

Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Kiel
Holtenau

Herr Jens Anke

Schleuseninsel 2

24159 Kiel

Ansprechpartner/in:
Rahula Zierach
Bearbeiter-Nr.: 2500

Tel.: (0 721) 9726-2601

rahula.zierach@baw.de
www.baw.de

Datum: 14.12.2016

Kleine Schleusen Kiel - Holtenau

hier: Ergänzung zur Stellungnahme vom 7.5.2015 zur Auswirkungen von Erschütterungen aus Ramm- und Bauarbeiten

Das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau plant eine umfangreiche Sanierung der kleinen Schleusen in Kiel-Holtenau durch Ersatz der Schleusenammern.

Bei dem Scoping-Termin am 09. November 2016 zum bevorstehenden Planfeststellungsverfahren, siehe Unterlage [U1] unter Pkt. III-1, wurde die Frage angesprochen, dass „insbesondere auch zu prüfen“ sei „in welchem Radius und bis zu welcher Tiefe die geplante Grundwasserabsenkung Auswirkungen haben kann und ob die während der Baumaßnahme stattfindenden Erschütterungen des Untergrundes, z.B. durch Rammarbeiten, eine Mobilisierung von Schadstoffen erzeugen können.“

Für die Einbringarbeiten sind sowohl Press- als auch Rammarbeiten vorgesehen, hierbei sind die Arbeiten mit Pressen als erschütterungsarm anzusehen. Erschütterungen werden beim Einbringen von Spundbohlen mit Vibrations- oder Schlagrammen, bei Abbrucharbeiten und in deutlich geringerem Ausmaß bei Bohrarbeiten erzeugt

In der Norm DIN 4150-3 [U6] werden keine Aussagen zum Schutzgut Boden getroffen, so dass bei einer Bewertung möglicher Auswirkungen durch Rammarbeiten auf die in der BAW vorliegenden Erfahrungen zu Setzungen im Boden in Folge von Erschütterungen zurückgegriffen werden kann [U8].

Für die im Umfeld der Schleusen vorhandene Bausubstanz, d.h. die Gebäude des WSA und den Bauhof wurden von mir im Schreiben vom 7.5.15 aufgrund der Entfernungen zum Bauvorhaben keine Einschränkungen hinsichtlich der Rammverfahren vorgegeben. Es ist zu prüfen ob für den ergänzten U-Raum diese Aussage bezüglich der Auswirkungen von Rammarbeiten auf Veränderungen im Boden aufgrund der großen Entfernung des südlich gelegenen Gebietes ebenso übernommen werden kann.

Grundlage für die Prognose von Erschütterungen bei Baumaßnahmen bildet die jahrelange Sammlung von Messergebnissen von Boden- und Bauwerksschwingungen in der BAW für erschütterungsintensive Bauverfahren und deren statistische Auswertung. Dabei wird die Abhängigkeit der Schwinggeschwindigkeit v_i insbesondere von energetischen Größen des Bauverfahrens, der maßgebenden Frequenz der Erschütterungen und vom Abstand R zur Erschütterungsquelle herausgearbeitet [U9]. Durch geometrische Dämpfung und Materialdämpfung nehmen die Freifeldschwingungen in der Regel mit zunehmender Entfernung von der Quelle ab. Aus statistischen Auswertungen von Erschütterungsemissionen in der BAW [U9] liegen die Messdaten für eine große Anzahl von Rammarbeiten vor. Als Prognosewerte werden im Folgenden mittlere zu erwartende Werte und obere Grenzen mit der statistischen Sicherheit $P = 95\%$ ($v_{B\ 95\%}$) angegeben.

Schlagammung

Für die Prognose der Erschütterungen wird eine Rammenergie von $E = 12$ kNm (kinetische Energie je Rammschlag) für das Einbringen der Rammelemente mit einer Hydraulikramme angenommen. Explosionsrammen (Dieselrammen) erfordern eine ca. 2,5-fach höhere Rammenergie pro Schlag als hydraulisch angetriebene Rammen für etwa gleichen Rammfortschritt und bei etwa gleicher Erschütterungsemission ($E = 30$ kNm).

