



Wasser- und Schifffahrtsamt Brunsbüttel  
Alte Zentrale 4  
z. H. Frau Thormählen  
25541 Brunsbüttel

Datum: 13.01.2009  
Geschäftszeichen (bitte bei Antwort angeben):  
7100  
Telefon: (0 36 77) 6 69-2601  
Telefax: (0 36 77) 6 69-3008  
E-Mail: rahula.zierach@baw.de  
Ihr Zeichen:  
2-231.2/1 PFS 4200

## **Baumaßnahmen Neubau 5. Schleusenkammer, Neubau Torinstandsetzungsdock**

hier: Stellungnahme zu Auswirkungen von Rammerschütterungen

### **1 Veranlassung und Aufgabenstellung**

Das WSA Brunsbüttel plant den Neubau 5. Schleusenkammer und den Neubau eines Torinstandsetzungsdocks. Das Referat Baugrunddynamik, Dienststelle Ilmenau der Bundesanstalt für Wasserbau wurde vom WSA Brunsbüttel damit beauftragt, eine Stellungnahme über die Auswirkungen von Rammarbeiten auf die nächstliegenden Schutzgüter zu erarbeiten.

### **2 Unterlagen**

Dem Bearbeiter standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- [U1] Auftrags e-mail des WSA Brunsbüttel 17.10.08
- [U2] Bauphasenplan Vorentwurf vom 16.09.2008 (5. Schleusenkammer)
- [U3] Bauablaufplan Brunsbüttel Lagevariante 1 v98.mpp vom 30.11.08 (Torinstandsetzungsdock)
- [U4] Bauablaufplan Brunsbüttel Lagevariante 2 rev01 v98.mpp vom 30.11.08 (Torinstandsetzungsdock)
- [U5] Bauablaufplan Brunsbüttel Lagevariante 1\_Bodenverbesserung rev01 v98.mpp vom 30.11.08 (Torinstandsetzungsdock)
- [U6] Vorentwurf Bauzeitenplan vom 16.09.2008 (5. Schleusenkammer)

#### **Anschriften**

Kußmaulstr. 17  
76187 Karlsruhe

#### **Telefon/Telefax**

☎ (07 21) 97 26-0  
Fax (07 21) 97 26-45 40  
KOM-Netz WSV 95 90

Wedeler Landstr. 157  
22559 Hamburg

☎ (0 40) 8 19 08-0  
Fax (0 40) 8 19 08-3 73  
KOM-Netz WSV 91 12

Am Ehrenberg 8  
98693 Ilmenau

☎ (0 36 77) 6 69-0  
Fax (0 36 77) 6 69-33 33  
KOM-Netz WSV 97 26

#### **Bankverbindung**

Empfänger: Bundeskasse Weiden  
Kto.-Nr. 750 010 07  
bei Dt. Bundesbank Regensburg (BLZ 750 000 00)

**Internet:** <http://www.baw.de>

- [U7] NOK Schleuse Brunsbüttel Denkmalpflegerische Begleitplanung für den Gesamtbereich Seite 22 - 37
- [U8] DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [U9] DIN 4150-3, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Februar 1999
- [U10] Datensammlung Erschütterungsmessungen bei Ramm-, Vibrier-, Meißel- und Sprengarbeiten sowie Schiffsverkehr, BAW-Ilmenau, Referat Baugrunddynamik
- [U11] Schreiben der BAW vom 17.11.2008, Vorinformation zu den Schwingungsauswirkungen aus der Baumaßnahme

### **3 Baumaßnahmen und Schutzgüter**

Im Bereich der Schleuse Brunsbüttel am NOK sind der Bau einer 5. Schleusenammer und der Bau eines Torinstandsetzungsdocks geplant.

