



## Planunterlagen

# Anpassung der seewärtigen Zufahrt zum Seehafen Rostock

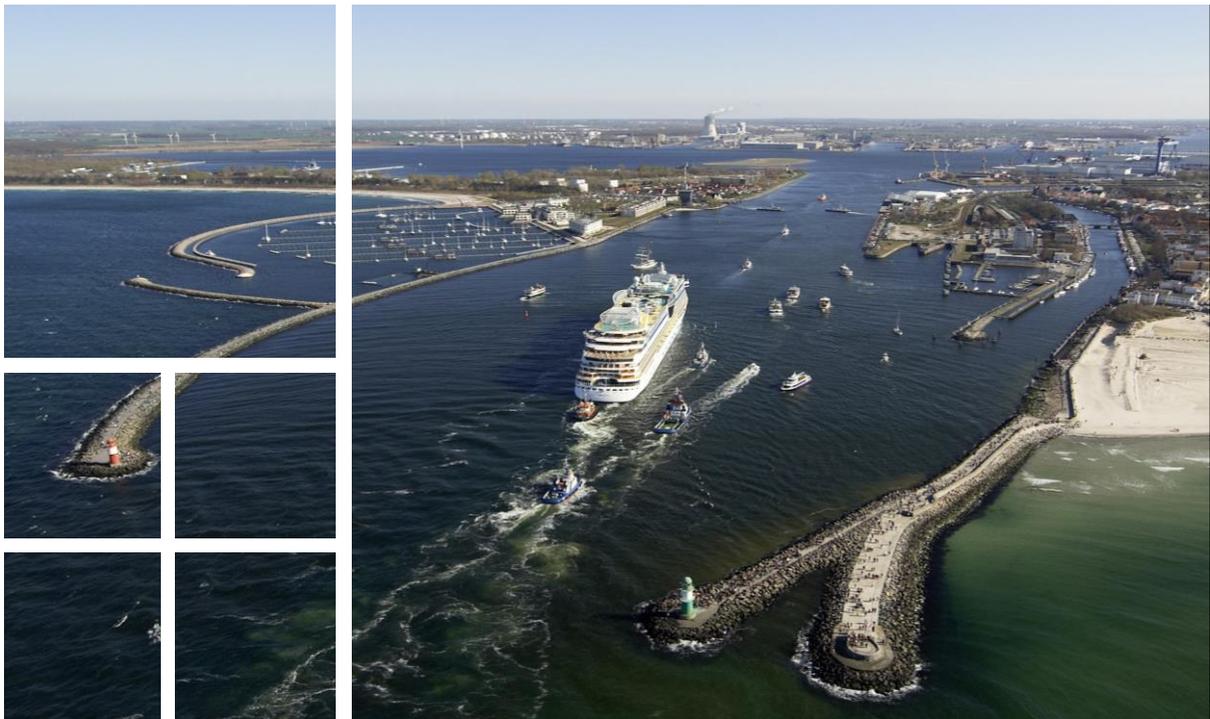


Foto: © ROSTOCK PORT/nordlicht

## 11\_10 Erschütterungsimmissionen



Anpassung der seewärtigen Zufahrt  
zum Seehafen Rostock

Erschütterungsimmissionen  
während der Bauzeit und  
im Anschluss an die Ausbaumaßnahme

B3955.03.06.10001



Anpassung der seewärtigen Zufahrt  
zum Seehafen Rostock

Erschütterungsimmissionen  
während der Bauzeit und  
im Anschluss an die Ausbaumaßnahme

Auftraggeber: Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Stralsund

Auftrag vom: 28.08.2017, Az.: 3155/2-231.2-Wa2/3-9

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. B3955.03.06.10001

Aufgestellt von: Abteilung: Geotechnik  
Referat: G1 Baugrunderkundung  
Bearbeiter: Dr.-Ing. Julia Götz

Karlsruhe, 04. Januar 2018

Das Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.



## Zusammenfassung

Das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Stralsund (WSA Stralsund) plant die Anpassung der seewärtigen Zufahrt zum Seehafen Rostock. Im Rahmen der Planungsarbeiten sind Untersuchungen zum Ist-Zustand der Erschütterungsimmissionen durchzuführen und Prognosen für die betriebsbedingten und baubedingten Erschütterungsimmissionen zu erstellen. Anlass der Untersuchungen sind Hinweise von Anwohnern im Rahmen der ersten Bürgerinformationsveranstaltung zum Vorhaben.

Nach der Anpassung ist mit einer leicht veränderten Flottenstruktur im Rostocker Revier zu rechnen. Zukünftig soll vor allem den Massengutschiffen für Rohöl, Kohle und Eisenerz mit höheren Tragfähigkeiten die Zufahrt zum Hafen gewährleistet bzw. für bereits einlaufende Schiffe eine bessere Auslastung ermöglicht werden. Schiffsvorbeifahrten gehen mit Luft- und Körperschallemissionen einher, welche in Form von Wellen (in der Luft, im Wasser oder Boden) an den Immissionsort, z. B. an ein Wohngebäude, übertragen werden. Untersuchungen zu schiffsbedingten Erschütterungsimmissionen im Wohngebiet „Hohe Düne“ haben ergeben, dass sowohl der von Schiffen emittierte Körperschall (Schiffspropeller, Schiffsaußenhaut) als auch die vom Schornstein emittierten Luftdruckschwankungen (Zündfrequenz der Schiffsmotoren) in den Boden einkoppeln und diesen zu Schwingungen anregen. Die Schwingungen werden auf die anliegenden Wohngebäude übertragen. Durch das niedrige Schwingungsniveau sind Schäden an diesen Gebäuden durch schiffsinduzierte Erschütterungen ausgeschlossen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei einzelnen Schiffspassagen die Fühlschwelle überschritten wird. Es liegt jedoch momentan keine erhebliche Belästigung der Anwohner nach DIN 4150-2:1999-06 (Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden) durch die Schiffspassagen vor und diese wird auch durch die leicht veränderte Flottenstruktur nach der Anpassung nicht erwartet.

Für den Ausbau des Seekanals im überwiegend festen Geschiebemergel kommen nach dem derzeitigen Planungsstand vorrangig Eimerkettenbagger oder Tieflöffelbagger zum Einsatz. Durch den Betrieb großer Maschinen und die Bewegung großer Massen, wie z. B. bei Baggerarbeiten, kann es zu stoßartigen Erschütterungen kommen. Es liegen keine Erschütterungsmessungen zu Baggerarbeiten in festem Geschiebemergel mit möglichen Einlagerungen von Steinen und Blöcken vor. Es wird deshalb empfohlen vor Baubeginn eine Dokumentation bestehender Schäden an ausgewählten Gebäuden zu veranlassen. Nach Beginn der Baumaßnahme sollten bei Baggerarbeiten in einem größeren Abstand zur Wohnbebauung Erschütterungsmessungen veranlasst werden. Basierend auf diesen Messergebnissen sollten die Erschütterungen neu beurteilt werden. Bei Annäherung der Bagger an die Gebäude wird empfohlen ab einem bestimmten Abstand (der basierend auf den tatsächlich auftretenden Erschütterungen festgelegt werden muss), kontinuierliche Erschütterungsmessungen (Messung von Schwinggeschwindigkeiten und Schwingfrequenzen) nach DIN 45669 und DIN 4150 an ausgewählten Gebäuden durchzuführen.

Um vorab prüfen zu können, ob die geplanten Baggerarbeiten mit den Anforderungen der DIN 4150-3:2016-12 (Einwirkungen auf bauliche Anlagen) und der DIN 4150-2:1999-06 (Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden) vereinbar sind, werden Messergebnisse von erschüttere-

rungsintensiven Baumaßnahmen, wie z. B. der Schlagrammung, herangezogen und diese als Abschätzung „auf der sicheren Seite“ angesetzt. Daraus wird abgeleitet, dass die Anhaltswerte der DIN 4150-3:2016-12 bei den Baggerarbeiten sicher eingehalten werden. Schäden an den anliegenden Wohnhäusern und erdverlegten Rohrleitungen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht zu erwarten. Zur Vermeidung der erheblichen Belästigung der Anwohner sind die Anhaltswerte der DIN 4150-2:1999-06 einzuhalten. Es werden Maßnahmen zur Schwingungsüberwachung und Beweissicherung empfohlen.

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Unterlagen und Daten	1
3	Beschreibung der Ausbaumaßnahme	3
3.1	Baugrund und Baugeräte	3
3.2	Schiffsverkehr nach der Ausbaumaßnahme	4
4	Anforderungen an den Erschütterungsschutz	5
4.1	Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen	5
4.2	Einwirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten	7
4.3	Erschütterungseinwirkung auf Menschen in Gebäuden	8
4.3.1	Erschütterungsimmissionen durch Schiffspassagen	8
4.3.2	Erschütterungsimmissionen durch Bauarbeiten	9
5	Erschütterungsimmissionen durch Schiffspassagen	11
5.1	Ermittlung des Ist-Zustandes	11
5.1.1	Versuchsdurchführung und Messapparatur	11
5.1.2	Ergebnisse der Messungen	12
5.2	Bewertung der Erschütterungsimmissionen durch Schiffspassagen	17
5.2.1	Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen	17
5.2.2	Einwirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten	17
5.2.3	Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden	18
5.3	Prognose der schiffsinduzierten Erschütterungen nach der Anpassung	18
5.3.1	Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen	18
5.3.2	Einwirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten	19
5.3.3	Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden	19
6	Erschütterungsimmissionen durch Baggerarbeiten	21
6.1	Prognose der Erschütterungsimmissionen durch Baggerarbeiten	21
6.1.1	Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen	23
6.1.2	Einwirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten	24
6.1.3	Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden	24
7	Empfehlungen für die Schwingungsüberwachung und Beweissicherung	24

Bildverzeichnis	Seite
Bild 1: Auf der Decke im Gebäude „Weg der Freundschaft Nr. 7“ registrierte Schwinggeschwindigkeiten $v_D$ oder $v_{rD, max}$ bei Schiffspassagen.	13
Bild 2: Aufzeichnung der Passage der „Bore Bank“ am 07.06.2018 im Boden, auf dem Fundament und der Decke des Gebäudes „Weg der Freundschaft Nr. 7“ (Anlage 1.2, MP-K4 bis MP-K6).	14
Bild 3: Vergleichende Darstellung der unbewerteten Schalldruckpegel ( $f \leq 100$ Hz) und Schwingungssignale von Schiffspassagen der „Bore Bank“ (linke Spalte), der Hybridfähre „Berlin“ (mittlere Spalte) und dem Schiffshorn der „Celebrity Silhoutte“ (rechte Spalte). Die Geophone befinden sich am Boden vor dem Gebäude „Weg der Freundschaft Nr. 7“, sowie auf dem Fundament und auf der Decke (Anlage 1.2, MP-K4 bis MP-K6). Die Lage des Schallsensors kann ebenfalls der Anlage 1.2 entnommen werden.	16
Bild 4: Aufzeichnung der Passage der „Bore Bank“ am 07.06.2018 auf der Decke im Gebäude „Weg der Freundschaft Nr. 7“. Gezeigt werden die Schwinggeschwindigkeit $v(t)$ , das frequenzbewertete Erschütterungssignal $KB(t)$ , die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ und die Taktmaximalwerte $KB_{FTi}$ .	17
Bild 5: Darstellung der Schwinggeschwindigkeit an Bodenmesspunkten bei Schlagrammung (oben) und Meißelarbeiten (unten). Die senkrechte Linie markiert die Entfernung $R = 50$ m.	23
Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 1: Anhaltswerte $v_{i, max}$ für kurzzeitige Erschütterungen und Dauererschütterungen für Gebäude (Tabellen 1 und 4 der DIN 4150-3:2016-12)	6
Tabelle 2: Anhaltswerte $v_{i, max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen und Dauererschütterungen auf erdverlegte Rohrleitungen (Tabelle 3 und Abschnitt 6.2 der DIN 4150-3:2016-12)	7
Tabelle 3: Anhaltswerte $A$ zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen (aus Tabelle 1 der DIN 4150-2:1999-06)	9
Tabelle 4: Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen auf Menschen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen (Tabelle 2 der DIN 4150-2:1999-06)	9
Tabelle 5: Übertragungsfaktoren bei Schiffsvorbeifahrten	15
Tabelle 6: Mögliche Größtwerte der Bauwerksschwinggeschwindigkeiten für ein Gebäude in einem Abstand von $R_{min} = 50$ m zu einer Schlagrammung und zu Meißelarbeiten	22

## Anlagenverzeichnis

Anlage 1.1 Seekanal Rostock, Lageplan Messpunkte Schiffsschwingungen 07.03.2018

Anlage 1.2 Seekanal Rostock, Lageplan Messpunkte Schiffsschwingungen 05.-14.06.2018

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) Stralsund plant die Anpassung der seewärtigen Zufahrt zum Seehafen Rostock. Im Rahmen der Planungsarbeiten sind Untersuchungen zum Ist-Zustand der Erschütterungsimmissionen durchzuführen und Prognosen für die betriebsbedingten und baubedingten Erschütterungsimmissionen zu erstellen. Anlass der Untersuchungen sind Hinweise von Anwohnern im Rahmen der ersten Bürgerinformationsveranstaltung zum Vorhaben.

