

Unterlage 10.05.3

Erschütterungstechnische Untersuchung - baubetriebliche Erschütterungsimmissionen -

Vorhaben: Neubau Betriebshof Tram Ständlerstraße

Auftraggeber: Stadtwerke München GmbH
 Emmy-Noether-Straße 2
 80992 München *A. München*

Bearbeitungsstand: 20.07.2023

Projekt-Nr.: 2023 888

Auftrag aus: 2016
Anzahl Seiten: 30
Anzahl Anlagen: 5 (s. Anlagenverzeichnis)
fachlich verantwortlich: Dipl.-Ing. (FH) Manfred Ertl
Durchwahl: 0821 / 207 129 10
E-Mail: mertl@em-plan.com
Dokument: 888_Bhs_GU_Ersch_DIN4150_20072023.docx

Das vorliegende Gutachten ist geistiges Eigentum von em plan. Das Gutachten ist ausschließlich zur Durchführung des behandelten Vorhabens zu verwenden. Die Weitergabe des Gutachtens oder dessen Vervielfältigung außerhalb des gegenständlichen Vorhabens, auch auszugsweise, ist nur mit unserer ausdrücklichen und schriftlichen Gestattung zulässig.

Inhaltsverzeichnis

1.	Gegenstand der Untersuchung	4
2.	Örtlichkeiten.....	5
3.	Baumaßnahmen	8
4.	Beurteilungsgrundlagen	10
4.1	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	10
4.2	Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen	12
6.	Erschütterungsprognose.....	15
6.1	Verfahren	15
6.2	Randbedingungen.....	16
6.3	Einwirkzeiten	16
6.4	Setzungsrisiko.....	17
7.	Immissionsorte	18
8.	Ergebnisse.....	19
8.1	Erschütterungsprognose Verdichtungsarbeiten, wahrscheinlicher Wert	19
8.2	Erschütterungsprognose Verdichtungsarbeiten, ungünstiger Wert	20
8.3	Erschütterungsprognose Rammarbeiten, wahrscheinlicher Wert	22
8.4	Erschütterungsprognose Rammarbeiten, ungünstiger Wert	23
8.5	Setzungsrisiko.....	25
9.	Zusammenfassung	26
9.1	Prognoseergebnisse Verdichtungsarbeiten	26
9.2	Prognoseergebnisse Rammgründungen	27
9.3	Folgerungen.....	27
A)	Regelwerke / Literatur.....	29
B)	Grundlagen.....	29
C)	Tabellen.....	29
D)	Anlagenverzeichnis.....	30

1. Gegenstand der Untersuchung

Die Stadtwerke München GmbH (SWM) planen den Neubau eines Trambetriebshofs an der Ständlerstraße 20.

Im Zuge der Baumaßnahme wird das Anlagengrundstück baulich und verkehrstechnisch überplant und in Richtung Süden bis zur Lauensteinstraße erweitert.

Die vorliegende Untersuchung behandelt die erschütterungsrelevanten Arbeiten über die Bauzeit.

Im Zuge der Maßnahme finden erschütterungsverursachende Tiefbauarbeiten im Zuge von Verdichtungs- und Gründungsmaßnahmen statt. Dies umfasst insbesondere die Erstellung von Rammträgern zum Bau von Lärmschutzwänden, und die großflächige Herstellung von Verkehrsflächen mit den dafür notwendigen Verdichtungsarbeiten.

Südlich und östlich grenzen als schutzbedürftige Nutzungen reine Wohngebiete an. Südöstlich befindet sich eine Kleingartenanlage. Nördlich und westlich der Anlage liegen gewerbliche Nutzungen und Wohnnutzungen in Mischgebieten.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ist eine Prognoseabschätzung vorzunehmen, inwieweit mit erheblichen bzw. potentiell belästigenden oder bauwerksschädigenden Erschütterungseinwirkungen zu rechnen ist. Die Erschütterungsprognose stellt auf die maßgeblichen erschütterungsintensiven Tiefbauarbeiten im Bauprozess ab.

Grundlage der Prognose bzw. der Beurteilung ist die DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teile 1 bis 3.

Insoweit die Abschätzung Überschreitungen der Anforderungen der DIN 4150 erwarten lässt sind Vorschläge zum Erschütterungsschutz bzw. zur weiteren Vorgehensweise zu erarbeiten.

Die Randbedingungen und Ergebnisse der Untersuchung werden im vorliegenden Bericht dokumentiert.

2. Örtlichkeiten

Der Betriebshof befindet sich an der Ständlerstraße 20 in München.

Das Untersuchungsgebiet ist weitestgehend eben auf einer Höhe von etwa 540 m ü. NN.



Abbildung 1: Luftbild Untersuchungsgebiet, Quelle: Google Earth

Das bestehende Betriebsgelände ist zusammen mit den geplanten Erweiterungsflächen rot umrandet markiert. Das direkte Umfeld der Anlage ist baulich wie folgt gegliedert:

Auf der Westseite des Geländes liegen gewerbliche Flächen (im Wesentlichen Recyclingbetriebe), im Südwesten schließt sich der Friedhof „Am Perlacher Forst“ an. Dazwischen verlaufen die S-Bahnstrecken 5551, München Ost – Deisenhofen und 5552, München-Giesing – Kreuzstraße.

Im Süden sind im Luftbild Sportanlagen dargestellt, deren Rückbau zwischenzeitlich in Angriff genommen wurde. Die Flächen werden künftig Teil des Betriebshofs sein.

Weiter südlich liegt ein reines Wohngebiet an der Lauensteinstraße. Südöstlich befindet sich eine Kleingartenanlage. Im weiteren Verlauf nach Norden bis annähernd zur Ständlerstraße liegt ein reines Wohngebiet an der Traunreuter Straße. Hieran schließt sich neu errichtete Bebauung aus 2022 an, die gemäß Flächennutzungsplan der LHM als Gewerbegebiet anzusehen sind. In Rücksprache mit der Lokalbaukommission der LHM ist mit Vorliegen von gewerblichen Nutzungen und Wohnnutzungen auf diesen Flächen in Ermangelung eines Bebauungsplans von einer Gemenelage auszugehen. Schalltechnisch werden diese Flächen auf Grundlage der Mischung aus gewerblichen und dem Wohnen dienenden Nutzungen entsprechend der Schutzbedürftigkeit eines Mischgebiets behandelt.

Ausgenommen ist lediglich die neue Bebauung an der Ecke Ständlerstraße – Traunreuter Straße, welche als Mischgebiet beurteilt wird.

Im Untersuchungsraum gelten mehrere Bebauungspläne. Es sind dies im Wesentlichen die Bebauungspläne

- Nr. 1192, Aschauer Straße, Ständlerstraße, Bahnlinie Deisenhofen und Chiemgaustraße aus dem Jahr 1982, Nutzung gemäß BauNVO Gewerbegebiet
- Nr. 1476 Herbert Quandt-Str, Georg-Meisenbach-Straße, Schwansseestraße, Gewerbegebiet, aus dem Jahr 1992
- Nr. 1748, Aschauer Straße, Chiemgaustraße, Paulsdorfer Straße und Ständlerstraße, Gewerbegebiet, aus dem Jahr 1993



Abbildung 3: Bebauungspläne im Umgriff des Vorhabens, Quelle: Internetauftritt der LHM

Der Bebauungsplan A 1936 befindet sich nicht mehr in Aufstellung und ist abweichend von den rechtsverbindlichen Bebauungsplänen gelb hinterlegt, was an sich „in Aufstellung“ bedeutet, jedoch inzwischen nicht mehr zutrifft.

