

Neubau Depot Rendsburg

Erschütterungstechnische Untersuchung

zu

bauzeitlichen Erschütterungsimmissionen

Auftraggeber

Stadler Rail Service Deutschland GmbH
Hertzstraße 63a
13158 Berlin

Auftragnehmer

AIC
Akustik und Ingenieur Consult
H.- J. Rabann - Lindenstraße 17
15230 Frankfurt (Oder)

Bearbeiter



Dipl.-Phys. H.-J. Rabann

Projekt Nr. 1848
Abgabe: 19.07.2021

Inhaltsverzeichnis

1.	Aufgabenstellung	3
2.	Beschreibung der Baumaßnahmen	4
3.	Bauablauf und Baubetrieb	6
4.	Örtliche Lage	7
5.	Untersuchungsmethodik	13
6.	Erschütterungsemissionen.....	14
7.	Erschütterungsimmissionen.....	19
7.1	Berechnungsgrundlagen.....	19
7.2	Beurteilungsgrundlagen.....	21
7.2.1	Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	21
7.2.2	Einwirkung auf bauliche Anlagen.....	25
7.2.3	Einwirkung auf erdverlegte Rohrleitungen	26
7.3	Standortbezogener Immissionsschutz	27
8.	Erschütterungsberechnungen.....	29
8.1	Einwirkung auf bauliche Anlagen.....	29
8.2	Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	34
9.	Zusammenfassung	40
10.	Quellenverzeichnis.....	43

1. Aufgabenstellung

Die Stadler Rail Service Deutschland GmbH beabsichtigt den Neubau einer Instandhaltungswerkstatt für Schienenfahrzeuge vom Typ FLIRT3 BEMU2 SH (Battery Electrical Multiple Unit) in 24768 Rendsburg. Der Standort befindet sich im Stadtgebiet Suhmsheide (Gemarkung Rendsburg, Flur 5, Flurstücke 9/8 und 437/31).

Es ist vorgesehen, ein ca. 7,4 ha große ehemals als Kleingartenanlage ("Erholung") und augenblicklich baulich nicht genutzte Areal in Rendsburg-Suhmsheide mit einem Werkstattgebäude (Fahrzeughalle mit 2 Gleisen, 4 Arbeitsständen) einer Außenreinigungsanlage (ARA, 1 Gleis), einem Lagerbereich, einem Verwaltungs- und Sozialgebäude (VSG), Übergabegleisen für die Innenreinigung zugeführter und das Abstellen instand gesetzter, aufgerüsteter Zügeinheiten (Innenreinigungsanlage, IRA) sowie einem Zufahrtsgleis mit Übergabepunkt zu bebauen. Das Zufahrtsgleis soll von der bestehenden Strecke 1012 (Rendsburg W89 - Husum W40) bei km 2,4 in die Gewerbefläche abzweigen. Der Gleisanschluss bestand bisher nicht, er muss neu hergestellt werden.

Der erschütterungstechnisch zu betrachtende Baubereich betrifft die Standorte der auf den Flurstücken 9/8 und 437/31 jeweils vorgesehenen Baumaßnahmen.

Für eine Plangenehmigung des Vorhabens nach § 18 Abs. 1 AEG in Verbindung mit § 74 Abs. 6 Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfg) ist u. A. auch eine Prognose über die bauzeitlich und baubedingt zu erwartenden Erschütterungsimmissionen in der nächstgelegenen hauptsächlich betroffenen schutzbedürftigen Nachbarschaft erforderlich.

Das Ingenieurbüro Akustik und Ingenieur Consult H.-J. Rabann, Lindenstraße 17, 15230 Frankfurt (Oder) wurde mit den erschütterungstechnischen Untersuchungen beauftragt.

2. Beschreibung der Baumaßnahmen

Das Bauvorhaben umfasst die folgenden Baumaßnahmen.

- Herstellung des Gleisanschlusses zum Betriebsgelände (Flurstücke 9/8 und 437/31) bei km 2,4 der Strecke 1012 (Rendsburg - Husum, derzeit findet kein Schienenverkehr statt)
- Neubau Gleistor mit Diagnoseanlage (Vermessung der Triebzüge)
- Neubau Gleisanlagen, Weichen (12), Gleise (Länge insgesamt \approx 2000 m), Gleise 101/104 ab Diagnoseanlage über Bereich Übergabe 1 bis 4, (Gleise 102/103 und 105-107 sowie 108-110) bis Einfahrt Fahrzeughalle / in Fahrzeughalle (FZH), Außenreinigung (ARA), Abstellgleise
- Neubau Übergabe- und Behandlungsbahnsteige, Innenreinigungsanlage (IRA), WC Ver- und Entsorgung, Fahrzeuge aufgerüstet abgestellt
- Neubau Werkstattgebäudekomplex (WGK), Außenreinigungsanlage (ARA), Verwaltungs- und Sozialgebäude (VSG)
- Neubau Abwasserbehandlungsanlage (ABA), Druckluftzentrale
- Neubau Außenanlagen: Kadavergrube, BHKW Container (2 x 3 XRGI[®] 20), Außenlager, Trafostationen (400 V, OLA), EVU Container 1/2
- Neubau Oberleitungsanlagen (OLA), Weichenheizung (Whz),
- Neubau Straßen und Wege, PKW Stellplätze (P1:16, P2:14), Entwässerung, Strom, Signal- und Telekommunikation

Von den vorgesehenen Bauleistungen sind die im Folgenden aufgeführten Baumaßnahmen erschütterungstechnisch maßgeblich.

- Tiefbau: Einbau Tragschichten für Bettung und Zufahrtsgleis ab Anbindung an Strecke 1012 (km 2,4) bis Übergabe / in Werkstatt mit Außenreinigungsanlage und Abstellgleise
- Tiefbau Außenanlagen (Kadavergrube), Behandlungsbahnsteige (Übergabe)
- Straßenbau: Verkehrswege auf dem Betriebsgelände
- Oberleitung: nur im Übergabebereich (Innenreinigungsanlage), erschütterungstechnische Relevanz besteht ausschließlich nur im Falle an Standorten für OLA -Maste vorgesehener Rammgründungen

Hinsichtlich der mit o.g. Bautätigkeiten zu erwartenden Erschütterungen ist das bei Tiefbauarbeiten ggf. erforderliche Verdichten von Tragschichten und Fahrbahnbelägen (Asphalt, Beton) mittels Vibrationstechnik (Plattenrüttler, Vibrationsplatten und -walzen) sowie das Rammern von Verbau und Baugrubensicherungen oder die Rammgründung an Standorten von Fahrleitungsmaste maßgeblich.

Gleisneu- und Umbau sowie Kabeltiefbau, Weichenrück- und Umbau etc. sind erschütterungstechnisch nicht relevant. Bauarbeiten zur Erneuerung und Umverlegung von Weichen sowie Gleisen sowie die Herstellung von Lückenschlüssen erfolgen überwiegend konventionell mit kleineren und von Hand betriebenen Geräten (Trennschleifmaschine, Stopfmaschine, Stopfaggregate) sowie Unterstützung durch einen 2-Wege-Bagger (z.B. CAT M323F oder ATLAS K1404) zur Montage und Demontage sowie Einsatz von Bagger, Radlader, LKW etc. zum An- und Abtransport von Einsatz- und Reststoffen (für Tragschicht und Bettung, Schotter, Schwellen).

Lagerung und Umschlag von Einsatz- und Reststoffen (Schotter, Schwellen, Schienen und sonstiges Baumaterial) sowie das Abstellen von Baumaschinen erfolgt auf geeigneten unbefestigten Flächen im Baugebiet, auf sog. Baustelleneinrichtungsflächen (BE-Flächen). Von Baustelleneinrichtungsflächen ausgehende maßgebliche Erschütterungen sind nicht zu erwarten.

Die Zufahrt zum Baugebiet erfolgt ausgehend vom öffentlichen Straßennetz (Friedrichstädter Straße) von Norden über die Loher Straße und im Süden ausschließlich über die Gleisanbindung zur Strecke 1012 (km 2,4).

3. Bauablauf und Baubetrieb

Zum konkret vorgesehenen Bauablauf liegen keine Informationen vor. Der zeitliche Ablauf des Baubetriebes ist für die erschütterungstechnischen Untersuchungen auch von keiner maßgeblichen Bedeutung, da zunächst die in verschiedenen Phasen des zu erwartenden Baugeschehens grundsätzlich stattfindenden Abläufe mit erschütterungstechnischer Relevanz betrachtet werden.

Einzelne Phasen können dabei hinsichtlich des jeweils erforderlichen Einsatzes unterschiedlicher Bautechnik (Baumaschinen) und damit auch zu erwartender unterschiedlicher maßgeblicher Erschütterungsemissionen in

- Verkehrswegebau (Schiene, Straße) und
- Tiefbau (Behandlungsbahnsteige, Werkstattgebäudekomplex, Außenanlagen)

unterschieden werden.

Der an verschiedenen Standorten im Baugebiet grundsätzlich stattfindende Baubetrieb mit inhaltlich jeweils erschütterungstechnisch relevanter Bautätigkeit kann in „Betriebszustände“ (Bz) wie folgt aufgeteilt werden.

Betriebszustand	Bz1	• Abriss bestehender Hochbauten im Baufeld (ist im konkreten Fall nicht erforderlich)
Betriebszustand	Bz2	• Verkehrswege (Schiene) Neubau Tragschichten für Zufahrtsgleis und andere Gleisanlagen im Bereich Übergabe und Werkstattgebäudekomplex
Betriebszustand	Bz3	• Verkehrswege (Straße) Neubau Tragschichten für vorgesehene Straßenverkehrswege und -flächen im Baugebiet
Betriebszustand	Bz4	• Außenanlagen (Tiefbau) Einbringen von Verbau und Baugrubensicherung
Betriebszustand	Bz5	• Gründung Fahrleitungsmaste Rammgründung erfolgen nicht. Die Gründung der Standorte für neue Fahrleitungsmaste und Signale erfolgt mit Ort beton und ist von keiner erschütterungstechnischen Relevanz

Es wird davon ausgegangen, dass erschütterungsintensive Bautätigkeit ausschließlich nur an Werktagen (Mo - Sa) im Tagzeitraum zwischen 07 und 20 Uhr erfolgt.

Weicheneinbau und Gleisanschluss müssen nicht in Sperrpausen durchgeführt werden, die u. U. auch in der Nachtzeit (20 - 07 Uhr) oder in Tagesrandzeiten (vor 07 Uhr / nach 20 Uhr) liegen könnten.

4. Örtliche Lage

Das Depot mit einer Instandhaltungswerkstatt für Schienenfahrzeuge vom Typ Flirt³ BEMU 2 SH (Battery Electrical Multiple Unit) der Stadler Rail AG soll in 24768 Rendsburg im Ortsteil Suhmsheide auf dem Gelände einer ehemals als Kleingartenanlage genutzten Fläche errichtet werden. Das Areal umfasst mit Flurstück 9/8 ca. 5,6 h Betriebsfläche und zusammen mit Flurstück 437/31 ca. 7,6 ha Fläche. Es erstreckt sich über eine Länge von ca. 650 m in Nord-Südrichtung.

Eine Anbindung an das öffentliche Straßenverkehrsnetz zur Friedrichstädter Straße soll über eine nördlich in die Loher Straße führende geplante zentrale Straßenzufahrt erfolgen. Die Anbindung an das öffentliche Schienenverkehrsnetz von der an der südlichen Grenze des Anlagenstandortes in Ost-West Richtung verlaufenden und derzeit nicht weiter genutzten Eisenbahnstrecke 1012 (Rendsburg W89 - Husum W40) aus erfolgen. Die geplante Zufahrtsweiche zum Werksgelände befindet sich bei km 2,4. Der Streckenabschnitt ist eingleisig und nicht elektrifiziert. Die Stadler Triebzüge vom Typ Flirt³ erreichen das Depot mit ihren eigenen aus Batteriestrom (Akku) gespeisten elektrischen Antrieben.

Der Depotstandort ist eingebettet von hauptsächlich gewerblich genutzten Flächen. Die gewerbliche Nutzung ist dabei im Norden und Westen maßgeblich durch mittelständisches Dienstleistungsgewerbe geprägt. Östlich des Standortes befinden sich dazu auch noch einige Flächen, auf denen Anlagen zur erneuerbaren Energiegewinnung (Solaranlagen) errichtet wurden und betrieben werden. Im Flächennutzungsplan (FNP) der Stadt Rendsburg werden diese Flächen hinsichtlich ihrer baulichen Nutzung als Sonderbauflächen (SO, §10 BauNVO) ausgewiesen.

Die nächstgelegene Wohnbebauung befindet sich südlich nahe dem zukünftigen Betriebsgelände an der Bahnstrecke 1012 im Stadtgebiet Rotenhof. Mit der Bebauung im Heider, Meldorfer und Marner Weg liegt augenscheinlich eine ausgesprochene Wohnnutzung vor. Hinsichtlich seiner baulichen Nutzung kann das Gebiet als „Allgemeines Wohngebiet“ (WA, §4 BauNVO) angesehen werden. Die Einschätzung entspricht der im Flächennutzungsplan (FNP) der Stadt Rendsburg enthaltenen Einstufung als „Wohnbaufläche“.