Im Einzelnen sind folgende Baumaßnahmen geplant:

- Errichtung verschiedener Spundwände für die Baugrube und Molen (Rammarbeiten)
- Abriss von Hochbauteilen und Uferbefestigungen (Meißelarbeiten)
- Ziehen von alten Spundwänden (Vibrationsramme)
- Einbringen von Ankern zur Auftriebssicherung und Rückverankerung (Bohrarbeiten, Rammarbeiten)
- Wege- und Oberflächenbefestigungen (gegebenenfalls Verdichtungsarbeiten)

In der derzeitigen Planungssituation sind die Abmessungen der Rammelemente und der geplanten Anker noch nicht bekannt. Die Größe bzw. die Leistungsfähigkeit der einzusetzenden Rammgeräte ist frühestens der noch auszuführenden Detailplanung zu entnehmen. Das Einbringen der Baugruben- und Molenspundwände und das Ziehen alter Spundwände können durch Schlagrammen (Dieselrammen, Hydraulikrammen, Lufthämmer u.a.), Rüttler (Vibrationsrammen) oder hydraulische Pressen erfolgen. Für das Rütteln von Spundbohlen werden von uns schon vorab zur Minimierung der Erschütterungen Hochfrequenzvibrationsrammen mit variablen Unwuchten (kräftefreier An- und Auslauf) empfohlen

Im Bereich des Baufeldes befinden sich als nächstgelegene Schutzgüter die alte und neue Schleuse. Die kleinsten zu erwartenden Entfernungen  $R$  der Baumaßnahmen zu den Schleusen liegen bei  $R = 20$  m. Weiter davon entfernt auf den jeweiligen Uferbereichen sind noch Gebäude anzutreffen, die z.T. vom WSA selbst genutzt werden, wie z.B. die Alte Zentrale 4. Die Entfernun-

gen von erschütterungsrelevanten Baumaßnahmen zu diesen Objekten liegen bei  $R \geq 120$  m. In z.T. noch größeren Entfernungen sind erst Wohn- und gewerblich genutzte Gebäude anzutreffen. Als eingetragene Denkmale sind die in [U7] genannten Objekte Elblotsenhaus (17), Leuchtturm Mole 1 (18) und Leuchtturm Mole 2 (19) anzutreffen.

#### 4 Prognose der Erschütterungen

Für die Bewertung der Erschütterungen hinsichtlich ihrer schädigenden Wirkung auf Bauten hat sich als Mess- und Beurteilungsgröße die Schwinggeschwindigkeit  $v_i$  (Größtwert der drei Richtungskomponenten  $i = X, Y, Z$  gemessen in mm/s) und deren maßgebende Frequenz  $f$  am besten bewährt [U8]. Für die Beurteilung der Belästigung von Menschen in Wohngebäuden wird die Bewertete Schwingstärke  $KB_{Fmax}$  herangezogen, die apparativ durch gleitende Effektivwertbildung aus dem frequenzbewerteten Zeitsignal der Schwinggeschwindigkeit  $v(t)$  gewonnen wird. Für Prognosen kann  $KB_{Fmax}$  näherungsweise aus der prognostizierten Schwinggeschwindigkeit  $v_{i,D}$  bestimmt werden [U8]:

$$KB_{Fmax} = c_F \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{v_{i,D}}{\sqrt{1 + (f_o/f)^2}} \quad (1)$$

mit  $v_{i,D}$  Maximalwert der drei Komponenten der Schwinggeschwindigkeit  $v_i(t)$  in Deckenmitte in mm/s  
 $f$  dazugehörige Frequenz in Hz,  $f_o = 5,6$  Hz  
 $c_F$  Faktor für die Art der Schwingungseinwirkung ( $0,6 \leq c_F \leq 0,9$  gem. Tab. 3 in DIN 4150-2)

Grundlage für die Prognose von Erschütterungen bei Baumaßnahmen bildet die jahrelange Sammlung von Messergebnissen von Boden- und Bauwerksschwingungen in der BAW für alle wichtigen Bauverfahren und deren statistische Auswertung. Dabei wird die Abhängigkeit der Erschütterungsgröße insbesondere von der eingesetzten Energie  $E$  sowie vom Abstand  $R$  zur Erschütterungsquelle herausgearbeitet [U10]. Auf Grund unterschiedlicher Schwingungsanregung, unterschiedlicher Schwingungsausbreitung und unterschiedlicher Gefährdungsmechanismen für Baugrund, Gebäude und Bauteile ergeben sich die im Folgenden dargestellten Unterschiede in der Prognose und Beurteilung stoßartiger (Schlagrammung, Meißeln) und stationärer (Vibrationsrammung, Vibrationsverdichtung) Erschütterungen. Die Erschütterungen bei der Herstellung von Bohrpfehlgründungen und beim hydraulischen Einpressen und/oder Ziehen von Spundbohlen können nach vorliegenden Erfahrungen hier vernachlässigt werden.