3. Baumaßnahmen

Bei der Baumaßnahme handelt es sich im Wesentlichen um eine konventionelle Baustelle vergleichbar zu anderen größeren städtischen Baumaßnahmen, mit dem Unterschied, dass auch Verkehrsanlagen errichtet werden.

Der Betriebshof wird bis auf wenige zu erhaltende bauliche Strukturen im Norden (MVG-Museum, Montagehalle, zwei Wohngebäude) im Bauverlauf rückgebaut bzw. in einzelnen Teilen werden bestehende Anlagen erneuert.

Die Baustelle umfasst als Kerntätigkeiten

- Den Rückbau bestehender baulicher Anlagen
- Die Durchführung von Tief- und Hochbauarbeiten
- Der Bau von Lärmschutzwänden
- Gleisbauarbeiten mit der Erstellung der zuzuordnenden technischen Anlagen
- Die technische Gebäudeausrüstung
- Maßnahmen zur Freiflächengestaltung
- Maßnahmen der Erschließung

Als erschütterungsrelevante Arbeiten kommen Tiefbauarbeiten in Betracht. Im vorliegenden Fall sind dies allfällige Verdichtungsarbeiten des Untergrunds begleitend zu Erdarbeiten, und Verbau- bzw. Rammtätigkeiten.

Verdichtungsarbeiten fallen in der gesamten Bauzeit an, wobei zu unterscheiden ist zwischen großflächigen Arbeiten und lokalen Maßnahmen.

Für großflächige Arbeiten werden absehbar Vibrationswalzen eingesetzt. Es sind dies insbesondere die Bereiche Abstellung, Mitarbeiterparkplatz an der Pforte und die südliche Hallenumfahrung. In Betracht kommen hierfür auch die Herstellung von Gründungssohlen von Gebäuden, diese finden jedoch abseits von Nachbargebäuden statt und sind daher ohne Relevanz.

Für andere Arbeiten wie z. B. dem Umbau einzelner Gleise werden absehbar Kleinwalzen und Flächenrüttler eingesetzt, welche keine Fernwirkung entfalten und keine beurteilungsrelevanten Beeinträchtigungen in der Nachbarschaft verursachen. Die Beurteilung der Bauerschütterungen befasst sich daher mit der großflächigen Verdichtung von Baufeldern mittels Vibrationswalzen.

Für die Erstellung von Verbauten, Trägern und Mastfundamenten werden rammende Verfahren mittels Vibrationsrammen unterstellt. Der Einsatz von Schlagrammen ist bei den gegebenen Untergrundverhältnissen in der Münchner Schotterebene absehbar nicht erforderlich.

Hervorzuheben sind die Rammarbeiten bei der Gründung der Träger für die Lärmschutzwände. Es werden entsprechen der Darstellung in Anlage 1 in fünf Bauzonen die Lärmschutzwände 1 bis 5 errichtet. Dies erfolgt zeitlich gestaffelt in der Hauptsache zu Beginn der Maßnahme über mehrere Monate, und zum Ende der Maßnahme mit Bau des Mitarbeiterparkplatzes und Restarbeiten im Hauptbaufeld.

Rammarbeiten finden in der Hauptsache bei der Gründung von Trägern für die Lärmschutzwände und bei Mastgründungen statt. Diese liegen benachbart zu bewohnten Ortslagen in den selben Baufeldern und können damit zusammenfassend betrachtet werden. Darüber hinaus sind noch einzelne Verbauten zu Baugrubensicherung u. ä. im Baufeld vorgesehen. Diese liegen verteilt inmitten der Baustelle und sind für die Beurteilung der nächsten Nachbarschaft abstandsbedingt nicht mehr relevant.

Demzufolge befasst sich die Untersuchung mit Verdichtungsarbeiten mittels Vibrationswalzen und Rammarbeiten mittels Vibrationsrammen.

Der Einwirkbereich von Vibrationswalzen und Rammgeräten mit relevantem Erschütterungseintrag beträgt bei konventionellen Wohn- und Bürogebäuden und durchschnittlichen Übertragungsverhältnissen allgemein etwa 30 m. Es werden daher die Ränder des Baufelds betrachtet, wobei die minimalen Bebauungsabstände zugrunde gelegt werden.

Die Gebäude an der Lauensteinstraße im Süden der Maßnahme liegen damit bereits deutlich außerhalb des Bereichs, in dem mit erheblichen Erschütterungseinwirkungen gerechnet werden kann. Dies gilt ebenso für die Gebäude an der Traunreuter Straße im Osten der Baumaßnahme für die geplante Lärmschutzwand 2, die Lärmschutzwand 3 liegt in einem Grenzbereich. Die wesentlichen Einwirkungen sind bei der deutlich niedrigeren Wand 4 an der östlichen Grundstücksgrenze zu erwarten.

Dem Grunde nach werden über den Baufortschritt wiederkehrend Verdichtungsarbeiten stattfinden, für die Beurteilung sind jedoch nur jene relevant, welche in geringem Abstand zur Bebauung stattfinden. Hieraus ergeben sich die Einwirkzeiten, welche für einen Ort als plausibel erachtet werden.

Die Transportfahrten der Lkw über die Traunreuter Straße werden nicht gesondert beurteilt. Zwar besteht grundsätzlich die Möglichkeit, dass Vorbeifahrtereignisse spürbar sind, die Einwirkzeiten sind jedoch mit einigen Sekunden Vorbeifahrtdauer kurz, sodass auch bei häufigen Transportfahrten in der Summe von keinen Einwirkungen auszugehen ist, welche oberhalb der Anforderungen der DIN 4150-2 liegen könnten, bzw., dass Bauschäden zu besorgen wären.

4. Beurteilungsgrundlagen

Nachstehend sind die Beurteilungsgrundlagen nach DIN 4150, Teil 2 und 3, auszugsweise und z. T. auf die hier relevanten Sachverhalte verkürzt, wiedergegeben. Bezüglich des Gesamtkontexts wird auf die DIN 4150, Teile 1 bis 3, verwiesen.

4.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Verfahren

Für die Beurteilung von Erschütterungs-Immissionen auf Menschen ist die DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, einschlägig.

Die Wirkung von Erschütterungen auf Menschen wird anhand der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ beurteilt.

Die Beurteilung erfolgt gemäß DIN 4150-2 anhand von zwei Beurteilungsgrößen. Der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} und der Beurteilungsschwingstärke KB_{Ftr} .

KB_{Fmax} ist der maximale während der Messung auftretende, oder in anderer Weise ermittelte, Wert der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$.

In der Beurteilungsgröße KB_{Ftr} wird die Häufigkeit und Dauer der auftretenden Erschütterungsergebnisse berücksichtigt.

Die genannten Beurteilungsgrößen sind am Fundament getrennt für die drei Richtungskomponenten x (horizontal, parallel), y (horizontal, senkrecht) und z (vertikal) und an den übrigen Messpunkten nur für die Richtungskomponente z zu ermitteln. Bei der triaxialen Messung ist der jeweils größte der drei Messwerte der Beurteilung zugrunde zu legen.