Näherungsweise lässt sich die Größe der zu erwartenden Schwinggeschwindigkeit v_B (Größtwert der drei Einzelkomponenten am Boden) im Entfernungsbereich $R \geq 3$ m zur Rammstelle mit Hilfe der folgenden empirischen Beziehung (1) abschätzen:

$$v_B = K_B \sqrt{\frac{E}{E_0}} \left(\frac{R}{R_1}\right)^{-1} e^{[-\alpha_B(R-R_1)]} \quad (1)$$

mit:

- v_B - Boden- bzw. Fundamentalschwinggeschwindigkeit in der Entfernung R
- R_1 - Bezugsabstand
- E - kinetische Schlagenergie
- E_0 - Bezugsenergie ($E_0 = 1$ kNm)
- K_B - empirische Konstanten
- α_B - Koeffizient der Materialdämpfung (Boden)

Bei einer statistischen Sicherheit $P = 95\%$ beträgt für die obere Grenze des Vertrauensbereiches $K_{B,95\%} = 10$ mm/s bei Einsatz eines hydraulisch angetriebenen Rammhärens bzw. $K_{B,95\%} = 3,4$ mm/s beim Einsatz einer Explosionsramme. Die Frequenz der maßgebenden Erschütterungen liegt im Bereich $10 \text{ Hz} \leq f \leq 30 \text{ Hz}$. In einer Entfernung zur Schwingungsquelle sind folglich Erschütterungen an der Bodenoberfläche von $v_{B,95\%} \leq 0,1$ mm/s (im Mittel $v_B \leq 0,04$ mm/s) für eine Explosionsramme und $v_{B,95\%} \leq 0,1$ mm/s (im Mittel $v_B \leq 0,05$ mm/s) für eine Hydraulikramme zu erwarten. Größere Schwingungen sind unter den genannten Bedingungen mit hoher Sicherheit nicht zu erwarten.

Vibrationsrammung

Beim Einbringen von Rammeelementen mittels Vibrationsverfahren ist nach vorliegenden Erfahrungen die Größe der erzeugten Schwingungen hauptsächlich von der Frequenz und dem statischen Moment der Vibrationsramme abhängig. Auf Grund der dauernden Energiezufuhr bei einer bestimmten Frequenz f ($f = n/60$, n - Arbeitsdrehzahl je Minute), besteht bei Vibrationsrammungen grundsätzlich die Gefahr von Resonanzschwingungen. Konventionelle Vibrationsrammen haben feststehende Unwuchten, so dass beim Anfahren und Auslaufen der Vibrationsramme häufig Resonanzbereiche durchfahren werden. Durch den Einsatz so genannter Hochfrequenzvibratoren mit verstellbaren Unwuchtmassen (HFV-Vibratoren, Anfahren und Auslaufen ohne Unwucht, d.h. kräftefrei) mit Arbeitsdrehzahlen $n > 1800 \text{ min}^{-1}$ ($f > 30 \text{ Hz}$) kann eine wesentliche Reduzierung der Größe der Erschütterungen erreicht werden.

Für die Prognose der zu erwartenden Erschütterungen wird ein HFV-Vibrationsbär mit einem statischen Moment von $M = 16 \text{ kgm}$ mit Drehzahlen $n > 1800 \text{ min}^{-1}$ ($f > 30 \text{ Hz}$) angenommen. Näherungsweise lässt sich die Größe der zu erwartenden Schwinggeschwindigkeit v_B am im Entfernungsbereich $R > 3 \text{ m}$ zur Rammstelle mit Hilfe der halbempirischen Beziehung (2) abschätzen

$$v_B = K_F (M/M_0)^m (R/R_0)^{-n} e^{-\alpha (R - R_0)} \quad (2)$$

- K_B - vom Rammverfahren, Baugrund und Frequenz abhängiger Parameter
- α - boden- und frequenzabhängiger Parameter
- m - empirische Konstante
- n - Exponent, abhängig von Geometrie und Anregungsart der Quelle ($n = 0,5$ [U9])
- M - statisches Moment der Vibrationsramme
- M_0 - Bezugsmoment ($M_0 = 1 \text{ kgm}$)
- R - Entfernung zum Rammort
- R_0 - Bezugsentfernung ($R_0 = 10 \text{ m}$)

