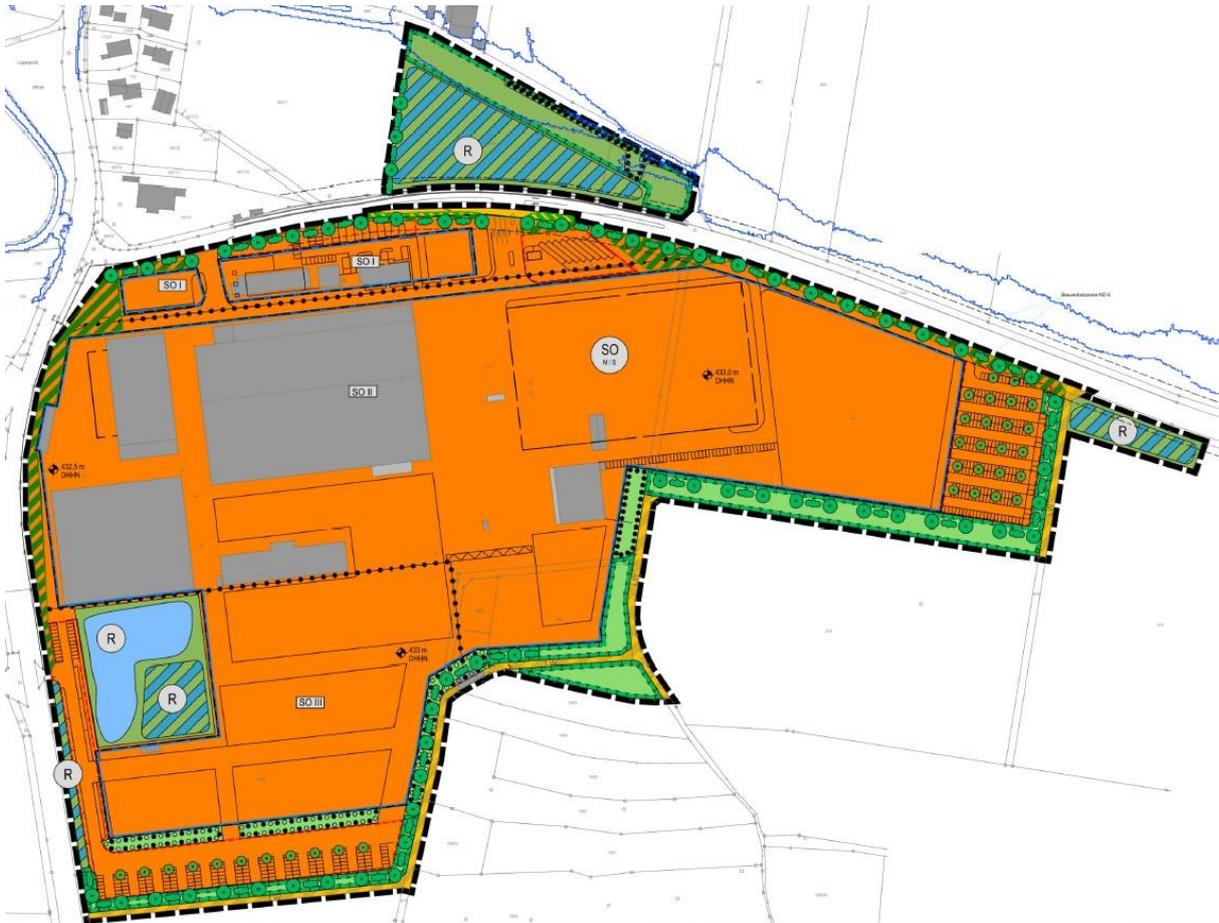


# Erschütterungstechnische Untersuchung

Für das Bauvorhaben zur Erweiterung des Werksgeländes  
der Bauer Maschinen GmbH, 86561 Aresing



M.Sc. Marvin Binnig

Bericht-Nr.: ACB-1123-236253/02\_rev.04

31.07.2025

**Titel: Erschütterungstechnische Untersuchung**

**Für das Bauvorhaben zur Erweiterung des Werksge-  
ländes der Bauer Maschinen GmbH, 86561 Aresing**

Auftraggeber: DIBAG Industriebau AG  
Lilienthalallee 25  
80939 München

Auftrag vom: 11.10.2023

Bericht-Nr.: ACB-1123-236253/02\_rev.04

Ersetzt Bericht-Nr.: ACB-1123-236253/02\_rev.03  
vom: 27.06.2025

Umfang: 32 Seiten

Datum: 31.07.2025

Bearbeiter: M.Sc. Marvin Binnig

Diese Unterlage ist für den Auftraggeber bestimmt und darf nur insgesamt kopiert und  
verwendet werden.  
Bei Veröffentlichung dieser Unterlage (auch auszugsweise) hat der Auftraggeber sicherzustellen, dass  
die veröffentlichten Inhalte keine datenschutzrechtlichen Bestimmungen verletzen.