Zwischen Heider Weg und Meldorfer Weg liegt die Kleingartenanlage „Rotenhof“. Kleingartenanlagen werden hinsichtlich ihrer Schutzbedürftigkeit in die Kategorie „Mischgebiete“ eingeordnet (vgl. BVerwG, Beschluss vom 17.3.1992 - 4 B 230/91 - NVwZ 1992,885). Die schutzbedürftige Nutzung erfolgt bestimmungsgemäß ausschließlich im Tageszeitraum. Eine Beurteilung erfolgt deshalb lediglich für den Zeitraum Tag. Dies trifft auch für Schulen, Kindergärten, Kindertagesstätten und Bürogebäude zu.

Die sich südwestlich an den Meldorfer Weg anschließende Bebauung (Sandhof) ist auf Grund der mit gewerblichen Ansiedlungen vorliegenden gemischten Nutzung als „Mischgebiet“ (MI, §6 BauNVO) anzusehen. Das trifft auch auf die Bebauung westlich der Friedrichstädter Straße zu. Die ebenfalls mit Wohnbauten versehene Fläche im Dreieck Friedrichstädter Straße (19 - 45) / B77 / Loher Straße ist deshalb auch im FNP der Stadt Rendsburg als „gemischte Baufläche“ (MI, §6 BauNVO) ausgewiesen.

Eine Übersicht zur Lage des Depot Standortes sowie der hinsichtlich bauzeitlich zu erwartenden Erschütterungsimmissionen aus immissionsschutzrechtlicher Sicht zunächst als maßgeblich anzusehenden benachbarten Wohnbereiche zeigen die unten folgenden Abb. 1 und Abb. 2.

Abb. 1a Depot Rendsburg, Instandhaltungswerkstatt für Schienenfahrzeuge - Standort
Übersichtslageplan mit Flächennutzung und Lage erschütterungstechnisch relevanter Immissionsorte

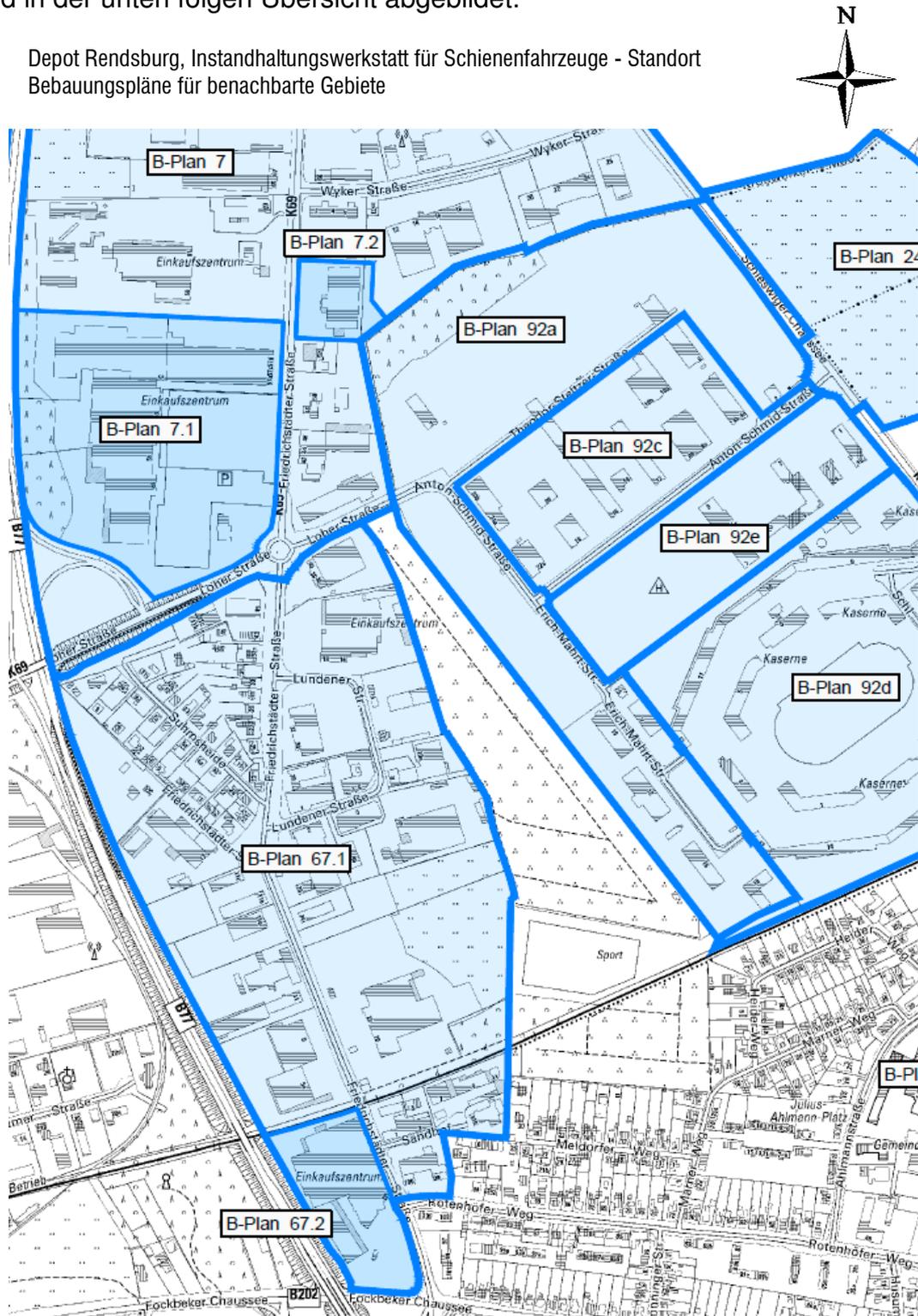


Legende:

- erschütterungstechnisch relevante Immissionsorte

Die Zuordnung der Lage von Einzelpunkten (Immissionsorte) in Gebieten unterschiedlicher baulicher Nutzung zur Beurteilung deren Schutzbedürftigkeit ergibt sich aus den Festlegungen in Bebauungsplänen oder aus der tatsächlichen augenscheinlich vorliegenden Nutzung. Die in der Nachbarschaft des vorgesehenen Anlagenstandortes vorliegenden Bebauungspläne (B-Pläne) und darin zum Immissionsschutz ggf. zu berücksichtigenden Festlegungen sind in der unten folgenden Übersicht abgebildet.

Abb. 1b Depot Rendsburg, Instandhaltungswerkstatt für Schienenfahrzeuge - Standort
Bebauungspläne für benachbarte Gebiete



Aus der Übersicht in Abb. 1b geht hervor, dass die für Feststellung der Schutzbedürftigkeit in der Nachbarschaft des vorgesehenen Anlagenstandortes liegender bebauter Gebiete sechs von der Stadt Rendsburg aufgestellte Bebauungspläne für eine Bewertung mit herangezogen werden müssen.

In den Festsetzungen der Bebauungspläne sind keine Bezüge auf konkrete einzuhaltende Anforderungen an den Immissionsschutz und insbesondere hinsichtlich des Erschütterungsschutzes enthalten. Hauptsächlich erfolgte die Festlegung und Zuordnung der zulässigen baulichen Nutzungen der Flächen gemäß BauNVO. Aus den Festlegungen resultieren die für eine immissionsschutzrechtliche Beurteilung von Erschütterungsimmissionen an Einzelpunkten jeweils heranzuziehenden konkreten Schutzbedürftigkeiten.

Für den südlich an den Standort angrenzenden Wohnbereich (Heider Weg, Marner Weg und Meldorfer Weg) liegt kein Bebauungsplan vor. Der für eine Beurteilung von Erschütterungsimmissionen heranzuziehende Schutzanspruch ergibt sich deshalb aus der augenscheinlich tatsächlich vorliegenden baulichen Nutzung, die mit einem „Allgemeinen Wohngebiet“ (WA § 4 BauNVO) vergleichbar ist.

Bei den vorliegenden Ausbreitungswegen mit überwiegend großen bis sehr großen Entfernungen von möglichen Erschütterungsquellen zu südlich (WA Rotenhof) und westlich des Baugebietes (Friedrichstädter Straße) gelegener Wohnbauten sind auch mit aus dem Baubetrieb ggf. zu erwartenden intensiven Erschütterungsereignissen, wie sie z.B. bei ggf. stattfindenden Rammgründung an Standorten für Fahrleitungsmaste und Verdichtung von Tragschichten vorkommen, hinsichtlich der Einwirkung auf bauliche Anlagen (DIN 4150-3) relevante Erschütterungsimmissionen an dem Baugebiet nächstgelegenen benachbarten Bauwerken (Wohnbauten, Industriebauten) nicht zu erwarten.

Hinsichtlich der Einwirkung auf Menschen in Gebäuden (DIN 4150-2) sind damit ebenfalls keine bauzeitlichen Beeinträchtigungen an Aufenthaltsorten von Menschen in Gebäuden zu erwarten. Aus dem Baubetrieb hervorgehende Erschütterungsimmissionen werden auf Grund der vergleichsweise großen Entfernungen zu möglichen Erschütterungsquellen subjektiv wenig oder überhaupt nicht spürbar sein. Diese zunächst auf Erfahrung gestützten Annahmen sollen im Folgenden anhand aus Berechnungen hervorgehender Prognosewerte bestätigt werden.

Einen Überblick zur Lage der jeweiligen erschütterungstechnisch relevanten Baustellenbereiche sowie der hinsichtlich von bauzeitlich zu erwartenden Erschütterungsimmissionen zunächst als maßgeblich anzusehenden benachbarten bebauten Bereiche zeigen die unten folgenden Abbildungen.

Abb. 2a Neubau Depot Rendsburg
 Luftbild - südlich des Depotstandortes nächstgelegene Wohnbebauung im Stadtgebiet Rotenhof

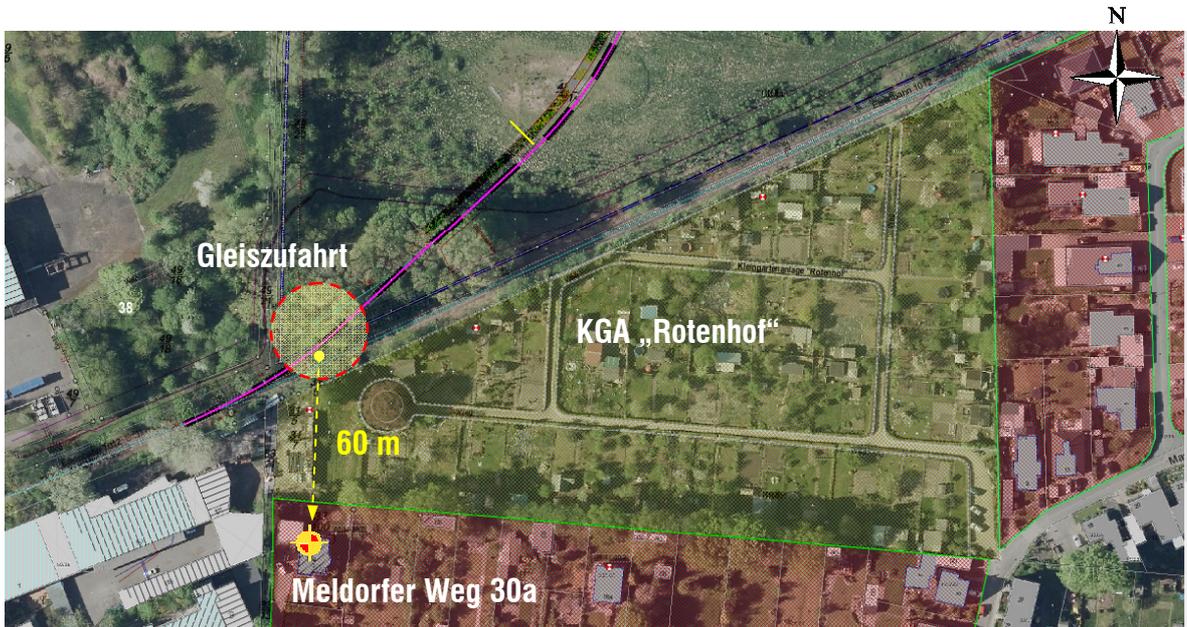
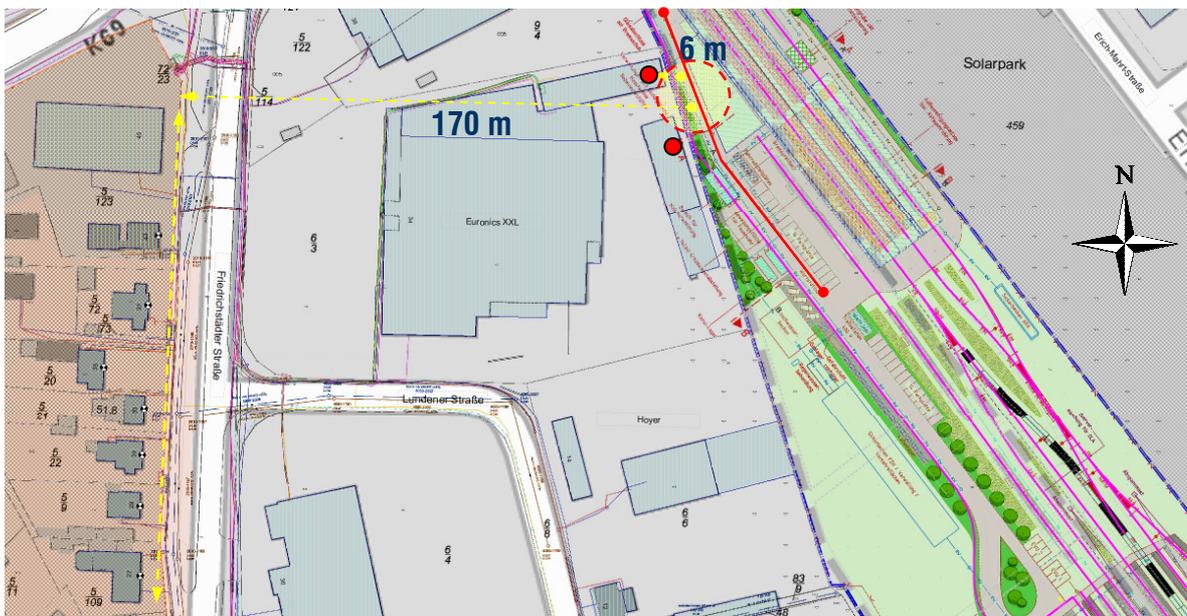


Abb. 2b Neubau Depot Rendsburg
 Planausschnitt - nächstgelegene Gewerbe- und Wohnbebauung westlich des Depotstandortes im Stadtgebiet Suhmsheide



Legende:

-  Immissionsorte
-  erschütterungstechnisch relevante Punkte

Abb. 2c Neubau Depot Rendsburg
Planausschnitt - nächstgelegene gewerbliche Bebauung östlich des Depotstandortes
im Stadtgebiet Suhmsheide



Legende:

-  Immissionsorte
-  erschütterungstechnisch relevante Punkte
-  Standorte Fahrleitungs- und Abspannmaste

5. Untersuchungsmethodik

Auf Grundlage eines prinzipiell stattfindenden Bauablaufes werden zunächst die in einzelnen Bauphasen zum Einsatz kommenden Baumaschinen und Bauverfahren abgeleitet. Den in Frage kommenden Baumaschinen und Bauverfahren werden dann baubetriebstypische → Erschütterungsemissionen zugeordnet. Als erschütterungstechnisch maßgebliche Baumaschinen werden dabei hauptsächlich nur Großgeräte angesehen, deren hervorgerufenen Erschütterungsemissionen aus Erfahrung und Ergebnissen eigener durchgeführter Untersuchungen sich als Wesentlich erwiesen haben.