Die Beurteilungsgrößen sind zu ermitteln und mit den Anhaltswerten der DIN 4150-2 zu vergleichen.

- Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert A_u dann ist die Anforderung dieser Norm eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der (obere) Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung dieser Norm nicht eingehalten.
- Für häufige Einwirkungen, bei denen KB_{Fmax} größer als A_u , aber kleiner als A_o ist, ist die Beurteilungsschwingstärke KB_{Ftr} mit dem Anhaltswert A_r zu vergleichen. Wird dieser unterschritten, sind die Anforderungen der Norm ebenfalls eingehalten.

Anhaltswerte

Es gelten für tagsüber durch Baumaßnahmen verursachte Erschütterungen von höchstens 78 (Werk-) Tagen Dauer die u. a. Anhaltswerte. Unter der Dauer D der Erschütterungseinwirkungen ist die Anzahl von Tagen zu verstehen, an denen tatsächlich Erschütterungseinwirkungen auftreten. Die Anhaltswerte gelten für alle Baugebiete mit Ausnahme besonders schutzwürdiger Nutzungen (z. B. Krankenhäuser).

Die Beurteilung von zeitlich begrenzten Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen erfolgt in drei Stufen, wobei im Stadium der Planung Prognose- oder Erfahrungswerte Grundlage der Einstufung sind:

- a) Eine untere Stufe I, bei deren Unterschreitung auch ohne besondere Vorinformation nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist.
- b) Eine mittlere Stufe II, bei deren Unterschreitung ebenfalls noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist, falls nachstehend genannten Maßnahmen a) bis e) (nach 4150-2) 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, so ist zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist.
- c) Eine obere Stufe III, bei deren Überschreitung die Einwirkungen unzumutbar sind. In diesen Fall wird die Vereinbarung besonderer Maßnahmen notwendig, die über die in 6.5.4.3 (nach 4150-2) beschriebenen hinausgehen.

Tab. 4-1 Anhaltswerte für Bauerschütterungen auf Menschen

Dauer	D ≤ 1 Tag			6 Tage < D ≤ 26 Tage			26 Tage < D ≤ 78 Tage		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anhaltswerte	A _u	A _o ^{*)}	A _r	A _u	A _o ^{*)}	A _r	A _u	A _o ^{*)}	A _r
Stufe I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe II	1,2	5	0,8	0,8	5	0,3	0,6	5	0,4
Stufe III	1,6	5	1,2	1,2	5	0,3	0,8	5	0,6

*) Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt A_o = 6

Für D > 1 und ≤ 6 sind die Anhaltswerte für ganze Tage linear zu interpolieren.

Maßnahmen zur Minderung erheblicher Belästigungen

Die physischen Auswirkungen von Erschütterungswirkungen können vermindert werden durch:

- 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 Erschütterungswirkungen auf das Gebäude;
- f) Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkungen auf Menschen und Gebäude.

Die Maßnahmen a) bis e) sind vor Beginn der erschütterungsverursachenden Baumaßnahme durchzuführen.

4.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

Kurzzeitige Erschütterungen

Aus zahlreichen Messungen der Schwinggeschwindigkeit an Gebäudefundamenten wurden Erfahrungswerte gewonnen, die einen Anhalt für die Beurteilung kurzzeitiger Bauwerkserschütterungen geben. Für diese Beurteilung wird der größte Wert (Maximalwert) $|v|_{i,max}$ der drei Einzelkomponenten $i = x, y, z$ der Schwinggeschwindigkeit $v_i(t)$ am Fundament herangezogen - im Folgenden vereinfacht mit v_i bezeichnet.

Für die Beurteilung geben darüber hinaus die Schwingungen in der Ebene der obersten Decke, die auf den Außenwänden aufliegt, wesentliche Hinweise. Es wird der größere Wert der beiden horizontalen Einzelkomponenten zugrunde gelegt. Bei Messungen der Schwingungen an dieser Stelle wird die horizontale Antwort des Bauwerks auf die Fundamentanregung ermittelt.

In nachstehender Tabelle sind für die verschiedenen Gebäudearten Anhaltswerte für v_i am Fundament und in der obersten Deckenebene angegeben.

Werden die Anhaltswerte eingehalten, so treten Schäden im Sinne der Verminderung des Gebrauchswertes, deren Ursachen auf Erschütterungen zurückzuführen wären, nach den bisherigen Erfahrungen nicht auf. Werden trotzdem Schäden beobachtet, ist davon auszugehen, dass andere Ursachen für diese Schäden maßgebend sind. Werden die Anhaltswerte überschritten, so folgt daraus nicht, dass Schäden auftreten. Bei deutlichen Überschreitungen sind weitergehende Untersuchungen erforderlich.

Tab. 4-2 Anhaltswerte zur Beurteilung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s			
		Fundament Frequenzen			Oberste Decken- ebene, horizontal
		1 Hz bis 10 Hz	10 Hz bis 50 Hz	50 Hz bis 100 Hz*)	alle Frequenzen
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	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 bis 8	8 bis 10	8

*) Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden

Beurteilung von Decken

Treten bei kurzzeitigen Erschütterungen Deckenschwingungen auf, so ist bei $v_z \leq 20$ mm/s in vertikaler Messrichtung am Ort der größten Schwinggeschwindigkeit - dies ist im Allgemeinen die Deckenmitte - eine Verminderung des Gebrauchswertes der Decken nicht zu erwarten.

Im vorliegenden Fall ist abstandsbedingt und bedingt durch die gewählten Bauverfahren nicht damit zu rechnen, dass relevante Kurzzeitererschütterungen auftreten.

Dauererschütterungen

In folgender Tabelle sind für die verschiedenen Gebäudearten Anhaltswerte für den größeren Wert der beiden horizontalen Einzelkomponenten v_i in der obersten Deckenebene angegeben.

Werden die Anhaltswerte eingehalten, treten Schäden nach den bisherigen Erfahrungen nicht auf. Werden diese Werte überschritten, so folgt daraus nicht, dass Schäden auftreten müssen.

Tab. 4-3 Anhaltswerte zur Beurteilung von Dauererschütterungen auf Bauwerke

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s
		Oberste Deckenebene, horizontal, alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5

Vertikale Schwingungen bis 10 mm/s führen bei Geschoßdecken in Gebäuden nach obiger Tabelle, Zeilen 1 und 2 erfahrungsgemäß nicht zu Schäden. Diese Schwingungen sind sehr stark spürbar. Bei Gebäuden nach Zeile 3 obiger Tabelle kann kein Anhaltswert angegeben werden.

Etwa auftretende leichte Schäden können nicht ohne weiteres der dynamischen Belastung zugeordnet werden, es müssen vielmehr die näheren Umstände untersucht werden.

6. Erschütterungsprognose

6.1 Verfahren

Der Erschütterungsprognose liegt ein empirisch-statistisches Berechnungsverfahren des IFB Hannover zugrunde.

Basierend auf einer Vielzahl ausgewerteter Erschütterungsmessungen wird anhand von Erfahrungswerten und statistischen Kenndaten ein Prognoseverfahren zur Verfügung gestellt. Dieses erlaubt die Berechnung der maßgeblichen Beurteilungsgrößen nach DIN 4150 unter Angabe der statistischen Eintrittswahrscheinlichkeit der Prognose, wobei mehrere Regressionsverfahren zur Auswahl gestellt werden.

