Vibration	$v_{i,max}^F = 7,9 \frac{\sqrt{W/f}}{r}$	$v_{i,max}^F = 18,52 \frac{\sqrt{W/f}}{r}$
	Schlagammung (Dieselbär)	$v_{i,max}^F = 2,45 \frac{\sqrt{E}}{r}$	$v_{i,max}^F = 3,82 \frac{\sqrt{E}}{r}$
	Schlagammung (Freifallbär)	$v_{i,max}^F = 11,07 \frac{\sqrt{E}}{r^{1,3}}$ nach WIECK (2004)	
		$v_{i,max}^F = 6,2 \frac{\sqrt{E}}{r}$	$v_{i,max}^F = 14,1 \frac{\sqrt{E}}{r}$
Nach Spannhoff, Th – Diplomarbeit Hannover 2006			
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			

5.4 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 Bodenschrwinggeschwindigkeit

Rammung	Vibration	$v_R^B = K \frac{\sqrt{E}}{r} \quad \text{mit } K = 23,7$
	Schlagammung	$v_R^B = K \frac{\sqrt{E}}{r}$ <p>mit K = 15,8 (weicher lockerer Boden) bis K = 31,6 (sehr steifer bzw. dichter Boden)</p>
Verdichtung	Vibrationsplatte	$v_R^B = K \frac{\sqrt{E}}{r} \quad \text{mit } K = 100, E = W/f$
	Vibrationswalze	
E in kNm , r in m , v in mm/s		

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:**

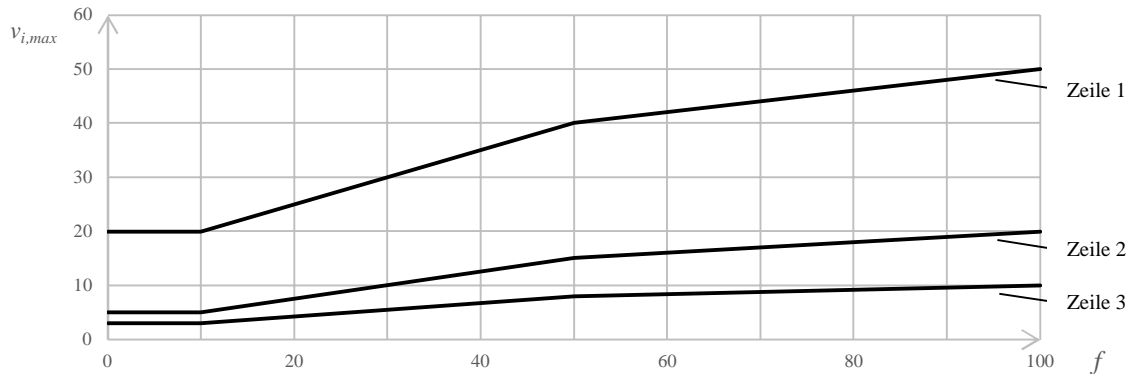
Alle Erschütterungen, auf die die Definition der kurzzeitigen Erschütterungen nicht zutrifft

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	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.

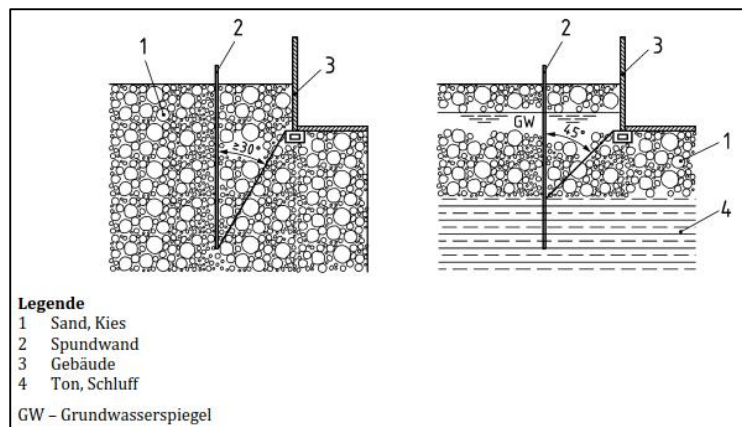
a Unterabschnitt 6.1.2 ist zu beachten.

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

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 - 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-Registriertsystems 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 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)

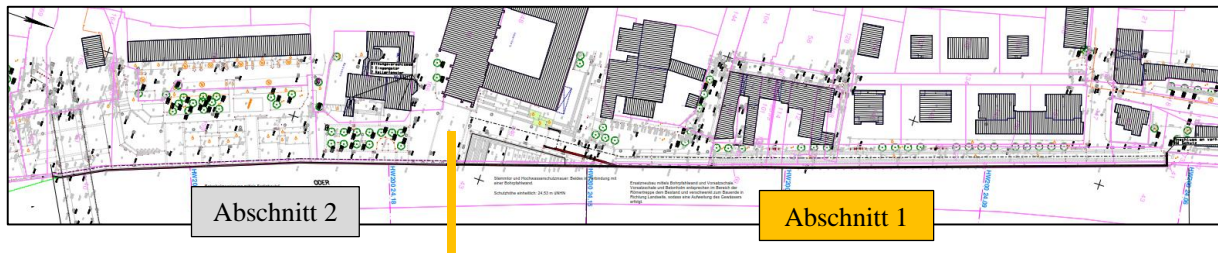
c_F = Konstante nach Tabelle 3 (s. u.)

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);	0,8
	b) ohne Resonanzbeteiligung (z.B. auf nicht unterkellerten Wohnungsfußböden)	0,7
4	Einzelereignisse kurzer Dauer	
	a) mit Resonanzbeteiligung	0,8
	b) ohne Resonanzbeteiligung	0,6
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 Technische Kurz-Beschreibung der Baumaßnahme

Die Ertüchtigung des Hochwasserschutzes in Form der Hochwasserschutzwand lässt sich grundsätzlich in zwei Bereiche (Bereiche 1 und 2) aufteilen, für welche unterschiedliche Konzepte vorgesehen sind. In beiden Bereichen wird die vorhandene Hochwasserschutzwand im Kopfbereich bis auf die geplante Sanierungs-Anschlusshöhe abgebrochen.



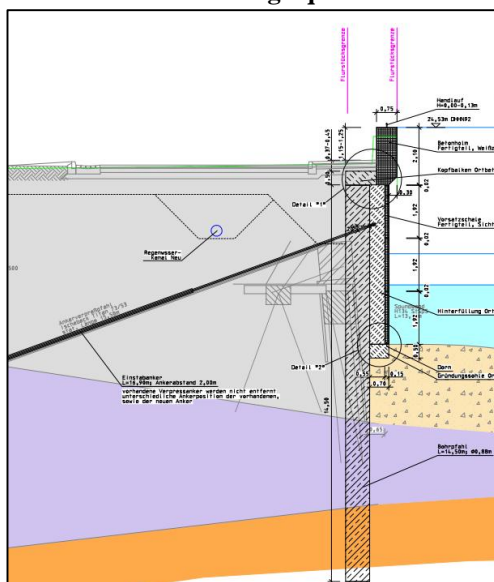
Im Abschnitt 1 soll die vorhandene Hochwasserschutzwand durch eine rückverankerte Bohrpfehlwand mit vorgelagerter und mit Ortbeton hinterverfüllter Verschalung ertüchtigt werden. In der Bauphase ist es hierbei erforderlich, wasserseitig der geplanten Bohrpfehlwand eine Spundwand als temporäre Abschirmung einzubringen. Für den aktiven Hochwasserschutz ist des Weiteren landseitig der Bau eines Stemmtores mit von der Uferlinie verschwenkter Hochwasserschutzwand vorgesehen.

Landseitig ist eine Umgestaltung der Uferpromenade geplant. Hierbei ist als wesentlicher Aspekt der Bau bzw. die Umgestaltung einer Römertreppe zu nennen, welche sich in etwa am südlichen Ende des Abschnitt 1 befindet. Des Weiteren sind die Neugestaltung der angrenzenden Pflasterflächen sowie die Errichtung von Aussichtsplattformen geplant.