Die Abschätzung der aus dem Baubetrieb hervorgehenden Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke und auf Menschen in Gebäuden erfolgt nach

- [1] DIN 4150, Teil 1 „Erschütterungen im Bauwesen - Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Juni 2001 sowie
- [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] Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten; M. Achmus, J. Kaiser, F. Tom Wörden; Institut für Bauforschung e.V. Hannover 2005

Im Konfliktfall werden Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Verminderung von Erschütterungen für den Baubetrieb mit jeweiligen Angaben zur Höhe und zeitlichen Dauer nur dann erarbeitet, wenn sie dem Schutzzweck als angemessen erscheinen. Ergänzend oder alternativ können neben baulichen Schutzmaßnahmen auch planerische und/oder organisatorische Schutzmaßnahmen in die Betrachtungen einbezogen werden. Diese stellen insbesondere bauzeitliche Beschränkungen und/oder die Einrichtung einer bauzeitlichen Überwachung erschütterungsintensiver Bauabläufe in Wohnbereichen mit Schutzanspruch dar.

Da im derzeitigen Planungsstand keine Angaben über die jeweils konkret zum Einsatz kommenden Baumaschinen (Hersteller, Typ) gemacht werden können und das endgültige Konzept der Baudurchführung i.d.R. auch erst noch von den zu beauftragenden Baufirmen zu erstellen ist, wird vorausgesetzt, dass erschütterungsintensive Bauarbeiten zunächst ausschließlich im Beurteilungszeitraum "Tag" erfolgen werden.

Die vorliegende Untersuchung ist deshalb auch im Sinne einer Machbarkeitsstudie zu verstehen, damit im Vorfeld einer Baumaßnahme eingeschätzt werden kann, wann und wo baubetriebsbedingte Immissionskonflikte zu erwarten sind, auf welche Bauabläufe sie zurückzuführen sind und welche Minderungsmaßnahmen dem Grunde nach getroffen werden können oder müssen.

6. Erschütterungsemissionen

→ Grundlagen

Bei der Gesamtbetrachtung werden nur die während der Bauphasen entstehenden maßgeblichen Erschütterungsemissionen sowie auch nur die in Wohnbereichen zu erwartenden Immissionen berücksichtigt. Die erschütterungstechnisch relevanten Bauabschnitte gehen aus dem Bauablaufplan und vorgesehenen Arbeitsabläufen hervor.

Arbeitsabläufe und -zeiten sowie die Zahl der in den jeweiligen Bauabschnitten zum Einsatz kommenden Baumaschinen sind gegenwärtig nicht detailliert bekannt bzw. festgelegt. Grundsätzlich wird deshalb bei der Ableitung von Erschütterungsemissionen von typischen zeitlichen Abläufen sowie von typischerweise dafür zum Einsatz kommenden Baumaschinen und Bauverfahren ausgegangen.

Die Emissionsansätze stellen damit zunächst obere Abschätzungen der tatsächlichen Emissionen dar, insbesondere deshalb, weil hinsichtlich der zeitlichen Einwirkung zunächst keine oder nur unzureichende Korrekturen vorgenommen werden können. Es ist deshalb darauf hinzuweisen, dass es bei bestimmten (erschütterungsintensiven) Bautätigkeiten auch zu höheren Erschütterungsemissionen kommen kann als hier ermittelt.

→ Erschütterungsemissionen aus Baubetrieb

Durch mit Baumaschinen hervorgerufenen Erschütterungen treten ausschließlich bei Rammungen (Spundwandkästen) und Bodenverdichtungen (Tiefbau, Hinterfüllungen, etc.) auf. Für die Prognose von Bodenschwinggeschwindigkeiten in einer definierten Entfernung von der Erschütterungsquelle wird für Rammungen und Bodenverdichtungen der folgende Ansatz verwendet.

$$v_R^B = K \cdot \frac{\sqrt{E}}{r} \quad \text{mm/s}$$

mit E = Energie / Rammschlag in kNm (ggf. aus Schlaggewicht x Fallhöhe)
 r = Entfernung in m

Proportionalitätsfaktor K
für Schlagrammen

K = 15,8 (weicher bzw. lockerer Boden)
 K = 31,6 (sehr steifer bzw. dichter Boden)

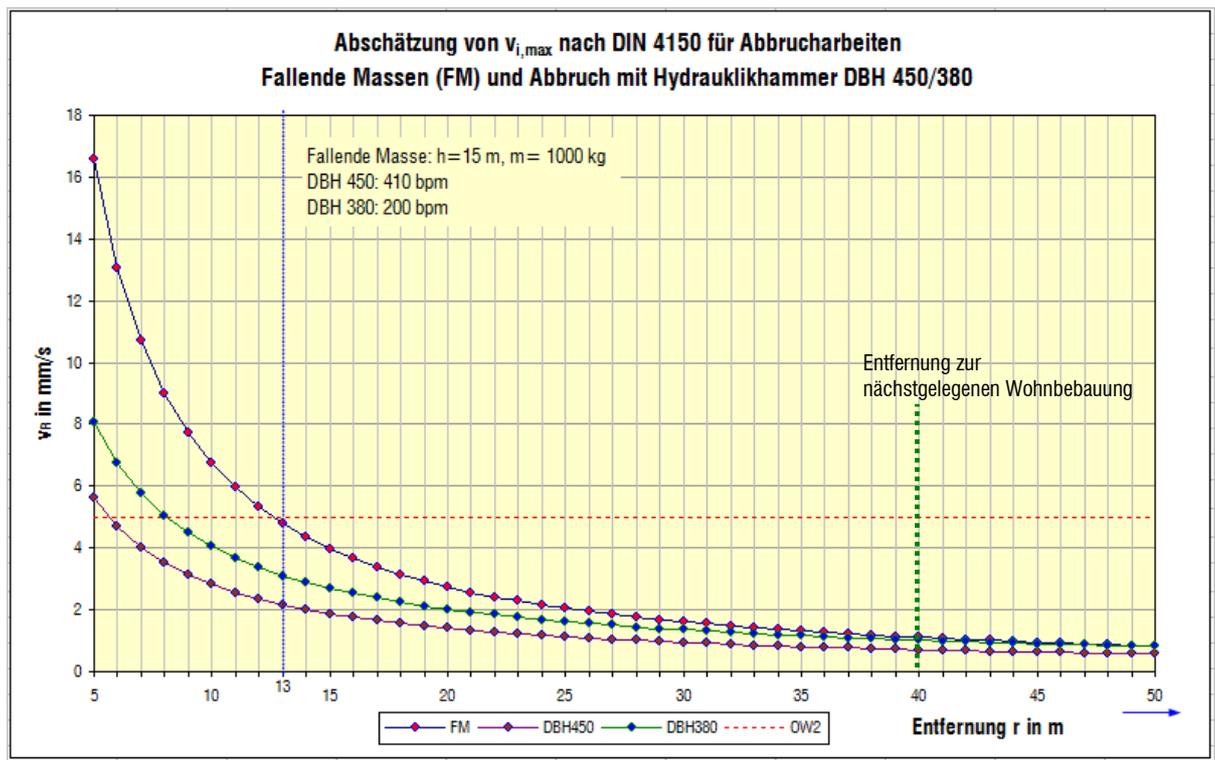
für Vibrationsrammen K = 23,7
für Vibrationsplatte / -walze K = 100

→ **Abriss und Rückbau**

Rückbau betrifft ausschließlich die aus der ehemaligen Nutzung des Standortes als Kleingartengebiet hervorgehenden Hinterlassenschaften leichter Bauart. Der Einsatz von Felsmeißel, Schlaghämmern und hydraulischen Zangen ist nicht zu erwarten. Bei Rückbauarbeiten kann es aber auch zu Abstürzen von großformatigen Bauswerksteinen kommen, deren Fall Erschütterungen in benachbarten Wohnbereichen hervorrufen können.

Für sog. „Fallende Massen“ (FM) werden auch in [1] Möglichkeiten einer Abschätzung von Erschütterungen angegeben, bei der Fallhöhe und Masse von abstürzenden Teilen berücksichtigt werden. Wie die folgende Abb. 3 zeigt, ist bei ungebremstem Aufprall von kompakten Teilen mit einem Gewicht von 1000 kg aus 15 m Höhe Schwinggeschwindigkeiten bis $v_{i,max} = 10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ in unmittelbarer Umgebung zu erwarten. Dargestellt werden auch die mit Einsatz von Hammer-Abbruchmeißel (DBH 450 / 410 bpm, DBH 380 / 200 bpm) mit wachsender Entfernung zu erwartenden Erschütterungsimmissionen.

Abb. 3 Erschütterungsemissionen und Immissionen in benachbarter Umgebung durch fallende Massen



Aus Abb. 3 wird deutlich, dass die kritische Entfernung zu Wohngebäuden, an denen eine kurzzeitig durch „Fallende Massen“ ($h = 15 \text{ m}$, $m = 1 \text{ t}$) hervorgerufene Überschreitung einer maximalen Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max} \geq 5 \text{ mm/s}$ eintreten könnte bei $r_k \leq 13 \text{ m}$ liegt. Die mit → hydraulischen Abbruch-Hammer oder Meißel erzeugten Erschütterungen könnten für Wohngebäude erst in Entfernungen mit $r_k \leq 8 \text{ m}$ kritisch werden.

Im Baugebiet sind keine Abrissmaßnahmen zu erwarten, die den Einsatz von erschütterungsintensiver Bautechnik erfordert.

Sollte es aus anderen Gründen zu Abstürzen von großformatigen Bau- und / oder Bauwerksteilen aus großer Höhe kommen ist in den näher liegenden gewerblichen Bauten, Friedrichstädter Straße 34 / 38, Lundener Straße, die kürzeste Entfernung einzelner gewerblich genutzter Bestandsbauten zum Baufeld liegt bei ca. $r_{\min} = 20$ m, zu erwarten, dass durch fallende Massen hervorgerufene maximale Schwinggeschwindigkeiten Werte bis $v_{i,\max} \leq 20$ mm/s nicht überschritten werden.

Die kritische Entfernung, bei der eine kurzzeitig durch „Fallende Massen“ ($h = 15$ m, $m = 1$ t) hervorgerufene Überschreitung dieser maximale Schwinggeschwindigkeit zu erwarten wäre, läge nach Abb. 3 bei ca. $r_k \leq 4,5$ m. Die im Ereignisfall am Standort in den o.g. gewerblich genutzten Bauten zu erwartenden maximalen Schwinggeschwindigkeiten lägen damit bei $v_{i,\max} \leq 2,7$ mm/s.

→ **Schlag- und Vibrationsrammungen**

Nach dem o.g. Ansatz sind in 10 m Entfernung von möglichen Erschütterungsquellen die folgenden Schwinggeschwindigkeiten (v_R^B) und Schwingbeschleunigungen (a_R^B) im Boden zu erwarten.