## Zusammenfassung:

Im Rahmen einer geplanten Werkserweiterung der Firma *Bauer Maschinen GmbH*, die unter anderem Maschinen für den Spezialtiefbau und Verdichtungsgeräte herstellt, wurden am 23.10.2023 erschütterungstechnische Untersuchungen durchgeführt, die den Einfluss von Erschütterungsemissionen durch dieses Gewerbe auf die umgebende Bebauung ergründen sollen. Im Verlaufe der Planungen wurde die Planungsgrenze noch einmal angepasst, die in der vorliegenden Revision 3 des ursprünglichen Berichts berücksichtigt ist.

Als besonders erschütterungsintensiver Emissionsort existiert auf dem Werksgelände zusätzlich ein Testbereich für Tiefbau- und Verdichtungsgeräte im Südosten des bestehenden Werksgeländes (BDC-Teststand). Hierzu wurde im Jahr 2020 ein Fremdgutachten [7] angefertigt, in dem Messdaten präsentiert werden, die durch mehrere Messsensoren in unterschiedlichen Abständen zur Quelle während des Betriebes einer Ramme akquiriert wurden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zusammen mit den Erkenntnissen aus der eigenen Messkampagne werden dazu verwendet, die Erschütterungsimmissionen auf die umgebende Bebauung und die Menschen in den Gebäuden während des Testbetriebes zu prognostizieren und zu bewerten.

Anhand der Prognoseberechnungen kann festgestellt werden, dass bei der umliegenden Bebauung Erschütterungsimmissionen prognostiziert werden, die keine Überschreitungen des oberen Anhaltswertes  $A_o$  aufweisen, weder beim Regelbetrieb noch bei der Durchführung von Rammtests auf dem BDC Teststand. Die Berechnung des  $KBFT_r$  – Wertes führt zu dem Ergebnis, dass der Beurteilungswert  $A_r$  bei Dauerbetrieb der Ramme ab 210 Minuten im wahrscheinlichen Fall überschritten wird.

Aus den Prognoseberechnungen zum sekundären Luftschall kann weiterhin abgeleitet werden, dass der Beurteilungspegel des sekundären Luftschalls den Richtwert nach dem Urteil des BVG vom 19.04.2014 einhalten wird.

Eine schädigende Wirkung auf die umliegende Bebauung nach DIN 4150-3 [3] durch Erschütterungsimmissionen durch den Regelbetrieb oder durch den Testbetrieb von Tiefbaumaschinen mit einer Rammenergie des in diesem Bericht beschriebenen Rammgeräts oder mit Maschinen geringerer Energie auf dem Testgelände, kann nach den Prognoseberechnungen ausgeschlossen werden.

**Revisionshistorie:**

Bericht-Nr.	Datum	Text, Änderungsgrund
ACB-1123-236253/02	11.10.2023	Originalfassung
ACB-1123-236253/02_rev.01	26.05.2025	Überarbeitung gemäß aktualisierter Planunterlagen vom 27.03.2025; redaktionelle Änderungen
ACB-1123-236253/02_rev.02	11.06.2025	Überarbeitung gemäß aktualisierter Planunterlagen vom 05.06.2025
ACB-1123-236253/02_rev.03	27.06.2025	Streichung der Beurteilung zu Zugvorbeifahrten da keine Relevanz
ACB-1123-236253/02_rev.04	31.07.2025	Aktualisierung des Plangebietes in Abb.1 und Abb.2