Hierin gehen sowohl das eingesetzte Gerät, als auch die Bausubstanz und die Untergrundverhältnisse ein.

In der vorliegenden Untersuchung werden in Abhängigkeit von Lage, Abstand und Anregungsform mehrere unterschiedliche statistische Verfahren zur Ermittlung der Schwingstärke am Fundament verwendet. Der angesetzte Prognosewert für den Betrag des Schwingungsvektors am Fundament ergibt sich in der Regel aus dem statistisch jeweils am besten abgesicherten Prognoseansatz. Im Nahbereich von Erschütterungsquellen führen die der Prognose zu Grunde liegenden Regressionsverfahren z.T. zu sehr hohen Erwartungswerten, welche durch unsere Mespraxis Praxis so nicht bestätigt sind. In dem Fall werden gesonderte Überlegungen angestellt.

Die Kenngrößen werden grundsätzlich für zwei Überschreitungswahrscheinlichkeiten berechnet.

Es wird zum einen der Mittelwert bestimmt, d. h. der wahre Wert liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % unter diesem Wert (wahrscheinlicher Wert).

Je nach Anwendungsfall wird zudem eine Standardabweichung von 2σ zugrunde gelegt, d. h. der wahre Wert liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95,5 % unter diesem Wert (ungünstiger Wert).

Die Prognose der Erschütterungseinwirkungen aus Rammarbeiten mit Vibrationsrammen erfolgt nach der gewählten Methodik grundsätzlich anhand deren Energieklasse und dem Abstand der Rammung zum Immissionsort. Bei Verdichtungsarbeiten mittels Walzen ist neben dem Abstand zum Immissionsort für die Anregung deren Masse und Motorleistung ausschlaggebend. Alle Prognosen stellen auf die typische Arbeitsfrequenz der Geräte ab.

Methodisch zielt die Untersuchung daher darauf ab zu ermitteln,

1. anhand der der Maßnahme nächstgelegenen Gebäude, ob Bauwerksschäden zu erwarten sind
2. anhand der Anhaltswerte nach DIN 4150, in welchen Abständen mit relevanten Erschütterungseinwirkungen zu rechnen ist.

6.2 Randbedingungen

Es wird davon ausgegangen, dass mittelschwere Vibrationswalzen mit einem Gewicht von etwa 6 t zum Einsatz kommen können. Die Arbeitsfrequenz liegt im Regelfall um 30 bis 35 Hz.

Für Rammarbeiten mittlerer Tiefe kommen mittelgroße Vibrationsrammen wie z. B. ABI MOBIL-RAM SM14/18 HD mit Vibratoren vom Typ ABI MRZV VV mit einer Arbeitsfrequenz um 32 bis 34 Hz in Betracht.

Deckenresonanzen bei Gebäuden mit Holzbalkendecken liegen im Bereich von 8 bis 15 Hz, bei Gebäuden in Beton-Skelettbauweise (Stahlbetondecken) liegen diese erfahrungsgemäß meist im Bereich von 20 bis 25 Hz. Bei Einsatz von Walzen und Rammen nach dem Stand der Technik ist nicht davon auszugehen, dass die Anregefrequenz in diesen Bereich abfällt. Resonanzfälle werden daher nicht untersucht und sind im Rahmen der Bauausführung auch unbedingt zu vermeiden.

Die Auswertung erfolgt in Abhängigkeit vom Gebäudetyp und der ausgeübten Nutzung (Gewerbe, Wohnen oder besonders empfindliche Nutzung). Für die in Rede stehenden Gebäude im Bereich der Baumaßnahme ist eine besondere Empfindlichkeit bezüglich Erschütterungen u. E. nicht zu erwarten.

Für die Übertragungsfaktoren der vektoriellen Schwingungsgrößen zwischen Boden und Fundament sowie zwischen Fundament und Obergeschossen werden aufgrund der örtlichen Baugrundverhältnisse Werte im oberen Bereich der empirisch gesicherten Bandbreite angesetzt.

Für die Prognose horizontaler Deckenschwingungen wird aufgrund der Baugrunduntersuchung unterstellt, dass der Untergrund im Ausbreitungsweg als tendenziell steif einzustufen ist.

6.3 Einwirkzeiten

Die zu betrachtenden Bebauungen liegen in Abständen von 2 bis etwa 60 m zum Rand einer Erschütterungsquelle.

Bei lagenweiser Verdichtung kann davon ausgegangen werden, dass sich ungünstigstenfalls eine Vibrationswalze mit etwa 1 bis 2 km/h langsam entlang einer geraden Bahn an der Grundstücksgrenze bewegt. Für die Verdichtung einer eingebrachten Lage im relevanten Nahbereich wird eine Walze in etwa 10 bis 15 Minuten benötigen. In der Folge wird der Bereich geräumt, neues Material aufgebracht, verteilt, und der Vorgang beginnt erneut. In der Praxis ist der Anteil an Verdichtungstätigkeiten zeitlich geringer als der Anteil für die Vorbereitung des Terrains, womit die Einwirkzeit einer Walze maximal eine halbe Schicht beträgt, mithin 4 h täglich. Zeitlich zusammenhängend kann davon ausgegangen werden, dass ein Baufeld in der Nähe eines Prognosepunkts maximal 2 Tage in Folge bearbeitet wird.

Bei Rammarbeiten von Trägern dauert ein Vorgang in der Regel einige Minuten, bei schwierigen Fällen bis zu einer halben Stunde. Kann ein Träger in der Zeit nicht gesetzt werden wird in der Regel abgebrochen und vorgebohrt. Bei einer Stützenweite von Lärmschutzwänden von 5 m werden am Tag theoretisch 80 m Rammweg zurückgelegt. In der Praxis halbiert sich dies in erster Näherung durch Rüstzeiten, Behinderungen im Bauablauf, Umsetzungsvorgänge etc. Bei

Grundstücksbreiten von 20 bis 30 m hält sich eine Ramme mithin etwa einen Tag im Bereich eines Anwesens auf, wobei die Ramme nicht zwingend an genau einem Tag ein Grundstück passiert.

An einem Prognosepunkt beträgt die Einwirkzeit daher maximal 2 Tage mit bis zu 4 h Einwirkzeit an einem Tag.

6.4 Setzungsrisiko

Bauwerksschäden können indirekt erfolgen, wenn durch Rammgründung oder Verdichtung eine Veränderung des Gründungsbodens erfolgt. Hierbei sind folgende Phänomene zu unterscheiden:

- Bodensackung infolge Vibrationseinwirkung
- Fundamentsetzung infolge erschütterungsinduzierter Wechsellast
- Bodenverflüssigung

Empfindliche Untergründe sind vor allem locker gelagerte Sande unter Grundwasser und Schluffe. Setzungseffekte sind in aller Regel nur im Nahbereich um einen Rammort bzw. einen Verdichtungsbereich zu erwarten.

Bodensackungen können vor allem durch eine vibrationsbedingte Reduktion der Scherfestigkeit und durch dadurch bedingte Kornumlagerungen auftreten. Besonders empfindlich sind locker gelagerte nichtbindige und schwachbindige ungleichförmige Böden.