• **Schlagammgerät**

z.B. **Dieselbär D12-42**

maximale Energie pro Rammschlag

$$E = 46 \text{ kNm}$$

Entfernung

$$r = 10 \text{ m}$$

Proportionalitätsfaktor (günstig)

$$K_1 = 15,8$$

Proportionalitätsfaktor (ungünstig)

$$K_2 = 31,6$$

Bodenschwinggeschwindigkeit in 10 m Entfernung

$$10,7 \leq v_R^B \leq 21,4 \text{ mm/s}$$

Bodenschwingbeschleunigung

$$0,5 \leq a_R^B \leq 2,0 \text{ m/s}^2$$

zulässig

$$1/3 g = 3,3 \text{ m/s}^2$$

• **Vibrationsrammgerät**

z.B. **MRZV 925V (ABI Mobilram)**

Leistung

$$P_{\text{hyd}} = 260 \text{ kW}$$

Frequenz

$$f_r = 38 - 44 \text{ Hz}$$

maximale Energie

$$E = 6,84 \text{ kNm}$$

Entfernung

$$r = 10 \text{ m}$$

Proportionalitätsfaktor

$$K_1 = 23,7$$

Bodenschwinggeschwindigkeit in 10 m Entfernung

$$6,2 \geq v_R^B \geq 5,76 \text{ mm/s}$$

Bodenschwingbeschleunigung

$$1,5 \leq a_R^B \leq 1,6 \text{ m/s}^2$$

zulässig

$$1/3 g = 3,3 \text{ m/s}^2$$

→ **Boden- und Tragschichtverdichtung**

• **Vibrationsgerät**

z.B. **Walzenzug CAT CS-64**
(mit Fliehkraftkupplung)

Betriebsgewicht

$G \approx 14,5 \text{ t}$

Motorleistung

$W_{\max} = 108 \text{ kW}$

Frequenz

$f > 23 - 32 \text{ Hz}$

Energie

$E = 4,7 - 3,4 \text{ kNm}$

Entfernung

$r = 10 \text{ m}$

Proportionalitätsfaktor

$K = 100$

Bodenschwinggeschwindigkeit in 10 m Entfernung

$18,4 \leq v_R^B \leq 21,7 \text{ mm/s}$

Bodenschwingbeschleunigung

$3,1 \leq a_R^B \leq 3,7 \text{ m/s}^2$

zulässig

$1/3 g = 3,3 \text{ m/s}^2$

Den Ergebnissen kann entnommen werden, dass in den nächstgelegenen Wohnbereichen in der • Friedrichstädter Straße • Heider Weg, Meldorfer Weg, Marner Weg (Entfernung $\geq 100 \text{ m} / 50 \text{ m}$), bei Gründung von Fahrleitungsmasten mittels Rammgründung und / oder Tragschicht-, Boden- oder Oberflächenverdichtung bei Neubau von Schienen- und Straßenverkehrswegen im Baugebiet bauzeitlich unzulässig erhöhte Erschütterungsimmissionen (v_{\max} , $KB_{F\max}$) nicht zu erwarten sind.

Auf Grund der großen Entfernungen zu den westlich des Baugebietes liegenden Wohnbereichen im Stadtgebiet Suhmsheide sowie auch zur südlichen Ortslage Roten Hof können unzulässig erhöhte Erschütterungsimmissionen (v_{\max} , $KB_{F\max}$) mit Überschreitung von Anhaltswerten gemäß [3] durch Baumaßnahmen grundsätzlich ausgeschlossen werden.

7. Erschütterungsimmissionen

7.1 Berechnungsgrundlagen

Für die Ermittlung der Einwirkungen auf bauliche Anlagen wird ausgehend vom jeweils eingesetzten Ramm- und Bodenverdichtungsgerät zunächst der Maximalwert der zu erwartenden Schwingschnellen im Fundament $v_{I,max}^F$ wie folgt bestimmt [1].

Schlagrammen $v_{I,max}^F = K \cdot \frac{\sqrt{E}}{r}$ mm/s

Vibrationsrammen $v_{I,max}^F = K \cdot \frac{\sqrt{W/f}}{r}$ mm/s

Vibrationswalze $v_{I,max}^F = K \cdot \frac{\sqrt{G}}{r}$ mm/s

mit	E	Energie / Rammschlag in kNm (ggf. aus Schlaggewicht x Fallhöhe)
	W	Geräteleistung in kW
	f	Arbeitsfrequenz in Hz
	G	Betriebsgewicht
	r	Abstand zur Erschütterungsquelle
	K	Proportionalitätsfaktor
	K = 7,9	für Vibrationsrammen (50% Wahrscheinlichkeit)
	K = 2,45	für Schlagrammen Dieselmär (50% Wahrscheinlichkeit)
	K = 11,07	für Schlagrammen Freifallbär (50% Wahrscheinlichkeit)
	K = 4,31	für Vibrationsplatte und -walze (50% Wahrscheinlichkeit)

Die Kenntnis der Fundamentalschwingungen $v_{I,max}^F$ lässt sowohl eine Beurteilung von kurzzeitigen (Schlagrammen) als auch länger andauernden Einwirkungen (Vibrationsrammen und -Bodenverdichtung) auf Bauteile (Decken und Wände) durch Anwendung von Faktoren k für die Übertragung der Erschütterungen in die Obergeschosse (OG) wie folgt zu.

Horizontal $k_{x,y}^{F-OG}$ von 0,5 (sehr weicher Fundament-Untergrund)
 bis 2,0 (sehr steifer Fundament-Untergrund)

Vertikal • Vibration im Resonanzfall

$$k_{z,max}^{F-OG} = \frac{1}{2D} \quad 0,02 \leq D \leq 0,05$$

sonst $k_{z,max}^{F-OG} < 1,5$

• Schlagrammung abhängig vom Frequenzinhalt (oft für 10 Hz)

Damit können bereits Mindestabstände von Erschütterungsquellen zu baulichen Anlagen angegeben werden, innerhalb dieser durch Erschütterungseinwirkungen aus dem Baubetrieb Schäden am Bauwerk nicht mehr vollständig ausgeschlossen werden können.

Bei → **Boden- und Tragschichtenverdichtung mit Vibrationswalzenzug** ergibt sich z.B. die zu empfehlende Mindestentfernung zur Erschütterungsquelle für alle in eine Beweissicherung von baulichen Zuständen einzubeziehenden Gebäude wie folgt.

→ Oberflächenverdichtung z.B. mit Vibrationswalze (Tragschicht, Verkehrswegebau)

- Betriebsgewicht	G	=	20 t
- Betriebsfrequenz	f	=	30 Hz
- Antriebsleistung	W	=	520 kW
- maximale Energie	E	=	17,3 kNm

- zulässige Fundamentalschwinggeschwindigkeit

für gewerbliche Bausubstanz nach Tab.1 DIN 4150-3 (bis 10 Hz) $v_{i,max}^F \leq 20$ mm/s

für Wohngebäude nach Tab.1 DIN 4150-3 (bis 10 Hz) $v_{i,max}^F \leq 5$ mm/s

für empfindliche Bausubstanz (bis 10 Hz) $v_{i,max}^F \leq 3$ mm/s

- zulässige horizontale Schwinggeschwindigkeit

für Bauteile in den OG nach Tab. 1 nach DIN 4150-3 $v_h^{OG} \leq 15$ mm/s

- zulässige vertikale Schwinggeschwindigkeit

für Decken (kurzzeitig) nach DIN 4150-3 $v_z^D \leq 20$ mm/s

Proportionalitätsfaktor (günstig) $K = 4,31$

Proportionalitätsfaktor (ungünstig) $K = 10,87$

- Resonanzeffekte werden zunächst ausgeschlossen

- es gelten Anhaltswerte nach Tabelle 1 DIN 4150-3

- kritische Entfernung für gewerblich genutzte Bauten $r \leq 10$ m

- kritische Entfernung für Wohngebäude $r \leq 20$ m

- kritische Entfernung für empfindliche Bausubstanz $r \leq 33$ m

Eine zur Verdichtung von Tragschichten im Gleis- oder Straßenbau eingesetzte Vibrationswalzentechnologie mit den o.g. Parametern (Betriebsgewicht, Antriebsleistung) wäre demnach für Wohngebäude und empfindliche Bauten nur dann als **kritisch** einzuschätzen, wenn die Entfernungen zum jeweiligen Einsatzort bei $r \leq 20$ m bzw. ≤ 33 m liegen würden.

Im gesamten Baugebiet gibt es keine Wohnbauten und/oder besonders empfindliche Bauten mit Lage innerhalb des o.g. kritischen Abstandes zu einer der vorgesehenen Baumaßnahmen. Eine vor Beginn von Tragschicht- oder anderer Bodenverdichtungsarbeiten aufzunehmende Beweissicherung oder Probemessungen an als besonders empfindlich gegenüber Erschütterungen einzuschätzenden Gebäuden mit Einsatz der jeweils vorgesehenen Baumaschine sowie ggf. auch eine dauerhafte Überwachung von erschütterungsintensiver Bautätigkeit werden deshalb nicht als erforderlich angesehen.

7.2 Beurteilungsgrundlagen

Die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen aus Baustellenbetrieb erfolgt hinsichtlich

- der Einwirkung auf Menschen in Gebäuden (DIN 4150, Teil 2 - [2])
- der Einwirkung auf bauliche Anlagen (DIN 4150, Teil 3 - [3])

7.2.1 Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Die Bewertung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden erfolgt auf der Basis der bewerteten Schwingstärke $KB_{F(t)}$. Die bewertete Schwingstärke $KB_{F(t)}$ berücksichtigt die unterschiedliche und frequenzabhängige Empfindsamkeit des Menschen gegenüber Erschütterungen. Die Beurteilung erfolgt anhand von zwei Beurteilungsgrößen:

- KB_{Fmax} die maximale bewertete Schwingstärke
- KB_{FTr} die Beurteilungsschwingstärke.

Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} ist der während der jeweiligen Beurteilungszeit (einmalig oder wiederholt) auftretende Maximalwert von $KB_{F(t)}$. Die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} berücksichtigt die Häufigkeit und Dauer von Erschütterungsereignissen. KB_{FTr} wird mit Hilfe des Taktmaximalwert - Verfahrens (Taktzeit = 30 sec) ermittelt. Die Beurteilung erfolgt gemäß der nachfolgend beschriebenen Vorgehensweise:

Zunächst ist die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} zu ermitteln und mit den Anhaltswerten A_u (unterer Anhaltswert) und A_o (oberer Anhaltswert) nach Tab. 1 in [2] zu vergleichen:

- Ist $KB_{Fmax} \leq A_u$, dann ist die Anforderung der Norm eingehalten.
- Ist $KB_{Fmax} > A_o$, dann ist die Anforderung nicht eingehalten.
- Ist $KB_{Fmax} > A_u$ aber $\leq A_o$ gilt die Anforderung der Norm als eingehalten, wenn die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FTr} < A_r$ (Beurteilungs-Anhaltswert) nach Tab. 1 in 0 ist.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anhaltswerte eine Indikatorfunktion besitzen und eine Beurteilung jeweils im Einzelfall, auch unter Berücksichtigung einer Unsicherheit (aus Messungen), zu erfolgen hat.

Die in DIN 4150-2 für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen angegebenen Anhaltswerte sind in der nachfolgenden Tabelle 1 nochmals zusammengefasst.

Tabelle 1: Anhaltswerte nach DIN 4150-2 Tab. 1 für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

Einwirkungsort	Tag			Nacht		
	Au	Ao	Ar	Au	Ao	Ar
Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und ggf. ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete § 9 BauNVO)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete § 8 BauNVO)	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet § 3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

Ein Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke (KB) und subjektiver Wahrnehmung wird nach [2] wie folgt gegeben:

„Einen Hinweis auf die Fühlbarkeit der Erschütterungseinwirkung gibt die Größe KB_{Fmax} . Die Fühlschwelle liegt bei den meisten Menschen im Bereich zwischen $KB = 0,1$ und $KB = 0,2$. In der Umgebungssituation „Wohnung“ werden auch bereits gerade spürbare Erschütterungen als störend empfunden. Erschütterungseinwirkungen um $KB = 0,3$ werden beim ruhigen Aufenthalt in Wohnungen überwiegend bereits als gut spürbar und entsprechend stark störend wahrgenommen.“

Die Beurteilung von → Erschütterungen durch Baumaßnahmen erfolgt anhand eines dreistufigen Beurteilungsschemas. Das Schema weist Anhaltswerte für den Zeitbereich Tag mit verschiedener Zeitdauer der Einwirkungen (< 1 Tag, 6 bis 26 Tage, 26 bis 78 Tage) aus. Für länger als 78 Tage einwirkende Erschütterungen macht die Norm keine Angaben. Es sollte dann nach den besonderen Gegebenheiten des Einzelfalles individuell beurteilt werden. In der Regel erfolgt die Beurteilung dann anhand der Anhaltswerte nach Tabelle 1 der DIN 4150-2.

Die Angabe der Dauer der Einwirkungen bezieht sich dabei nicht auf die Gesamtdauer einer Baumaßnahme, sondern nur auf die Zeiten in denen in den jeweils betroffenen Gebäuden tatsächlich Erschütterungen auftreten. Dabei sind Tage mit Erschütterungen, die unter den jeweiligen Werten der Tabelle 1 in [2] für A_u oder A_r liegen nicht mitzuzählen.

Für die im Zeitbereich Nacht auftretenden Erschütterungen gelten die Anhaltswerte nach Tabelle 1 der DIN 4150-2.

Die für eine Beurteilung von zeitlich begrenzten Erschütterungseinwirkungen infolge Baumaßnahmen oder Bautätigkeiten zu berücksichtigenden Anhaltswerte sind in der nachfolgenden Tabelle 2 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 2: Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen (außer Sprengungen) nach DIN 4150-2 Tabelle2

Dauer Anhaltswert	D ≤ 1 Tag			6Tage < D ≤ 26 Tage			26 Tage < D ≤ 78 Tage		
	Au	Ao*	Ar	Au	Ao*	Ar	Au	Ao*	Ar
Stufe I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe II	1,2	5	0,8	0,7	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 Ao = 6

Die in Tabelle 2 genannten Stufen klassifizieren Erschütterungseinwirkungen wie folgt:

Stufe I:

Bei Unterschreitung ist auch ohne besondere Vorinformation nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen.