## Inhalt

<b>1 Anlass und Aufgabenstellung .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Das Untersuchungsgebiet .....</b>	<b>6</b>
2.1 Örtliche Gegebenheiten .....	6
2.2 Gebäudebestand.....	7
<b>3 Beurteilungsgrundlage und Immissionsrichtwerte.....</b>	<b>8</b>
3.1 Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen.....	9
Sekundärer Luftschall .....	11
3.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Strukturen .....	11
<b>4 Berechnungsverfahren .....</b>	<b>14</b>
4.1 Erschütterungsausbreitung.....	14
<b>5 Messkampagne .....</b>	<b>15</b>
5.1 Messstrategie.....	16
5.1.1 Freifeldmessung .....	16
5.1.2 Gebäudemessung.....	17
5.1.3 Ausbreitungsmessungen .....	19
5.2 Messgeräte und Zubehör .....	19
5.3 Messgeometrie der Ausbreitungsmessung.....	20
<b>6 Messergebnisse .....</b>	<b>22</b>
6.1 Freifeldmessung.....	22
6.2 Gebäudemessung.....	22
6.3 Ausbreitungsmessung.....	24
6.4 Messungen Fremdgutachten zu BDC Testgelände .....	24
<b>7 Prognose Erschütterungseinwirkungen und sekundärer Luftschall ...</b>	<b>26</b>
7.1 Regelbetrieb.....	26
7.2 Testgelände BDC-Teststand .....	27
<b>8 Bewertung .....</b>	<b>29</b>
<b>9 Zusammenfassung .....</b>	<b>31</b>
<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>32</b>

## 1 Anlass und Aufgabenstellung

Im Rahmen einer geplanten Werkserweiterung der Firma *Bauer Maschinen GmbH*, die unter anderem Maschinen für den Spezialtiefbau und Verdichtungsgeräte herstellt, wurden erschütterungstechnische Untersuchungen durchgeführt, die den Einfluss von Erschütterungsemissionen dieses Gewerbes auf die Umgebung ergründen sollen.

Das Werksgelände der Fa. Bauer Maschinen GmbH befindet sich in der Sonnenhamer Straße 55, in 86561 Aresing. Es ist geplant das Gewerbe nach Osten hin auf derzeit landwirtschaftlich genutzte Fläche zu erweitern. Im Norden begrenzt die Kreisstraße ND 6 das Plangebiet.

Als besonders erschütterungsintensiver Emissionsort existiert auf dem Werksgelände eine Testzone für Tiefbau- und Verdichtungsgeräte im Südosten des bestehenden Werksgeländes. Hierzu wurden in der Vergangenheit Fremdgutachten [7] angefertigt, die dem Zweck dienen, die Erschütterungsausbreitung und die Erschütterungsimmissionen auf die umliegende Bebauung zu quantifizieren. In dem hier vorliegenden Gutachten werden neben selbst erbrachten Schwingungsmessungen zur Charakterisierung der Schwingungsausbreitung die Messdaten dieses Fremdgutachtens herangezogen, um die erschütterungstechnischen Einwirkungen des Gewerbes auf die Umgebung zu eruieren.

Die ACCON GmbH (ACCON) wurde am 11.10.2023 damit beauftragt, in einer Untersuchung die Erschütterungsimmissionen durch den Betrieb der Bauer Maschinen GmbH in Aresing auf die umliegende Bebauung zu prognostizieren, deren Resultate in dem Bericht ACB-1123-236253/02 vom 11.10.2023 präsentiert wurden. Da im Laufe der Planungen Anpassungen am Plangebiet erfolgten, wird der Bericht in einer revidierten Fassung (Revision 4) aktualisiert und dem Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

## 2 Das Untersuchungsgebiet

### 2.1 Örtliche Gegebenheiten

Das Werksgelände der Firma Bauer Maschinen GmbH befindet sich im südlichen Randbereich der Gemeinde Aresing in der Sonnenhamer Straße 55, 86561 Aresing. Das Gelände wird im Westen von der Sonnenhamer Straße und im Norden von der Kreisstraße ND 6 begrenzt. Im Osten grenzt ein Feldweg und im Süden eine landwirtschaftliche Fläche an das Bestandswerk an. Es ist geplant das Gewerbe nach Osten hin auf derzeit landwirtschaftlich genutzte Fläche zu erweitern. Der Umriss des Plangebietes ist in Abbildung 1 dargestellt. Auf dem bestehenden Werksgelände befindet sich zudem ein Testgelände für Tiefbaugeräte, wo unter anderem leistungsstarke Verdichtungsgeräte getestet werden. Dieser Testbereich wurde schwingungsgedämpft von der Umgebung konstruiert, um die Erschütterungsimmissionen auf die Bauwerke in direkter Nachbarschaft gering zu halten. Der Standort des sog. BDC – Teststands ist in Abbildung 1 vermerkt.