Das Gutachten beinhaltet folgende Hauptbestandteile:

- Messung der vorhandenen schiffsbedingten Erschütterungsimmissionen am 07. März 2018 und vom 05. – 14. Juni 2018
- Bewertung der gemessenen Erschütterungsimmissionen durch Schiffspassagen für den gegenwärtigen Zustand und für eine Prognose nach der Anpassung
- Prognose der Erschütterungsimmissionen infolge von Bauarbeiten für die betroffenen Wirkräume
- Beratung des Auftraggebers bei der Festlegung für Beweissicherungsverfahren während der Bauzeit

## 2 Unterlagen und Daten

Folgende Unterlagen wurden für die Bearbeitung verwendet:

[U1] Daten

[U1.1] Datensammlung zu Erschütterungsmessungen bei Ramm-, Vibrier-, Meißel- und Sprengarbeiten sowie Schiffsverkehr, Bundesanstalt für Wasserbau, Abteilung Geotechnik, Referat Baugrunderkundung.

[U2] Pläne

[U2.1] Anpassung der seewärtigen Zufahrt zum Seehafen Rostock, Erschütterungsmessungen, Querschnitt km 5.230, Maßstab 1:500, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Stralsund, Stand 26.03.2018.

[U3] Berichte

[U3.1] Ausbau Seekanal Rostock, Geotechnischer Bericht für Nassbaggerarbeiten, BAW-Nr. A3955.03.06.10001, aufgestellt durch Bundesanstalt für Wasserbau am 28.06.2018.

- [U3.2] Ausbau des Seekanals Rostock auf NHN -16,xx m, Unterlage zur Festlegung des Untersuchungsrahmens gem. § 5 UVPG (Scoping-Unterlage), aufgestellt durch Froelich & Sporbeck am 19.02.2014.
- [U3.3] Reichpietschufer Warnemünde, Baugrundgutachten und Standsicherheitsbeurteilung für die Uferböschung, BAW-Nr. 9651 3683, aufgestellt durch Bundesanstalt für Wasserbau am 06.01.1997.
- [U3.4] Anpassung an die seewärtige Zufahrt zum Seehafen Rostock, Schallimmissionen während der Bauzeit und im Anschluss an die Ausbaumaßnahme, Projekt-Nr. 26607-00, aufgestellt durch UmweltPlan GmbH Stralsund im August 2017.
- [U3.5] Ausbau des Seekanals Rostock auf NN -16,XX m, Erstellung einer Nutzen-Kosten-Analyse, Vorläufiger Endbericht, aufgestellt durch BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH am 18.11.2011.
- [U3.6] Setzungen von Sanden bei Schwingungsanregung, FuE-Abschlussbericht, BAW-Nr. A39520570001, aufgestellt durch Bundesanstalt für Wasserbau am 28.11.2012.
- [U3.7] Anpassung der seewärtigen Zufahrt zum Seehafen Rostock, Messbericht zur Voruntersuchung „Auswirkungen von Erschütterungen durch die Schifffahrt sowie durch baubedingte Erschütterungen“, aufgestellt durch Bundesanstalt für Wasserbau am 24.05.2018.
- [U3.8] Statistische Auswertung von Erschütterungsemissionen, FuE-Abschlussbericht, BAW-Nr. A39520570002, aufgestellt durch Bundesanstalt für Wasserbau am 24.11.2015.
- [U3.9] Gutachten zu Erschütterungen durch Schiffsbetrieb, Ramm- und Felsmeißelarbeiten für den Ausbau der Bundeswasserstraße Main in den Stauhaltungen Dettelbach und Gerlachshausen (Main-km 295,48 bis 316,12), BAW-Nr. A.395.6.06.10056, aufgestellt durch Bundesanstalt für Wasserbau am 16.01.2006.
- [U3.10] Machbarkeitsstudie zum Ausbau des Seekanals Rostock auf eine Tiefe von 16,60 m unter NHN, Hydrodynamik, BAW-Nr. A 395 503 10184, aufgestellt durch Bundesanstalt für Wasserbau am 31.01.2011.
- [U4] Normen
  - [U4.1] DIN 4150-3:2016-12, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Beuth Verlag GmbH Berlin.
  - [U4.2] DIN 4150-2:1999-06, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Beuth Verlag GmbH Berlin.

[U4.3] DIN 45669-1:2010-09 mit DIN 45669-1 Ber 1:2012-12, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1: Schwingungsmesser – Anforderungen und Prüfung, Beuth Verlag GmbH Berlin.

[U4.4] DIN 45669-2:2005-06, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren, Beuth Verlag GmbH Berlin.

### 3 Beschreibung der Ausbaumaßnahme

Das WSA Stralsund plant die Anpassung der seewärtigen Zufahrt zum Seehafen Rostock um die Voraussetzung zu schaffen, dass der Hafen von Schiffen mit einer Länge über alles von 275 m, einer Breite über alles von 48 m und einem Konstruktionstiefgang von 15 m angelaufen werden kann. Für die gesamte Ausbaustrecke von 14,9 km wird in [U3.2] eine Bauzeit von 2,5 Jahren veranschlagt.

Erschütterungen während der Ausbaumaßnahme, durch Schiffspassagen und deren Auswirkungen auf Gebäude und auf Menschen in Gebäuden werden hier für das nächstgelegene Wohngebiet „Hohe Düne“ östlich des Seekanals betrachtet. Diese Strecke des Seekanals befindet sich im geplanten Bauabschnitt 3 (BA3) [U3.1]. Im BA3 ist eine Vertiefung um 2,1 m bzw. um 2,5 m mit Vorhaltemaß geplant. Die aktuelle Fahrrinnenbreite des Seekanals von 120 m bleibt in diesem Bereich erhalten, d. h. die bestehende Böschung wird lediglich nach unten bis zur Sollssole verlängert [U3.2]. Die Sollssole hat damit eine Breite von ca. 112 m. Der kleinste Abstand zwischen den Baggerarbeiten während der Ausbaumaßnahme und einem Wohngebäude beträgt  $R_{min} = 51$  m für das Gebäude „Weg der Freundschaft 10“ im Ortsteil „Hohe Düne“ [U2.1].

#### 3.1 Baugrund und Baugeräte

Nach [U3.1] ist der Vertiefungsbereich im BA3 nahezu vollständig aus Geschiebemergel aufgebaut. Der Geschiebemergel ist überwiegend fest und nur örtlich weich bis halbfest. Die undrainede Scherfestigkeit  $c_u$  schwankt zwischen 49 kPa und 3500 kPa (im Mittel  $c_u = 917$  kPa). Nach dem Knetversuch ist der Geschiebemergel gering plastisch. Aufgrund seiner hohen Festigkeit handelt es sich beim Geschiebemergel um einen Boden im Übergang vom Boden zum Fels, der als sedimentär (klastisch), massig zu benennen ist. Im halbfesten bis festen Geschiebemergel wurden einaxiale Druckversuche durchgeführt. Danach schwankt die einaxiale Druckfestigkeit  $q_u$  zwischen 0,09 MPa und 1,35 MPa (im Mittel  $q_u = 0,60$  MPa) was einer außerordentlich geringen bis sehr geringen einaxialen Druckfestigkeit entspricht. Trennflächen (Schichtung, Klüftung) wurden in den Bohrkernen aus dem Geschiebemergel nicht beobachtet. Im Geschiebemergel treten zahlreiche Steine und Blöcke auf, die einzeln, lagenweise oder in Nestern vorkommen können.

Nach [U3.3] ist der Geschiebemergel unterhalb des Reichpietschufers („Hohe Düne“) von einer 7 m bis 9 m mächtigen Schicht aus locker gelagerten Sanden geringer Festigkeit und Mudden und Torfen weicher Konsistenz überlagert.

Für den Ausbau des Seekanals im Geschiebemergel kommen nach dem derzeitigen Planungsstand vorrangig Eimerkettenbagger oder Tieflöffelbagger zum Einsatz. Durch den Betrieb großer Maschinen und die Bewegung großer Massen, wie z. B. bei Baggerarbeiten, kann es zu stoßartigen Erschütterungen kommen. Die von der Erschütterungsquelle in den Untergrund eingeleitete Schwingungsenergie breitet sich in Form von verschiedenen Wellenarten im Boden aus. Die anliegenden Gebäude können durch die Wellen im Boden über das Fundament zu Schwingungen angeregt werden.

Bei stoßartigen Erschütterungen ist die Erschütterungsstärke näherungsweise proportional zur Quadratwurzel der in den Baugrund eingeleiteten Energie. Die tatsächliche Erschütterungsstärke hängt bei diesen Vorgängen aber stark von den örtlichen Gegebenheiten, d. h. dem anstehenden Baugrund ab. Die auftretenden Schwingungssignale sind in der Regel durch ein breitbandiges Frequenzspektrum bis etwa 80 Hz charakterisiert. Da es sich um kurzzeitige Erschütterungen handelt, ist die Dauer der Erschütterungssignale allerdings nicht ausreichend, um in der betroffenen Struktur eine Vergrößerung der Schwingungen durch Resonanz zu erzeugen. Trotzdem können die Erschütterungen in Abhängigkeit von der Entfernung zur Baustelle spürbar sein.

### 3.2 Schiffsverkehr nach der Ausbaumaßnahme

Nach der Anpassung ist mit einer leicht veränderten Flottenstruktur im Rostocker Revier zu rechnen. Zukünftig soll vor allem den Massengutschiffen für Rohöl, Kohle und Eisenerz mit höheren Tragfähigkeiten die Zufahrt zum Hafen gewährleistet werden. Das bedeutet für derzeit verkehrende Schiffe, dass diese den Seehafen Rostock nicht teilabgeladen sondern vollabgeladen anlaufen können [3.4]. Bei der zukünftigen Zusammensetzung der den Rostocker Hafen anlappenden Schiffe wird es zu Verschiebungen hin zu höheren tdw-Größenklassen (anwachsende Zulade-Fähigkeit) geben, bei einer leicht verminderten Anzahl der Schiffsbewegungen [U3.4][U3.5].

In [U3.10] wird hervorgehoben, dass sich der Energieeintrag durch den Propeller bei gleicher Fahrweise nicht ändert. Es wird zu keiner Verschiebung der Fahrwinde in Richtung auf das Wohngebiet „Hohe Düne“ kommen.

Schiffsvorbeifahrten gehen mit Luft- und Körperschallemissionen einher, welche in Form von Wellen (in der Luft, im Wasser oder Boden) an den Immissionsort, z. B. an ein Wohngebäude, übertragen werden.

Die Quelle des Luftschalls ist vorwiegend der Schornstein des jeweiligen Schiffs. Die emittierten Luftdruckschwankungen werden hierbei von der Zündfrequenz der Schiffsmotoren bestimmt. Am Immissionsort können die Luftdruckschwankungen direkt in die Gebäudeaußenwände einkoppeln und an Bauteilen Erschütterungen erzeugen. Die Luftdruckschwankungen können auch in den Boden einkoppeln und Gebäude durch die Wellen im Boden über das Fundament zu Schwingungen anregen.

Die Quellen des Körperschalls sind der Schiffspropeller und die Schiffsaußenhaut. Die emittierten Druckschwankungen des Wassers werden hierbei von den Motordrehzahlen und der Flügelzahl des Propellers bestimmt. Die anliegenden Gebäude können durch die Wellen im Boden über das Fundament zu Schwingungen angeregt werden.