Stufe II:

Bei Unterschreitung ist ebenfalls noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen, falls die nachfolgend genannten Maßnahmen a) bis e) und erforderlichenfalls auch Maßnahme f) ergriffen werden. Bei zunehmender Überschreitung auch dieser Stufe werden mit wachsender Wahrscheinlichkeit erhebliche Belästigungen auftreten. Ist zu erwarten, dass Erschütterungseinwirkungen auftreten, die oberhalb der Anhaltswerte der Stufe II liegen, ist zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist.

Stufe III:

Zumutbarkeitsschwelle, bei deren Überschreitung die Fortführung von Bauarbeiten nur unter Berücksichtigung und Vereinbarung besonderer Maßnahmen möglich ist.

Maßnahmen / Handlungsanleitungen zur Minderung erheblicher Belästigungen nach [2].
Hinweis: Die Maßnahmen a) bis e) sind vor Beginn der erschütterungsverursachenden Baumaßnahmen durchzuführen.

- a) Umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahmen, die 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 Erschütterungseinwirkungen haben.
- e) Information der Betroffenen über die Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude.
- f) Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkungen auf Menschen und Gebäude.

7.2.2 Einwirkung auf bauliche Anlagen

Für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen wird die DIN 4150 Teil 3 [3] herangezogen. Die Norm nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schädigungen im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht zu erwarten sind. Eine Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden oder Gebäudeteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne dieser Norm ist zum Beispiel die Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und Bauteilen sowie die Verminderung der Tragfähigkeit von Decken. Bei Wohngebäuden wird auch bei Rissbildung in Putz und Wänden von einer Minderung des Gebrauchswertes ausgegangen.

Die für kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen geltenden Anhaltswerte sind in der folgenden Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v , zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke nach DIN 4150-3, Tabelle 1

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v , in mm/s			
		Fundament			oberste Deckenebene, horizontal
		1 - 10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100 Hz	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
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15
3	besonders erhaltenswerte Bauten mit besonderer Erschütterungsempfindlichkeit, (z.B. unter Denkmalschutz stehend)	3	3 bis 8	8 bis 10	8

Als kurzzeitig sind Erschütterungen definiert, deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungserscheinungen hervorzurufen und deren zeitliche Abfolge nicht geeignet ist, um in der betroffenen Struktur Resonanz zu erzeugen. Als kurzzeitige Erschütterungen (instationäre Einwirkungen) sind Einwirkungen zu werten, die z. B. bei Rammarbeiten mittels Schlagramme entstehen.

Treten kurzzeitig Deckenschwingungen auf, so ist bei einer vertikalen Schwinggeschwindigkeit $v_z \leq 20$ mm/s am Ort mit der größten Schwinggeschwindigkeit, im allgemeinen in Deckenmitte, eine Verminderung des Gebrauchswertes der Decken nicht zu erwarten.

Anhaltswerte für → Dauererschütterungen auf Bauwerke sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Hier werden für verschiedene Gebäudearten Maximalwerte der beiden horizontalen Einzelkomponenten $v_{x,y}$ in der obersten Deckenebene für eine Beurteilung herangezogen.

Tabelle 4: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke nach DIN 4150-3

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s	
		oberste Deckenebene, horizontal alle Frequenzen	
1	2	3	
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10	
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	
3	Besonders erhaltenswerte Bauten mit besonderer Erschütterungsempfindlichkeit, (z.B. unter Denkmalschutz stehend)	2,5	

Werden die o.g. Anhaltswerte eingehalten, treten nach den bisherigen Erfahrungen Schäden als Folge der Einwirkung nicht auf. Werden diese Werte überschritten, so folgt daraus allerdings auch nicht unbedingt, dass Schäden auftreten müssen.

Vertikale Schwinggeschwindigkeiten bis $v_{max} = 10$ mm/s führen bei Geschossdecken in Gebäuden nach obiger Tabelle, Zeilen 1 und 2 erfahrungsgemäß nicht zu Schäden. Bei Gebäuden nach Zeile 3 wird kein Anhaltswert angegeben.

7.2.3 Einwirkung auf erdverlegte Rohrleitungen

Für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf erdverlegte Rohrleitungen sind nach DIN 4150-3 folgende Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i heranzuziehen.

Tabelle 5: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen und dauerhaften Erschütterungen auf erdverlegte Rohrleitungen

Zeile	Leitungsbaustoffe	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s auf die Rohrleitung	
		kurzzeitig	dauerhaft
1	Stahl, geschweißt	100	50
2	Steinzeug, Beton, Stahlbeton, Spannbeton, Metall mit oder ohne Flansche	80	40
3	Mauerwerk, Kunststoff	50	25

7.3 Standortbezogener Immissionsschutz

Die Art der baulichen Nutzung ergibt sich aus Festsetzungen in Bebauungsplänen. Für sonstige in Bebauungsplänen festgesetzte Flächen sowie für Anlagen und Gebiete, für die keine Festsetzungen bestehen, erfolgt die Beurteilung entsprechend ihrer tatsächlichen Nutzung und der daraus abzuleitenden Schutzbedürftigkeit.

Für die nördlich, östlich und westlich des Baugebietes zu betrachtenden städtischen Gebiete liegen rechtswirksame Bebauungspläne vor. Von allen in [9] genannten B-Plänen beinhaltet nur einer (B-Plan 67 1/2) die Nutzung von Wohnbauflächen. Hauptsächlich werden gewerbliche (Photovoltaik, Handel und Dienstleistungen) und öffentliche Nutzungen festgelegt.

Die Festlegung der Schutzbedürftigkeit und Klassifizierung in Schutzkategorien zur Ermittlung von Schutzansprüchen in nicht beplanten Gebieten erfolgt i. d. R. nach augenscheinlicher Feststellung der tatsächlichen Nutzungen in den Ortslagen durch den Planer und Gutachter. Der Flächennutzungsplan der Stadt Rendsburg wird dabei ergänzend hinzugezogen.

- Schutzkategorie 1 mit dem höchsten Schutzanspruch. Dazu zählen insbesondere Einrichtungen wie Krankenhäuser, Kinder-, Wohn- und Pflegeheime.
 - Einrichtungen dieser Art liegen im näheren (erschütterungstechnisch relevanten) Umkreis des Baugebietes nicht vor.

- Schutzkategorie 2 : Dazu zählen alle Bereiche, in deren Umgebung sich vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen befinden, nach §2 - 4 BauNVO reine und allgemeine Wohngebiete sowie Kleinsiedlungsgebiete.
 - Stadtgebiet Rotenhof. Der südlich des Baugebietes gelegene nicht beplante Wohnbereich wird nach augenscheinlich festgestellter baulicher Nutzung dieser Kategorie zugeordnet. Dazu zählen im Einzelnen die Wohnbauten südlich der Bahnstrecke 1012 - Heider Weg, Marner Weg und Meldorfer Weg

- Schutzkategorie 3 (Mischgebiet) Dazu zählen auch Kleingärten (vgl. BVerwG, Beschluss vom 17.3.1992 - 4 B 230/91 - NVwZ 1992,885). Bei Kleingartenanlagen mit Gartenhäusern, die nicht dauernd zum Wohnen genutzt werden dürfen, ist ausschließlich der Tagwert des Beurteilungspegels maßgebend. Diese Regelung trifft auch für Gebiete und Anlagen, bei denen die schutzbedürftige Nutzung bestimmungsgemäß ausschließlich am Tag ausgeübt wird, also z.B. auch für Schulen, Kindergärten, Kindertagesstätten und Bürogebäude. Für eine Bewertung werden lediglich die Beurteilungspegel für den Zeitraum Tag (06 - 22 Uhr) herangezogen.

Die Schutzbedürftigkeit von Wohn- und Bürobauten wird unterschiedlich behandelt. Bürogebäude und andere mit vergleichbarer Nutzung werden analog der Lage in einem Gewerbegebiet beurteilt, zum Wohnen genutzte Gebäude gemäß der für „Mischgebiete“ (MI) anzuwendenden Beurteilungsgrundlagen.

- Kindertagesstätten und Schulen sind im näheren (erschütterungstechnisch relevanten) Umkreis des Baugebietes nicht vorhanden
- Stadtgebiet Suhmsheide. Für den Wohnbereich südlich der Loher Straße und westlich der Friedrichstädter Straße ist nach B-Plan 67/1 eine baulich gemischte Nutzung festgelegt (MI gemäß §6 BauNVO).

Als diesbezüglich schutzbedürftig werden nur die nächstgelegenen Wohnbauten an der Friedrichstädter Straße (Nr. 23 bis 43) angesehen

- Stadtgebiet Rotenhof - Bauflächen Sandhof. Für den südwestlich des Baugebietes gelegenen Wohnbereich ist nach B-Plan 67/1 eine baulich gemischte Nutzung festgelegt (MI gemäß §6 BauNVO).

- Kleingartengebiet - KGA „Rotenhof“ südlich des Baugebietes an der Bahnstrecke 1012 (km 2,1 bis 2,4)

- Ausbildungsstätte der Kreishandwerkerschaft KöR (Lundener Straße 1). Gemäß B-Plan 67/1 mit Lage in einem Gewerbegebiet mit eingeschränkter gewerblicher Nutzung (GEe)

→ Schutzkategorie 4 (Gewerbegebiet) mit vorwiegend gewerblicher Nutzung (Handel, Dienstleistungen, Energieerzeugung) liegt in unmittelbarer Nachbarschaft nördlich (Loher Straße), westlich (Friedrichstädter Straße Lundener Straße) und südwestlich (Sandhof) sowie östlich (Anton-Schmid-Straße, Erich-Mahrt-Straße) vor.

Besonders schutzbedürftige Bauten sind auf den gewerblich genutzten Flächen nicht vorhanden.

Informationen über Anforderungen an die (besondere) Schutzbedürftigkeit hinsichtlich Erschütterungseinwirkungen der mit Photovoltaik-Anlagen bebauten Flächen in unmittelbar angrenzender östlicher Nachbarschaft (Erich-Mahrt-Straße) liegen nicht vor. Diesbezüglich ggf. bestehende Anforderungen (Standicherheit) können nur vom Betreiber der Anlagen bekannt gegeben werden.

Die jeweils anzuwendenden Immissionsrichtwerte bzw. Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen aus Baubetrieb sind in den Tabellen 1 und 2 im Punkt 7.2 enthalten.

8. Erschütterungsberechnungen

8.1 Einwirkung auf bauliche Anlagen

Schlagammung - Gründung Fahrleitungsmaste

Rammgründungen für Fahrleitungsmaste und ggf. auch für Signalstandorte sind nicht vorgesehen. Die im Folgenden zu Erschütterungseinwirkungen in Gebäuden aus Schlagammungen gemachten Angaben sind deshalb nur für den informativen Gebrauch anzusehen.

Elektrische Fahrleitung (Oberleitung) wird nur im Bereich Übergabe (Behandlungsbahnsteige) errichtet. Sie soll u. A. auch der zum Aufladen der Batterien in den Triebfahrzeugen erforderlichen Stromversorgung dienen. Die Entfernung einzelner möglicher Rammpunkte für Fahrleitungs- und/oder Abspannmaste zu östlich nächstgelegenen gewerblich genutzten Bauten (Erich-Mahrt-Straße 10/12) wird nicht weniger als 33 m betragen. Die Entfernung zu Wohnbauten in der Friedrichstädter Straße westlich (Nr. 29) wird nicht geringer als $r \geq 300$ m und die zu Wohnbauten im Heider Weg südlich (Nr. 9) nicht geringer als $r \geq 225$ m sein. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass in den übrigen noch weiter entfernt gelegenen Bereichen mit vorliegender gewerblicher und Wohnnutzung nur noch mit sehr geringfügigen und kaum noch spürbaren aus Schlagammungen hervorgehenden Erschütterungsimmissionen zu rechnen wäre.

Erschütterungsquelle

z.B. Dieselmotor D12- 42,
 → keine Resonanzeffekte

Parameter

Schlaggewicht (Kolben)	m_{\max}	\approx	1250 kg
Frequenz (Schlagzahl)	f	$\langle \rangle$	42 - 60 / min
maximale Energie pro Rammschlag	E	\approx	46 kNm

Objekt(e): Erich-Mahrt-Straße 12 (gewerbliche Nutzung)

geringste Entfernung zwischen E-Quelle und Bebauung	r	\approx	33 m
Proportionalitätsfaktor (günstig, $\ddot{U}_w = 50\%$)	K_1	$=$	2,45
Proportionalitätsfaktor (ungünstig, $\ddot{U}_w = 2,25\%$)	K_2	$=$	3,82
Bauwerk-Boden-Eigenfrequenz (1-2 geschossig)	f_B	$<$	15 Hz
Bauwerk-Boden-Eigenfrequenz (2-6 geschossig)	f_B	$<$	8 - 12 Hz

Fundament-Schwinggeschwindigkeit

$$0,50 \leq v_{i,\max}^F \leq 0,79 \text{ mm/s}$$

- zulässige Fundamentalschwinggeschwindigkeit für

gewerblich genutzte Bauten nach Tab.1 [3] (bis 10 Hz)

$$v_{i,\max}^F \leq \mathbf{20} \text{ mm/s}$$

Wohngebäude nach Tab.1 [3] (bis 10 Hz)

$$v_{i,\max}^F \leq \mathbf{5} \text{ mm/s}$$

empfindliche Bausubstanz nach Tab. 1 [3] (bis 10 Hz)

$$v_{i,\max}^F \leq \mathbf{3} \text{ mm/s}$$

Je nach vorliegenden Bodenverhältnissen (hart, mittel, weich) auf dem Ausbreitungsweg zwischen Erschütterungsquelle und nächstgelegenen Gebäuden (gewerblich genutzte Gebäude bis $r \leq 33$ m) sind im ungünstigsten Fall (Überschreitungswahrscheinlichkeit $\ddot{U}w = 2,25\%$) horizontale Schwinggeschwindigkeiten von Bauteilen in den Obergeschossen in Höhe von $0,24 < v_h^{OG} < 0,94$ mm/s zu erwarten.