Entsprechend den Forderungen der DIN 4150 werden zur Bewertung der Auswirkungen der Erschütterungen auf Bauten und Menschen in Gebäuden die Größtwerte der drei Komponenten der Schwinggeschwindigkeit im Fundamentbereich von Bauten  $v_{i,F}$ , die Größtwerte der horizontalen Komponenten der Schwinggeschwindigkeit im obersten Vollgeschoss von Gebäuden  $v_{H,OG}$ , die Größtwerte der vertikalen Komponente der Schwinggeschwindigkeit auf Decken  $v_{i,D}$  und die Bewertete Schwingstärke  $KB_{Fmax}$  prognostiziert. Zu jeder Prognose werden jeweils 2 Werte der



Schwinggeschwindigkeit bzw. der Bewerteten Schwingstärke angegeben, das statistische Mittel aus vergleichbaren Vorhaben und die obere Grenze des Vertrauensintervalles bei einer statistischen Sicherheit  $P = 95\%$ .

#### 4.1 Vibrationsrammung

Die Größe der Erschütterungen von Vibrationsrammen wird hauptsächlich von der Frequenz und dem statischen Moment des Vibrationsbäres beeinflusst. Auf Grund der dauernden Energiezufuhr bei einer bestimmten Frequenz ( $f = n/60$ ,  $n =$  Arbeitsdrehzahl je Minute) besteht bei Vibrationsrammung grundsätzlich die Gefahr von Resonanzschwingungen im Boden, an Bauten und Bauteilen. Geräteseitig kann diese Gefahr durch den Einsatz so genannter Hochfrequenzvibratoren mit Arbeitsdrehzahlen  $n > 1800 \text{ min}^{-1}$  ( $f \geq 30 \text{ Hz}$ ) umgangen werden. Vor allem durch Einsatz von Vibrationsbären mit verstellbaren Unwuchtmassen (Anfahren und Auslaufen ohne Unwucht, d.h. kräftefrei) kann eine wesentliche Reduzierung der Größe der Erschütterungen im Baugrund und in Bauten erreicht werden. In der Tabelle 2 ist eine Prognose der Größtwerte der Schwinggeschwindigkeit und der Bewerteten Schwingstärke für das Einbringen der Rammelemente mit einem Hochfrequenzvibrationsbär mit variablen Unwuchtmassen, Frequenzen  $f \geq 30 \text{ Hz}$  und einem statischen Moment  $M \approx 32 \text{ kgm}$  angegeben.

Tabelle 2: Prognose der Größtwerte der Schwinggeschwindigkeit in mm/s und der Bewerteten Schwingstärke bei Vibrationsrammung ( $f \geq 30 \text{ Hz}$ ,  $M = 16 \text{ kgm}$ , variable Unwuchten)

Schutzgut	$V_{i,F}$		$V_{Z,D}$		$V_{H,OG}$		$KB_{Fmax}$	
	Mittel	VI <sup>1)</sup>	Mittel	VI <sup>1)</sup>	Mittel	VI <sup>1)</sup>	Mittel	VI <sup>1)</sup>
120 m Entfernung	0,075	0,11	0,15	0,22	0,15	0,122	0,009	0,14
20 m Entfernung	1,566	2,35	3,13	4,7	3,13	4,7	-	-

1) - obere Grenze des Vertrauensintervalles bei einer statistischen Sicherheit  $P = 95\%$

#### 4.2 Schlagrammung

Die Größe der Rammerschütterungen von Schlagrammen ist im Mittel der kinetischen Schlagenergie proportional. Die einzelnen Rammstöße einer langsam schlagenden Diesel- oder Hydraulikramme sind in der Regel vor dem nächsten Schlag vollständig abgeklungen, so dass Resonanzerscheinungen weitgehend ausgeschlossen werden können. Explosionsrammen erfordern eine ca. 2,5fach höhere Rammenergie pro Schlag als hydraulisch angetriebene Rammen für gleichen Rammfortschritt und bei etwa gleicher Erschütterungsemission.