Ab einer Schwingbeschleunigung von rund 3 m/s^2 im Boden ist mit einer Scherfestigkeitsreduktion und damit mit einer eventuellen Kornumlagerung zu rechnen.

Unter Bodenverflüssigung wird der erschütterungsbedingte kurzzeitige vollständige Tragfähigkeitsverlust von wassergesättigten Sand- oder Schluffschichten verstanden. Bei diesen Bodenarten kann sich der Porenwasserdruck infolge einer dynamischen Beanspruchung infolge einer dynamischen Beanspruchung so akkumulieren, dass die Effektivspannung im Boden schließlich zu Null wird und dieser mithin keine nennenswerte Scherfestigkeit mehr aufweist.

Da die gegebenen Abstände zur Nachbarbebauung teils sehr gering sind werden, ungeachtet der lokalen Untergrundverhältnisse, vorsorglich Setzungsrisiken mit betrachtet. Dies betrifft im Wesentlichen die Gebäude in den Kleingärten, die teils direkt an der Grundstücksgrenze zum Betriebsgelände errichtet sind.

7. Immissionsorte

Es wurden folgende Gebäude aufgrund ihrer nächstgelegenen Lage zur Baustelle für die erschütterungstechnischen Prognosen ausgewählt.

Die Immissionsorte sind mit einer Nummerierung versehen. Diese orientiert sich an den parallel durchgeführten Untersuchungen zu den Aspekten des Schallschutzes im selben Vorhaben. Zur Unterscheidung tragen Erschütterungsimmissionsorte ein ergänzendes „E“ im Namen.

Tab. 7-1 Prognosepunkte

Immissionsort	Straße	Haus-Nr.	Nutzung
IO E 01	Frankenwaldstr.	2	WR
IO E 02	Lauensteinstr.	2	WR
IO E 04	Lauensteinstr.	6/6a	WR
IO E 09	Balanstraße (Kleingarten)	248	KG
IO E 11	Kopischstr.	10	WR
IO E 12	Traunreuter Straße	44	WR
IO E 13	Traunreuter Straße	32	WR
IO E 14	Traunreuter Straße	28b	WR
IO E 15	Traunreuter Straße	20a	WR
IO E 17	Traunreuter Straße	14	WR
IO E 20	Traunreuter Straße	3, 5	MI
IO E 21	Ständlerstraße	38	MI

Die Kleingärten sind nicht dergestalt parzelliert, dass die Gebäude dort eigene Flurnummern hätten. Der Prognosepunkt IO E 09 ist in den beiliegenden Lageplänen dargestellt.

Details zu den Objekten sind den Anlagen 2 bis 5 zu entnehmen.

8. Ergebnisse

8.1 Erschütterungsprognose Verdichtungsarbeiten, wahrscheinlicher Wert

Die Ergebnisse der durchgeführten Prognose-Abschätzungen für Vibrationswalzen sind in der Anlage 2 beigegeben. Randbedingungen und relevante Zwischenwerte sind dort aufgelistet. Es wird ein Gebäude in der Kleingartenanlage betrachtet, welches als repräsentativ für exponiert stehende Gartenlauben angesehen werden kann.

Tab. 8-1 Ergebnisse Verdichtungsarbeiten, wahrscheinlicher Wert

Ort	Fall	Abstand (m)	Horizontalschwingungen Decken		Vertikalschwingungen Decken		Anhaltswerte A_u und A_r und Vergleich mit KB_{Fmax} bzw. KB_{FTr}			
			Anhaltswert	v_{max} in mm/s	Anhaltswert	v_{max} in mm/s	A_u	KB_{Fmax}	A_r	KB_{FTr}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IO E 01	W	47	5	0,32	10	0,21	0,70	0,32	0,40	0,16
IO E 02	W	54	5	0,29	10	0,18	0,70	0,29	0,40	0,15
IO E 04	W	61	5	0,26	10	0,18	0,70	0,26	0,40	0,13
IO E 09	W	16	5	0,69	10	0,45	0,70	0,69	0,40	0,35
IO E 11	W	25	5	0,50	10	0,33	0,70	0,50	0,40	0,25
IO E 12	W	28	5	0,45	10	0,30	0,70	0,45	0,40	0,23
IO E 13	W	27	5	0,47	10	0,32	0,70	0,47	0,40	0,24
IO E 14	W	26	5	0,48	10	0,32	0,70	0,48	0,40	0,24
IO E 15	W	25	5	0,50	10	0,33	0,70	0,50	0,40	0,25
IO E 17/2	W	22	5	0,54	10	0,36	0,70	0,54	0,40	0,27
IO E 20	W	17	5	0,65	10	0,44	0,70	0,65	0,40	0,33
IO E 21	W	25	5	0,50	10	0,33	0,70	0,50	0,40	0,25

Es kommt die Prognoseabschätzung zu folgenden Resultaten:

1. Die Anforderung an die maximale Schwingschelle bei Dauererschütterungen an Horizontal- und Vertikalschwingungen wird an allen Prognosepunkten in allen Schwingungsrichtungen eingehalten. Demnach ist nicht wahrscheinlich, dass Bauwerksschäden eintreten.
2. Der untere Anhaltswert A_u von 0,70 der Stufe I für die maximale bewertete Schwingschnelle KB_{Fmax} tags wird vsl. bis zu einem Abstand von ca. 15 m zum Ort der Verdichtung überschritten, in größeren Abständen eingehalten.
3. Bis zu einem Abstand von etwa 10 m zum Verdichtungsort wird der Anhaltswert A_r für die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} überschritten.

Summarisch ist damit davon auszugehen, dass die Anforderungen der DIN 4150-2 im wahrscheinlichen Fall eingehalten sind, im Bereich der Kleingärten an deren westlicher Grenze die

Anhaltswerte gerade erreicht werden, aber noch eingehalten sind. Bauwerksschäden sind absehbar nicht zu erwarten.

8.2 Erschütterungsprognose Verdichtungsarbeiten, ungünstiger Wert

Für den Fall, dass die Anregung, die örtlichen Übertragungsverhältnisse im Ausbreitungsweg und die Gebäudeschwingeeigenschaften korrespondieren, oder im Einzelfall schwerere Geräte eingesetzt werden oder mehrere Walzen gleichzeitig arbeiten können durch kumulative Effekte höhere Erschütterungen eintreten. Der Zunahmefaktor beträgt in dem Fall etwa 3 - 3,5. Dies wird durch die nachstehenden Prognosewerte beschrieben (vgl. Anlage 3).