In den weiter entfernt gelegenen Wohnbauten, z.B. im Heider Weg ($r \geq 225$ m, WH Nr. 9), sind im ungünstigsten Fall (Überschreitungswahrscheinlichkeit $\ddot{U}w = 2,25\%$) horizontale Schwinggeschwindigkeiten von Bauteilen in Obergeschossen von $0,06 < v_h^{OG} < 0,23$ mm/s zu erwarten.

Die im ungünstigsten Fall maximal zu erwartenden Einwirkungen liegen damit noch weit unter den nach [3] für kurzzeitig und / oder dauerhaft zulässige Schwinggeschwindigkeiten von Bauteilen (Wände) in horizontaler Richtung geltenden Richtwerten für als „normal“ und auch von als „erschütterungsempfindlich“ einzustufenden Bauten ($v_h^{OG} K_{zul} < 8$ mm/s, $v_h^{OG} D_{zul} < 2,5$ mm/s).

Verkehrswegebau - Tragschichtverdichtung (Gleiszufahrt)

Mit einer im Verkehrswegebau zur Tragschichtverdichtung üblicherweise eingesetzten Vibrationswalze oder Walzenzug ($G = 14,5 \text{ t}$) sind im nächstgelegenen Wohnbereich (WH Meldorfer Weg 30a, Entfernung zum Zufahrtsgleis $r_{\min} \geq 60 \text{ m}$) Fundament- und Bauteilschwingungen wie folgt zu erwarten.

Erschütterungsquelle

Parameter

Betriebsgewicht
 Leistung
 Siebfrequenz
 Energie

Vibrationswalze z.B. CAT CS-64

→ keine Resonanzeffekte

$G = 14,5 \text{ t}$
 $W_{\max} = 108 \text{ kW}$
 $f > 23 / 32 \text{ Hz}$
 $E \leq 4,7 / 3,4 \text{ kNm}$

Objekt(e): Wohnhaus Meldorfer Weg 30a

geringste Entfernung zur (gewerblichen) Bebauung

$r \approx 60 \text{ m}$

Proportionalitätsfaktor (günstig)

$K_1 = 4,31$

Proportionalitätsfaktor (ungünstig)

$K_2 = 10,87$

Bauwerk-Boden-Eigenfrequenz (1-2 geschossig)

$f_B < 15 \text{ Hz}$

Bauwerk-Boden-Eigenfrequenz (2-6 geschossig)

$f_B < 8 - 12 \text{ Hz}$

Fundament-Schwinggeschwindigkeit

$0,27 \leq v_{i,\max}^F \leq 0,69 \text{ mm/s}$

- zulässige Fundamentschwinggeschwindigkeit für

gewerblich genutzte Bauten nach Tab.1 [3] (bis 10 Hz)

$v_{i,\max}^F \leq 20 \text{ mm/s}$

Wohngebäude nach Tab.1 [3] (bis 10 Hz)

$v_{i,\max}^F \leq 5 \text{ mm/s}$

empfindliche Bausubstanz nach Tab. 1 [3] (bis 10 Hz)

$v_{i,\max}^F \leq 3 \text{ mm/s}$

Bauteilschwingungen

Übertragungsfaktoren

Horizontale Schwinggeschwindigkeiten (Wände, Decke)

$0,5 \leq k_{x/y}^{F-OG} \leq 2,0$

Vertikale Schwinggeschwindigkeit in Deckenmitte

- kein Resonanzfall, Vibrationsfrequenz $f > f_R + 5 \text{ Hz}$

$k_{z,\max}^{F-D} < 1,5$

- im Resonanzfall Holzbalkendecken ($f_R \approx 11 \text{ Hz}$)

$k_{z,\max}^{F-D} < 15$

Stahlbetondecken ($f_R \leq 25 \text{ Hz}$)

$k_{z,\max}^{F-D} < 10$

Bauteil - Schwinggeschwindigkeiten - (für Bauteile im OG)

horizontal	(Boden hart)	$v_h^{OG} < 0,5 \cdot v_{i,max}^F$	0,14 < v_h^{OG} < 0,34 mm/s
horizontal	(Boden weich)	$v_h^{OG} < 2,0 \cdot v_{i,max}^F$	0,55 < v_h^{OG} < 1,38 mm/s
horizontal	(mittlerer Boden)	$v_h^{OG} < 1,25 \cdot v_{i,max}^F$	0,34 < v_h^{OG} < 0,86 mm/s
vertikal	Deckenmitte (keine Resonanzeffekte)	$v_{z,max}^D < 1,5 \cdot v_{i,max}^F$	0,41 < $v_{z,max}^D$ < 1,03 mm/s

Anhaltswerte für Dauererschütterungen nach Tab. 3 [3]

horizontal	empfindliche Bauten	$v_h^{OG} \leq$	2,5 mm/s
horizontal	Wohngebäude	$v_h^{OG} \leq$	5,0 mm/s
horizontal	gewerblich genutzte Bauten	$v_h^{OG} \leq$	10,0 mm/s
vertikale in Deckenmitte		$v_{z,max}^D =$	10 mm/s

Überschreitungen zulässiger Anhaltswerte für → gewerblich genutzte Bauten, → (normale) Wohnbauten und auch → empfindliche Bauten nach [3] sind nicht zu erwarten. Schäden an/in Wohnbauten sind in noch größeren Entfernungen zu möglichen Erschütterungsquellen (Heider Weg, Marnar Weg, Friedrichstädter Straße) grundsätzlich auszuschließen.

Je nach vorliegenden Bodenverhältnissen auf dem Ausbreitungsweg zu Wohnbauten (hart, mittel, weich) sind horizontale Schwinggeschwindigkeiten von Bauteilen in Obergeschossen in Höhe von **0,14** < v_h^{OG} < **0,55** mm/s wahrscheinlich. Im ungünstigsten Fall wären auch horizontale Schwinggeschwindigkeiten bis $v_h^{OG} < 1,4$ mm/s möglich. Der Anhaltswert für die zulässige Schwinggeschwindigkeit von Bauteilen (Wände) in horizontaler Richtung bei Einwirkungen auf „Wohngebäude“ beträgt $v_{i,max} \leq 5,0$ mm/s.

Für als → erschütterungsempfindlich einzustufende Bauten kann erst in einem Entfernungsbereich $r_{min} < 14$ m zur Erschütterungsquelle die Überschreitungen von zulässigen Anhaltswerten für Dauererschütterungen auch im wahrscheinlichen Fall und Vorliegen weicher Bodenverhältnisse nicht mehr ausgeschlossen werden. Der Anhaltswert für die zulässige Schwinggeschwindigkeit von Bauteilen (Wände) in horizontaler Richtung und bei Einwirkungen auf „empfindliche Bauten“ beträgt $v_{i,max} = 2,5$ mm/s. Vertikal sind in Obergeschossen in Deckenmitte im ungünstigsten Fall Schwinggeschwindigkeiten von $v_{z,max}^D \approx 1$ mm/s zu erwarten, zulässig wären $v_{z,max}^D = 10$ mm/s.

Auch mit den Unsicherheiten im Bezug auf die konkret vorliegende Bodenverhältnisse sind keine im Rahmen der Beweissicherung durchzuführende messtechnische Ermittlungen zur Feststellung der tatsächlichen Höhe von in nächstgelegenen Gebäuden zu erwartender Erschütterungseinwirkungen erforderlich. Eine Notwendigkeit von vorsorglich zu treffenden Minderungsmaßnahmen und/oder einer dauerhaften Überwachung während der realen Bautätigkeit besteht nicht.

8.2 Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

In der Regel werden die für die Einwirkung an Aufenthaltsorten von Menschen in Gebäuden nach DIN 4150-2 relevanten Beurteilungsgrößen, die → maximale bewertete Schwingstärke (KB_{Fmax}) und ggf. auch die → Beurteilungsschwingstärke (KB_{FT}), auf Grundlage bekannter Emissionsspektren für maßgebliche Erschütterungen sowie unter Einbeziehung von Übertragungs- und Transferfunktionen bestimmt. Näherungsweise kann dafür aber auch die an Aufenthaltsorten von Menschen auftretende und noch unbewertete maximale Schwinggeschwindigkeit v_{max} als Ausgangsgröße herangezogen werden.

Die für eine Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen an Aufenthaltsorten von Menschen maßgeblichen Beurteilungsgrößen KB_{Fmax} und KB_{FT} können aus dem nach [3] ermittelten Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit $v_{z,max}$ in Deckenmitte nach DIN 4150-2 [2] abgeschätzt werden. Die dazu erforderliche KB Bewertung wird wie folgt ausgeführt.

$$KB = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{v_{max}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_o}{f}\right)^2}}$$

mit	f	Frequenz in Hz (Terzfrequenzen $5 \text{ Hz} \leq f_{mT} \leq 80 \text{ Hz}$)
	f_o	5,6 Hz (Grenzfrequenz Hochpass – KB Bewertung)
	v_{max}	maximale Schwingschnelle in mm/s
	KB	Schwingstärke (ohne Dimension)

Der Schätzwert der bewerteten Schwingstärke KB^*_{Fmax} wird mit Hilfe der Konstanten c_F ermittelt, die auf Erfahrungswerten für verschiedene Arten von Erschütterungseinwirkungen beruhen und aus Tab. 3 DIN 4150-2 entnommen werden.

$$KB^*_{Fmax} = KB \cdot c_F$$

mit	c_F	0,8	für Einzelereignisse kurzer Dauer - mit Resonanzbeteiligung für stochastische Schwingungen und periodische Vorgänge - mit Resonanzbeteiligung
	c_F	0,7	für stochastische Schwingungen und periodische Vorgänge - ohne Resonanzbeteiligung (auf nicht unterkellerten Fußböden)

Die Bestimmung einer ggf. erforderlichen Beurteilungsschwingstärke KB^*_{FT} erfolgt mit Einbeziehung einer "Betriebs- oder Einwirkungsdauer" sowie den Beurteilungszeiten (Tag / Nacht) analog [2].

Bei → **Rammungen (Gründung Fahrleitungsmaste)** sind in nächstgelegenen Wohngebäuden mit Entfernungen von mindestens $r \geq 100$ m zur Erschütterungsquelle (Ramppunkte) an Aufenthaltsorten von Menschen die folgenden bewerteten Schwingstärken (KB-Werte) zu erwarten.

Betroffen sind hier zunächst keine konkret zu nennenden Wohngebäude, da nächstgelegene Wohnbauten (Heider Weg) sich erst in $r \geq 225$ m Entfernung befinden. Aus Rammungen (z.B. Gründung von Fahrleitungsmaste Baugruben etc.) an konkreten Wohnbaustandorten hervorgehende Erschütterungseinwirkungen werden deshalb nur noch geringfügig und ohne relevante Bedeutung sein. Die hier zu Schlagrammungen gemachten Angaben sind nur informativ zu bewerten, da Gründungen von Fahrleitungsmasten mittels Rammung nicht vorgesehen sind.

1. - bei Rammung mit Schlagramme

(z.B. Dieselbär D12- 42, E = 46 kNm)

nächstgelegene Entfernung zur Erschütterungsquelle	r	\geq	100 m
maximale Schwinggeschwindigkeit (OG, Deckenmitte)	$0,25 \leq v_{\max}$	\leq	0,39 mm/s
bew. Schwingstärke (ungünstiger Wert $\ddot{U}_w = 2,25\%$)	$KB^*_{F_{\max}}$	\leq	0,55
bew. Schwingstärke (wahrscheinlicher Wert $\ddot{U}_w = 50\%$)	$KB^*_{F_{\max}}$	\leq	0,35 ←
unterer Anhaltswert (Stufe II, $D \leq 1$ (bis 5) Tage)	A_u	$=$	1,2 ←
unterer Anhaltswert (Stufe II, $6 \leq D \leq 26$ Tage)	A_u	$=$	0,8
oberer Anhaltswert	A_o	$=$	5

2. - bei Vibrationsrammung

(z.B. MOVAX MH-4 HFBS, $W_{\max} = 100$ kW)

nächstgelegene Entfernung zur Erschütterungsquelle	r	\geq	100 m
Arbeits-Schwingfrequenz	f_{\max}	$=$	47 Hz
maximale Schwinggeschwindigkeit (OG, Deckenmitte)	$0,17 \leq v_{\max}$	\leq	0,41 mm/s
bew. Schwingstärke (ungünstiger Wert $\ddot{U}_w = 2,25\%$)	$KB^*_{F_{\max}}$	\leq	0,67
bew. Schwingstärke (wahrscheinlicher Wert $\ddot{U}_w = 50\%$)	$KB^*_{F_{\max}}$	\leq	0,28 ←
unterer Anhaltswert (Stufe II, $D \leq 1$ (bis 5.) Tag)	A_u	$=$	1,2 ←
unterer Anhaltswert (Stufe II, $6 \leq D \leq 26$ Tage)	A_u	$=$	0,8
oberer Anhaltswert	A_o	$=$	5

3. - bei Vibrationsrammungen

(z.B. MÜLLER MS-16 HFV, $W_{\max} = 297$ kW)

nächstgelegene Entfernung zur Erschütterungsquelle	r	\geq	100 m
Arbeits-Schwingfrequenz	f_{\max}	$=$	39 Hz
maximale Schwinggeschwindigkeit (OG, Deckenmitte)	$0,33 \leq v_{\max}$	\leq	0,77 mm/s
bew. Schwingstärke (ungünstiger Wert $\ddot{U}_w = 2,25\%$)	$KB^*_{F_{\max}}$	\leq	1,26
bew. Schwingstärke (wahrscheinlicher Wert $\ddot{U}_w = 50\%$)	$KB^*_{F_{\max}}$	\leq	0,54 ←
unterer Anhaltswert (Stufe II, $D \leq 1$ (bis 5.) Tag)	A_u	$=$	1,2 ←
unterer Anhaltswert (Stufe II, $6 \leq D \leq 26$ Tage)	A_u	$=$	0,8
oberer Anhaltswert	A_o	$=$	5

Bei → **Boden- oder Tragschichtverdichtung** mittels Vibrationswalzenzügen und/oder -platten sowie Tandem-Vibrationswalzen werden in den jeweils nächstliegenden Wohngebäuden mit Entfernungen von $r \geq 60 \text{ m}$ (WH Meldorfer Weg 30a) folgende Schwingstärken an Aufenthaltsorten von Menschen in Gebäuden zu erwarten sein.