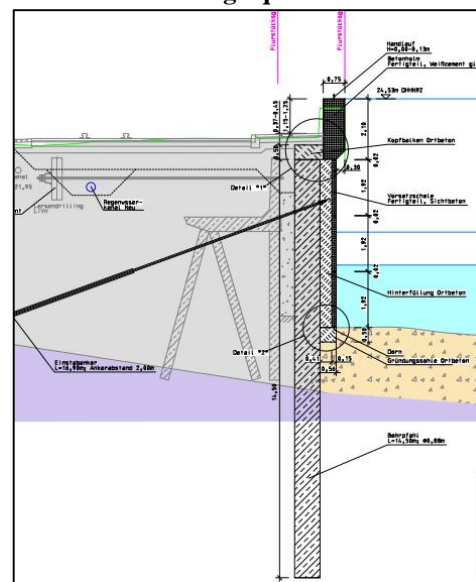
Für den Abschnitt 2 ist geplant, lediglich den Kopfbereich der Bestandshochwasserschutzwand (Betonholm) zu sanieren und mit einer Vorsatzschale (Fertigteilen) zu bestücken. Die Bautätigkeiten im Zuge des Abschnitts 2 sind nicht Bestandteil dieser Prognose.

Schnitte Hochwasserschutzwand Planung (beispielhaft)

Abschnitt 1 - Regelquerschnitt 1



Abschnitt - Regelquerschnitt 2



8 Geplante Bautätigkeiten

Für die Arbeiten im Rahmen der Ertüchtigung des Hochwasserschutzes sowie der Flächengestaltung westlich davon wurden folgende Bauhaupttätigkeiten / Bauphasen identifiziert:

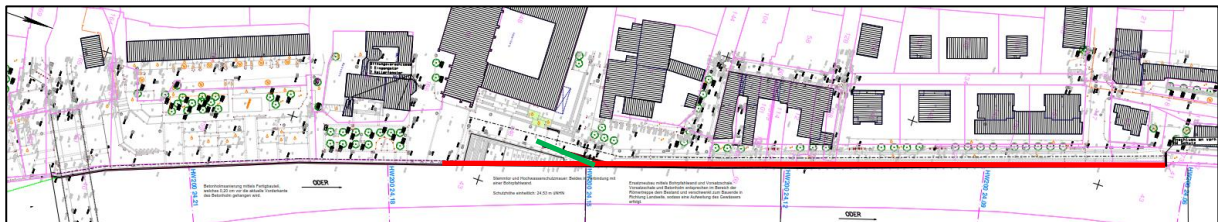
1. Einbringen von Spundbohlen (Ramm-, Vibrations- und Pressverfahren)
2. Bohrarbeiten Bohrpfahlwand als HWS
3. Rückbauarbeiten alte Hochwasserschutzwand
4. Herstellung Verpressanker als Rückverankerung der Bohrpfahlwand
5. Einbau Betonfertigteile, Hinterfüllung Ortbeton
6. Ziehen von Spundbohlen
7. Herstellung Stemmtor
8. Flächengestaltung / Römertreppe

Diese einzelnen Arbeiten werden im Folgenden kurz räumlich dargestellt. Zusätzlich sind die zu erwartenden und aus erschütterungstechnischer Sicht relevanten Baugeräte / Bauverfahren jeweils angegeben.

8.1 Bauphasen 1 - 6

Die ungefähre Lage der für die Bauphasen 1 bis 6 geplanten Bautätigkeiten sind in dem unten dargestellten Lageplan in rot dargestellt. In grün ist die Lage der zusätzlichen Hochwasserschutzwand, welche als Bohrpfahlwand hergestellt werden soll, mit Anschluss an das geplante Stemmtor markiert.

Grobe Übersicht der geplanten Bohrarbeiten



8.1.1 Arbeiten zum Einbringen/Ziehen von Spundwandprofilen

Für diese Arbeiten ist der Einsatz folgender Baumaschinen als maßgebende Schwingerreger zu erwarten bzw. -in Abhängigkeit der Baugrundbeschaffenheit- ggf. notwendig:

- Spundwandpresse
- Vibrationsbär
- Rammbar

Die minimale horizontale Entfernung der Arbeiten zum Einbringen / Ziehen der Spundbohlen beträgt gemäß der derzeitigen Planung ca. 13 m zur nächstgelegenen Bebauung (Bereich Mühlengasse 1 - 4), der überwiegende Anteil der Arbeiten erfolgt in größerer Entfernung zu den Gebäuden.

8.1.2 Bohrarbeiten zur Herstellung Bohrpfahlwand HWS

Für diese Arbeiten ist der Einsatz folgender Baumaschinen als maßgebende Schwingerreger zu erwarten:

- Bohrergerät

Die minimale horizontale Entfernung der Bohrarbeiten zur Herstellung der Bohrpfahlwand beträgt gemäß der derzeitigen Planung ca. 12 m zur nächstgelegenen Bebauung (Bereich Mühlengasse 1 - 4), der überwiegende Anteil der Arbeiten erfolgt in größerer Entfernung zu den Gebäuden. Im Bereich des Stemmtores wird die minimale Entfernung zur nächstgelegenen Bebauung ca. 10 m betragen.

8.1.3 Rückbauarbeiten alte Hochwasserschutzwand

Für diese Arbeiten ist der Einsatz folgender Baumaschinen als maßgebende Schwingerreger zu erwarten:

- Stemmeißel
- Abbruchzange
- Bagger

Die minimale horizontale Entfernung der Rückbauarbeiten beträgt gemäß der derzeitigen Planung ca. 12 m zur nächstgelegenen Bebauung (Bereich Mühlengasse 1 - 4), der überwiegende Anteil der Arbeiten erfolgt in größerer Entfernung zu den Gebäuden.

8.1.4 Ankerbohrarbeiten Bohrpfahlwand (Verpressanker)

Für diese Arbeiten ist der Einsatz folgender Baumaschinen als maßgebende Schwingerreger zu erwarten:

- Ankerbohrgerät

Die minimale horizontale Entfernung der Bohrarbeiten vom Ansatzpunkt aus (die Länge der Verpressanker ist derzeit nicht bekannt, so dass eine tatsächliche Entfernung hier im ersten Ansatz nicht ermittelt werden kann) beträgt gemäß der derzeitigen Planung ca. 12 m zur nächstgelegenen Bebauung (Bereich Mühlengasse 1 - 4), der überwiegende Anteil der Arbeiten erfolgt in größerer Entfernung zu den Gebäuden.

8.1.5 Einbau Betonfertigteile – Hinterfüllung Ortbeton

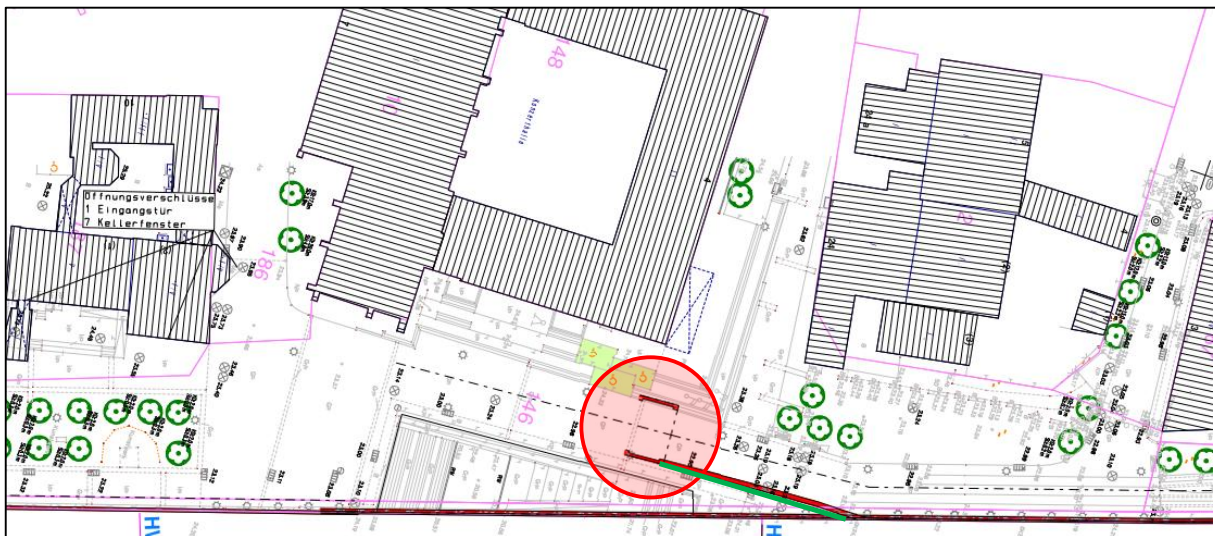
Für diese Arbeiten sind keine Baumaschinen zu erwarten, welche maßgebende Erschütterungen auslösen könnten.