Bei der Weiterleitung vom Fundament auf die vorhandenen Decken werden die übertragenen Erschütterungen im Allgemeinen verstärkt. Die größten Schwingungen sind im Resonanzbereich der Geschosdecken zu erwarten.

## 4 Anforderungen an den Erschütterungsschutz

### 4.1 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

In der DIN 4150-3:2016-12 [U4.1] 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 der DIN 4150-3:2016-12 sind hier in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Eine Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden oder Gebäudeteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne der DIN 4150-3:2016-12 ist z. B.:

- die Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und Bauteilen
- die Verminderung der Tragfähigkeit von Decken

Bei Gebäuden nach Zeile 2 und Zeile 3 der Tabelle 1 ist eine Verminderung des Gebrauchswertes auch gegeben, wenn z. B.:

- Risse im Putz von Wänden auftreten
- bereits vorhandene Risse in Gebäuden vergrößert werden
- Trenn- oder Zwischenwände von tragenden Wänden oder Decken abreißen

Diese Schäden werden auch als leichte Schäden bezeichnet.

Die Messgröße Schwinggeschwindigkeit  $v_i$  (Richtungskomponenten  $i = x, y, z$ ) und deren maßgebende Frequenz  $f$  werden für die Bewertung der durch Erschütterungen aus Baumaßnahmen verursachten Einwirkungen auf Bauwerke und Bauteile herangezogen, da zwischen der Schwinggeschwindigkeit und den Bauwerks- bzw. Bauteilbeanspruchungen näherungsweise ein linearer Zusammenhang nachgewiesen wurde. Beurteilt werden die Größtwerte der Ganzkörperschwingungen des Bauwerkes, gemessen am Fundament ( $v_F$ , Betragsmaximalwert der drei Richtungskomponenten  $x, y, z$ ) und bei Gebäuden auch an der Außenwand im obersten Vollgeschoss ( $v_{OG}$ , Betragsmaximalwert der horizontalen Komponenten  $x, y$ ). Die Beurteilung von Decken erfolgt anhand der Deckenschwingungen, gemessen am Ort der größten Schwingung (im Allgemeinen die Deckenmitte,  $v_D$ , Betragsmaximalwert der vertikalen Komponente  $z$ ) [U4.1].

Die Norm unterscheidet kurzzeitige Bauwerksererschütterungen und Dauererschütterungen. Kurzzeitige Erschütterungen sind „Erschütterungen, deren Häufigkeit für Ermüdungserscheinungen und deren zeitlicher Abstand für Resonanzerscheinungen unerheblich ist“ [U4.1]. Dauererschütterungen sind alle Erschütterungen, auf die die Definition der kurzzeitigen Erschütterungen nicht zutrifft. Die Erschütterungen bei Schiffspassagen werden hier als Dauererschütterungen, die Erschütterungen bei Baggerarbeiten als kurzzeitige Erschütterungen bewertet.

Tabelle 1: Anhaltswerte  $v_{i,max}$  für kurzzeitige Erschütterungen und Dauererschütterungen für Gebäude (Tabellen 1 und 4 der DIN 4150-3:2016-12)

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ in mm/s						
		kurzzeitige Erschütterungen					Dauererschütterungen	
		Fundament			Deckenebene des obersten Vollgeschosses, horizontal	vertikale Deckenschwingungen	Deckenebene des obersten Vollgeschosses, horizontal	vertikale Deckenschwingungen
		Frequenzen $f$ in Hz			alle Frequenzen	alle Frequenzen	alle Frequenzen	alle Frequenzen
		< 10	10 - 50 <sup>1)</sup>	50 - 100 <sup>1)</sup>				
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 <sup>2)</sup>	2,5	10 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden

<sup>2)</sup> Abminderung kann notwendig sein

Für Dauererschütterungen werden in der DIN 4150-3:2016-12 für Messpunkte am Fundament von Gebäuden keine Anhaltswerte angegeben. Es wird vorgeschlagen, als zusätzliche Forderung die Anhaltswerte  $v_i = 3$  mm/s, für Dauererschütterungen am Fundament von Bauten, die der Zeile 2 der Tabelle 1 entsprechen bzw.  $v_i = 5$  mm/s für Dauererschütterungen am Fundament von Bauten die Zeile 1 der Tabelle 1 entsprechen, vorzusehen.

Für erdverlegte Rohrleitungen werden in der DIN 4150-3:2016-12 Anhaltswerte für die Beurteilung von kurzzeitigen und dauerhaften Erschütterungseinwirkungen angegeben. Die Anhaltswerte für erdverlegte Rohrleitungen sind hier in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Anhaltswerte  $v_{i,max}$  zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen und Dauererschütterungen auf erdverlegte Rohrleitungen (Tabelle 3 und Abschnitt 6.2 der DIN 4150-3:2016-12)

Zeile	Leitungsbaustoffe	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ in mm/s auf der Rohrleitung	
		kurzzeitige Erschütterungen	Dauererschütterungen
1	Stahl, geschweißt	100	50
2	Steinzeug, Beton, Stahlbeton, Spannbeton, Metall mit und ohne Flansche	80	40
3	Mauerwerk, Kunststoff	50	25

#### 4.2 Einwirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten

Dynamische Beanspruchungen des Bodens verursachen je nach Intensität der Einwirkungen elastische oder plastische (bleibende) Verformungen. Die Auswirkungen von Erschütterungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten werden mit den o.g. Anhaltswerten der DIN 4150-3:2016-12 nicht berücksichtigt. Für die Bewertung von Erschütterungen hinsichtlich der Auswirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten werden in den Normen keine quantitativen Aussagen gemacht.

In der DIN 4150-3:2016-12 Abschnitt 4.6 [U4.1] wird angeführt: „Vor allem in locker bis mitteldicht gelagerten nichtbindigen Böden (Sande, Kiese) können starke Erschütterungen zu Sackungen des Bodens und damit zu Setzungen von Gründungskörpern führen. Das gilt besonders für häufige Erschütterungen, für gleichförmige Sande und für Böden unterhalb des Grundwasserspiegels“.

Für erschütterungsintensive Arbeiten im Nahbereich von Gründungen auf locker bis mitteldicht gelagerten nichtbindigen Böden (Sande, Kiese) werden im Anhang C der DIN 4150-3:2016-12 (normativ) Sicherheitsabstände  $R_S$  zwischen dem Rammelement und der nächstliegenden Bauwerksgründung empfohlen: „Es sollte deshalb der Abstand zu Gebäuden so gewählt werden, dass zwischen Erschütterungsquelle und Gebäudefundament ein Winkel von mindestens 30° zur Vertikalen eingehalten wird. Im Grundwasser kann ein größerer Winkel, 45°, angebracht sein“.

In der DIN 4150-3:2016-12 wird aber auch darauf hingewiesen: „Auch in größerer Entfernung von Erschütterungsquellen können schwingungsinduzierte Fundamentverschiebungen bereits bei Erschütterungen auftreten, bei denen keine Gebäudeschäden aus direkter Schwingungsbeanspruchung zu erwarten sind“.

Zur Beurteilung der Schwinggeschwindigkeit an Bodenmesspunkten wird aus den zueinander rechtwinklig angeordneten Richtungskomponenten der Schwinggeschwindigkeit  $v_i(t)$  ( $i = x, y, z$  mit  $x, y$  horizontale Komponenten und  $z$  vertikale Komponente) der Betrag des Vek-

tors der Schwinggeschwindigkeit  $v_r(t)$  gebildet (Gleichung 1). Zur weiteren Betrachtung werden die an den Bodenmesspunkten auftretenden Größtwerte des Vektors der Schwinggeschwindigkeit herangezogen (Gleichung 2). Für den Vergleich der angegebenen Schwingungsgrößen  $v_r(t)$  mit dem Größtwert der drei Einzelkomponenten der Schwinggeschwindigkeit  $v_i(t)$  besteht der Zusammenhang  $v_i \leq v_r$ .

$$v_r(t) = \sqrt{v_x(t)^2 + v_y(t)^2 + v_z(t)^2} \quad (1)$$

$$v_{r,max} = \max\{v_r(t)\} \quad (2)$$

In einem Forschungsvorhaben der BAW [U3.6] konnte gezeigt werden, dass auch bei einer sehr geringen Lagerungsdichte des Bodens (z. B. locker gelagerte Sande ohne Auflast) bei Grenzschwinggeschwindigkeiten von  $v_{r,max} = 6$  mm/s an der Geländeoberkante (GOK) die Setzungsbeträge der GOK unter  $S = 1$  mm bleiben. Bei Schwinggeschwindigkeiten von  $v_{r,max} \leq 1$  mm/s wurden in Modellversuchen keine Setzungen gemessen.

### 4.3 Erschütterungseinwirkung auf Menschen in Gebäuden

Die Norm DIN 4150-2:1999-06 [U4.2] enthält Festlegungen zum Schutz von Menschen vor erheblichen Belästigungen durch Schwingungen in Gebäuden. Beurteilungsgröße ist zunächst die maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{Fmax}$ , die durch gleitende Effektivwertbildung aus dem frequenzbewerteten Zeitsignal der Schwinggeschwindigkeit  $v(t)$  gewonnen wird.

#### 4.3.1 Erschütterungsimmissionen durch Schiffspassagen

Für die Beurteilung, ob die bei Schiffsvorbeifahrten auftretenden Gebäudeerschütterungen für die in dem Gebäude wohnenden bzw. arbeitenden Menschen eine erhebliche Belästigung darstellen, sind die auf der Gebäudedecke gemessenen  $KB_{Fmax}$ -Werte heranzuziehen. Die Anforderungen der Norm sind eingehalten, wenn die gemessenen  $KB_{Fmax}$ -Werte kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert  $A_u$  der Norm sind. Die Anforderung der Norm sind nicht eingehalten, sofern der obere Anhaltswert  $A_o$  überschritten wird. Liegen die gemessenen  $KB_{Fmax}$ -Werte zwischen den Anhaltswerten  $A_u$  und  $A_o$ , so ist zusätzlich die sogenannte Beurteilungsschwingstärke  $KB_{Ftr}$  zu ermitteln und mit dem Anhaltswert  $A_r$  zu vergleichen.

Die vorstehend genannten Anhaltswerte sind von der Nutzungsart der Gebäude in der örtlichen Umgebung des zu beurteilenden Bauwerks abhängig. Dabei hängt die Einordnung des Bauwerkes also nicht nur von der gegebenen oder geplanten Nutzung des Gebäudes selbst ab.

Das Wohngebiet „Hohe Düne“ ist nach der geltenden DIN 4150-2:1999-06 als „Einwirkungsort, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete, § 2)“ einzuordnen.

Für diese Einwirkungsorte gelten die folgenden Anhaltswerte, welche bei der Beurteilung der auf die Menschen einwirkenden Erschütterungen heranzuziehen sind (Tabelle 3):

Tabelle 3: Anhaltswerte  $A$  zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen (aus Tabelle 1 der DIN 4150-2:1999-06)

Tags			Nachts		
$A_u$	$A_o$	$A_r$	$A_u$	$A_o$	$A_r$
0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05

Von diesen Anhaltswerten soll bei der Beurteilung der schiffahrtsbedingten Erschütterungen ausgegangen werden. Schwingungen mit  $KB_{Fmax}$ -Werten  $\leq 0,1$  ( $A_u$  Nachts) sind nach der DIN 4150-2:1999-06 (Anhang D) in der Regel nicht fühlbar.

#### 4.3.2 Erschütterungsimmissionen durch Bauarbeiten

Für Baumaßnahmen gelten tagsüber die Anhaltswerte der Tabelle 2 der DIN 4150-2:1999-06 (hier Tabelle 4). Unter der Dauer  $D$  der Erschütterungseinwirkungen ist die Anzahl von Tagen zu verstehen, an denen tatsächlich Erschütterungseinwirkungen auftreten (nicht die Dauer der Baumaßnahme an sich). Dabei sind Tage mit Erschütterungseinwirkungen, die unter den Werten der Tabelle 1 der DIN 4150-2:1999-06 für  $A_u$  oder  $A_r$  liegen (z. B. für Wohngebiete 0,15 und 0,07), nicht mitzuzählen.