1. Boden- / Tragschichtverdichtung mit Vibrationswalzenzug

z.B. CAT CS - 64

($W_{\max} = 108 \text{ kW}$, $E \leq 4,7 \text{ kNm}$)

nächstgelegene Entfernung zur Erschütterungsquelle
 maximale Schwinggeschwindigkeit (OG, Deckenmitte)

$$r \geq 60 \text{ m}$$

$$0,25 \leq v_{\max} \leq 0,62 \text{ mm/s}$$

bew. Schwingstärke (ungünstiger Wert $\ddot{U}_w = 2,25\%$)
 bew. Schwingstärke (wahrscheinlicher Wert $\ddot{U}_w = 50\%$)

$$KB^*_{F_{\max}} \leq 1,69$$

$$KB^*_{F_{\max}} \leq 0,67$$

unterer Anhaltswert (Stufe II, $D \leq 1 \text{ Tag}$)
 unterer Anhaltswert (Stufe II, $6 \leq D \leq 26 \text{ Tage}$)
 oberer Anhaltswert

$$A_u = 1,2$$

$$A_u = 0,8$$

$$A_o = 5$$

2. Boden- / Tragschichtverdichtung mit Vibrationsplatte

z.B. Wacker Neuson DPU 130r

($G = 1,2 \text{ t}$, $W_{\max} = 16 \text{ kW}$, $E \leq 0,5 \text{ kNm}$)

nächstgelegene Entfernung zur Erschütterungsquelle
 maximale Schwinggeschwindigkeit (OG, Deckenmitte)

$$r \geq 60 \text{ m}$$

$$0,07 \leq v_{\max} \leq 0,18 \text{ mm/s}$$

bew. Schwingstärke (ungünstiger Wert $\ddot{U}_w = 2,25\%$)
 bew. Schwingstärke (wahrscheinlicher Wert $\ddot{U}_w = 50\%$)

$$KB^*_{F_{\max}} \leq 0,49$$

$$KB^*_{F_{\max}} \leq 0,20$$

unterer Anhaltswert (Stufe II, $D \leq 1 \text{ Tag}$)
 unterer Anhaltswert (Stufe II, $6 \leq D \leq 26 \text{ Tage}$)
 oberer Anhaltswert

$$A_u = 1,2$$

$$A_u = 0,8$$

$$A_o = 5$$

Anmerkung: Die Anwendung der Stufe II gemäß Tab. 2 in [2] setzt die Maßnahmen a) bis e) und ggf. auch f) zur Minderung erheblicher Belästigungen voraus (Information der Betroffenen, Aufklärung über Unvermeidbarkeit, Anlagenbetriebsweise, etc.).

3. Asphaltverdichtung mit Vibrationswalze

z.B. BOMAG BW 190 ADO-5

($G = 12,8 \text{ t}$, $W_{\max} = 95 \text{ kW}$, $E \leq 2,4 \text{ kNm}$)

nächstgelegene Entfernung zur Erschütterungsquelle
 maximale Schwinggeschwindigkeit (OG, Deckenmitte)

$$r \geq 15 \text{ m}$$

$$0,23 \leq v_{\max} \leq 0,58 \text{ mm/s}$$

bew. Schwingstärke (ungünstiger Wert $\ddot{U}_w = 2,25\%$)
 bew. Schwingstärke (wahrscheinlicher Wert $\ddot{U}_w = 50\%$)

$$KB^*_{F_{\max}} \leq 1,55$$

$$KB^*_{F_{\max}} \leq 0,64$$

unterer Anhaltswert (Stufe II, $D \leq 1 \text{ Tag}$)
 unterer Anhaltswert (Stufe II, $6 \leq D \leq 26 \text{ Tage}$)
 oberer Anhaltswert

$$A_u = 1,2$$

$$A_u = 0,8$$

$$A_o = 5$$

Die Ergebnisse machen deutlich, dass sowohl bei → Schlag- und/oder Vibrationsrammungen als auch bei → Boden-, Trag- und Asphalt-schichtverdichtungen mit Vibrationswalzen oder -platten mit/ohne Einsatz von Technologien mit minimalen zu erwartenden Bodenerschütterungen (z.B. Müller MS-16 HFV, HAMM HD 14 VO) der → Untere Anhaltswert A_u für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnräumen für Stufe II (Information, Aufklärung etc.) und Einwirkdauer von → $D \leq 1$ Tag zur Tagzeit für den wahrscheinlichen Fall durch maximal zu erwartende bewertete Schwingstärken $KB^*_{F_{max}}$ nicht überschritten wird.

Bei Boden- und Tragschichtverdichtungen mittels üblicherweise im Verkehrswegebau eingesetzter Vibrationswalzen ($W_{max} \approx 95 - 110$ kW) liegt eine Überschreitung des → Unteren Anhaltswertes A_u für Entfernungen bis $r \approx 35$ m zu nächstgelegenen Wohnbauten vor. Mit einer Überschreitung des → Oberen Anhaltswertes A_o ist im wahrscheinlichen Fall bis zu einer Mindestentfernung von $r \geq 8$ m nicht zu rechnen.

Bei Boden- und Tragschichtverdichtungen mit Vibrations- bzw. Rüttelplatten, hier z. B. mit Wacker Neuson DPU 130r, wird es im wahrscheinlichen Fall (ÜW 50%) nur in Gebäuden mit Entfernungen von $r < 10$ m zur Verdichtungsquelle zu Überschreitungen des → Unteren Anhaltswertes A_u kommen. Eine Überschreitung des → Oberen Anhaltswertes A_o ist auch im unwahrscheinlichen Fall (ÜW 2,25%) nicht zu erwarten.

Bei Verdichtung von Boden-, Tragschichten und Asphalt-schichten mittels Tandemwalzen, hier z.B. mit einer leistungsmäßig kleineren Ausführung sowie in Kombination von Vibrations- und Oszillationsbandage (vorn/hinten), z.B. HAMM HD 14 CompactLine / Baureihe H201 ($W_{max} \approx 35$ kW, $G = 5,6$ t), werden im wahrscheinlichen Fall nur in Gebäuden mit Entfernungen bis $r < 21$ m zur Verdichtungsquelle Überschreitungen des → Unteren Anhaltswertes A_u zu erwarten sein. Mit Überschreitung des → Oberen Anhaltswertes A_o ist im wahrscheinlichen Fall bis zu einer Mindestentfernung von $r \geq 5$ m ebenfalls nicht zu rechnen. Resonanzeffekte werden zunächst nicht einbezogen.

Bei zu erwartender Überschreitung des → Unteren Anhaltswertes A_u durch erschütterungsintensive Baumaßnahmen innerhalb der o.g. Entfernungsbereiche wird für eine Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen die Einbeziehung deren zeitlicher Dauer erforderlich. Als Beurteilungsgröße wird dann die → Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} herangezogen.

In der nächstgelegenen Nachbarschaft um das gesamte Baufeld gibt es keine Wohnbauten innerhalb der o.g. kritischen Entfernungen zu Erschütterungsquellen an Standorten für ggf. stattfindende Rammgründungen und/oder Tragschichtverdichtungen im Bereich von vorgesehenen Bahnanlagen oder Straßenverkehrswegen. Die Entfernung zu benachbarten nächstgelegenen Wohnbauten beträgt weit über 60 m (Wohnbauten Friedrichstädter Straße $r_{min} \approx 180$ m, Heider Weg/Sandhof $r_{min} > 130$ m). Überschreitungen von Unteren und Oberen Anhaltswerten (A_u, A_o) aus erschütterungsintensiven Bauabläufen in nächstgelegene Wohnbauten einwirkender maximaler Schwingstärken (KB_{Fmax}) sind auf Grund der großen Entfernungen zu den Standorten möglicher Erschütterungsquellen nicht zu erwarten. Einschränkungen in der täglichen Betriebsdauer sowie die Ermittlungen von Beurteilungsschwingstärken (KB_{FTr}) sind damit nicht notwendig und nicht erforderlich.

Abschließend soll die Auswirkungen auf den Betrieb von erschütterungsintensiven Bauabläufen beispielhaft für die Lage eines schutzbedürftigen Wohngebäudes innerhalb einem der o.g. kritischen Entfernungsbereiche zu Erschütterungsquellen, hier der beispielhaft angenommener Standort eines Wohnhauses in $r = 15$ m Entfernung, erläutert werden.

Für die Anwendung der Stufe 2 gemäß Tab. 2 [2] mit Dauer der Einwirkung $D \leq 1$ Tag beträgt der \rightarrow Beurteilungs-Anhaltswert für die bewertete Schwingstärke $A_r = 0,8$. Das heißt, für die Einhaltung des o.g. Beurteilungs-Anhaltswertes A_r ist u. U. eine Einschränkung in der täglichen Betriebsdauer sowohl für den Rammbetrieb als auch für die Boden-, Trag- und Asphalt-schichtverdichtungen mittels Vibrationswalzen, Walzenzügen und/oder Vibrationsplatten erforderlich. Die ggf. zu erwartenden Einschränkungen betreffen dabei nur den Baubetrieb innerhalb der o. g. „kritischen“ Entfernungsbereiche.

Beispiel: Vibrationsrammungen (Verbau, Trog, Gründung etc.)
 mit Baugerät - MÜLLER MS-16 HFV ($W_{max} = 297$ kW)

- betroffene Wohnbebauung	z.B. Wohnhaus in 15 m Entfernung		
- Entfernung zur WB	r	=	15 m
- bew. Schwingstärke	KB^*_{Fmax}	=	3,57 (wahrscheinlicher Wert)
- Taktmaximal-Effektivwert	KB_{FTm}	=	KB^*_{Fmax} (ungünstigster Fall)
- bauzeitliche Einwirkung	D	=	≤ 1 Tag
	Stufe II		
- unterer Anhaltswert	A_u	=	1,2
- oberer Anhaltswert	A_o	=	5
- Beurteilungs-Anhaltswert	A_{rT}	=	0,8
- Beurteilungszeit	T_r	=	16 h = 960 min = 57600 s
- Einwirkdauer	T_e	=	??
- Zahl der 30-sec Takte	N_r	=	1920
- Beurteilungs-Schwingstärke	KB_{FT_r}	=	$KB_{FTm} \cdot \sqrt{T_e / T_r}$
	KB_{FT_r}	\leq	A_{rT}

Ergebnis:

- maximale Betriebszeit	$T_{e,max}$	=	$(KB_{FT_r}/KB_{FTm})^2 \cdot T_r$
	$T_{e,max}$	\leq	48 min (reine Rammzeit)

Hinweis: - Der obere Anhaltswert wird erst bei Unterschreitung einer Mindestentfernung zur nächstgelegenen Wohnbebauung (WB) von $r_{min} = 11$ m überschritten.
 - Als Rammbetrieb ist hier nur der erschütterungsintensive Betrieb anzusehen. Die Einrichtungszeit gehört nicht dazu.

Der Rammungen werden mehrere Tage in Anspruch nehmen. Mit längerer werdender Dauer (D) der Erschütterungseinwirkungen verringert sich auch der nicht zu überschreitende \rightarrow Beurteilungs-Anhaltswert für die bewertete Schwingstärke z.B. von $A_r = 0,8 / D = 1$ Tag auf $A_r = 0,72 / D = 3$ Tage Einwirkdauer.

Die zur Einhaltung von Beurteilungs-Anhaltswerten sich jeweils ergebenden täglich möglichen Betriebszeiten für die Dauer von Rammwirkungen bis zu 6 Tagen sind in der folgenden Übersicht dargestellt.

Mittlere Entfernung zur Wohnbebauung mit Schutzanspruch $r_m = 15 \text{ m}$

Dauer der Einwirkung	1 Tag	$A_{r,T} = 0,8$	Rammzeit:	48 min / Tag
	2 Tage	$A_{r,T} = 0,76$		43 min / Tag
	3 Tage	$A_{r,T} = 0,72$		39 min / Tag
	4 Tage	$A_{r,T} = 0,68$		35 min / Tag
	5 Tage	$A_{r,T} = 0,64$		31 min / Tag
	6 Tage	$A_{r,T} = 0,6$		27 min / Tag

Mit wachsender Entfernung zu Wohnbereichen verringert sich die bewertete Schwingstärke KB^*_{Fmax} , so dass die Betriebszeit länger ausfallen kann. Die Abhängigkeit der täglichen Betriebszeit von der Entfernung zu Wohnbauten mit Schutzanspruch ist in der folgenden Übersicht dargestellt. Grundlage der Betrachtung ist eine bauzeitliche Einwirkung von $D \leq 1$ Tag (Stufe II) mit $A_{r,T} = 0,8$.