Bei einer statistischen Sicherheit von $P = 95\%$ beträgt für die obere Grenze des Vertrauensbereiches $K_{B,95\%} = 2,2 \text{ mm/s}$ für Bodenschwingungen. Im statistischen Mittel kann $K_B = 0,55 \text{ mm/s}$ angesetzt werden. In einer Entfernung zur Schwingungsquelle sind folglich Erschütterungen an der Bodenoberfläche von $v_{B,95\%} \leq 0,05 \text{ mm/s}$ (im Mittel $v_B \leq 0,01 \text{ mm/s}$) zu erwarten. Größere Schwingungen sind unter den genannten Bedingungen mit hoher Sicherheit nicht zu erwarten.

Exemplarisch können die zu erwartenden Bodenerschütterungen an Bild 1 aus [U9] für eine Vibrationsramme graphisch dargestellt werden. Bereits bei einer Entfernung von 200 m liegen die Werte für die mittlere Schwinggeschwindigkeit am Boden bei $v_B \leq 0,1 \text{ mm/s}$, für 300 m nur noch bei $v_B \leq 0,01 \text{ mm/s}$.

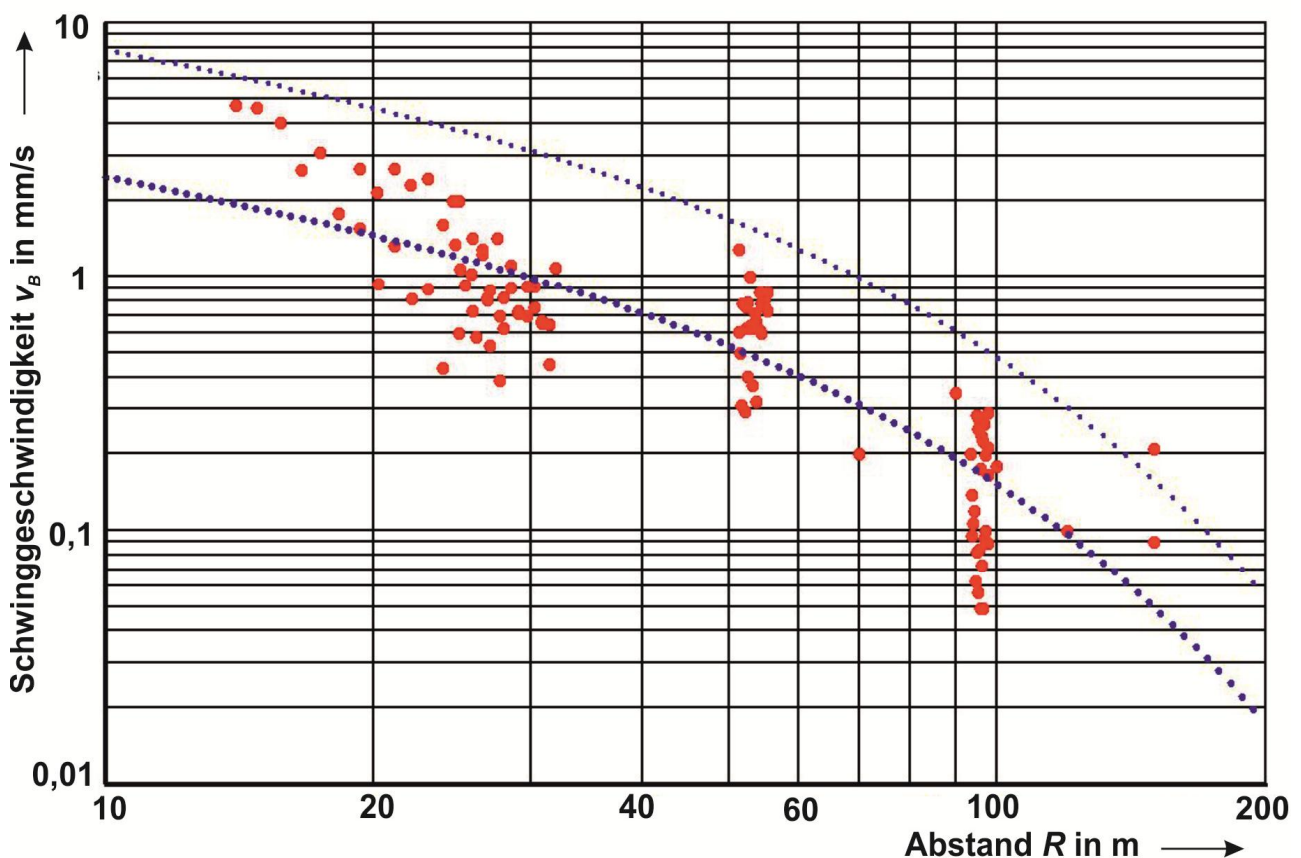


Bild 1: Größtwerte der Freifeldschwingungen bei Vibrationsrammung einer Spundwand mit einem HFV-Vibrationsbär (Statisches Moment $M = 16 \text{ kgm}$, Bohlenlänge $L = 10 \text{ m}$, Frequenzbereich $27 \text{ Hz} \leq f \leq 36 \text{ Hz}$) und Regression nach Gleichung (3) mit oberer Grenze des Vertrauensbereiches ($P = 95\%$)

Beim Einsatz von Vibrations- oder Schlagrammen zum Einbringen von Rammelementen sind im Entfernungsbereich $R \geq 300 \text{ m}$ Erschütterungen aus der Baumaßnahme von $v_{B,95\%} \leq 0,1 \text{ mm/s}$ zu erwarten. Zur Erläuterung: Erschütterungen dieser Größe liegen gerade im Bereich der Fühlschwelle für Menschen ($v_{B, \text{Fühlschwelle}} \geq 0,2 \text{ mm/s}$). Aus Straßenverkehr oder Baustellenverkehr sind mindestens gleich große (oder auch größere) Erschütterungen zu erwarten. Um im Bau-