Tab. 8-2 Ergebnisse Verdichtungsarbeiten, ungünstiger Wert

Ort	Fall	Abstand (m)	Horizontalschwingungen Decken		Vertikalschwingungen Decken		Anhaltswerte A_U und A_r und Vergleich mit KB_{Fmax} bzw. KB_{FTr}			
			Anhaltswert	v_{max} in mm/s	Anhaltswert	v_{max} in mm/s	A_U	KB_{Fmax}	A_r	KB_{FTr}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IO E 01	U	47	5	1,02	10	0,68	0,70	1,02	0,40	0,51
IO E 02	U	54	5	0,92	10	0,62	0,70	0,92	0,40	0,46
IO E 04	U	61	5	0,84	10	0,57	0,70	0,84	0,40	0,42
IO E 09	U	16	5	2,22	10	1,49	0,70	2,22	0,40	1,11
IO E 11	U	25	5	1,61	10	1,08	0,70	1,61	0,40	0,81
IO E 12	U	28	5	1,49	10	0,99	0,70	1,49	0,40	0,75
IO E 13	U	27	5	1,52	10	1,02	0,70	1,52	0,40	0,76
IO E 14	U	26	5	1,56	10	1,05	0,70	1,56	0,40	0,78
IO E 15	U	25	5	1,61	10	1,08	0,70	1,61	0,40	0,81
IO E 17/2	U	22	5	1,77	10	1,17	0,70	1,77	0,40	0,89
IO E 20	U	17	5	2,13	10	1,41	0,70	2,13	0,40	1,07
IO E 21	U	25	5	1,61	10	1,08	0,70	1,61	0,40	0,81

Der Sachverhalt stellt sich wie folgt dar:

1. Bauwerksschäden sind nicht zu erwarten.
2. Der untere Anhaltswert A_u von 0,70 der Stufe I für die maximale bewertete Schwinggeschwindigkeit $KB_{F_{max}}$ tags wird vsl. bis zu einem Abstand von ca. 60 m zum Ort der Verdichtung überschritten, in größeren Abständen eingehalten.
3. Bis zu einem Abstand von ebenfalls etwa 60 m zum Verdichtungsort wird der Anhaltswert A_r für die Beurteilungsschwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ überschritten.

Summarisch ist damit davon auszugehen, dass die Anforderungen der DIN 4150-2 im ungünstigen Fall östlich und südlich der Baumaßnahme überschritten sind. Dies betrifft sowohl den A_u als auch den A_r an der Lauensteinstraße in der ersten Gebäudereihe, und an der Traunreuter Straße die Gebäude bis in die zweite Gebäudereihe.

Bezüglich des $KB_{F_{Tr}}$ befindet man sich damit in der Stufe II der Bewertungsskala.

Es sind erhebliche Belästigungen nicht auszuschließen. Im Eintrittsfall ist zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist.

Da es sich um eine worst-case-Abschätzung handelt ist der Eintrittsfall mit einer Wahrscheinlichkeit von 4,5 % gering.

Als Abhilfemaßnahmen kommen in Betracht, die Maschinenlaufzeiten der Walzen in den Randlagen des Baufeld zu verkürzen, geringere Einbauschichtdicken vorzusehen und/oder leichtere Walzen (deutlich leichter als 6 t) zu verwenden. Methodisch käme auch in Betracht, die Einbauichtung nicht längs der Grundstücksgrenze vorzunehmen, sondern in einem rechtem Winkel, was den Ausbreitungsweg der Erschütterungen zu den Prognosepunkten verlängert.

8.3 Erschütterungsprognose Rammarbeiten, wahrscheinlicher Wert

Die Ergebnisse der durchgeführten Prognose-Abschätzungen für Vibrationsrammen sind in den Anlagen 4 und 5 beigegeben.

Tab. 8-3 Ergebnisse Rammarbeiten, wahrscheinlicher Wert

Ort	Fall	Abstand (m)	Horizontalschwingungen Decken		Vertikalschwingungen Decken		Anhaltswerte A_u und A_r und Vergleich mit KB_{Fmax} bzw. KB_{FTr}			
			Anhaltswert	v_{max} in mm/s	Anhaltswert	v_{max} in mm/s	A_u	KB_{Fmax}	A_r	KB_{FTr}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IO E 01	W	43	5	0,27	10	0,27	0,7	0,27	0,4	0,14
IO E 02	W	50	5	0,24	10	0,23	0,7	0,24	0,4	0,12
IO E 04	W	56	5	0,21	10	0,21	0,7	0,21	0,4	0,11
IO E 09	W	2	5	7,52	10	7,52	0,7	7,52	0,4	3,76
IO E 11	W	11	5	1,05	10	1,06	0,7	1,06	0,4	0,53
IO E 12	W	14	5	0,83	10	0,83	0,7	0,83	0,4	0,42
IO E 13	W	13	5	0,9	10	0,89	0,7	0,90	0,4	0,45
IO E 14	W	12	5	0,96	10	0,97	0,7	0,97	0,4	0,49
IO E 15	W	11	5	1,05	10	1,06	0,7	1,06	0,4	0,53
IO E 17/2	W	13	5	0,9	10	0,89	0,7	0,90	0,4	0,45
IO E 20	W	17	5	0,69	10	0,68	0,7	0,69	0,4	0,35
IO E 21	W	62	5	0,18	10	0,19	0,7	0,19	0,4	0,10

Entsprechend obiger Tabelle kommt die Prognoseabschätzung zu folgender Sachlage:

1. Die Anforderung an die maximale Schwingschelle bei Dauererschütterungen an Horizontal- und Vertikalschwingungen wird an elf von 12 Prognosepunkten (Wohngebäuden) in allen Schwingungsrichtungen eingehalten. An den Wohngebäuden ist nicht wahrscheinlich, dass Bauwerksschäden eintreten.
2. An den Gartenlauben an der Grundstücksgrenze sind Schwingschnellen von bis zu 8 mm/s an der Grundstücksgrenze nicht auszuschließen. In Abhängigkeit von der Bausubstanz sind Schäden möglich. Damit sind dort gesichert auch alle anderen Anhaltswerte für Wohnnutzungen nicht eingehalten.
3. Der untere Anhaltswert A_u von 0,70 der Stufe I für die maximale bewertete Schwingschnelle KB_{Fmax} tags wird mit einem KB_{Fmax} von rund 0,3 an der Lauensteinstraße eingehalten, an der Traunreuter Straße in der Größenordnung von etwa 0,2 überschritten. überschritten. Die Einhaltung des unteren Anhaltswerts ist in einem Abstand von ca. 20 m zur Rammlinie gegeben.

4. Bis zu einem Abstand von 15 m zum Verdichtungsort wird bei der gegebenen täglichen Einwirkzeit der Anhaltswert A_r für die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} überschritten.

Damit greifen für die Gebäude an der Traunreuter Straße die Informationspflichten nach Stufe II der DIN 4150-2 zur besonderen Vorab-Information der Anwohner der ersten Gebäudereihe für den Bau der Wand 4 an der Grundstücksgrenze.

Zum Schutz der Gartenlauben in der Kleingartensiedlung gilt neben den o. a. Informationspflichten eine besondere Sorgfalt bei der Durchführung der Rammarbeiten im nahem Umkreis der Lauben bis zu einem Abstand von ca. 10 m zu den Gebäudeaußenkanten. Es wird dazu geraten, begleitend zu den Rammarbeiten die Erschütterungen in den Gebäuden dergestalt zu überwachen, dass bei potentiell bauwerksschädigenden Erschütterungen der Bauablauf angepasst werden kann. Als Schwellenwert empfehlen wir, eine Schwingschnelle in einer der der Hauptschwingrichtungen (x, y, z) von max. 3 mm/s als Abbruchkriterium heranzuziehen.

8.4 Erschütterungsprognose Rammarbeiten, ungünstiger Wert

Die nachstehenden Werte gelten für die Prämisse, dass sich trotz Vorbohren der Untergrund als schwer rammpbar erweist.