Entfernung zu Wohnbauten	KB^*_{Fmax}	Betriebszeit / Tag
$\leq 10 \text{ m}$	5,4	0 min (A_0 überschritten)
11 m	4,9	26 min
12 m	4,5	31 min
14 m	3,8	42 min
$< 15 \text{ m}$	3,57	48 min $>$
20 m	2,7	85 min
45 m	1,2	429 min

Zusammenfassend machen die Ergebnisse deutlich, dass bis zu einer Mindestentfernung zu betroffenen Wohnbauten von $r > 10 \text{ m}$ der obere Anhaltswert A_0 für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnräumen für Stufe II (Information, Aufklärung etc.) und Einwirkdauer von $D \leq 1$ Tag zur Tagzeit im wahrscheinlichen Fall (ÜW = 50%) durch maximal zu erwartende bewertete Schwingstärken KB^*_{Fmax} nicht überschritten wäre.

Eine Überschreitung des unteren Anhaltswertes ($A_U = 1,2$) dagegen kann in Abhängigkeit der Entfernung zu Wohnbauten ($r < 45 \text{ m}$) mit Schutzanspruch grundsätzlich nicht mehr ausgeschlossen werden, so dass bei erschütterungsintensive Baumaßnahmen in davon betroffenen Bereichen die Betrachtung der zeitlichen Dauer der Einwirkungen, in deren Ergebnis die Beurteilungsschwingstärke $KB_{FT,r}$ für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen herangezogen wird, erforderlich wird. Die Einbeziehung der zeitlichen Dauer der Einwirkungen kann deshalb auch tagsüber zu Einschränkungen im Baubetrieb führen.

Eine Betrachtung der Nachtzeit erfolgt nicht, da davon ausgegangen wird, dass zur Nachtzeit (22 - 06 Uhr) keine erschütterungsintensiven Bauarbeiten stattfinden. Für die Beurteilung der Nachtzeit gelten i. Ü. auch die erheblich höheren Anforderungen mit den Anhaltswerten nach Tab. 1 in [2].

9. Zusammenfassung

→ Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Mit den durch ggf. stattfindende Schlagrammungen für die Gründung von Standorten für Fahrleitungsmaste sowie für den Verkehrswegebau angewendeten Verfahren zur Boden- und Tragschichtverdichtung in den jeweils nächstgelegenen Wohnbauten in der Nachbarschaft des Baufeldes zu erwartenden → Schwinggeschwindigkeiten am Fundament und an Bauteilen in den Obergeschossen kann eine Überschreitung der nach [3] für · Industriebauten · Wohnbauten und · erschütterungsempfindliche Bauten · zulässigen Anhaltswerte grundsätzlich ausgeschlossen werden.

Auf Grund der großen Entfernungen zwischen möglichen Standorten von Erschütterungsquellen zu gewerblicher und Wohnbebauung von $30 \leq r \leq 300$ m in nächstgelegenen benachbarten Gebieten nördlich (Loher Straße), östlich (Erich-Mahrt-Straße), westlich (Friedrichstädter Straße) und südlich (Heider Weg, Meldorfer Straße) des Baugebietes, sind Überschreitungen von zulässigen Anhaltswerten für maximale Schwinggeschwindigkeiten nach DIN 4150-3 [3] nicht wahrscheinlich.

Eine begutachtende Beweissicherung an/für Wohngebäude hinsichtlich einer ggf. vorliegenden besonderen Erschütterungsempfindlichkeit durch einen Bausachverständigen vor Beginn der Bauarbeiten wird bei der zu erwartenden Geringfügigkeit von Erschütterungseinwirkungen auch auf ggf. bauliche erschütterungsempfindliche Anlagen sowie auch unbekannter Beschaffenheit konkreter vorliegender Bausubstanz und Bodenverhältnisse für nicht erforderlich gehalten.

Die mit der Bauausführung zu beauftragenden Baufirmen sind hinsichtlich des einzusetzenden Baugerätes dennoch vorsorglich zu verpflichten, nur erschütterungsintensives Baugerät zu verwenden, dass dem aktuellen Stand der Technik entspricht und erschütterungstechnisch auch konstruktiv für den Einsatz in innerstädtischen Bereichen entwickelt wurde, z.B. Einsatz von Ramm-, Boden- und Tragschichtverdichtungsgerät mit ausgerüsteten variablen Exzentermoment (für resonanzfreien Betrieb bei An- und Abfahrvorgängen), Tandemwalzen mit kombinierten Vibrations- und Oszillatorbandagen der unteren Gewichtsklasse ($G \leq 7$ t).

→ Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Erschütterungen aus ggf. auch stattfindenden Rammgründungen für Fahrleitungsmaste sowie Boden-, und Tragschichtverdichtungen mittels Vibrationswalzen und/oder -platten werden tagsüber in den benachbart zum Baugebiet gelegenen Wohngebäuden (Heider Weg, Meldorfer Weg, Friedrichstädter Straße) zu keiner Überschreitung von Anhaltswerten der maximalen bewerteten Schwingstärke (KB_{Fmax}) gemäß DIN 4150-2 [2] führen. Erhebliche Belästigungen können deshalb in den Baubetriebsphasen mit Anwendung von erschütterungsintensiver Betriebstechnik auch vollständig ausgeschlossen werden. Die Ermittlung und Einbeziehung einer → Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} sowie eine Begrenzung der zulässigen Dauer für erschütterungsintensiven Baubetrieb ist nicht erforderlich.

Erschütterungsintensiver Baubetrieb für Rammungen (Gründungen von Fahrleitungsmaste) und Verdichtung von Boden- und Tragschichten kann auf Grund der großen Entfernungen zu benachbarten Wohnbauten von $r > 60$ m tagsüber ohne zeitliche Einschränkungen ausgeführt werden.

Eine Überschreitung der für eine Beurteilung heranzuziehenden oberen und unteren Anhaltswerte (A_u , A_o) durch die jeweils erwarteten bewerteten Schwingstärken (KB_{Fmax}) kann ausgeschlossen werden.

In der → Nachtzeit ist zu erwarten, dass auch im weiterem Umfeld des Baugebietes der untere Anhaltswert A_u für die bewertete Schwingstärke gemäß Tab. 1 DIN 4150-2 [2] für Einwirkungsorte in „Allgemeinen Wohngebieten“ WA: $A_u = 0,10$) überschritten wird. In der Nachtzeit wären daher Rammungen und/oder Boden- und Tragschichtverdichtungen ohne erhebliche zeitliche Einschränkungen nicht möglich. Aber auch mit diesen zeitlichen Einschränkungen wären immer noch verbleibende Belästigungen nicht vollständig auszuschließen.

Vom Vorhabenträger sind erschütterungsintensive Arbeiten in der Nacht planmäßig nicht vorgesehen. Im Hinblick auf die Einhaltung der o.g. Anhaltswerte nach [2] (Einwirkung auf Menschen in Gebäuden) sollten jegliche erschütterungsintensive Arbeiten auch vorsorglich der Vermeidung von Konfliktsituationen grundsätzlich nicht zur Nachtzeit erfolgen.

→ Subjektive Wahrnehmung

Da die ermittelten Schwingstärken zunächst keinen Bezug zum subjektiven Empfinden im Wohnbereich zu spürender Erschütterungen herstellt, ist deshalb dringend zu empfehlen, nächstgelegene Anwohner über Zeitpunkt und Ablauf erschütterungsintensiver Bauarbeiten zu informieren und über die zu erwartende Intensität von Erschütterungen aufzuklären. Einen Zusammenhang zwischen der KB - bewerteten Schwinggeschwindigkeit (Schwingstärke) und der subjektiven Wahrnehmung kann wie folgt beschrieben werden:

	0,0	<	KB	<	0,1	nicht spürbar	
			KB	=	0,1	Fühlschwelle	
	0,1	<	KB	<	0,4	gerade noch spürbar	
<	0,4	<	KB	<	1,6	gut spürbar	>
	1,6	<	KB	<	6,3	stark spürbar	
	6,3	<	KB			sehr stark spürbar	

Es kann davon ausgegangen werden, dass mit Einsatz von dem Stand der Technik entsprechendem Baugerät (resonanzfreies An- und Auslaufen durch Ausrüstungen mit variablen Exzentermoment) sowie bei Einhaltung von Anhaltswerten für bewertete Schwingstärken (KB_{Fmax} , KB_{FTr}) gemäß [2] die durch den Baubetrieb auch in weiter entfernt gelegenen Wohnbereichen hervorgerufenen Erschütterungen „gerade noch "spürbar wahrgenommen werden.

Anwohner sollten dennoch vor Beginn jedes erschütterungsintensiven Bauablaufes vorsorglich über die Durchführung und Zeitdauer der Bauarbeiten umfassend informiert und aufgeklärt werden. Es wird empfohlen, auch einen vor Ort erreichbaren und vertrauensbildenden Ansprechpartner zu benennen.

→ Zumutbarkeit

Die Durchführung von erschütterungsintensiven Bauarbeiten wird bei Einhaltung der Anhaltswerte für die → Einwirkungen auf baulicher Anlagen (DIN 4150-3) sowie angesichts der tagsüber für ggf. stattfindende Rammungen sowie Verdichtungen von Boden- und Tragschichten zeitlich nur eingeschränkt vorliegenden → Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, auch mit einer (kurzzeitigen) ggf. erhöht vorliegenden Intensität zu erwartender Schwingstärken und subjektiven Wahrnehmungen (spürbar) in den nächstgelegenen benachbarten Wohnbauten noch als zumutbar angesehen.

In die Planungen des tagsüber für Ramm- und Verdichtungsarbeiten zeitlich vorgesehenen Betriebsablaufes sind auch Tagesszeiten mit i. A. vorliegender erhöhter Empfindlichkeit, sog. Ruhezeiten, mit einzubeziehen. An Werktagen sollten deshalb zur Vermeidung unnötiger Konfliktsituationen Rammungen und/oder Verdichtungen auch von nur kurzer zeitlicher Dauer in den Zeiten vor 7 Uhr und nach 20 Uhr nicht vorgesehen werden. Das gleiche trifft auf ggf. auch an Sonn- und Feiertagen tagsüber vorgesehene Bauarbeiten zu. An Sonn- und Feiertagen liegen die Ruhezeiträume mit erhöhter Empfindlichkeit tagsüber in den Zeiten von 06 - 09 Uhr, 13 - 15 Uhr und nach 20 Uhr.

Zur Nachtzeit ist auf Grund eines gegebenen erhöhten Ruhebedürfnisses davon auszugehen, dass die Zumutbarkeit von Erschütterungsimmissionen aus dem Baubetrieb an ihre Grenzen stößt. Unnötig erschütterungsintensiver Baubetrieb in der Nachtzeit sollte deshalb auch aus Gründen der Zumutbarkeit sowie hinsichtlich der Vermeidung des Aufbaus von unnötigem Konfliktpotenzials in die Tagzeit (07 - 20 Uhr) verlagert werden.

A&IC · AKUSTIK und
- INGENIEUR CONSULT -



Dipl. - Phys. H.-J. Rabann
Frankfurt (Oder), den 19.07.2021

10. Quellenverzeichnis

- [1] **DIN 4150-1:2001-06** Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- [2] **DIN 4150-2:1999-06** Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [3] **DIN 4150-3:2016-12** Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Dezember 2016
- [4] Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten; M. Achmus, J. Kaiser, F. Tom Wörden, Institut für Bauforschung e.V. Hannover 2006
- [5] Entwurfsplanung Umbau Bahnhof Rostock Seehafen, Projektbeschreibung, DB Engineering & Consulting GmbH Region Deutschland Ost, Juli 2019
- [6] Vorplanung Neubau Depot Rendsburg, Erläuterungsbericht, Quadra Ingenieure GmbH, November 2010
- [7] Diverse Topografische Lage- und Übersichtspläne, Gleislayout, und Spurpläne (Planung), Grundrisse, Ansichten, Schnitte (FZH, ARA, VSG), Quadra Ingenieure GmbH
- [8] Flächennutzungsplan der Stadt Rendsburg, 2017
- [9] Bebauungspläne 67_1+2 „Friedrichstädter Straße - Süd“ / 7_1+2 „Friedrichstädter Straße“ / 92_a „Suhmsheide Ost (ehem. Feldwebel-Schmid-Kaserne) Nord“ / 92_c „Suhmsheide Ost (ehem. Feldwebel-Schmid-Kaserne) Mitte“ / 92_d „Suhmsheide Ost (ehem. Feldwebel-Schmid-Kaserne) Süd“ / 92_e „Suhmsheide Ost (ehem. Feldwebel-Schmid-Kaserne) Mitte-Süd“
- [10] Technische Datenblätter Baumaschinen, MÜLLER - Vibratoren, ABI MOBILRAM-Systeme, BAUER Großdrehbohrgeräte, BOMAG FAYAT Group BOMA Oszillation BW 190 ADO-5, HAMM AG - Tandemwalzen Serie HD CompactLine / Baureihe H201 Typ HD 14 VO, Tandemwalzen Serie DV+ / Baureihe H225 Typ DV+ 70i- VO-S