8.2 Bauphase 7

8.2.1 Stemmtor

Für den Bau des Stemmtores sind Gründungsarbeiten als auch allgemeine Hochbautätigkeiten zu erwarten. Für die Gründung des Stemmtores wird im ersten Ansatz eine Tiefgründung im Bohrverfahren angenommen. Im Bereich des Stemmtores wird die minimale Entfernung zur nächstgelegenen Bebauung ca. 10 m betragen.

Grobe Übersicht der geplanten Lage des Stemmtores



Für diese Arbeiten ist der Einsatz folgender Baumaschinen als maßgebende Schwingerreger zu erwarten:

- Bohrergerät

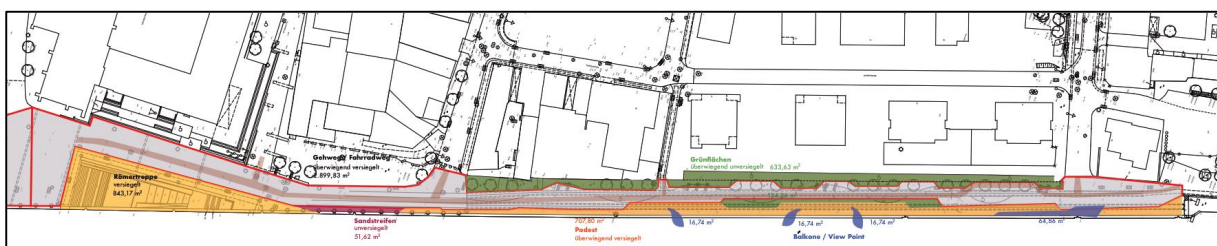
8.3 Bauphase 8

8.3.1 Flächengestaltung

Im Bereich landseitig der Hochwasserschutzwand ist eine Flächenneugestaltung vorgesehen. Hierbei ist im Wesentlichen vorgesehen, den derzeitigen Bestand zurückzubauen und neue Pflaster- sowie bepflanzte Flächen anzulegen. Für diese Arbeiten ist der Einsatz folgender Baumaschinen als maßgebende Schwingerreger zu erwarten:

- Rüttelplatte (Verdichtungsarbeiten)
- Bagger

Grobe Übersicht der geplanten Bereiche der Umgestaltung



9 Erschütterungsquellen – Hochrechnung der zu erwartenden Immissionen

9.1 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 Erschütterungsmissionen wurde hier im ersten Ansatz verzichtet.

9.2 Rüttelarbeiten

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 Erschütterungsmissionen 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.

Im Folgenden wurde beispielhaft für den Belastungsfall „Rüttelarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen“ exemplarische eine Hochrechnung der zu erwartenden Erschütterungsmissionen für einen typischen Vibrationsbär -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.

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

- Übertragungsfaktor (Bauteil) horizontal [-] = 2
 - Übertragungsfaktor (Bauteil) vertikal [-] = 5
- (keine Resonanzanregung mit Anregefrequenz $\gg 5$ als Deckeneigenfrequenz)

9.2.1 Rüttelarbeiten Einbringen Spundbohlen

Vibrationsbär: ABI HVR 30

Leistung: 50 kW

Betriebsfrequenz: 38 Hz

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung

Wahrscheinliche Werte (Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %)

Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	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	0,3	0,2
Deckenebene	2,1	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
Deckenmitte	5,4	4,3	3,6	3,1	2,7	2,4	2,1	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2

Entfernung in [m] – Schwinggeschwindigkeit in [mm/s]

Ungünstige Werte (Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %)

Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	2,5	2,0	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
Deckenebene	5,0	4,0	3,4	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1
Deckenmitte	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	3,0	2,8

Entfernung in [m] – Schwinggeschwindigkeit in [mm/s]

9.3 Rammarbeiten

Bei Rammarbeiten wird über das Rammgut ein jeweiliger Rammimpuls in den Baugrund eingeleitet. Die Größenordnung der hierbei emittierten Erschütterungen wird hierbei maßgeblich bestimmt durch die aufgebrachte wirksame Rammenergie. Diese wird wiederum bestimmt durch die Fallmasse des Rammjärens sowie die Fallhöhe. Im Folgenden wurde beispielhaft für den Belastungsfall „Rammarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen“ exemplarisch eine Hochrechnung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen für einen typischen Rammjäre - 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% nach SPANNHOFF als auch mittlere zu erwartende Erschütterungsimmissionen nach WIECK rechnerisch ermittelt.

Als Referenzrammjäre wurde ein IHC S 35 angenommen, welcher typischerweise bei Rammarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen eingesetzt wird. Der Rammjäre hat eine maximale theoretische Energie bei größter Fallhöhe von ca. 35 kNm. Bei reduzierter Fallhöhe kann die Energie auf ca. 10 kNm reduziert werden, ggf. sogar noch darunter. Die folgenden Berechnungen wurden für volle als auch für reduzierte Energieeinleitung vorgenommen.

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

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

9.3.1 Rammarbeiten Einbringen Spundbohlen

Rambbär: IHC S-35

Theoretische Energie: 35 kNm

Dominierende Frequenz: 10 Hz (Annahme aus Erfahrungswerten)

9.3.1.1 Berechnung für volle Energie – IHC S-35 mit 35 kNm

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung nach SPANNHOFF

Wahrscheinliche Werte (Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %)

Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	4,6	3,7	3,1	2,6	2,3	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0
Deckenebene	6,9	5,5	4,6	3,9	3,4	3,1	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5
Deckenmitte	13,8	11,0	9,2	7,9	6,9	6,1	5,5	5,0	4,6	4,2	3,9	3,7	3,4	3,2	3,1

Entfernung in [m] – Schwinggeschwindigkeit in [mm/s]

Ungünstige Werte (Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %)

Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	10,9	8,7	7,2	6,2	5,4	4,8	4,3	4,0	3,6	3,3	3,1	2,9	2,7	2,6	2,4
Deckenebene	16,3	13,0	10,9	9,3	8,2	7,2	6,5	5,9	5,4	5,0	4,7	4,3	4,1	3,8	3,6
Deckenmitte	32,6	26,1	21,7	18,6	16,3	14,5	13,0	11,9	10,9	10,0	9,3	8,7	8,2	7,7	7,2

Entfernung in [m] – Schwinggeschwindigkeit in [mm/s]

Zu erwartende mittlere Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung nach WIECK

Mittlere Werte

Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	4,4	3,3	2,6	2,1	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6
Deckenebene	6,6	4,9	3,9	3,2	2,7	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
Deckenmitte	13,2	9,8	7,8	6,4	5,3	4,6	4,0	3,5	3,2	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,9

Entfernung in [m] – Schwinggeschwindigkeit in [mm/s]

9.3.1.2 Berechnung für reduzierte Energie – IHC S-35 mit 10 kNm

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung nach SPANNHOFF

Wahrscheinliche Werte (Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %)

Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	2,5	2,0	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5
Deckenebene	3,7	2,9	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8
Deckenmitte	7,4	5,9	4,9	4,2	3,7	3,3	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6

Entfernung in [m] – Schwinggeschwindigkeit in [mm/s]

Ungünstige Werte (Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %)

Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	5,8	4,6	3,9	3,3	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3
Deckenebene	8,7	7,0	5,8	5,0	4,4	3,9	3,5	3,2	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	2,1	1,9
Deckenmitte	17,4	13,9	11,6	10,0	8,7	7,7	7,0	6,3	5,8	5,4	5,0	4,6	4,4	4,1	3,9

Entfernung in [m] – Schwinggeschwindigkeit in [mm/s]

Zu erwartende mittlere Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung nach WIECK

Mittlere Werte

Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	2,3	1,8	1,4	1,1	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
Deckenebene	3,5	2,6	2,1	1,7	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
Deckenmitte	7,0	5,3	4,2	3,4	2,9	2,5	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0

Entfernung in [m] – Schwinggeschwindigkeit in [mm/s]

9.4 Bohrarbeiten / Ankerbohrarbeiten für Verpressanker

Die Bohrarbeiten zur Herstellung der Bohrpfahlwand sind als erschütterungsarm anzusehen. Bei einem ordnungsgemäßen fachgerechten Einsatz des Bohrgerätes (keine Kippbewegungen des Kettenfahrwerks) sowie dem Ausbleiben von Hindernissen im Baugrund ist von keinen für die Gebäude kritischen Erschütterungsbelastungsgrößen auszugehen. Gleiches gilt für die Ankerbohrarbeiten zur Herstellung der Verpressanker für die Rückverankerung der Bohrpfahlwand.