Tabelle 4: Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen auf Menschen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen (Tabelle 2 der DIN 4150-2:1999-06)

Dauer	$D \leq 1$ Tag <sup>1)</sup>			6 Tage < $D \leq 26$ Tage			26 Tage < $D \leq 78$ Tage		
	$A_u$	$A_o$ <sup>2)</sup>	$A_r$	$A_u$	$A_o$ <sup>2)</sup>	$A_r$	$A_u$	$A_o$ <sup>2)</sup>	$A_r$
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
Beurteilungsgröße	$KB_{Fmax}$		$KB_{Ftr}$	$KB_{Fmax}$		$KB_{Ftr}$	$KB_{Fmax}$		$KB_{Ftr}$

<sup>1)</sup> die  $A$  - Werte für 2 bis 5 Einwirkungstage sind linear zu interpolieren

<sup>2)</sup> für Gewerbe- und Industriegebiete gilt  $A_o = 6$

Die Festlegungen der DIN 4150-2:1999-06 werden ohne weiteren Nachweis eingehalten, wenn  $KB_{Fmax} \leq A_u$  ist, sie werden nicht eingehalten für  $KB_{Fmax} > A_o$ . Im Beschwerdefall muss für den Fall  $A_u < KB_{Fmax} \leq A_o$  unter Einbeziehung der zeitlichen Dauer der einzelnen Größenanteile der Einwirkungen (Unterteilung der Mess- und Einwirkungszeit in Takte von 30 s Dauer) sowie der Berücksichtigung von Ruhezeiten ein Wert  $KB_{Ftr}$  bestimmt werden (s. Abschnitt 6.4 der DIN 4150-2:1999-06). Die Forderungen der Norm gelten als erfüllt für  $KB_{Ftr} \leq A_r$ . Die Einhaltung kann gegebenenfalls durch die Verringerung der täglichen Einwirkungszeit erreicht werden.

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. Mit erheblichen Belästigungen im Sinne der DIN 4150-2:1999-06 ist bei Einhaltung des Anhaltswertes der Stufe II dann nicht zu rechnen, wenn vor Baubeginn die nachfolgend genannten Maßnahmen ergriffen werden [U4.2]:

- a) umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahme, das Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Baubetrieb
- b) Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen und die damit verbundenen Belästigungen
- c) zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen (Pausen, Ruhezeiten, Betriebsweise der Erschütterungsquelle usw.)
- d) Benennung einer Ansprechstelle, an die sich Betroffene wenden können, wenn sie besondere Probleme durch Erschütterungswirkungen haben
- e) Information der Betroffenen über die Erschütterungseinwirkungen auf das Gebäude

und nach Beginn der Baumaßnahme gegebenenfalls (im Beschwerdefall) auch

- f) Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkung auf Menschen und Gebäude

Bei zunehmender Überschreitung des Anhaltswertes der Stufe II werden mit wachsender Wahrscheinlichkeit erhebliche Belästigungen auftreten. Es ist deshalb zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist. Wird zur Verringerung der Erschütterungsbelastung z. B. eine erhebliche Bauzeitverlängerung und damit verlängerte Erschütterungsbelastung auf niedrigerem Niveau eventuell in Verbindung mit erhöhter Lärmbelastung notwendig, dann ist die Zumutbarkeit zeitlich begrenzter Erschütterungseinwirkungen auch im Bereich erheblicher Belästigungen bis zu einer Zumutbarkeitsschwelle (Stufe III) abzuwägen. In solchen Fällen sollte den Betroffenen die Sorge wegen befürchteter Nachteile durch Schäden am Gebäude durch Beweissicherung und Zusagen bezüglich der Behebung möglicher Schäden genommen werden. Bei Überschreitung der Stufe III wird die Vereinbarung besonderer Maßnahmen notwendig.

Für eine Prognose kann  $KB_{Fmax}$  näherungsweise aus der prognostizierten Schwinggeschwindigkeit  $v_D$  bestimmt werden [U4.2]:

$$KB_{Fmax} = c_F \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{v_D}{\sqrt{1 + (f_0/f)^2}} \quad (3)$$

$KB_{Fmax}$  bewertete Schwingstärke

$c_F$  Faktor für die Art der Schwingungseinwirkung ( $0,6 \leq c_F \leq 0,9$  gem. Tabelle 3 in DIN 4150-2:1999-06)

$v_D$  Betragsmaximalwert der Schwinggeschwindigkeit  $v_i(t)$  auf dem Fußboden am Ort

der größten Schwingungen  
 $f$  dazugehörige Frequenz in Hz  
 $f_0$  Grenzfrequenz des Hochpasses ( $f_0 = 5,6$  Hz)

## 5 Erschütterungsimmissionen durch Schiffspassagen

### 5.1 Ermittlung des Ist-Zustandes

#### 5.1.1 Versuchsdurchführung und Messapparatur

Für die Ermittlung des Ist-Zustandes wurden schiffsbedingte Erschütterungsimmissionen am 07. März 2018 und vom 05. – 14. Juni 2018 gemessen. Die Aufzeichnung von Schiffspassagen erfolgte in Summe über ca. 225 Stunden.

Vor Ort erfolgte die Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufs der Schwinggeschwindigkeit  $v(t)$  und des Schalldruckpegels  $p(t)$  der Schiffspassagen mit dem Messsystem „Kebe-System“:

- 2 Schwingungsmessverstärker *SMK-4812* mit 8 dreiaxialen Geophonen der Fa. *Dr. Kebe Scientific Instruments GmbH*
- ICP Microphone System *378B02 SN 113726* der Fa. *PCB Piezotronics* (das Mikrofon kann in einem Frequenzbereich  $3,75 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$  eingesetzt werden)
- Messcomputer der Fa. *DSM* und 2 x 18-Bit AD Wandlerkarte (Fa. *National Instruments*) mit 500 Hz Abtastrate

Die Schwingungsmessungen wurden mit  $f_1 = 315$  Hz tiefpassgefiltert, die Schallmessungen mit  $f_1 = 100$  Hz. Zur Aufstellung des Mikrofons wurde eine Grube im Boden ausgehoben (Seitenlänge ca.  $0,5 \times 0,5$  m, Tiefe ca.  $0,5$  m). Auf dem Planum der Grubensohle wurde das Mikrofon zusammen mit einem dreiaxialen Schwingungsmesser aufgestellt und die Grube mit einer Decke abgedeckt. Die Art der Aufstellung dient der Minimierung der Störungen des Mikrofons durch Regen oder Wind.

Zeitgleich mit der Messung wurden der Schiffsname, der Abstand des Schiffs vom Ufer sowie die Fahrtrichtung (Ein- bzw. Auslaufen) protokolliert. Es erfolgte auch eine Einteilung nach Schiffstyp (Fähre, Frachter, Tanker, Hafentrundfahrt, Kreuzfahrtschiff).

Im Juni wurde zusätzlich ein zweites Schwingungsmessgerät vom Typ *VIBRAS 7003* der Firma *Walesch Electronic GmbH* eingesetzt („Vibras-System“). Das Gerät war so konfiguriert, dass an drei Messstellen vom Typ *MST 3004* mit dreiaxialen Geophonen kontinuierlich Schwingungsergebnisse aufgezeichnet wurden. So konnten auch nachts und am Wochenende Schiffspassagen registriert werden. Der eingestellte Arbeitsfrequenzbereich umfasste die Frequenzen von 1 Hz bis 80 Hz.

Die Schwingungsmessgeräte entsprechen der Genauigkeitsklasse 1 der DIN 45669-1:2010-09 [U4.3]. Die Aufstellung der Messstellen erfolgte entsprechend der DIN 45669-2:2005-06 [U4.4] und DIN 4150-3:2016-12 [U4.1]. Zur Aufzeichnung, Auswertung und Analyse der Messdaten wurde die Software *Diadem* (Fa. *National Instruments*), *MATLAB* (Fa. *The MathWorks Inc.*) und *Meda* (Fa. *Wölfel Monitoring Systems GmbH + Co. KG*) eingesetzt. Die aufgezeichneten Daten sind in der BAW, Referat Baugrunderkundung archiviert.

In den Anlagen 1.1 und 1.2 sind für beide Messkampagnen die Lagepläne der Messpunkte zu finden. Im März wurden die Schiffspassagen in zwei Wohngebäuden (Weg der Freundschaft Nr. 7, Am Breitling Nr. 10) registriert [U3.7]. Die Schiffspassagen im Juni wurden nur im Wohngebäude „Weg der Freundschaft Nr. 7“ aufgezeichnet.

Die Schwingungsuntersuchung im Wohngebäude „Weg der Freundschaft Nr. 7“ kann als repräsentativ für das Wohngebiet „Hohe Düne“ angesehen werden:

- Durch die identische Bauweise der Gebäude am „Weg der Freundschaft“ ist davon auszugehen, dass die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten im Haus Nr. 7 auf die anderen Wohnhäuser übertragbar sind.
- Im Gebäude vom Bautyp „Am Breitling“ wurden bei der Voruntersuchung kleinere schiffsinduzierte Schwingungen als im Gebäude vom Bautyp „Weg der Freundschaft“ gemessen [U3.7]. Die Messung im „Weg der Freundschaft Nr. 7“ ist somit eine Messung am Ort der größten Belastung.

#### 5.1.2 Ergebnisse der Messungen

Bild 1 zeigt auf der Decke im Gebäude „Weg der Freundschaft Nr. 7“ registrierte Schwinggeschwindigkeiten. Die Datenpunkte sind entweder Betragsmaximalwerte der Schwinggeschwindigkeit  $v_D$  (Kebe-System, ungestörte Messung mit dem Vibras-System) oder Größtwerte der Hüllkurve der Taktmaximalwerte des Vektors der Schwinggeschwindigkeit  $v_{rD, max}$  (bei Störungen auf dem hochaufgelösten Zeitsignal des Vibras-Systems). Ausgewertet wurden 290 Schiffspassagen unterschiedlicher Schiffstypen (Fähre, Frachter, Tanker, Hafenrundfahrt, Kreuzfahrtschiff).

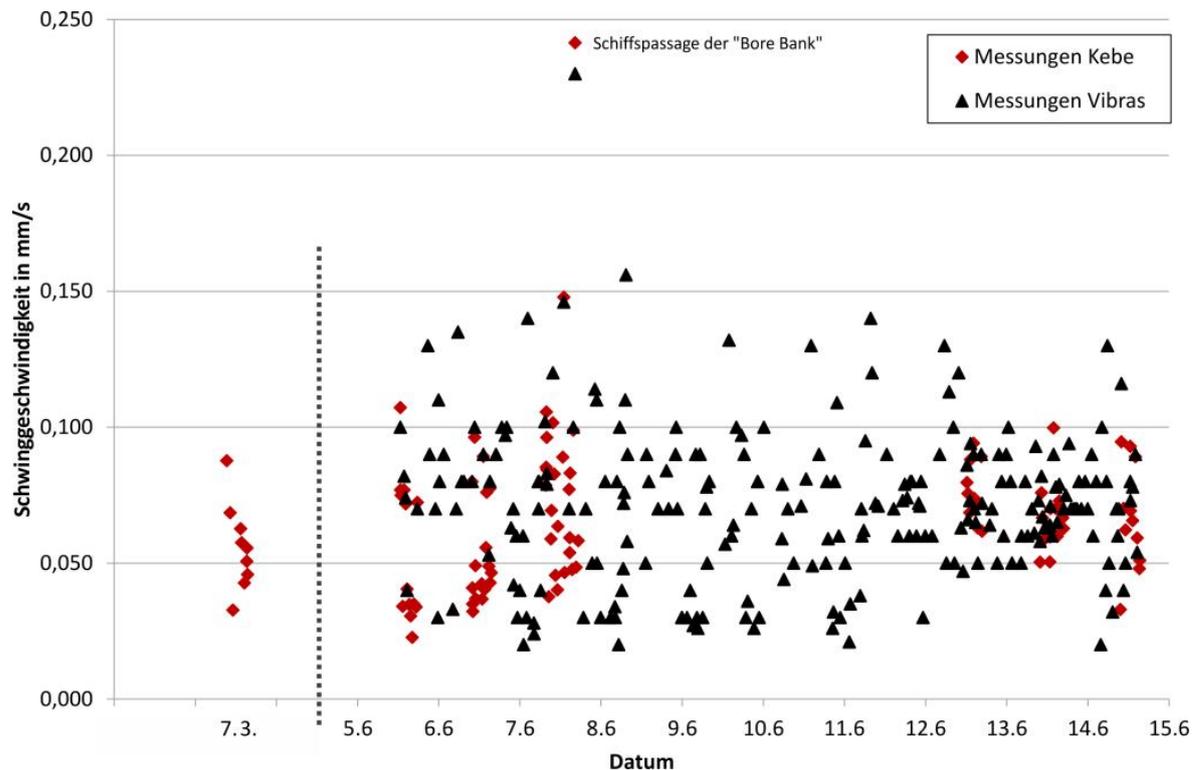


Bild 1: Auf der Decke im Gebäude „Weg der Freundschaft Nr. 7“ registrierte Schwinggeschwindigkeiten  $v_D$  oder  $v_{rD,max}$  bei Schiffspassagen.