Wegen der geringen Distanz des Gewerbegebietes zu bestehender Bebauung sollen die Einwirkungen durch den Betrieb auf die umliegende Bebauung untersucht werden.

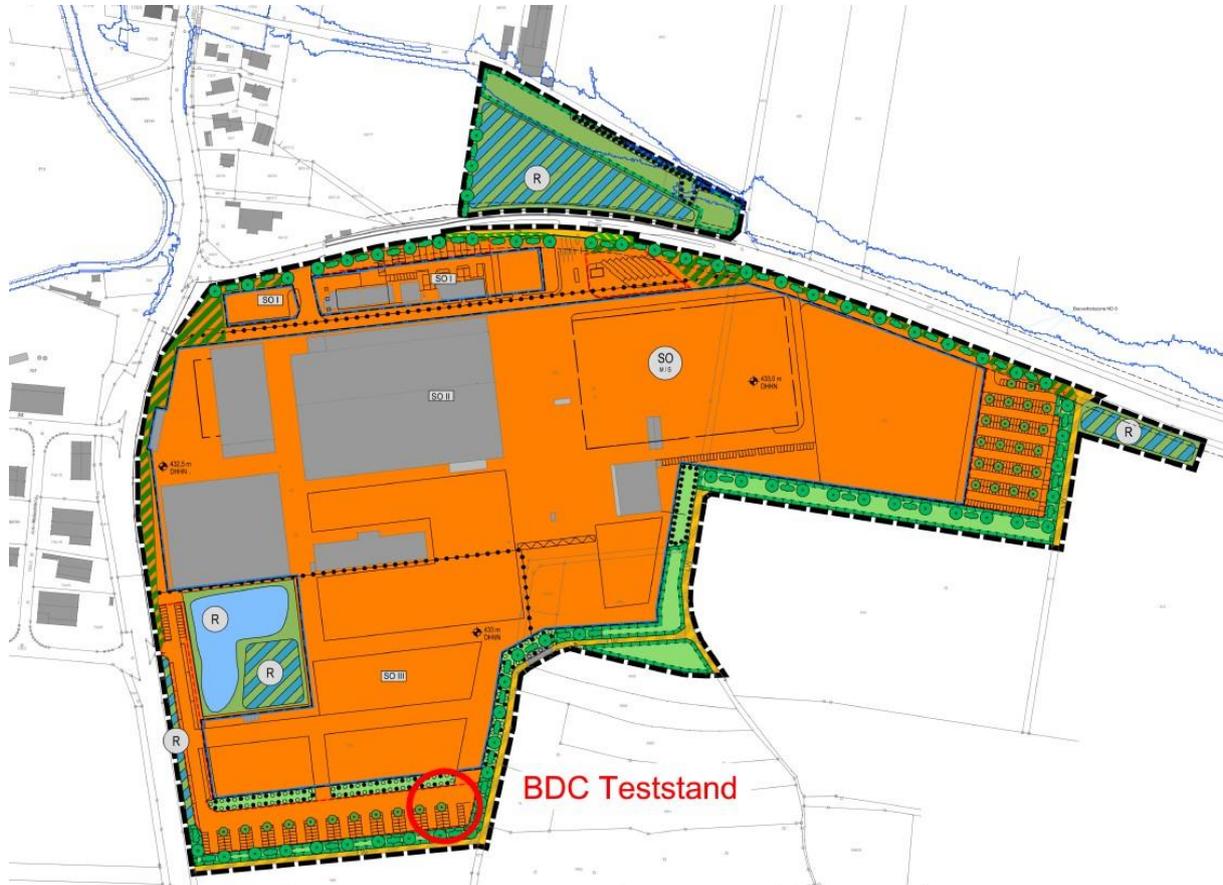


Abbildung 1: Umriss des Plangebietes mit BDC-Teststand rot umrandet. (Quelle: Bereitgestellt vom Auftraggeber)

## 2.2 Gebäudebestand

Im weiteren Umkreis des bestehenden und der geplanten Erweiterung des Werksgeländes der Bauer Maschinen GmbH befinden sich Bestandsgebäude, auf die Erschütterungsimmissionen durch den Regelbetrieb des zu untersuchenden Gewerbes wirken und deren Intensitäten in dieser Untersuchung prognostiziert werden sollen. Eine Übersicht der Bestandsgebäude bzw. der erschütterungskritischen Regionen sind:

- Das im Norden existierende Restaurant Wanderheim Aresing
- Das im Norden befindliche Wohngebiet entlang der Sonnenhamer Straße
- Das im Norden befindliche Wohngebiet an der Gerolsbacher Straße
- Das Gewerbegebiet westlich der Sonnenhamer Straße

Das Restaurant Wanderheim Aresing in der Sonnenhamer Straße 53, das nördlich der Bundesstraße liegt, befindet sich laut Flächennutzungsplan auf landwirtschaftlich genutzter Fläche, für die gemäß der Norm DIN 4150 – 2 [2] keine entsprechenden Anhaltswerte gelten. Da das Gebäude jedoch in Verlängerung des weiter nördlich befindlichen Dorfgebietes anschließt, werden hier nach gutachterlicher Einschätzung die Anhaltswerte für ein als Mischgebiet

genutztes Gelände angenommen. Die weiter nördlich anschließende Bebauung ist ebenfalls Dorfgebiet und wird normkonform den Anhaltswerten eines Mischgebietes gegenübergestellt. Das im Westen befindliche Gewerbegebiet entlang der Sonnenhamer Straße wird den Anhaltswerten eines als Gewerbegebiet genutzte Fläche gegenübergestellt. Eine Übersichtskarte der zu bewertenden Immissionsorte ist in Abbildung 2 dargestellt.