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

9.5 Stemmarbeiten, allgemeine Abbrucharbeiten mit hydraulischer baggergeführter Schere

Die minimale Entfernung der ggf. erforderlichen Abbrucharbeiten / Stemmarbeiten zur nächstgelegenen Bebauung beträgt ca. 12 m. Die Größenordnung der in den Baugrund eingeleiteten und über diesen übertragenen Erschütterungsimmissionen hin zum Gebäudefundament wird maßgebend bestimmt von der Energieeinleitung in das Stemmgut durch den Stemmhammer sowie der Masse sowie der Ausdehnung (Größe) des Stemmguts. Eine detaillierte Prognose der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen kann an dieser Stelle somit nicht hinreichend erfolgen. Erfahrungsgemäß sind jedoch bei einem Einsatz von kleinen bis mittelgroßen Stemmgeräten (z.B. Minibagger mit Stemmeißel) bei der hier vorliegenden minimalen Entfernung zur nächstgelegenen Bebauung bei ordnungsgemäßer Ausführung keine Erschütterungen oberhalb der DIN-Anhaltswerte für Wohngebäude zu erwarten. Gleiches gilt für die Abbrucharbeiten mit hydraulischer Schere.

Es ist zu erwarten, dass für die Arbeiten auch Träger-Fahrzeuge mit Kettenfahrwerk zum Einsatz kommen, so dass für die Abbrucharbeiten auch die Bemerkungen gemäß dem Abschnitt 9.7 *Einsatz von Kettenfahrzeugen* zu beachten sind.

9.6 Baggerarbeiten, allgemeine Bautätigkeiten

Für die Baggerarbeiten im unmittelbaren Nahbereich von Gebäuden (wenige Meter) sollten möglichst kleine leichte Geräte zum Einsatz kommen. 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 durch das Gerät stoßartige Erschütterungsimpulse in den Baugrund eingeleitet werden, verlässlich unterbunden werden.

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

9.7 Einsatz von Fahrzeugen mit Kettenfahrwerk

Bei einem Einsatz von 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 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 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.

9.8 Bodenverdichtungsarbeiten

Arbeiten, welche im Vibrationsverfahren durchgeführt werden, 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 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 folgenden 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.

Im Folgenden wurden beispielhaft für den Belastungsfall „Bodenverdichtungsarbeiten“ überschlägige Berechnungen für zwei unterschiedliche Vibrationsplatten (Plattenverdichter) durchgeführt. Hierbei wurden jeweils die überschlägig zu erwartenden Erschütterungsimmissionen für unterschiedliche Entfernungen der Verdichtungsarbeiten zu einem Gebäude hochgerechnet. Es wurden dabei ungünstige Werte mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 2,25 % sowie wahrscheinliche Werte mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 50% rechnerisch ermittelt. Das Maß der Erschütterungsemissionen durch Vibrationsverdichtungen ist vor allem von Gewicht, Betriebsfrequenz sowie der Amplitude des schwingenden Elements sowie der Art der Anregung abhängig.

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

- Übertragungsfaktor (Bauteil) horizontal [-] = 2
- Übertragungsfaktor (Bauteil) vertikal [-] = 5
(keine Resonanzanregung mit Anregungsfrequenz $\gg 5$ als Deckeneigenfrequenz)

9.8.1 Bodenverdichtungsarbeiten mit Rüttelplatte

Typ: Ammann AVH 6030-ACE
Betriebsgewicht: 0.525 t
Leistung: 10.00 kW
Betriebsfrequenz: 55.00 Hz

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung

Wahrscheinliche Werte (Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %)

Entfernung	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
Fundament	1,0	0,6	0,4	0,3	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	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Deckenmitte	5,2	3,1	2,2	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5

Entfernung in [m] – Schwinggeschwindigkeit in [mm/s]

Ungünstige Werte (Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %)

Entfernung	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
Fundament	2,6	1,6	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Deckenebene	5,3	3,2	2,3	1,8	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
Deckenmitte	13,1	7,9	5,6	4,4	3,6	3,0	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3

Entfernung in [m] – Schwinggeschwindigkeit in [mm/s]

Typ: Ammann AVP 2220-Hatz
Betriebsgewicht: 0.115 t
Leistung: 3.2 kW
Betriebsfrequenz: 98.00 Hz

Zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung

Wahrscheinliche Werte (Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %)

Entfernung	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
Fundament	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Deckenebene	1,0	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Deckenmitte	2,4	1,5	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2

Entfernung in [m] – Schwinggeschwindigkeit in [mm/s]

Ungünstige Werte (Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25 %)

Entfernung	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
Fundament	1,2	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Deckenebene	2,5	1,5	1,1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Deckenmitte	6,1	3,7	2,6	2,0	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]

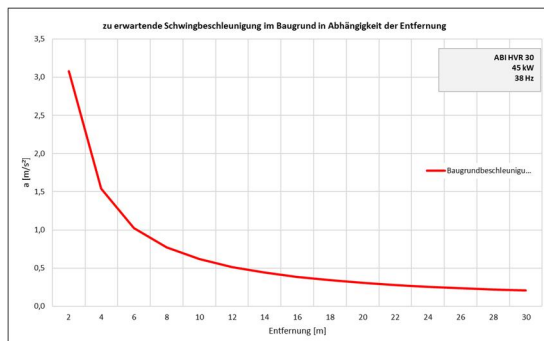
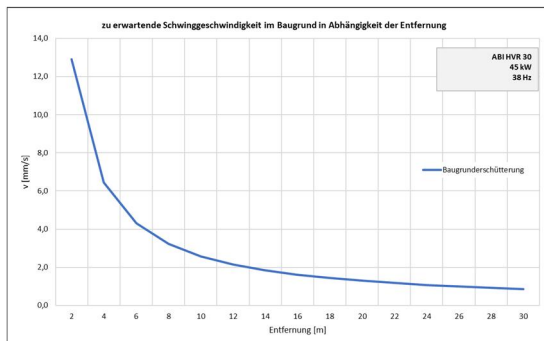
10 Baugrunderschütterung – Ergänzende Betrachtungen Liquefaktion

Bei Vibrationsarbeiten -wie z.B. den Rüttelarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen- im Nahbereich von Gebäuden/Bauwerken besteht potentiell die Gefahr der Nachverdichtung des Bodens unterhalb der Gründungsebene, was zu entsprechenden Setzungserscheinungen führen kann. Die theoretischen Grundlagen hierzu wurden auszugsweise auf den Seiten 17 sowie 18 dargestellt. Hierbei gilt es insbesondere, die Hinweise/Empfehlungen in der DIN 4150 Teil 3 in Hinblick auf Sackungen im Nahbereich von Rüttelarbeiten zu beachten.

In Ergänzung hierzu soll an dieser Stelle die Gefahr von Bodenverflüssigungen, welche im ungünstigen Fall einen kompletten Verlust der Baugrundtragfähigkeit bewirken können, näher untersucht werden. Im Folgenden wurden für diese Form der Betrachtung beispielhaft für den Einsatz eines Vibrationsbären vom Typ „ABI HVR 30“ die zu erwartenden Baugrundschwinggeschwindigkeiten sowie Baugrundbeschleunigungen exemplarisch für unterschiedliche Entfernungen überschlägig hochgerechnet.