Die größten gemessenen Schwinggeschwindigkeiten traten am 07.06.2018 gegen 16:20 Uhr beim Auslaufen der „Bore Bank“, einem Ro-Ro Cargoschiff, auf (Bild 1). Der Abstand zwischen dem Gebäude „Weg der Freundschaft Nr. 7“ und der „Bore Bank“ betrug ca. 87 m. Die Schwingungen wurden im Boden, auf dem Fundament und der Decke des Gebäudes „Weg der Freundschaft Nr. 7“ gemessen (Bild 2). Die z-Komponente entspricht der vertikalen Schwingungsrichtung, die x- und y-Komponenten entsprechen den horizontalen Schwingungsrichtungen.

Der Größtwert des Vektors der Schwinggeschwindigkeit am Boden sowie die Betragsmaximalwerte bei diesem Ereignis sind:

- $v_{r,max} = 0,14$  mm/s      Boden
- $v_F = 0,13$  mm/s      Fundament, z-Komponente
- $v_D = 0,24$  mm/s      Decke, z-Komponente

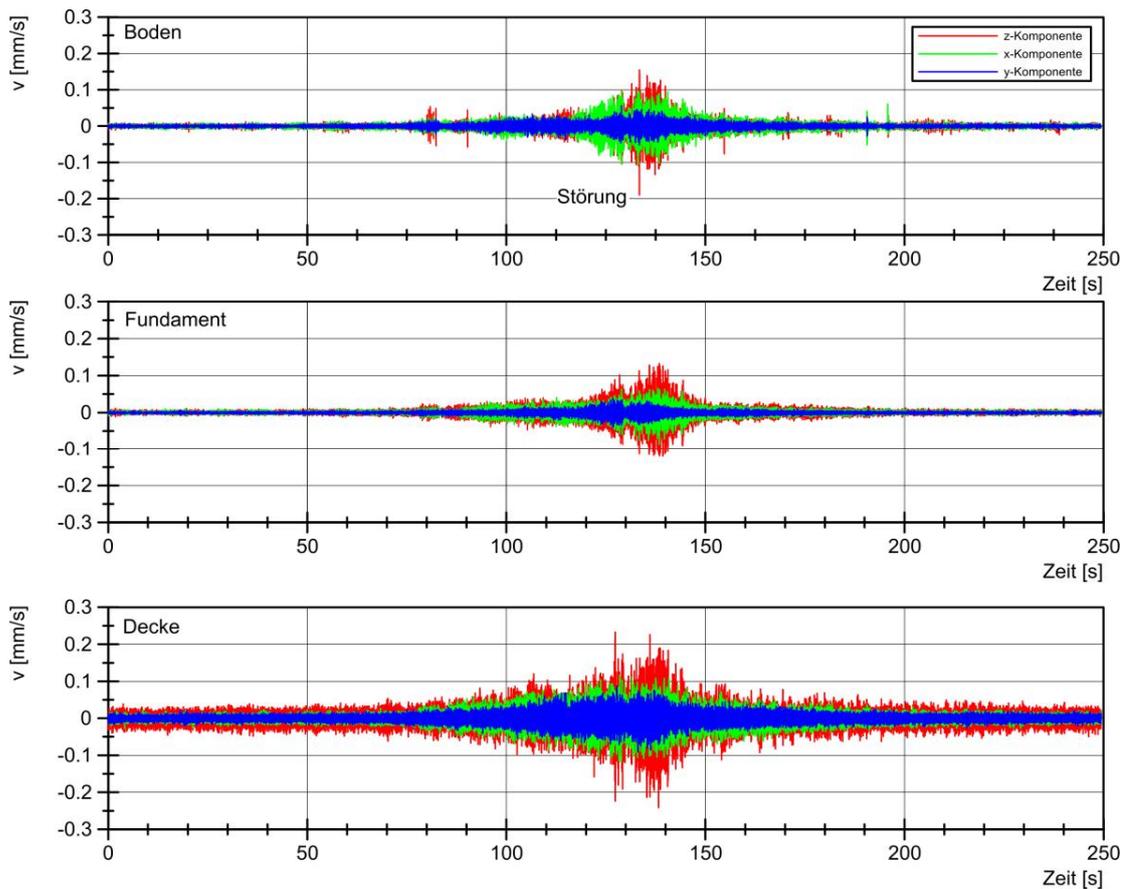


Bild 2: Aufzeichnung der Passage der „Bore Bank“ am 07.06.2018 im Boden, auf dem Fundament und der Decke des Gebäudes „Weg der Freundschaft Nr. 7“ (Anlage 1.2, MP-K4 bis MP-K6).

Die Übertragungsfaktoren vom Boden auf das Fundament und vom Fundament auf die Decke werden mit den Gleichungen 4 und 5 berechnet:

$$\text{Boden auf Fundament} \quad V_{r,F} = \frac{v_F}{v_{r,max}} \quad (4)$$

$$\text{Fundament auf Decke} \quad V_{F,D} = \frac{v_D}{v_F} \quad (5)$$

Die Übertragungsfaktoren bei der Passage der „Bore Bank“ stimmen gut mit den in der Voruntersuchung ermittelten Übertragungsfaktoren überein (Tabelle 5, [U3.7]):

*Tabelle 5: Übertragungsfaktoren bei Schiffsvorbeifahrten*

Komponente	Voruntersuchung, März 2018		Bore Bank, Juni 2018	
	Boden auf Fundament	Fundament auf Decke	Boden auf Fundament	Fundament auf Decke
z	0,67 – 0,87	1,7 – 3,2	0,93	1,8

Durch die Anordnung der Messpunkte sowie der dazugehörigen Amplituden der Schwinggeschwindigkeit kann als Übertragungsweg der Boden identifiziert werden. Die Übertragungsfaktoren vom Boden auf das Fundament und vom Fundament auf die Decke liegen in einem für Erschütterungen üblichen Größenbereich, sodass nicht von der direkten Anregung von Deckenschwingungen durch Luftschall ausgegangen wird.

Die gemessenen Daten deuten jedoch darauf hin, dass sowohl der von Schiffen emittierte Körperschall (Schiffspropeller, Schiffsaußenhaut) als auch die vom Schornstein emittierten Luftdruckschwankungen (Zündfrequenz der Schiffsmotoren) in den Boden einkoppeln und diesen zu Schwingungen anregen (Bild 3).

Das Ro-Ro-Cargoschiff „Bore Bank“ (Bild 3, linke Spalte) erzeugt im Vorbeifahren einen messbaren Anstieg sowohl im Schalldruckpegel, als auch bei der Schwinggeschwindigkeit im Boden und im Gebäude „Weg der Freundschaft Nr. 7“. Die Hybridfähre „Berlin“ (Bild 3, mittlere Spalte) erzeugt beim Einlaufen im Akkubetrieb einen kaum messbaren Anstieg der Schalldruckpegel, die Schwingungen im Boden und im Gebäude steigen dagegen klar erkennbar an. Am 06.06.2018 konnte auch das Schiffshorn der „Celebrity Silhouette“ während einer Notfallübung am Liegeplatz P8 aufgezeichnet werden (Bild 3, rechte Spalte). Das Schallereignis wurde sowohl vom Mikrofon, als auch von den drei Geophonen (Boden, Fundament, Decke) aufgezeichnet. Zusammenfassend ergibt sich, dass der Schall in den Boden einkoppelt und diesen zu Schwingungen anregen kann (Schiffshorn), die Schiffsvorbeifahrten jedoch auch ohne messbaren Schall Erschütterungen hervorrufen (Hybridfähre). Bei Schiffen mit konventionellem Antrieb überlagern sich diese beiden Mechanismen.

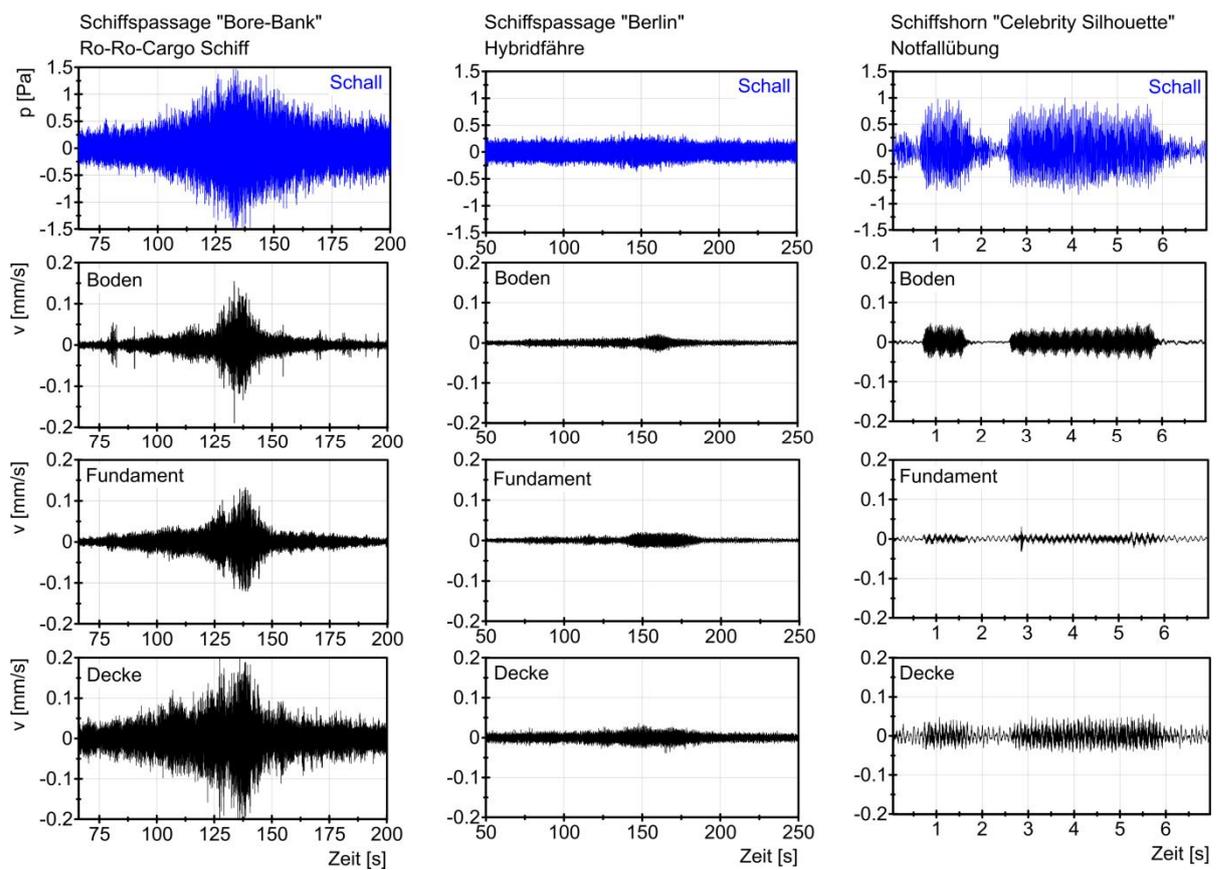


Bild 3: Vergleichende Darstellung der unbewerteten Schalldruckpegel ( $f \leq 100$  Hz) und Schwingungssignale von Schiffspassagen der „Bore Bank“ (linke Spalte), der Hybridfähre „Berlin“ (mittlere Spalte) und dem Schiffshorn der „Celebrity Silhouette“ (rechte Spalte). Die Geophone befinden sich am Boden vor dem Gebäude „Weg der Freundschaft Nr. 7“, sowie auf dem Fundament und auf der Decke (Anlage 1.2, MP-K4 bis MP-K6). Die Lage des Schallsensors kann ebenfalls der Anlage 1.2 entnommen werden.