Ohne genauere Kenntnisse der Bodenverhältnisse und Bohlenlängen wird für eine überschlägige Erschütterungsprognose eine Explosionsramme mit einer Schlagenergie  $E \leq 35 \text{ kNm}$  angenommen. Die Ergebnisse der Prognose sind in der Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: Prognose der Größtwerte der Schwinggeschwindigkeit in mm/s und der Bewerteten Schwingstärke bei Schlagrammung (Dieselramme mit  $E = 35 \text{ kNm}$ )

Schutzgut	$V_{i,F}$		$V_{Z,D}$		$V_{H,OG}$		$KB_{Fmax}$	
	Mittel	VI <sup>1)</sup>	Mittel	VI <sup>1)</sup>	Mittel	VI <sup>1)</sup>	Mittel	VI <sup>1)</sup>
120 m Entfernung	0,19	0,49	0,46	1,22	0,37	0,97	0,17	0,45
20 m Entfernung	1,24	3,25	3,09	8,12	2,47	6,5	-	-

1) - obere Grenze des Vertrauensintervalles bei einer statistischen Sicherheit  $P = 95\%$

## 5 Auswirkungen der Erschütterungen

### 5.1 Auswirkungen auf Menschen in Gebäuden

Die Norm DIN 4150-2 [U8] enthält Festlegungen zum Schutz von Menschen vor erheblichen Belästigungen durch Schwingungen in Gebäuden. Für Baumaßnahmen am Tage gelten die Anhaltswerte der Tabelle 2 der DIN 4150-2 (hier Tabelle 4). Unter der Dauer  $D$  der Erschütterungseinwirkungen in der Tabelle 4 ist die Anzahl von Tagen zu verstehen, an denen tatsächlich Erschütterungseinwirkungen auftreten (nicht die Dauer der Baumaßnahme an sich).

Tabelle 4: Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen auf Menschen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen (Tab. 2 der DIN 4150-2)

Dauer	$D \leq 1 \text{ Tag}^{*)}$			6 Tage $< D \leq 26$ Tage			26 Tage $< D \leq 78$ Tage		
	$A_u$	$A_0^{**)}$	$A_r$	$A_u$	$A_0^{*)}$	$A_r$	$A_u$	$A_0^{*)}$	$A_r$
Stufe I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe II	1,2	5	0,8	<b>0,8</b>	<b>5</b>	<b>0,6</b>	0,6	5	0,4
Stufe III	1,6	5	1,2	<b>1,2</b>	<b>5</b>	<b>1,0</b>	0,8	5	0,6
Beurteilungsgröße	$KB_{Fmax}$	$KB_{Fmax}$	$KB_{FTr}$	$KB_{Fmax}$	$KB_{Fmax}$	$KB_{FTr}$	$KB_{Fmax}$	$KB_{Fmax}$	$KB_{FTr}$

\*) Die A - Werte für 2 bis 5 Einwirkungstage sind linear zu interpolieren.

\*\*\*) Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt  $A_0 = 6$ .

Die Festlegungen der Norm werden ohne weiteren Nachweis eingehalten, wenn  $KB_{Fmax} \leq A_u$  ist, sie werden nicht eingehalten für  $KB_{Fmax} > A_0$ . Eine Überschreitung des Anhaltswertes  $A_0 = 5$  ist bei den genannten Baumaßnahmen nicht zu erwarten. Im Falle  $A_u < KB_{Fmax} \leq A_0$  muss der Wert  $KB_{FTr}$  durch Messungen bestimmt werden (s. Abschnitt 6.4 der DIN 4150-2 [U8]). Die Forderungen der Norm gelten als erfüllt für  $KB_{FTr} \leq A_r$ . Die Beurteilung von zeitlich begrenzten Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen erfolgt weitgehend baugebietsunabhängig in drei Stufen. Bei Unterschreitung der Anhaltswerte der Stufe I ist auch ohne besondere Vorinformation der Betroffenen nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen. Ein Vergleich der in den Tabellen 2 bis 3 angegebenen Prognosen der bewerteten Schwingstärke mit den Anhaltswerten der Tabelle 4 zeigt, dass bei einer angenommenen Dauer der Erschütterungseinwirkung von 6 Tagen  $\leq D \leq 26$

Tagen die Möglichkeit einer Überschreitung des unteren Anhaltswertes der Stufe I ( $A_u = 0,4$ ) in Gebäuden mit  $R > 120$  m Abstand im Mittel ausgeschlossen werden kann. Für den unteren Anhaltswertes der Stufe II ( $A_u = 0,8$ ) wird die Möglichkeit einer Überschreitung ausgeschlossen. Für Rammgeräte mit größerer kinetischer Energie als  $E \leq 35$  kNm muss diese Aussage bezüglich des unteren Anhaltswertes der Stufe I bei Bedarf noch einmal überprüft werden. Für den Bereich der Schleusenanlagen sind die Anhaltswerte nicht relevant, da sie als Industrieobjekt anzusehen sind und hier keine Wohnungen anzutreffen sind.