grund Veränderungen wie Setzungen zu mobilisieren (die wiederum eine Mobilisierung von Schadstoffen erzeugen könnten) sind nach den in der BAW vorliegenden Erfahrungen [U 8] Schwingungen von $v_B \geq 3$ mm/s im Baugrund erforderlich, was entsprechenden Schwingungen an der Oberfläche von $v_B \geq 5$ mm/s entspricht. Auswirkungen auf den Baugrund sind als Folge der durchzuführenden Rammarbeiten im Entfernungsbereich $R \geq 300$ m mit großer Sicherheit auszuschließen.

Im Auftrag

(Dipl.-Phys. R. Zierach)

- [U1] Scoping-Termin am 09. November 2016 zum bevorstehenden Planfeststellungsverfahren, Anmerkungen der Landeshauptstadt Kiel
- [U2] Bestandszeichnung Lageplan Schleusengelände WSA Kiel - Holtenau
- [U3] Geotechnischer Profilschnitt in der Dükertrasse Datei 10292_A2
- [U4] Sicherungsmaßnahmen und Machbarkeitsstudie, PB007_150129_PKS_Anlage_1.pdf
- [U5] Sicherungsmaßnahmen und Machbarkeitsstudie, 20150120_Fragen_Kennwerte. Baugrund.etc.pdf
- [U6] DIN 4150-3, Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Februar 1999.
- [U7] Datensammlung Erschütterungsmessungen bei Ramm-, Vibrier-, Meißel- und Sprengarbeiten sowie Schiffsverkehr, BAW-Ilmenau, Referat Baugrunderdynamik (unveröffentlicht).
- [U8] Zerrenthin, Setzungen von Sanden bei Schwingungsanregung, FE-Bericht BAW, 2012
- [U9] Zierach, Statistische Auswertung von Erschütterungsemissionen Abschlussbericht, BAW, 2016