In Bild 4 wird die größte gemessene Schwinggeschwindigkeit  $v_z(t)$  auf der Decke (Passage der „Bore Bank“), das zugehörige frequenzbewertete Erschütterungssignal  $KB(t)$  und die bewertete Schwingstärke  $KB_F(t)$  gezeigt (Gleichungen (1) und (2) der DIN 4150-2:1999-06). Der Größtwert der bewerteten Schwingstärke ist  $KB_{Fmax} = 0,11$ .

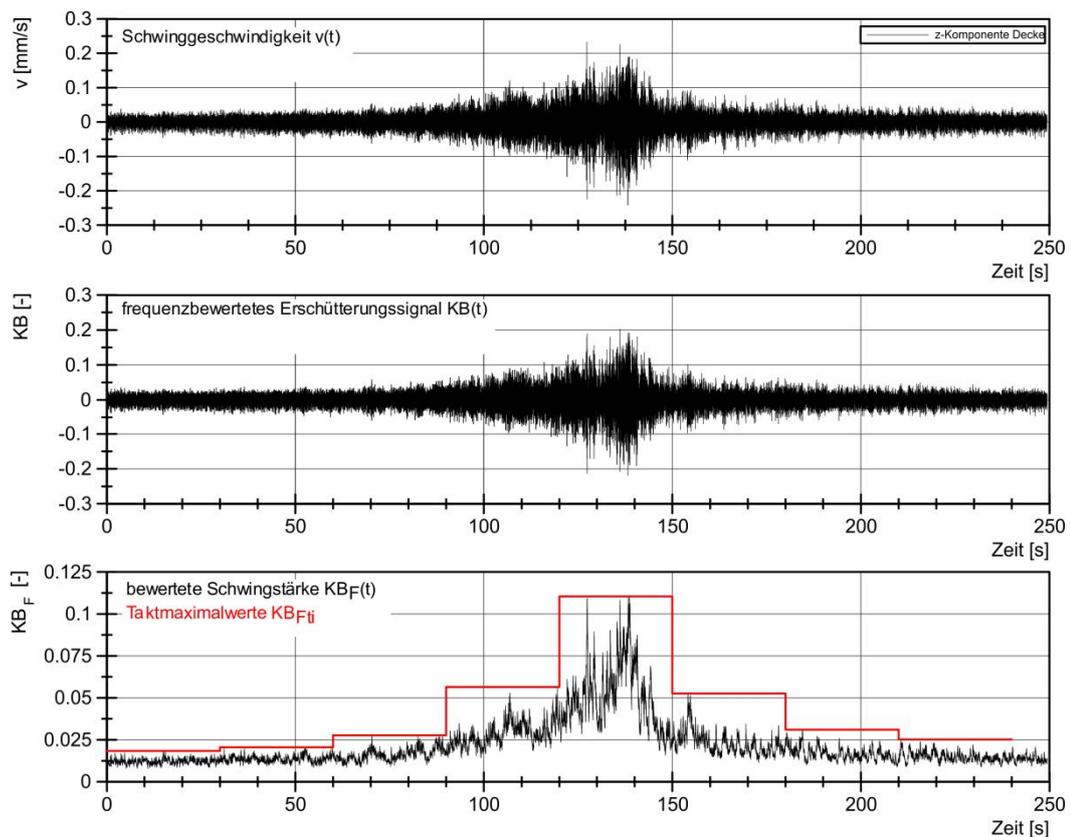


Bild 4: Aufzeichnung der Passage der „Bore Bank“ am 07.06.2018 auf der Decke im Gebäude „Weg der Freundschaft Nr. 7“. Gezeigt werden die Schwinggeschwindigkeit  $v(t)$ , das frequenzbewertete Erschütterungssignal  $KB(t)$ , die bewertete Schwingstärke  $KB_F(t)$  und die Taktmaximalwerte  $KB_{Fi}$ .

## 5.2 Bewertung der Erschütterungsimmissionen durch Schiffspassagen

### 5.2.1 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

Die Betragsmaximalwerte der gemessenen Schwinggeschwindigkeiten betragen  $v_F = 0,13$  mm/s am Fundament und  $v_D = 0,24$  mm/s auf der Decke. Die Anhaltswerte der DIN 4150-3:2016-12 (Tabellen 1 und 2) werden bei Schiffspassagen deutlich unterschritten. Schäden an den anliegenden Wohnhäusern durch schiffsbedingte Erschütterungsimmissionen sind ausgeschlossen. Die Schwinggeschwindigkeiten am Boden liegen mit  $v_{r, max} = 0,14$  mm/s bei 0,56 % der empfohlenen Anhaltswerte für erdverlegte Rohrleitungen. Schäden an Rohrleitungen durch schiffsbedingte Erschütterungsimmissionen sind ausgeschlossen.

### 5.2.2 Einwirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten

Bei Schwingungen des Bodens unter 1 mm/s kann davon ausgegangen werden, dass keine Kornumlagerungen stattfinden (s. Abschnitt 4.2). Der bei der Passage der „Bore Bank“ gemessene Größtwert des Vektors der Bodenschwingung beträgt  $v_{r, max} = 0,14$  mm/s. Dieser Wert liegt um mehr als den Faktor 7 unter den für Kornumlagerungen relevanten Schwingungsgrößen. Ein

mögliches Schadenspotenzial, auch bei immer wiederkehrender, langjähriger Belastung, ist aufgrund der ermittelten Schwingungsgrößen sicher auszuschließen.

### 5.2.3 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Der Größtwert der bewerteten Schwingstärke  $KB_{Fmax} = 0,11$  ist kleiner als der Anhaltswert  $A_u = 0,15$  für Einwirkungen am Tage (Tabelle 3). Die Anforderung der Norm kann somit eingehalten werden.

Wäre dieses Ereignis nachts bei einer Schiffspassage registriert worden, wäre mit  $KB_{Fmax} = 0,11 > A_u = 0,1$  der untere Anhaltswert überschritten. Die DIN 4150-2:1999-06 legt jedoch fest, dass die Anhaltswerte nicht schematisch zu verwenden sind und eine Beurteilung jeweils im Einzelfall – auch unter Berücksichtigung der Messunsicherheiten der  $KB$ -bewerteten Größen – zu erfolgen hat. Der Bereich der Messunsicherheit wird in der Norm mit 15 % angegeben und damit liegt die Überschreitung des Anhaltswertes im Bereich der Messunsicherheit. Die Anforderung der Norm wäre während des gesamten Messzeitraums auch nachts eingehalten worden.

Da die in diesem Gutachten bewerteten 290 Schiffspassagen nur eine Stichprobe der tatsächlichen Schiffsbewegungen darstellen, kann nicht ausgeschlossen werden, dass es zu geringfügigen Überschreitungen des  $A_u$ -Wertes kommen kann. Aus den Messergebnissen lässt sich jedoch ableiten, dass durch die seltene ( $< 1$  Vorfall in rund 225 h Messstunden bzw. 290 Schiffspassagen) und kurzfristige Überschreitung (Dauer einer Schiffspassage  $< 4$  min) der Fühlschwelle von  $A_u = 0,1$  keine erhebliche Belästigung der Anwohner durch die Schiffe vorliegt. Siehe hierzu auch Erläuterungen in Abschnitt 5.3.3.

## 5.3 Prognose der schiffsinduzierten Erschütterungen nach der Anpassung

Es wird davon ausgegangen, dass sich die Belastungssituation in Bezug auf die Erschütterungsimmissionen nach der Anpassung nur geringfügig ändert (s. Abschnitt 3.2):

- Der Energieeintrag durch den Propeller ändert sich bei gleicher Fahrweise nicht relevant
- Es wird zu keiner Verschiebung der Fahrrinne in Richtung auf das Wohngebiet „Hohe Düne“ kommen
- Es wird zu einer leicht verminderten Anzahl an Schiffsbewegungen kommen
- Es wird eine Verschiebung hin zu höheren tdw-Größenklassen geben

### 5.3.1 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

Die gemessenen Schwingungen bei Schiffsvorbeifahrten liegen 1 – 2 Größenordnungen (Faktor 10 – 100) unter den Anhaltswerten der DIN 4150-3:2016-12 (Tabellen 1 und 2). Auch bei einer Verschiebung hin zu höheren tdw-Größenklassen ist ein Anstieg der schiffsbedingten Erschütterungsimmissionen um 1 – 2 Größenordnungen nicht zu erwarten. Die Anhaltswerte der DIN 4150-3:2016-12 können sicher eingehalten werden.

### 5.3.2 Einwirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten

Ein mögliches Schadenspotenzial, bei immer wiederkehrender, langjähriger Belastung, kann auch für Schiffe größerer tdw-Klassen sicher ausgeschlossen werden. Ein Anstieg der schiffsbedingten Erschütterungsimmissionen um das 7-fache auf 1 mm/s ist nicht zu erwarten.

### 5.3.3 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden

In [U3.5] werden für den Rostocker Hafen 22150 Schiffsbewegungen im Jahr 2030 prognostiziert. Dies entspricht rund 3 Schiffsbewegungen pro Stunde, wobei eine Schiffspassage ca. 4 min dauert (s. Bild 4).

Im Folgenden wird das Beurteilungsverfahren nach DIN 4150-2:1999-06 durchgeführt. Es werden folgende Annahmen getroffen:

- Jede der 22150 Schiffsbewegungen hat eine um 50 % höhere bewertete Schwingstärke als die „Bore Bank“
- Der erfasste Zeitverlauf bei der Schiffspassage der „Bore Bank“ ist repräsentativ für alle Schiffspassagen

Der Größtwert der bewerteten Schwingstärke  $KB_{Fmax}$  wäre unter den oben getroffenen Annahmen größer als  $A_u$ :

- $KB_{Fmax} = 0,17 > A_u = 0,15$  (tags)
- $KB_{Fmax} = 0,17 > A_u = 0,1$  (nachts)

Das heißt es müssen die Vergleiche mit  $A_o$  und  $A_r$  durchgeführt werden:

- $KB_{Fmax} = 0,17 < A_o = 3$  (tags)
- $KB_{Fmax} = 0,17 < A_o = 0,2$  (nachts)

Da  $A_u < KB_{Fmax} < A_o$  ist, muss das  $A_r$ -Kriterium herangezogen werden. Die Einwirkungen der Schiffspassagen dauern jeweils nicht länger als bis zu 8 Takte (zu 30 s) und dazwischen liegen wesentlich längere Pausen. In diesem Fall darf sich nach DIN 4150-2:1999-06 Abschnitt 3.5.3 von der starren Aufteilung der Messzeit in Takte gelöst und der Beginn eines Taktes mit dem Beginn des Ereignisses zusammengelegt werden. Für die Taktmaximalwerte  $KB_{FTi}$  (s. Bild 4) ergeben sich bei einer Erhöhung um 50 % die folgenden Werte:

$i =$	1	2	3	4	5	6	7	8
$KB_{FTi}$	0,028	0,031	0,042	0,085	0,17	0,079	0,047	0,038

Der Taktmaximal-Effektivwert  $KB_{FTm}$  wird mit folgender Gleichung berechnet [U4.2]:

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2} = 0,079 \quad (6)$$

$N$  Anzahl der Takte,  $N = 8$  bei Schiffspassagen

Die Berechnung der Beurteilungsschwingstärke erfolgt mit [U4.2]:

$$KB_{FTTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r} (T_{e1} \cdot KB_{FTm1}^2 + 2T_{e2} \cdot KB_{FTm2}^2)} \quad (7)$$

$T_r$	Beurteilungszeit (tags 16 Stunden, 06:00 bis 22:00 Uhr und nachts 8 Stunden, 22:00 bis 06:00 Uhr)
$T_{e1}$	Einwirkungszeit außerhalb von Ruhezeiten
$T_{e2}$	Einwirkungszeit während der Ruhezeiten
$KB_{FTm1}$	Taktmaximal-Effektivwert außerhalb der Ruhezeiten
$KB_{FTm2}$	Taktmaximal-Effektivwert während der Ruhezeiten

Die Ruhezeiten sind werktags von 06:00 bis 07:00 Uhr und von 19:00 bis 22:00 Uhr. An Sonn- und Feiertagen ist die Ruhezeit von 06:00 bis 22:00 Uhr. Da der erfasste Zeitverlauf bei der Schiffspassage repräsentativ für alle Schiffspassagen ist, gilt  $KB_{FTm1} = KB_{FTm2} = KB_{FTm}$ . Bei 3 Schiffspassagen von 4 min Länge pro Stunde, ergibt sich eine Belastung von 12 min (0,2 h) pro Stunde.