Entfernung	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Baugrunderschütterung	12,9	6,4	4,3	3,2	2,6	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9
Baugrundbeschleunigung	3,1	1,5	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2

Entfernung in [m] – Schwinggeschwindigkeit in [mm/s], Beschleunigung in [m/s²]



Anmerkung zur Berechnung:

Die hier durchgeführten Berechnungen und entsprechenden prognostizierten Ergebnisse können nur als Anhalt betrachtet werden, da hier bereits „Nahfeldbedingungen“ vorliegen und die Prognoseformeln daher nur eingeschränkt gültig sind.

11 Schlussbetrachtung

Die Stadt Frankfurt (Oder) und das Landesamt für Umwelt (LfU) beabsichtigen, den Hochwasserschutz für einen Teil der Uferpromenade auf ein HW 200 zu verbessern. Der Hochwasserschutz soll durch den Ersatzneubau einer erhöhten Ufermauer und die Erweiterung der Hochwasserschutzanlage um ein Stemmtor verbessert werden. Das Vorhabengebiet beginnt an der Stadtbrücke und erstreckt sich etwa bis Höhe Ziegelstraße auf einer Gesamtlänge von ca. 560 m.

Der vorliegende Untersuchungsbericht befasst sich mit möglichen Auswirkungen aus Erschütterungen infolge der oben beschriebenen geplanten Bautätigkeiten auf hierzu nahe gelegene Immissionsbereiche (Bestandsbebauung bzw. derzeit vorhandene Nachbarschaft).

Die einzelnen Bauphasen / Bauabschnitte mit jeweiligen zu erwartenden Baugeräteeinsätzen wurden auf den vorangegangenen Seiten im Detail beschrieben.

Die wesentlichen erschütterungsträchtigen Arbeiten, bei welchen potentiell auch kritische Erschütterungsbelastungsgrößen für die Bestandsbebauung nicht ausgeschlossen werden können, sind die Boden- bzw. Baugrundverdichtungsarbeiten im Vibrationsverfahren als auch das Einbringen der Spundbohlen zur Herstellung der Spundwandachse im Vibrations- und Rammverfahren. 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.

Die auf Basis von Modellrechnungen sowie anhand von Erfahrungswerten abgeleiteten Abschätzungen der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen wurden auf den vorangegangenen Seiten im Detail dargestellt und führen zu folgenden Beurteilungen nebst Empfehlungen für den jeweiligen Geräteeinsatz:

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.

Rüttelarbeiten zum Einbringen und Ziehen von Spundbohlen:

Auf Basis der Prognoseergebnisse können bei ungünstiger Konstellation bei einem Einsatz des beispielhaft für die Hochrechnung gewählten Vibrationsbären in einer Entfernung von grob 8 m und weniger zu einem Gebäude Erschütterungsimmissionen in einer Größenordnung oberhalb des DIN-Anhaltswertes für Wohngebäude (oberste Deckenebene) auftreten. Der DIN-Anhaltswert für Deckenschwingungen bei einer Daueranregung wird hiernach bereits -bei ungünstiger Konstellation- hiernach schon bei Entfernungen von ca. 10 m und weniger erreicht. Somit wären Gebäudeschäden im Sinne der DIN 4150 Teil 3 -bei derartigen Konstellationen bei Unterschreitung dieser Entfernungen- nicht mehr gänzlich auszuschließen.

Die minimale Entfernung der Rüttelarbeiten zur nächstgelegenen Bebauung befindet sich in grob 12 m zu den Rüttelarbeiten. Wir empfehlen daher, zu Beginn der Rüttelarbeiten die Berechnungsergebnisse der überschlägigen Hochrechnung stichprobenhaft durch Messungen zu verifizieren sowie die Rüttelarbeiten im Nahbereich zu Gebäuden dauerhaft durch Messungen zu überwachen.

Grundsätzlich sollte bzw. darf nur ein hochfrequenter Vibrationsbär mit vollvariabler Amplitudensteuerung bzw. wirkfreiem An- und Ablauf zum Einsatz kommen. Andernfalls ist mit Erschütterungsspitzen zu rechnen, welche ggf. sehr deutlich oberhalb der prognostizierten Werte der Erschütterungsimmissionen liegen können.

Rammarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen:

Auf Basis der Prognoseergebnisse können bei ungünstiger Konstellation bei einem Einsatz des beispielhaft für die Hochrechnung gewählten und für derartige Arbeiten typischen Rammhären bei der hier vorliegenden minimalen Entfernung zu den Gebäuden von grob 12 m Erschütterungsimmissionen in einer Größenordnung oberhalb der DIN-Anhaltswerte für Wohngebäude auftreten. Bei reduzierter Rammenergie mit gleichem Rammhären erscheinen derartige Rammarbeiten im ersten Ansatz noch erschütterungsverträglich auch für die minimale Entfernung durchführbar, dies bedingt aber einen ungestörten Rammverlauf sowie das Ausbleiben von Hindernissen oder anderen Eventualitäten.

Wir empfehlen, im Falle von Rammarbeiten diese jedenfalls durch entsprechende Erschütterungsmessungen an den umliegenden Gebäuden zu überwachen. Hierbei wären auch ggf. erforderliche Optimierungen im Rammverlauf (z.B. Kalibrierung der Rammenergie) erkennbar und entsprechend umzusetzen.

Bohrarbeiten Bohrpfahlwand HWS / Ankerbohrarbeiten Verpressanker

Bohrarbeiten sind als erschütterungsarm anzusehen. Bei einem ordnungsgemäßen fachgerechten Einsatz des Bohrgerätes (keine Kippbewegungen des Kettenfahrwerks) sowie dem Ausbleiben von Hindernissen im Baugrund ist von keinen für die Gebäude kritischen Erschütterungsbelastungsgrößen auszugehen. Gleiches gilt für die Ankerbohrarbeiten.

Stemmarbeiten, allgemeine Abbrucharbeiten mit baggergeführten hydraulischen Scheren:

Bei Verwendung von kleinen bis mittelgroßen Stemmgerätschaften sind bei den hier vorliegenden minimalen Entfernungen zu der nächstgelegenen Bebauung bei fachgerechter Ausführung keine Erschütterungsimmissionen an den Gebäuden oberhalb der DIN-Anhaltswerte für Wohngebäude zu erwarten. Zur Verifizierung sind hier Messungen im späteren Bauverlauf zu empfehlen. (Siehe hierzu auch zusätzliche Angaben gemäß *Abschnitt 9.5 Stemmarbeiten, allgemeine Abbrucharbeiten mit baggergeführten hydraulischen Scheren*).

Abbrucharbeiten mit hydraulischen baggergeführten Scheren sind bei fachgerechtem Einsatz in der hier vorliegenden Konstellation als erschütterungsarm zu bewerten. Auch hier sind an den Gebäuden keine Erschütterungsimmissionen oberhalb der DIN-Anhaltswerte für Wohngebäude zu erwarten.

Baggerarbeiten, allgemeine Bautätigkeiten:

Für die Baggerarbeiten im unmittelbaren Nahbereich von Gebäuden (wenige Meter) sollten möglichst kleine leichte Geräte zum Einsatz kommen. 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.

Einsatz von Fahrzeugen mit Kettenfahrwerk:

Bei allen Fahrzeugen mit Kettenwerk ist darauf zu achten, dass beim Arbeiten bzw. auch beim Verfahren im Nahbereich zur Bebauung mit möglichst geringer Fahrgeschwindigkeit gefahren wird sowie abruptes Abstoppen vermieden wird. Der Einsatz von Kettenfahrzeugen im Nahbereich zu Gebäuden sollte generell tagesbezogen auf kurze Zeiträume beschränkt werden, um so die Erschütterungsbelastung der in den Gebäuden befindlichen Personen auf ein minimales Maß zu beschränken. Die Arbeiten sollten -wenn möglich- über den Tag also großflächig über den jeweiligen Bauabschnitt verteilt werden.

Im Nahbereich zu Gebäuden sollte, wo möglich der Einsatz von Kettenfahrzeugen beschränkt bzw. die Arbeiten z.B. durch Radlader ausgeführt werden, da der überwiegende Anteil bzw. die größten Erschütterungen regelmäßig durch das Kettenfahrwerk ausgelöst werden, beim Einsatz von Radlader kann dies ausgeschlossen werden, was insgesamt zu einer deutlichen Verbesserung der Erschütterungssituation des Einzelnen führt. (Siehe hierzu auch zusätzliche Angaben gemäß Abschnitt 9.7 *Einsatz von Fahrzeugen mit Kettenfahrwerk*).