Tab. 8-4 Ergebnisse Rammarbeiten, ungünstiger Wert

Ort	Fall	Abstand (m)	Horizontalschwingungen Decken		Vertikalschwingungen Decken		Anhaltswerte A_u und A_r und Vergleich mit KB_{Fmax} bzw. KB_{FTr}			
			Anhaltswert	v_{max} in mm/s	Anhaltswert	v_{max} in mm/s	A_u	KB_{Fmax}	A_r	KB_{FTr}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IO E 01	U	43	5	0,63	10	0,63	0,7	0,63	0,4	0,32
IO E 02	U	50	5	0,54	10	0,55	0,7	0,55	0,4	0,28
IO E 04	U	56	5	0,48	10	0,49	0,7	0,49	0,4	0,25
IO E 09	U	2	5	13,59	10	13,6	0,7	13,6	0,4	6,80
IO E 11	U	11	5	3,62	10	3,61	0,7	3,62	0,4	1,81
IO E 12	U	14	5	2,58	10	2,57	0,7	2,58	0,4	1,29
IO E 13	U	13	5	2,85	10	2,86	0,7	2,86	0,4	1,43
IO E 14	U	12	5	3,20	10	3,20	0,7	3,20	0,4	1,60
IO E 15	U	11	5	3,62	10	3,61	0,7	3,62	0,4	1,81
IO E 17/2	U	13	5	2,85	10	2,86	0,7	2,86	0,4	1,43
IO E 20	U	17	5	1,97	10	1,96	0,7	1,97	0,4	0,99
IO E 21	U	62	5	0,44	10	0,44	0,7	0,44	0,4	0,22

1. Bezüglich Vertikalschwingungen ergeben sich mit Ausnahme der, schon im wahrscheinlichen Fall gefährdeten, Gartenlauben keine erkennbaren Risiken von Bauwerksschäden.
2. Die Prognosewerte bei Dauererschütterungen bewegen sich an der Traunreuter Straße bei Horizontalschwingungen bei 60 bis 70 % der Bausubstanzgefährdung. Demnach ist nicht wahrscheinlich, aber auch nicht auszuschließen, dass Bauwerksschäden eintreten.
3. An der Lauensteinstraße sind absehbar alle Anforderungen eingehalten.
4. An der Traunreuter Straße wird sowohl der A_u als auch der A_r durchgängig deutlich überschritten.

Es zeigt sich mithin, dass zur Vermeidung von erheblichen Betroffenheiten an der Traunreuter Straße für eine zumindest mittlere, bis vorzugsweise gute, Rammbarkeit des Untergrunds Sorge zu tragen ist. Dies betrifft den Bau der Wand 4 und vorsorglich auch den Bau der Wand 3 im Bereich des reinen Wohngebiets. Bei dem Bau der Wand 2 kann davon ausgegangen werden, dass sich die Werte im Rahmen der Prognoseunschärfe im Bereich der Anhaltswerte bewegen, auch wenn sich der Untergrund als nicht leicht rammbar erweist.

Insofern sich im Bauablauf zeigt, dass sich die Träger nicht leicht einbringen lassen, sollten zu Dokumentationszwecken und zur Kontrolle des Bauablaufs baubegleitende Erschütterungsmessungen durchgeführt werden.

8.5 Setzungsrisiko

Grundsätzlich ist bei Schwingbeschleunigungen ab ca. $1/3 g$, d. h. $3,3 \text{ m/s}^2$ am Fundament eines Gebäudes damit zu rechnen, dass Setzungsrisiken bestehen.

In Betracht kommen abstandsbedingt die Gartenlauben in der Kleingartensiedlung an der Grundstücksgrenze zur Baustelle.

Im wahrscheinlichen Fall beträgt die auftretende Schwingschnelle am IO E 09 rund $1,6 \text{ m/s}^2$.

Da im Nahbereich mit einer Abstandsverringerung die auftretenden Schwingbeschleunigungen sehr stark zunehmen, können kleine Unterschiede im Abstand oder in den Untergrundverhältnissen die Schwingbeschleunigungsbelastung in den kritischen Bereich verschieben. Für den ungünstigen Fall mit schwierigen Rammverhältnissen gilt dies ohnehin.

In den übrigen Bereichen liegen die maximal zu erwartenden Schwingbeschleunigungen deutlich unter 1 m/s^2 . Damit sind Setzungsrisiken u. E. unwahrscheinlich.

Im Ergebnis besteht für die Gartenlauben in der Kleingartenanlage neben einem grundsätzlichen Risiko für die Bausubstanz auch ein Risiko für Setzungen. Betroffen hiervon sind Lauben mit einem Abstand von bis zu ca. 10 m zum Ort der Verdichtungsmaßnahmen.

9. Zusammenfassung

Die Stadtwerke München GmbH (SWM) planen den Neubau eines Trambetriebshofs an der Ständlerstraße 20.

Im Zuge der Baumaßnahme wird das Anlagengrundstück baulich und verkehrstechnisch überplant und in Richtung Süden bis zur Lauensteinstraße erweitert.

Im Zuge der Maßnahme finden erschütterungsverursachende Tiefbauarbeiten im Zuge von Verdichtungs- und Gründungsmaßnahmen statt. Dies umfasst insbesondere die Erstellung von Rammträgern zum Bau von Lärmschutzwänden, und die großflächige Herstellung von Verkehrsflächen mit den dafür notwendigen Verdichtungsarbeiten.

Südlich und östlich grenzen als schutzbedürftige Nutzungen reine Wohngebiete entlang der Traunreuter Straße und der Lauensteinstraße an. Südöstlich befindet sich eine Kleingartenanlage an der Balanstraße. Nördlich und westlich der Anlage liegen gewerbliche Nutzungen und Wohnnutzungen in Mischgebieten, welche abstandsbedingt nicht als potentiell betroffen eingestuft werden.

Es war eine Prognoseabschätzung vorzunehmen, inwieweit mit erheblichen bzw. potentiell belastigenden oder bauwerksschädigenden Erschütterungseinwirkungen zu rechnen ist. Die Erschütterungsprognose stellt auf die maßgeblichen erschütterungsintensiven Tiefbauarbeiten im Bauprozess ab.

Im Rahmen der Prognose wurde unterschieden zwischen einem wahrscheinlichen Fall, der einen statistisch abgesicherten durchschnittlich zu erwartenden Wert der Erschütterungsbelastung abbildet, und einen ungünstigen Wert, der eine Kumulation ungünstiger Randbedingungen überlagert und i. S. eines worst-case-Szenarios zu verstehen ist.

Grundlage der Prognose bzw. der Beurteilung ist die DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teile 1 bis 3.

Die Erschütterungsprognose kommt zu folgenden Ergebnissen:

9.1 Prognoseergebnisse Verdichtungsarbeiten

1. Bei Verdichtungsarbeiten mittels Vibrationswalzen werden im wahrscheinlichen Fall die Anforderung an die maximale Schwingschelle bei Dauererschütterungen an Horizontal- und Vertikalschwingungen an allen Prognosepunkten in allen Schwingungsrichtungen eingehalten. Bauwerksschäden und Setzungen sind nicht zu erwarten.
2. Der untere Anhaltswert A_u von 0,70 der Stufe I für die maximale bewertete Schwingschnelle KB_{Fmax} tags wird vsl. bis zu einem Abstand von ca. 15 m, der Anhaltswert A_r für die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} bis zu einem Abstand von etwa 10 m zum Verdichtungsort überschritten.
3. Bei Randbedingungen, welche im negativen Sinn die Erschütterungsausbreitung begünstigen, sind dennoch keine Bauwerksschäden zu erwarten.
4. In diesem Fall wird der untere Anhaltswert A_u von 0,70 der Stufe I für die maximale bewertete Schwingschnelle KB_{Fmax} tags und der Anhaltswert A_r für die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} wird vsl. bis zu einem Abstand von ca. 60 m zum Ort der Verdichtung überschritten.