Die Beurteilung für nächtliche Schiffspassagen ergibt:

$$KB_{FTTr} = \sqrt{\frac{1}{8} (8 \cdot 0,2h \cdot 0,079^2)} = 0,035 < A_r = 0,05 \quad (8)$$

Die Beurteilung für Schiffspassagen am Tage ergibt:

$$KB_{FTTr} = \sqrt{\frac{1}{16} (12 \cdot 0,2h \cdot 0,079^2 + 2 \cdot 4 \cdot 0,2h \cdot 0,079^2)} = 0,040 < A_r = 0,07 \quad (9)$$

Die Beurteilung für Schiffspassagen an Sonn- und Feiertagen ergibt:

$$KB_{FTTr} = \sqrt{\frac{1}{16} (2 \cdot 16 \cdot 0,2h \cdot 0,079^2)} = 0,050 < A_r = 0,07 \quad (10)$$

Die Anforderungen der Norm können auch dann eingehalten werden, wenn jede der 22150 prognostizierten Schiffsbewegungen eine um 50 % höhere bewertete Schwingstärke als die „Bore Bank“ hätte. Da es jedoch nur bei der Tankschiff- und Massengutflotte zu einer Verschiebung zu höheren tdw-Größenklassen kommt [U3.5], kann eine erhebliche Belästigung der Anwohner durch Schiffspassagen auch für den Zeitraum nach der Anpassung des Seekanals mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

## 6 Erschütterungsimmissionen durch Baggerarbeiten

### 6.1 Prognose der Erschütterungsimmissionen durch Baggerarbeiten

Es liegen keine Erschütterungsmessungen zu Baggerarbeiten in festem Geschiebemergel mit möglichen Einlagerungen von Steinen und Blöcken vor. Es wird deshalb empfohlen vor Baubeginn eine Dokumentation bestehender Schäden an ausgewählten Gebäuden zu veranlassen (s. Abschnitt 7). Nach Beginn der Baumaßnahme sollten bei Baggerarbeiten in einem größeren Abstand zur Wohnbebauung Erschütterungsmessungen veranlasst werden. Basierend auf diesen Messergebnissen, sollten die Erschütterungen neu beurteilt werden. Bei Annäherung der Bagger an die Gebäude wird empfohlen ab einem bestimmten Abstand (der basierend auf den tatsächlich auftretenden Erschütterungen festgelegt werden muss), kontinuierliche Erschütterungsmessungen (Messung von Schwinggeschwindigkeiten und Schwingfrequenzen) nach DIN 45669 und DIN 4150 an ausgewählten Gebäuden durchzuführen.

Um prüfen zu können, ob die geplanten Baggerarbeiten mit den Anforderungen der DIN 4150-3:2016-12 (Einwirkungen auf bauliche Anlagen) und der DIN 4150-2:1999-06 (Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden) vereinbar sind, werden Messergebnisse von erschütterungsintensiven Baumaßnahmen zum Vergleich herangezogen.

Zu den erschütterungsintensivsten Baumaßnahmen gehört die Schlagrammung. Die BAW verfügt über eine jahrelange Sammlung von Messergebnissen von Boden- und Bauwerksschwingungen für dieses Bauverfahren. Die Daten sind so aufgearbeitet, dass die Abhängigkeit der Erschütterungsgröße von der eingesetzten Energie sowie vom Abstand zur Erschütterungsquelle herausgearbeitet wird [U1.1][U3.8]. Für langsam schlagende Dieselrammen, Freifallrammen und Hydraulikrammen liegen 924 Datensätze von Bodenmesspunkten vor (Bild 5). Die kinetische Schlagenergie der untersuchten Rammhämmer umfasst einen Bereich von  $6 \text{ kNm} \leq E \leq 400 \text{ kNm}$ .

Die Wohngebäude am „Weg der Freundschaft“ haben einen minimalen Abstand von  $R_{min} = 51 \text{ m}$  zu den geplanten Baggerarbeiten [U2.1]. Ab einer Entfernung von  $R \geq 50 \text{ m}$  ist die größte gemessene Schwinggeschwindigkeit bei Schlagrammung  $5,0 \text{ mm/s}$  am Boden. Unter Berücksichtigung der bei der Voruntersuchung gemessenen Übertragungsfaktoren [U3.7] können die Bauwerksschwinggeschwindigkeiten für ein Wohngebäude am „Weg der Freundschaft“ bei erschütterungsintensiven Bauarbeiten wie Schlagrammung abgeschätzt werden (Tabelle 6).

Die in Bild 5 ebenfalls dargestellten 97 Datensätze von Meißelarbeiten wurden beim Felsmeißeln zur Sohlvertiefung an der Donau, dem Main und der Elbe sowie beim Abbruchmeißeln von Brückenwiderlagern, Wehren und Schleusen gewonnen. Die Größe der bei Meißelarbeiten erzeugten Erschütterungen hängt von der Stoßenergie des Meißels, aber auch vom Andruck, der Neigung und Richtung des Meißels ab. Vielfach wurde mit dem Hydraulikmeißel *KRUPP HM 2500* gearbeitet. Das Gerät gehört zu den leistungsstärksten seiner Baureihe. Ab einer Entfernung von  $R \geq 50 \text{ m}$  ist die größte gemessene Schwinggeschwindigkeit bei Meißelarbeiten  $0,78 \text{ mm/s}$  am Boden.

In verschiedenen Gutachten der BAW zu Vertiefungen von Fahrrinnensohlen im Binnenbereich durch Baggerarbeiten wurden die Werte der Meißelarbeiten als Abschätzung „auf der sicheren Seite“ angesetzt. Es wurde festgestellt, dass Erschütterungen durch Baggern, Reißen und Fräsen erfahrungsgemäß kleiner oder höchstens gleich der Erschütterungen durch Meißelarbeiten sind [U3.9].

Die für den geplanten Ausbau des Seekanals benötigten Eimerketten- oder Tieflöffelbagger sind jedoch deutlich größer als die im Binnenbereich eingesetzten Geräte. Ein Vergleich der von Eimerketten- oder Tieflöffelbagger im Seekanal Rostock erzeugten Erschütterungen mit einer Schlagrammung stellt mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Abschätzung „auf der sicheren Seite“ dar. Die tatsächlich auftretenden Schwinggeschwindigkeiten werden voraussichtlich deutlich unter diesen Werten liegen und sich ggf. im Größenordnungsbereich der Meißelarbeiten bewegen.

*Tabelle 6: Mögliche Größtwerte der Bauwerksschwinggeschwindigkeiten für ein Gebäude in einem Abstand von  $R_{min} = 50\text{ m}$  zu einer Schlagrammung und zu Meißelarbeiten*

Messort / Messgröße	Schlagrammung	Meißelarbeiten	Einheit
Boden	5,0	0,78	mm/s
Fundament	2,5	0,38	
oberste Deckenebene	2,5	0,37	
Decke	4	0,61	
maximale bewertete Schwingstärke $KB_{Fmax}$	1,7	0,26	-

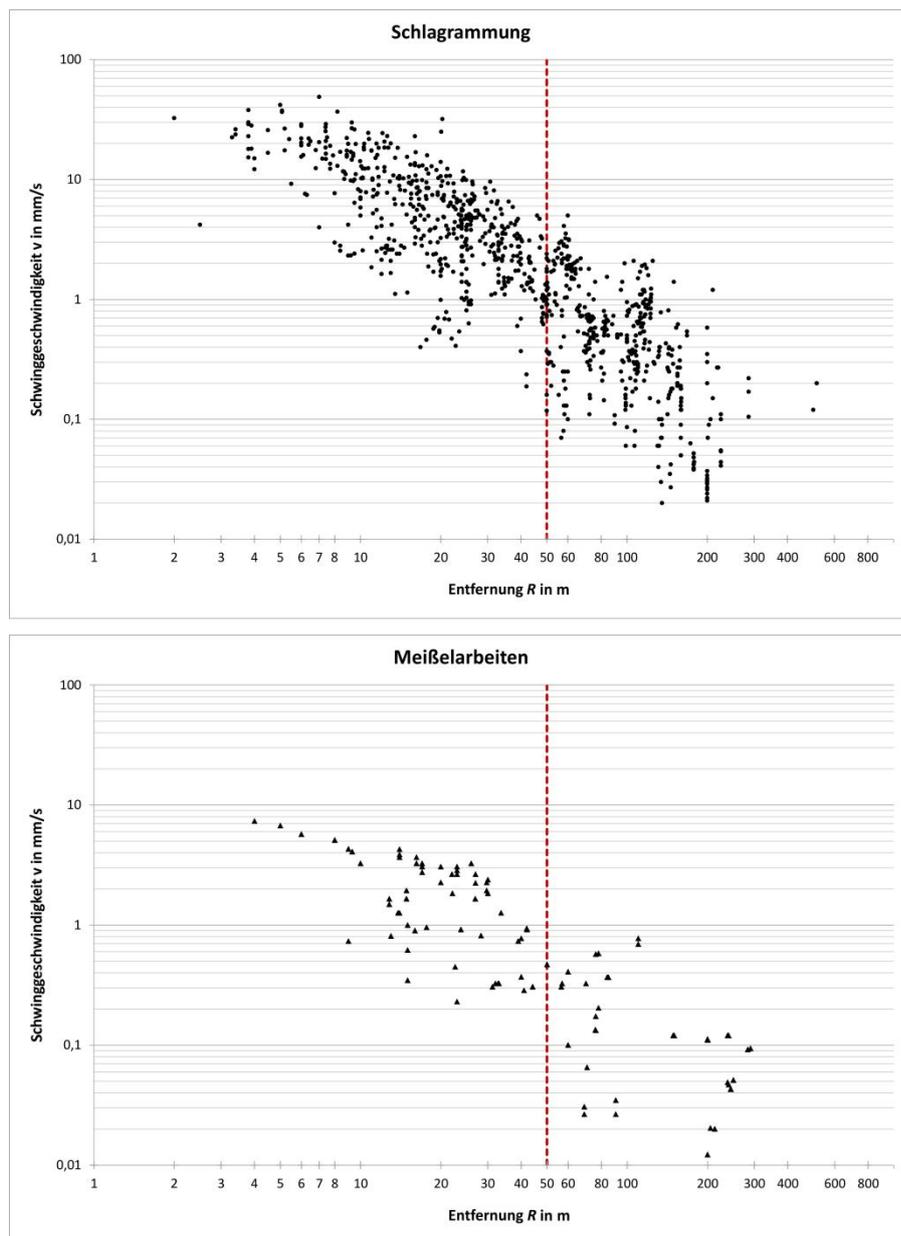


Bild 5: Darstellung der Schwinggeschwindigkeit an Bodenmesspunkten bei Schlagrammung (oben) und Meißelarbeiten (unten). Die senkrechte Linie markiert die Entfernung  $R = 50$  m.

### 6.1.1 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

Die Anhaltswerte der DIN 4150-3:2016-12 (Tabellen 1 und 2) werden bei den Baggerarbeiten sicher eingehalten. Schäden an den anliegenden Wohnhäusern und erdverlegten Rohrleitungen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht zu erwarten. Den Anwohnern sollte die Sorge wegen befürchteter Nachteile durch Schäden am Gebäude durch Beweissicherung und Zusagen bezüglich der Behebung möglicher Schäden genommen werden (s. Abschnitt 7).

### 6.1.2 Einwirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten

Während der Baggerarbeiten wird die Grenzschnwinggeschwindigkeit von  $v_{r,max} = 6 \text{ mm/s}$  an der Geländeoberkante (GOK) bei der die Setzungsbeträge der GOK unter  $S = 1 \text{ mm}$  bleiben mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten (s. Abschnitt 4.2). Ein mögliches Schadenspotenzial wird mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen.

### 6.1.3 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Da keine Erschütterungsmessungen zu Baggerarbeiten in festem Geschiebemergel mit möglichen Einlagerungen von Steinen und Blöcken vorliegen, können Überschreitungen der unteren Anhaltswerte  $A_u$  der Stufen I bis II der DIN 4150-2:1999-06 nicht ausgeschlossen werden. Bei einer Abschätzung „auf der sicheren Seite“ durch den Vergleich mit einer Schlagrammung wird auch der untere Anhaltswert  $A_u$  der Stufe III überschritten. Da mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit der obere Anhaltswert  $A_o$  nicht überschritten wird, muss für den Fall  $KB_{Fmax} > A_u$  die Einhaltung des Anhaltswertes  $A_r$  durch Messung nachgewiesen und ggf. durch die Verringerung der täglichen Einwirkungszeit erreicht werden. Zur Vermeidung der erheblichen Belästigung der Anwohner werden im Abschnitt 7 entsprechend der DIN 4150-2:1999-06 Maßnahmen zur Schwingungsüberwachung und Beweissicherung empfohlen.