Verdichtungsarbeiten:

Die Hochrechnung zeigt auf, dass der Einsatz von Plattenverdichtern auch im Nahbereich zu Gebäuden grundsätzlich möglich ist. Die Intensität bzw. Größenordnung der Erschütterungsimmissionen an den Gebäuden ist hier unmittelbar abhängig von der Energieeinleitung der Rüttelplatten in den zu verdichtenden Baugrund, also von der Leistung und der Masse des Plattenverdichters. So ist zum Beispiel der Einsatz von kleinen Rüttelplatten auch im unmittelbaren Nahbereich durchaus denkbar und entsprechend praxiserprobt.

Wir empfehlen, zu Beginn der Verdichtungsarbeiten jeweils Erschütterungsmessungen an den jeweiligen Gebäuden durchzuführen, um so ggf. geeignete Geräte sowie minimale einzuhaltende Abstände der einzelnen Gerätschaften zu Gebäuden zu definieren.

Insgesamt ist darauf zu achten, dass die An- und Ausschaltvorgänge der Verdichtungsgeräte in möglichst großer Entfernung zu den Gebäuden erfolgen, da hierbei in der Regel die Maxima der Erschütterungsimmissionen auftreten (Siehe hierzu auch zusätzliche Angaben gemäß Abschnitt 9.8 *Bodenverdichtungsarbeiten mit Rüttelplatte*).

Setzungen durch Nachverdichtung des Baugrundes:

Insbesondere bei Rüttelarbeiten zum Einbringen bzw. Ziehen 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. Dies gilt äquivalent für die Ausführung von Rammarbeiten zum Einbringen der Spundbohlen, jedoch ist hierbei gemäß DIN 4150 Teil 3 die Gefahr derartiger Nachverdichtungen als deutlich geringer einzustufen. Bei der Ausführungsplanung ist dies entsprechend zu berücksichtigen.

Bei den hier vorliegenden Abständen der Rüttelarbeiten bzw. der Rammarbeiten zu den nächstgelegenen Gebäuden / Bauwerken sind derartige Nachverdichtungen im Einflussbereich der Gründungsebene nicht zu erwarten.

Bei ungünstiger Konstellation kann im Nahbereich (≤ 2 m) eine Liquefaktion des Bodens nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Dies kann im schlimmsten Fall zu einem kompletten temporären Verlust der Tragfähigkeit des Baugrundes im kritischen Einflussbereich der Erschütterungsimmissionen führen. Die Bestandshochwasserschutzwand liegt innerhalb dieses ggf. kritischen Bereiches, so dass beim Einbringen sowie beim späteren Ziehen der Spundbohlen im Vibrationsverfahren zumindest partiell mit einer derartigen Bodenverflüssigung gerechnet werden muss. Inwieweit dies einen ggf. negativen Einfluss auf die Bestandshochwasserschutzwand haben kann, hängt unmittelbar sowohl von den geometrischen Rahmenbedingungen (z.B. Absetztiefe der Spundbohlen in Bezug auf die derzeitige sowie spätere Gründungstiefe der Hochwasserschutzwand bzw. Bohrpfahlwand) sowie den Baugrundverhältnissen ab. Zu beiden Faktoren liegen uns derzeit keine abschließenden Informationen vor, so dass eine abschließende Beurteilung hier im ersten Ansatz nicht möglich ist.

Im ersten Ansatz halten wir es zwar für wenig wahrscheinlich, dass -insbesondere aufgrund der Verbundwirkung der Hochwasserschutzwand im Sinne eines monolithischen Linienbauwerks- hier relevante negative Einflüsse auftreten werden, dennoch empfehlen wir, hierzu einen Baugrundsachverständigen ergänzend zu Rate zu ziehen.

Beurteilung der Erschütterungsbelastung von Menschen in Gebäuden (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. Generell ist jedoch zu erwarten, dass bei erschütterungsintensiven Tätigkeiten -wie z.B. bei Verdichtungsarbeiten im Nahbereich zu Gebäuden im Rahmen der Umgestaltung der Promenade inklusive der zusätzlich hierfür durchgeführten vorbereitenden Erdbauarbeiten- die DIN-Anhaltswerte (KB-Werte nach DIN 4150 Teil 2) ggf. kurzzeitig überschritten werden. Hierbei gilt es jedoch zu beachten, dass insbesondere derartige Verdichtungsarbeiten ggf. nur für einen Tag bzw. nur für einen vergleichsweise kurzen Zeitraum auf ein Gebäude / auf einen Immissionsort einwirken, so dass die resultierende Belastung des Einzelnen ggf. dennoch als „zumutbar“ eingestuft werden könnte.

Bei zeitlich längerfristigen Bautätigkeiten, welche erschütterungstechnisch relevant auf einen Immissionsort / auf ein Gebäude einwirken, können -wie bereits oben beschrieben- Messungen direkt vor Ort konkret darüber Aufschluss geben, ob ein Handlungsbedarf vorhanden ist.

Im ersten Ansatz wird unterstellt, dass sich im erschütterungsträchtigen Einflussbereich der Bautätigkeiten innerhalb der Gebäude keine erschütterungsempfindlichen technischen Gerätschaften befinden.

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 21 dargestellte Stufenplan gemäß der DIN 4150 Teil 2 dienen.

Büdelsdorf, 28.01.2020



Dipl.-Ing. Arne Wulkau



Dipl.-Ing. Michael Claßen

DMT Gründungstechnik GmbH

Anlagen

In den Anlagen sind die für unterschiedliche Bauverfahren sowie unterschiedliche Baugeräte zu erwartenden Gebäudeerschütterungen -getrennt nach Fundament, Deckenebene sowie Deckenmitte- für differierende Entfernungen der Erschütterungsquelle zum Gebäude tabellarisch als auch grafisch dargestellt.

A1. Rüttelarbeiten zum Einbringen / Ziehen von Spundbohlen	41
Vibrationsbär ABI HVR 30.....	41
A2. Rammarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen	42
Rambbär Typ IHC S 35 – volle Energieeinleitung	42
Rambbär Typ IHC S 35 – reduzierte Energieeinleitung	44
A3: Bodenverdichtungsarbeiten mit Rüttelplatte	46
Rüttelplatte Ammann AVH 6030-ACE.....	46
Rüttelplatte Ammann AVP 2220 Hatz	47

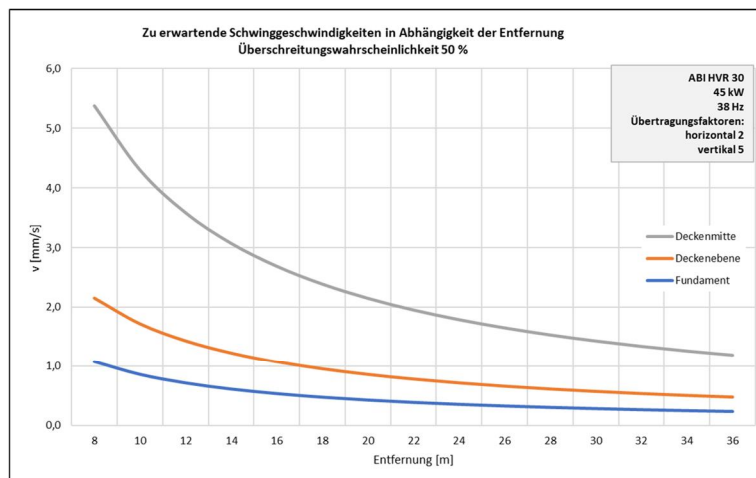
A1. Rüttelarbeiten zum Einbringen / Ziehen von Spundbohlen

Vibrationsbär ABI HVR 30

Gerätetyp: ABI HVR 30

Leistung [kW]:	45
Betriebsfrequenz [Hz]:	38
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	2
vertikal:	5