## 5.1 Auswirkungen auf Bauten

In der DIN 4150-3 [U9] werden Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit an Bauwerksmesspunkten angegeben, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne der Verminderung des Gebrauchswertes von Bauwerken erfahrungsgemäß nicht zu erwarten sind. Die Anhaltswerte für Gebäude und Bauten sind hier in der Tabelle 5 zusammenfassend angegeben.

Tabelle 5: Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen und Dauererschütterungen nach DIN 4150-3 für Gebäude und Bauten

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_i$ in mm/s						
		Kurzzeitige Erschütterungen					Dauererschütterungen	
		Fundament			Deckenebene des obersten Vollgeschosses	vertikale Deckenschwingungen	Deckenebene des obersten Vollgeschosses	Deckenschwingungen
		$V_{i,F}$			$V_{H,OG}$	$V_{z,D}$	$V_{H,OG}$	$V_{z,D}$
Frequenzen in Hz			alle Frequenzen	alle Frequenzen	alle Frequenzen	alle Frequenzen		
<10    10 – 50 *)    50 - 100 *)								
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 - 40	40 - 50	40	20	10	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 - 15	15 - 20	15	20	5	10
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 - 8	8 - 10	8	20***)	2,5	- **)



- \*) Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden., Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.
- \*\*) kein Anhaltswert angegeben, das Maß der noch unschädlichen Erschütterungseinwirkungen ist im Einzelfall festzustellen
- \*\*\*) Abminderung kann notwendig sein

Die Norm unterscheidet kurzzeitige Bauwerksererschütterungen (Schlagrammung, Meißeln) und Dauererschütterungen (Vibrationsrammung, Vibrationsverdichtung). Für Dauererschütterungen werden für Messpunkte am Fundament keine Anhaltswerte angegeben, sondern nur für horizontale Schwingungen in der Deckenebene des obersten Vollgeschosses sowie für vertikale Deckenschwingungen (nur für Gebäude der Zeile 1 und Zeile 2).

Für Gebäude und Bauten in einer Entfernung von  $R > 120$  m können für die verschiedenen Rammverfahren die Anhaltswerte für die Zeilen 1 bis 3 aus der DIN eingehalten werden. Auch an den genannten Schutzgütern (Schleusen, Leuchttürme) mit  $R > 20$  m sind Überschreitungen der Anhaltswerte der Schwinggeschwindigkeit und damit Schäden durch direkte Schwingungseinwirkungen bei allen genannten Bauverfahren nicht zu erwarten. Das kann im Rahmen der Vorabschätzung auch auf Meißel- und Abbrucharbeiten übertragen werden.

Die Bewertung von Erschütterungen insbesondere durch Vibrationsrammungen hinsichtlich der Auswirkungen auf den Boden im Gründungsbereich der Schutzgüter (hier insbesondere der vorhandenen Schleusen) kann erst bei Vorliegen der Ausführungsplanungen abschließend eingeschätzt werden.

## 6 Schlussbemerkungen

Für verbleibende Gebäude auf der Schleuseninsel und Bereiche der vorhandenen Schleusenanlagen, die zukünftigen Rammarbeiten naheliegen, müssen nach einer weiter präzisierten Bauplanung noch Aussagen zum Einsatz geeigneter Rammverfahren durch unser Referat getroffen werden. Die Planfeststellung ist aus unserer Sicht davon jedoch nicht berührt.

Wichtig für die Arbeit der Planfeststellungsbehörde ist, dass Probleme des Erschütterungsschutzes, die im Verlauf des Planfeststellungsverfahrens thematisiert werden von der BAW bearbeitet werden. Im Vorfeld der Baumaßnahme sind in Bezug auf Erschütterungen im Abstand von  $R > 120$  m keine gesonderten Beweissicherungsmaßnahmen erforderlich. Während der Baumaßnahmen sollten als Beweissicherung stichprobenartig Messungen an den nächstgelegenen Gebäuden veranlasst werden.

Im Auftrag

(Dipl. Phys. Zierach)