## 7 Empfehlungen für die Schwingungsüberwachung und Beweissicherung

Die Prognose der Erschütterungen bei Baggerarbeiten im Seekanal Rostock ist durch den Vergleich mit einem der erschütterungsintensivsten Bauverfahren, der Schlagrammung, durchgeführt worden. Nach Beginn der Baumaßnahme sollten bei Baggerarbeiten im überwiegend festen Geschiebemergel in einem größeren Abstand zur Wohnbebauung Erschütterungsmessungen veranlasst werden. Basierend auf diesen Messergebnissen, sollten die Erschütterungen neu beurteilt werden.

Zur Vermeidung der erheblichen Belästigung von Anwohnern werden folgende Maßnahmen empfohlen:

- Vor Beginn der Baumaßnahme sollte die Durchführung der Maßnahmen a) bis e) (s. Abschnitt 4.2) für alle Anwohner in einem Abstand von  $R \leq 150 \text{ m}$  zu den Baggerarbeiten veranlasst werden.
- Nach Beginn der Baumaßnahme kann, im Beschwerdefall zur Klärung der Situation, der Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkung auf Menschen und Gebäude erfolgen.

Den Betroffenen sollte die Sorge wegen befürchteter Nachteile durch Schäden am Gebäude durch Beweissicherung und Zusagen bezüglich der Behebung möglicher Schäden genommen werden. Zur Beweissicherung wird empfohlen folgende Maßnahmen durchzuführen:

- Für die Gebäude „Weg der Freundschaft Nr. 1 bis Nr. 10“ und „Am Breitling Nr. 10“ wird empfohlen vor Baubeginn eine Dokumentation bestehender Schäden zu veranlassen.
- Bei Annäherung der Bagger an die Gebäude wird empfohlen ab einem bestimmten Abstand (der basierend auf den tatsächlich auftretenden Erschütterungen festgelegt werden muss), kontinuierliche Erschütterungsmessungen (Messung von Schwinggeschwindigkeiten und Schwingfrequenzen) nach DIN 45669 und DIN 4150 an zwei Gebäuden im „Weg der Freundschaft“ oder „Am Breitling Nr. 10“ durchzuführen.

Kontinuierliche Erschütterungsmessungen im Zuge einer Beweissicherung ermöglichen auch die Abgrenzung der Erschütterungen durch die Baggerarbeiten von Erschütterungen durch Baumaßnahmen Dritter (z. B. Verdichtungsarbeiten im Straßenbau, Rammarbeiten im Hafenbereich).

Die Neubewertung der Erschütterungen nach Beginn der Baggerarbeiten kann fachtechnisch durch die BAW, Referat G1 Baugrunderkundung, begleitet werden. Für die kontinuierlichen Erschütterungsmessungen zur Beweissicherung, wird empfohlen ein Ingenieurbüro zu beauftragen.

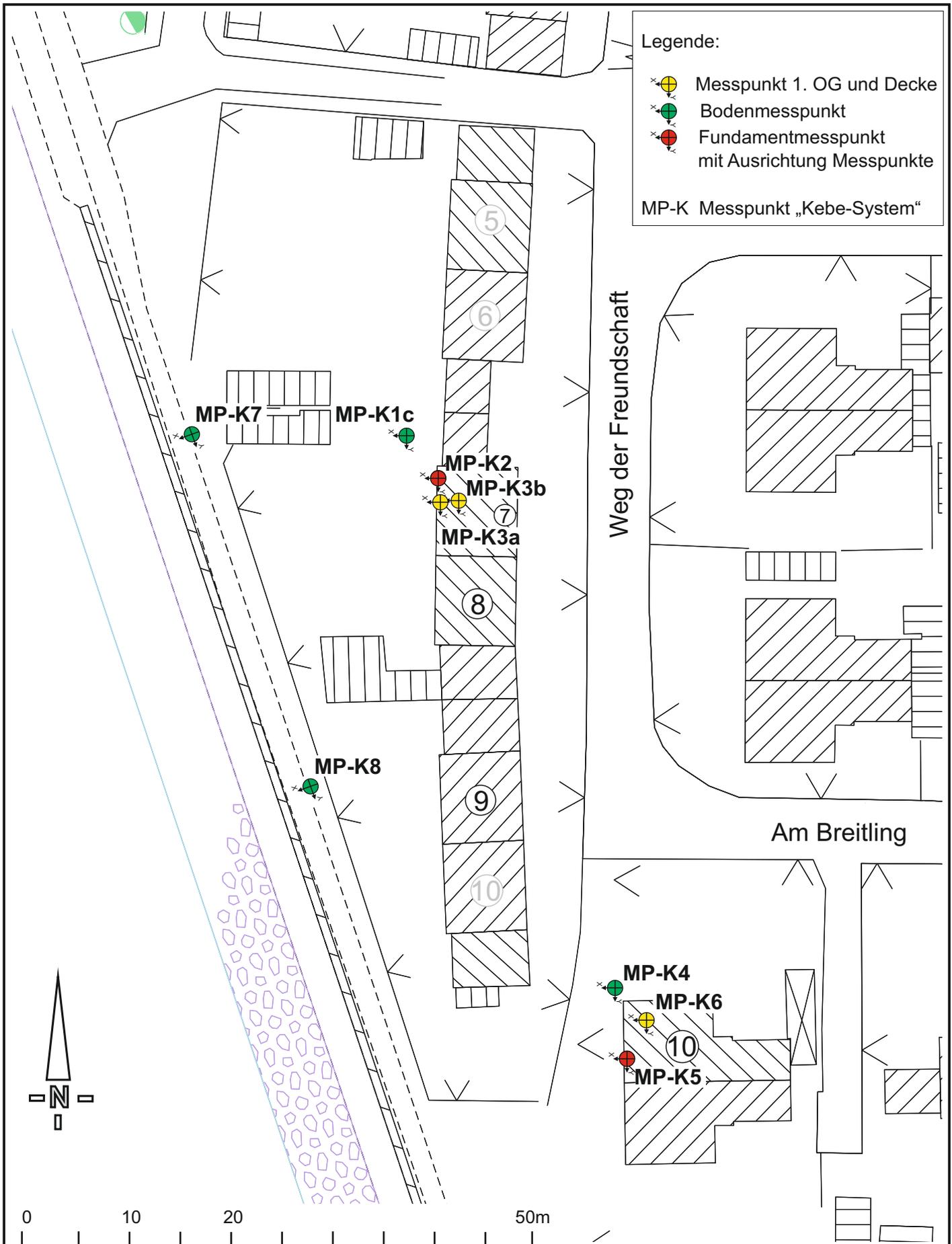
Das Sachgebiet Baugrunderkundung steht für Rückfragen und Beratungen gerne zur Verfügung.

Bundesanstalt für Wasserbau  
Karlsruhe, Januar 2019

Im Auftrag



Dr.-Ing. Julia Götz



Geändert	Datum	Bearbeiter	Götz	18.10.2018
		Geprüft	Götz	18.10.2018
		Gezeichnet	Weise	18.10.2018
		Datei	B3955.03.06.10001-LP-Mär_V2.cdr	

Maßstab  
**1:500**

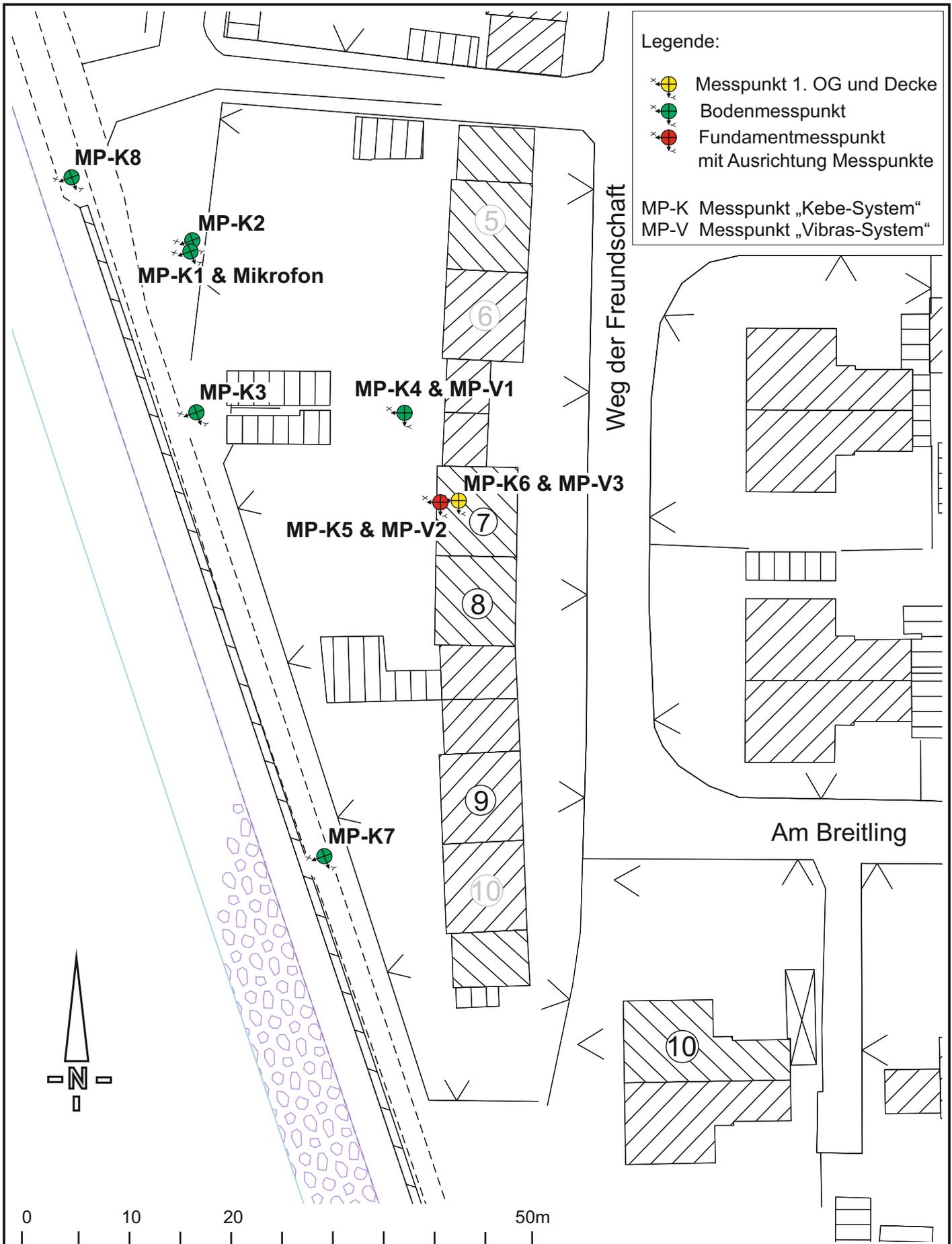


**BAW**  
Bundesanstalt für Wasserbau

**Seekanal Rostock  
Lageplan Messpunkte  
Schiffsschwingungen  
07.03.2018**

Auftrags-Nr. <b>B3955.03.06.10001</b>	Anlagen-Nr. <b>1.1</b>
--	---------------------------





Legende:

- Messpunkt 1. OG und Decke
- Bodenmesspunkt
- Fundamentmesspunkt mit Ausrichtung Messpunkte

MP-K Messpunkt „Kebe-System“  
 MP-V Messpunkt „Vibras-System“

Geändert	Datum	Bearbeiter	Götz	03.09.2018
		Geprüft	Götz	03.09.2018
		Gezeichnet	Weise	30.08.2018
		Datei	B3955.03.06.10001-LP-Jun_V3.cdr	



Maßstab  
**1:500**

**Seekanal Rostock**  
**Lageplan Messpunkte**  
**Schiffsschwingungen**  
**05.-14.06.2018**

Auftrags-Nr. <b>B3955.03.06.10001</b>	Anlagen-Nr. <b>1.2</b>
--	---------------------------