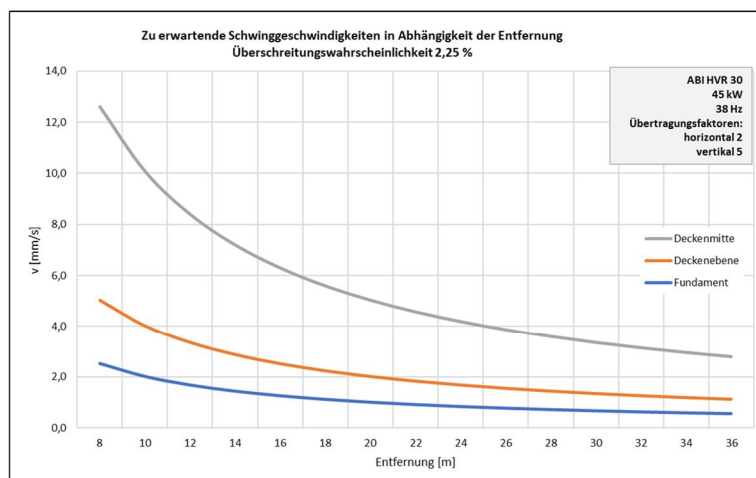
zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	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	0,3	0,2
Deckenebene	2,1	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
Deckenmitte	5,4	4,3	3,6	3,1	2,7	2,4	2,1	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2

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

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



Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	2,5	2,0	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
Deckenebene	5,0	4,0	3,4	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1
Deckenmitte	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	3,0	2,8

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

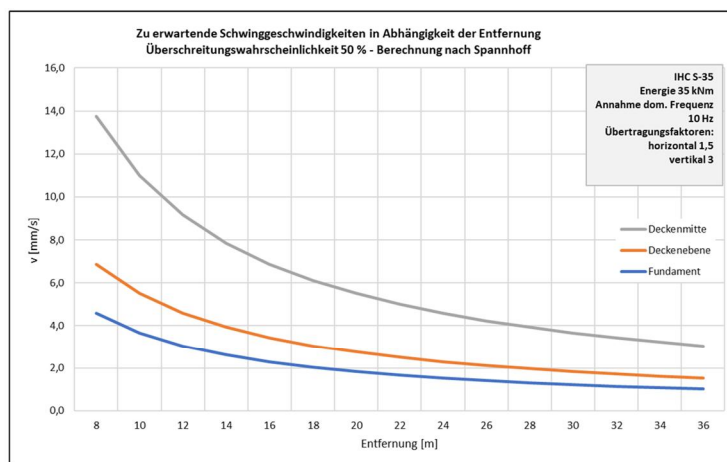
A2. Rammarbeiten zum Einbringen von Spundbohlen

Rambär Typ IHC S 35 – volle Energieeinleitung

Gerätetyp: IHC S-35

Energie [kNm]	35
dom. Frequenz [Hz]:	10
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

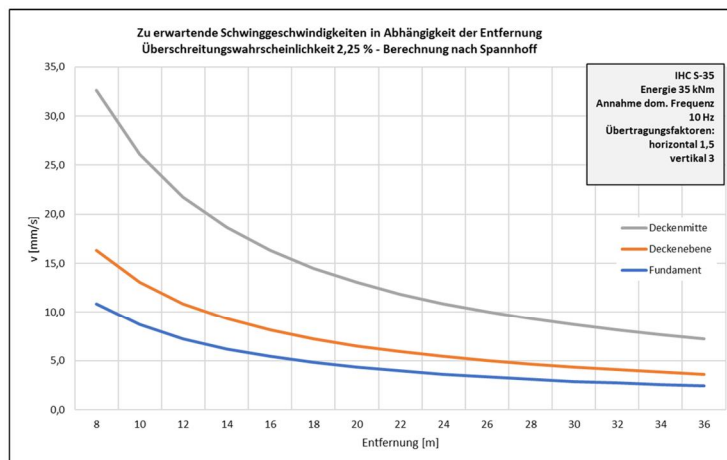
Nach Spannhoff - zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	4,6	3,7	3,1	2,6	2,3	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0
Deckenebene	6,9	5,5	4,6	3,9	3,4	3,1	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5
Deckenmitte	13,8	11,0	9,2	7,9	6,9	6,1	5,5	5,0	4,6	4,2	3,9	3,7	3,4	3,2	3,1

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

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



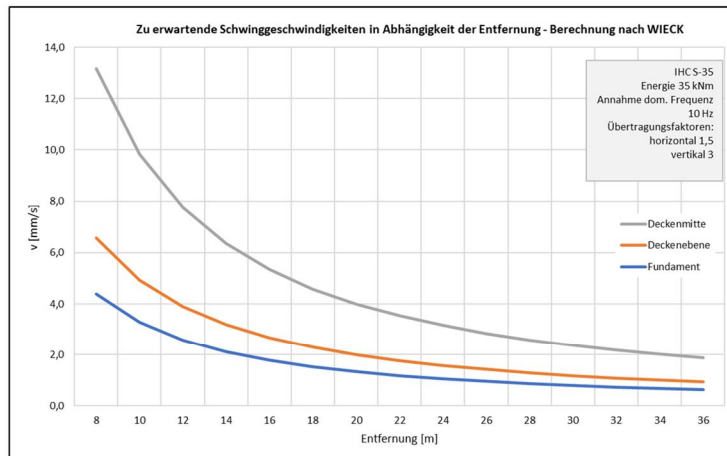
Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	10,9	8,7	7,2	6,2	5,4	4,8	4,3	4,0	3,6	3,3	3,1	2,9	2,7	2,6	2,4
Deckenebene	16,3	13,0	10,9	9,3	8,2	7,2	6,5	5,9	5,4	5,0	4,7	4,3	4,1	3,8	3,6
Deckenmitte	32,6	26,1	21,7	18,6	16,3	14,5	13,0	11,9	10,9	10,0	9,3	8,7	8,2	7,7	7,2

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

Gerätetyp: IHC S-35

Energie [kNm]	35
dom. Frequenz [Hz]:	10,00
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

Nach WIECK - zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Mittlere Werte



Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	4,4	3,3	2,6	2,1	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6
Deckenebene	6,6	4,9	3,9	3,2	2,7	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
Deckenmitte	13,2	9,8	7,8	6,4	5,3	4,6	4,0	3,5	3,2	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,9

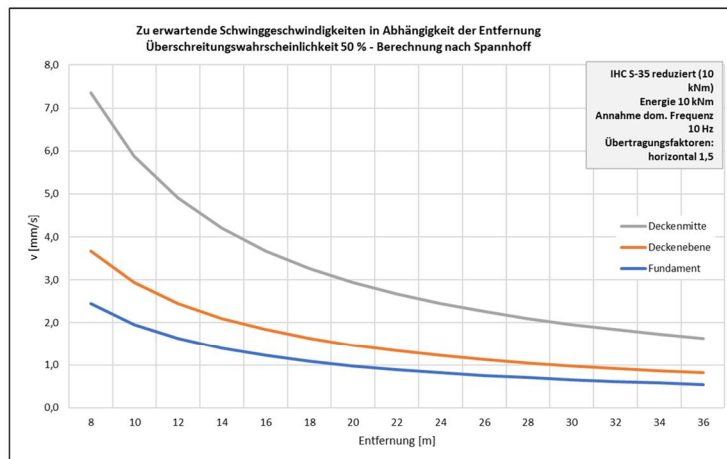
Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

Rambbär Typ IHC S 35 – reduzierte Energieeinleitung

Gerätetyp: IHC S-35 reduziert (10 kNm)

Energie [kNm]	10
dom. Frequenz [Hz]:	10
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

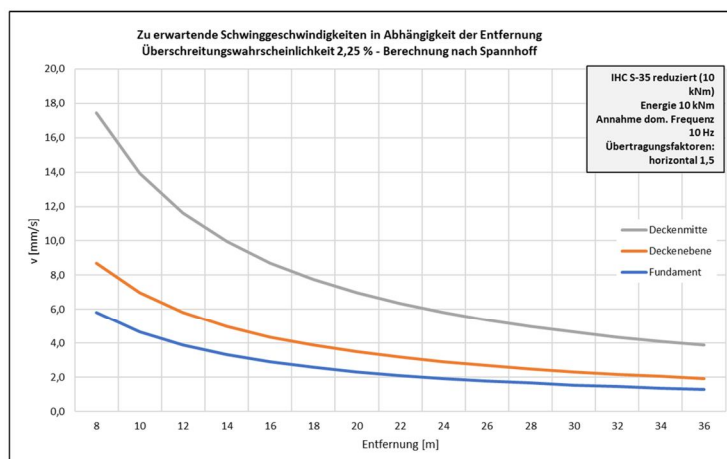
Nach Spannhoff - zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	2,5	2,0	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5
Deckenebene	3,7	2,9	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8
Deckenmitte	7,4	5,9	4,9	4,2	3,7	3,3	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6