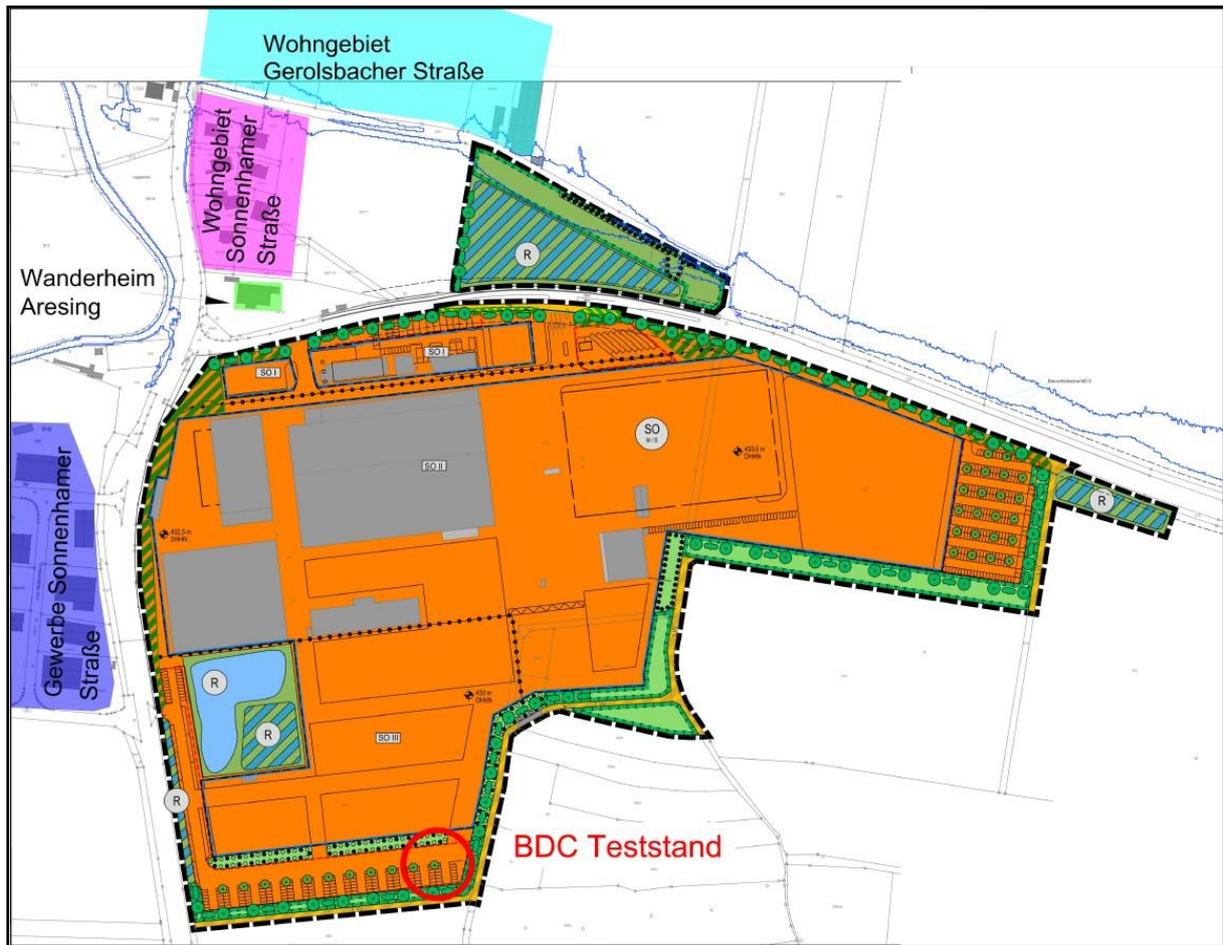


Abbildung 2: Übersichtskarte zu Plangelände und den umliegenden Immissionsorten.

### 3 Beurteilungsgrundlage und Immissionsrichtwerte

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen unterscheidet die DIN-4150-Reihe [2][3] zwischen Einwirkungen auf den Menschen in Gebäuden und schädlichen Einwirkungen auf Gebäude. Die Beurteilung bezieht sich auf alle drei Schwingrichtungen, wobei nur der Maximalwert der größten Einzelkomponente zur Beurteilung herangezogen wird. Innerhalb von Gebäuden und insbesondere in Zimmermitte ist das erfahrungsgemäß die vertikale Komponente.

### 3.1 Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen

Zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkung auf Menschen wird die DIN 4150-2 [2] herangezogen. Zweck der Norm ist die angemessene Berücksichtigung des Erschütterungsschutzes im Immissionsschutz. In der DIN 4150-2 [2] werden Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass in der Regel erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden. (s. Tabelle 1). Die prognostizierten Erschütterungsimmissionen auf die umliegenden Gebäude werden den entsprechenden Anhaltswerten gegenübergestellt.

Tabelle 1: Anhaltswerte zu Erschütterungsimmissionen nach DIN 4150 – 2 [2]

Einwirkungsort	tags (6 <sup>00</sup> - 22 <sup>00</sup> Uhr)			nachts (22 <sup>00</sup> - 6 <sup>00</sup> Uhr)		
	A <sub>u</sub>	A <sub>o</sub>	A <sub>r</sub>	A <sub>u</sub>	A <sub>o</sub>	A <sub>r</sub>
Industriegebiet (I)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
<b>Gewerbegebiet (GE)</b>	<b>0,3</b>	<b>6</b>	<b>0,15</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>
<b>Mischgebiet (MI)</b>	<b>0,2</b>	<b>5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,15</b>	<b>0,3</b>	<b>0,07</b>
allgemeines und reines Wohngebiet (WE)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
Sondergebiete Kliniken (SO)	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

Die DIN 4150-2 [2] berücksichtigt mittels einer Frequenzbewertung der Schwinggeschwindigkeit die menschliche Erschütterungswahrnehmung. Nach dieser Frequenzbewertung der Schwinggeschwindigkeit erhält man den dimensionslosen  $KB_F$ -Wert. Dieser  $KB_F$ -Wert soll mit seinem maximalen Wert ( $KB_{Fmax}$ ) den unteren Anhaltswert  $A_u$  nach DIN 4150-2 [2] möglichst nicht überschreiten. Überschreitet  $KB_{Fmax}$  den oberen Anhaltswert  $A_o$ , dann ist die Anforderung an die Norm nicht eingehalten. Ist der  $KB_{Fmax}$  größer als  $A_u$  jedoch kleiner als der obere Anhaltswert  $A_o$ , dann ist die Norm eingehalten, falls die zeitabhängige Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FT}$  nicht größer als  $A_r$  ist.

#### **$KB_F$ -Wert**

Die DIN 4150-2 [2] berücksichtigt mittels einer Frequenzbewertung des Schwinggeschwindigkeitssignals die menschliche Erschütterungswahrnehmung. Diese Frequenzbewertung wird mittels Hochpassfilter mit einer Grenzfrequenz von 5,6 Hz erreicht:

$$KB(f) = \sqrt{\frac{1}{\left(1 + \left(\frac{f_0}{f}\right)^2\right)}} \quad f_0 = 5,6 \text{ Hz} \quad (1)$$