9.2 Prognoseergebnisse Rammgründungen

1. Im wahrscheinlichen Fall werden die Anforderungen an die maximale Schwingschelle bei Dauererschütterungen an Horizontal- und Vertikalschwingungen an elf von 12 Prognosepunkten (Wohngebäuden) in allen Schwingungsrichtungen eingehalten. An den Wohngebäuden ist nicht wahrscheinlich, dass Bauwerksschäden oder Setzungen eintreten.
2. An den Gartenlauben an der Grundstücksgrenze sind Schwingschnellen von bis zu 8 mm/s an der Grundstücksgrenze nicht auszuschließen. In Abhängigkeit von der Bausubstanz sind Schäden möglich. Damit sind dort gesichert auch alle anderen Anhaltswerte für Wohnnutzungen nicht eingehalten.
3. Der untere Anhaltswert A_u von 0,70 der Stufe I für die maximale bewertete Schwingschnelle $KB_{F_{max}}$ tags wird an der Lauensteinstraße eingehalten, an der Traunreuter Straße in der Größenordnung von etwa 0,2 überschritten. Die Einhaltung des unteren Anhaltswerts A_u ist in einem Abstand von ca. 20 m zur Rammlinie gegeben.
4. Im ungünstigen Fall ergeben sich bezüglich Vertikalschwingungen mit Ausnahme der, schon im wahrscheinlichen Fall gefährdeten, Gartenlauben keine erkennbaren Risiken von Bauwerksschäden oder Setzungen.
5. Bei Horizontalschwingungen können entlang der Traunreuter Straße im ungünstigen Fall Werte von 60 bis 70 % der Bausubstanzgefährdung auftreten. Demnach ist nicht wahrscheinlich, aber auch nicht auszuschließen, dass Bauwerksschäden eintreten.
6. Im ungünstigen Fall sind an der Lauensteinstraße absehbar alle Anforderungen eingehalten, an der Traunreuter Straße wird sowohl der A_u als auch der A_r durchgängig deutlich überschritten.

9.3 Folgerungen

1. Es empfiehlt sich, im Umfeld der Baustelle vor Beginn der Baumaßnahme eine Beweissicherung der nächstgelegenen Gebäude an der Traunreuter Straße und der Lauensteinstraße bezüglich Vorschäden durch einen anerkannten Bausachverständigen vornehmen zu lassen.
2. Wir raten dazu, Gebäude in weniger als 15 m Abstand zu einem Bauort während der Arbeiten kontinuierlich erschütterungstechnisch zu überwachen, Gebäude bis zu einem Abstand von 30 m im Rahmen von Stichproben, und die Ergebnisse sowie die Randbedingungen zu dokumentieren.
3. Bei Auftreten von Erschütterungen, welche den unteren Anhaltswert von $KB_{F_{max}} = 0,7$ überschreiten ist das Bauverfahren dergestalt anzupassen, dass eine Einhaltung im Rahmen des technisch Möglichen gewährleistet wird.
4. Die Informationspflichten nach DIN 4150-2 sind zu beachten.
5. Bei Nachbarbeschwerden sollten repräsentative baubegleitende Kontrollmessungen in ausreichender Zahl durchgeführt werden.
6. Es wird angeraten, erschütterungstechnisch überwachte Proberammungen vorzunehmen. Für den Fall, dass sich der Untergrund nicht als leicht rammbar erweist sind

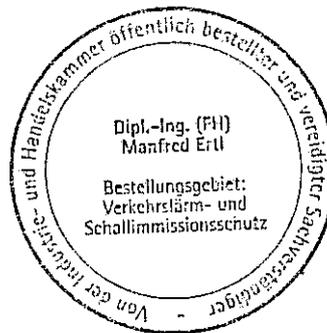
Auflockerungsmaßnahmen in Einbringtiefe der Rammträger vorzunehmen, bis eine leichte Rammpbarkeit erreicht ist.

7. Der Belästigungs- bzw. Betroffenheitsgrad der Nachbarschaft kann, neben einer angemessenen Vorbereitung des Untergrunds für Rammarbeiten, durch die Reduktion von Einwirkzeiten gemindert werden. Dies kann einerseits durch eine Steuerung (Reduktion) der Bauzeiten im Bereich der Grundstücksgrenze an der Ostseite der Baumaßnahme erfolgen, andererseits durch Verteilung der Arbeiten insbesondere bei Verdichtungsarbeiten auf unterschiedliche, möglichst große Baufelder, welche auch größere Abstände zur Wohnbebauung aufweisen.

Augsburg, 20.07.2023

M. Ull

Dipl.-Ing. (FH) M. Ertl



A) Regelwerke / Literatur

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge, BImSchG - Bundes-Immissionsschutzgesetz
- [2] DIN 4150-1, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- [3] DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [4] DIN 4150-3, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Februar 1999
- [5] Institut für Bauforschung e. V. Hannover, Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten, Bericht 20, 2004

B) Grundlagen

- (1) Google Earth, Luftbildauszug des Untersuchungsraums
- (2) em plan, Ortseinsichten
- (3) Stadt München, Auszug aus dem Flächennutzungsplan, 14.02.2023
- (4) Bayerische Vermessungsverwaltung, Auszug aus der digitalen Flurkarte im Bestand, 26.10.2021
- (5) Bayerische Vermessungsverwaltung, digitales Höhenmodell, Stand 2022
- (6) BERNARD Gruppe ZT GmbH, Lagepläne/Beschreibung Bauphasen 1 - 29, 21.02.2023

C) Tabellen

Tab. 4-1 Anhaltswerte für Bauerschütterungen auf Menschen	11
Tab. 4-2 Anhaltswerte zur Beurteilung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke	13
Tab. 4-3 Anhaltswerte zur Beurteilung von Dauererschütterungen auf Bauwerke	14
Tab. 7-1 Prognosepunkte	18
Tab. 8-1 Ergebnisse Verdichtungsarbeiten, wahrscheinlicher Wert	19
Tab. 8-2 Ergebnisse Verdichtungsarbeiten, ungünstiger Wert	20
Tab. 8-3 Ergebnisse Rammarbeiten, wahrscheinlicher Wert	22
Tab. 8-4 Ergebnisse Rammarbeiten, ungünstiger Wert	23

D) Anlagenverzeichnis

Anlage Nr.	Art	Inhalt
1.1 bis 1.2	Lagepläne	Bauzonen und Prognosepunkte
2.1 bis 2.12	Tabellen	Verdichtungsarbeiten, wahrscheinlicher Prognosewert
3.1 bis 3.12	Tabellen	Verdichtungsarbeiten, ungünstiger Prognosewert
4.1 bis 4.12	Tabellen	Verbauarbeiten, wahrscheinlicher Prognosewert
5.1 bis 5.12	Tabellen	Verbauarbeiten, ungünstiger Prognosewert