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

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



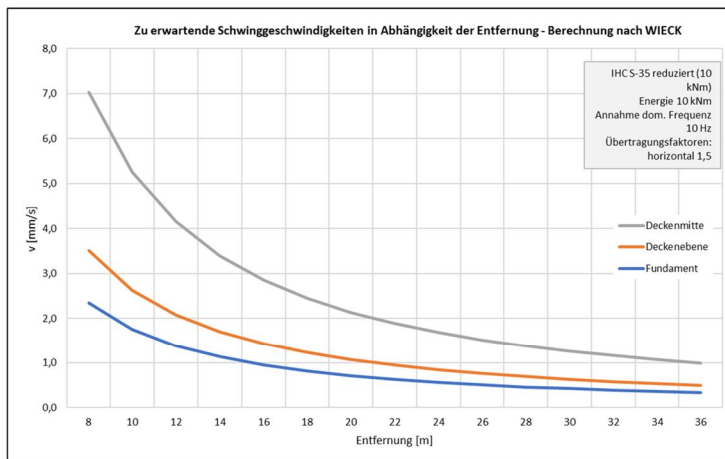
Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	5,8	4,6	3,9	3,3	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3
Deckenebene	8,7	7,0	5,8	5,0	4,4	3,9	3,5	3,2	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	2,1	1,9
Deckenmitte	17,4	13,9	11,6	10,0	8,7	7,7	7,0	6,3	5,8	5,4	5,0	4,6	4,4	4,1	3,9

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

Gerätetyp: IHC S-35 reduziert (10 kNm)

Energie [kNm]	10
dom. Frequenz [Hz]:	10,00
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	1,5
vertikal:	3

Nach WIECK - zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Mittlere Werte



Entfernung	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Fundament	2,3	1,8	1,4	1,1	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
Deckenebene	3,5	2,6	2,1	1,7	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
Deckenmitte	7,0	5,3	4,2	3,4	2,9	2,5	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0

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

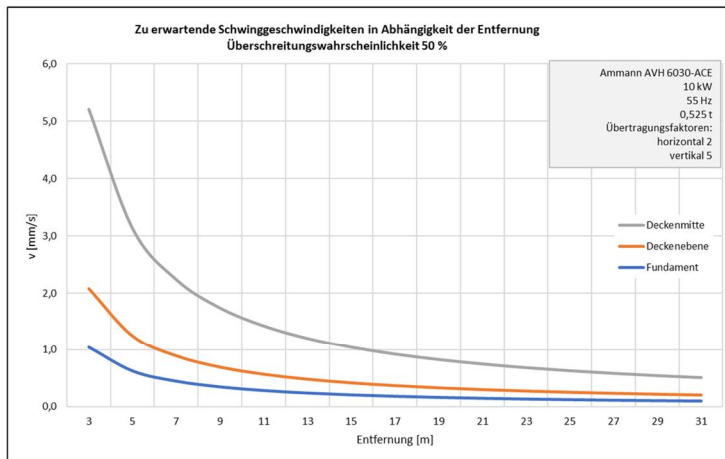
A3: Bodenverdichtungsarbeiten mit Rüttelplatte

Rüttelplatte Ammann AVH 6030-ACE

Gerätetyp: Ammann AVH 6030-ACE

Leistung [kW]:	10
Betriebsfrequenz [Hz]:	55
Gewicht [t]	0,525
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	2
vertikal:	5

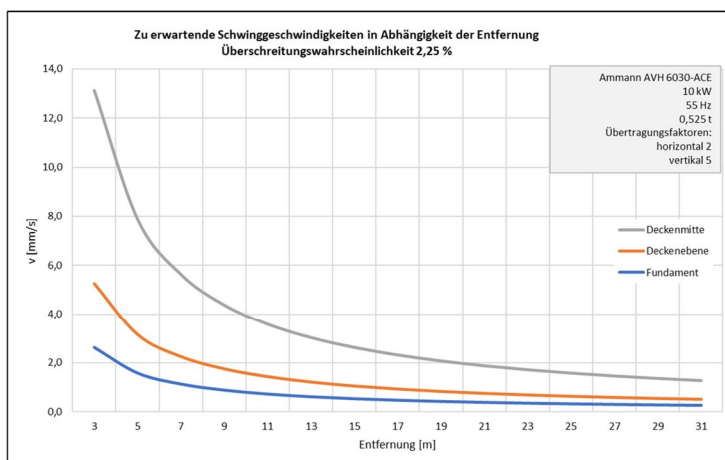
zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
Fundament	1,0	0,6	0,4	0,3	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	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Deckenmitte	5,2	3,1	2,2	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5

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

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



Entfernung	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
Fundament	2,6	1,6	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Deckenebene	5,3	3,2	2,3	1,8	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
Deckenmitte	13,1	7,9	5,6	4,4	3,6	3,0	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3

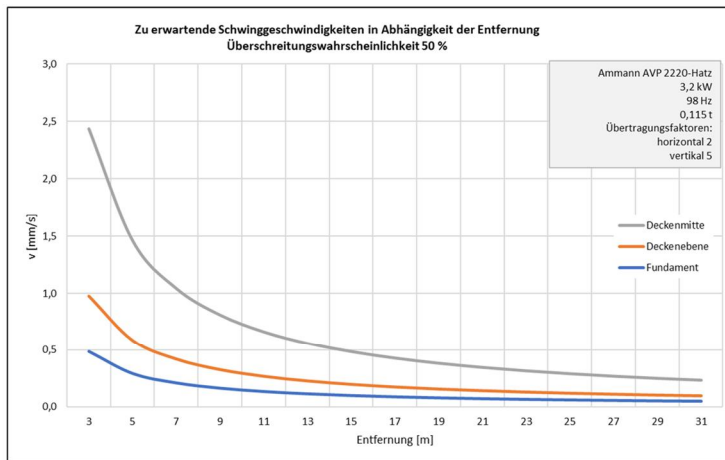
Entfernung in [m], Schwinggeschwindigkeiten in [mm/s]

Rüttelplatte Ammann AVP 2220 Hatz

Gerätetyp: Ammann AVP 2220-Hatz

Leistung [kW]:	3,2
Betriebsfrequenz [Hz]:	98
Gewicht [t]	0,115
Übertragungsfaktoren	
horizontal:	2
vertikal:	5

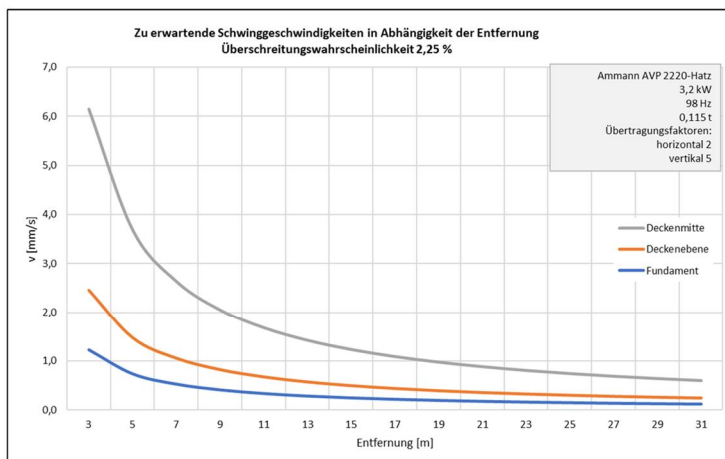
zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung - Überschreitungswahrscheinlichkeit 50 %



Entfernung	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
Fundament	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Deckenebene	1,0	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Deckenmitte	2,4	1,5	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2

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

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



Entfernung	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
Fundament	1,2	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Deckenebene	2,5	1,5	1,1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Deckenmitte	6,1	3,7	2,6	2,0	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]