Nach dieser Frequenzbewertung der Schwinggeschwindigkeit erhält man den dimensionslosen  $KB$  - Wert. Zusätzlich wird auf das  $KB$  - bewertete Signal der gleitende Effektivwert mit der Zeitkonstanten 0,125 s angewendet und man erhält den  $KB_F$  - Wert (siehe Gl. 2), welcher maßgebend für die Bewertung der Erschütterungsimmissionen auf das menschliche Empfinden ist.

$$KB_F(t) = \sqrt{\frac{1}{0,125} \int_{\xi=0}^t e^{-\frac{t-\xi}{0,125}} KB^2(\xi) d\xi} \quad (2)$$

Der maximal erreichte  $KB_F$ -Wert ( $KB_{Fmax}$ ) soll während des Beurteilungszeitraumes den unteren Anhaltswert  $A_u$  nach der DIN 4150-2 [2] möglichst nicht überschreiten. Überschreitet  $KB_{Fmax}$  den oberen Anhaltswert  $A_o$ , dann ist die Anforderung an die Norm nicht eingehalten. Ist  $KB_{Fmax}$  größer als  $A_u$ , jedoch kleiner als der obere Anhaltswert  $A_o$ , dann ist die Norm eingehalten, falls die zeitabhängige Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTT}$ , welche die gesamte Erschütterungseinwirkdauer innerhalb eines Tages- und Nachtzeitraumes berücksichtigt, nicht größer als der Beurteilungswert  $A_r$  ist.

### **$KB_{FTT}$ -Wert**

Der  $KB_{FTT}$ -Wert dient der Beurteilung der Erschütterungsimmissionen unter Einbeziehung der Häufigkeit der vom Gewerbe ausgehenden Erschütterungsemissionen. Je häufiger erschütterungsintensive Aktivitäten auf dem Gewerbegebiet durchgeführt werden, desto höher wird der  $KB_{FTT}$ -Wert. Dabei wird ein Tag in 1920 30-Sekunden Abschnitte und eine Nacht in 960 30-Sekunden Abschnitte eingeteilt, die sogenannten Takte. Maßgebend für die Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke ist hierbei der Maximalwert eines jeden Taktes, der Taktmaximalwert  $KB_{FTM}$ . Jeder Takt, bei dem Erschütterungsimmissionen durch den gewerblichen Betrieb den Grenzwert von 0,1 überschreiten, geht in die Berechnung des  $KB_{FTT}$ -Wertes folgendermaßen mit ein:

$$KB_{FTT} = \sqrt{\frac{1}{N_r} \sum_{j=1}^L M_j * KB_{FTM,j}^2} \quad (3)$$

Hierbei ist  $M$  die Anzahl an spürbarer Erschütterungsimmissionen für eine für das Gewerbe charakteristische Aktivität  $j$ ,  $N_r$  die Anzahl der Takte im Beurteilungszeitraum (1920 tags bzw. 960 nachts) und  $L$  die Anzahl an unterschiedlichen charakteristischen Aktivitäten, die sogenannten Schichten.

Die Wahrnehmungsstärke von Erschütterungen hängt von der Höhe des  $KB$ -Wertes und von der Frequenzzusammensetzung der Erschütterungseinwirkung ab. Für die subjektive Wahrnehmung spielt daneben das übrige Umfeld (Vorhandensein von anderen störenden Umwelteinflüssen) eine Rolle. Die folgende Tabelle kann deshalb nur zur orientierenden Einschätzung der Wirkung von Erschütterungen dienen.

Tabelle 2: Wahrnehmungsstärke von Erschütterungen nach  $KB$ -Wert

<b>KB - Wert</b>	<b>Wahrnehmung</b>
1,6	stark spürbar
0,6	gut spürbar
0,14	gerade spürbar
0,1	Fühlschwelle

## Sekundärer Luftschall

Im Urteil des Bundesverwaltungsgerichts (BVG) vom 19.04.2014 wird für den aus Erschütterungsimmissionen entstehenden sekundären Luftschall festgelegt:

*„Weder für die Ermittlung und Beurteilung von Geräuschimmissionen aus sekundärem Luftschall noch für eine diesbezügliche Zumutbarkeitsschwelle gibt es normative Festsetzungen. Welche Innenschallpegel für die Bewohner von Häusern zumutbar sind, kann jedoch in Orientierung an den Vorgaben der auf öffentliche Verkehrsanlagen bezogenen Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV [12]) bestimmt werden, da es sich auch beim sekundären Luftschall um einen verkehrsinduzierten Lärm handelt ... Zutreffend geht diese auch davon aus, dass in Übereinstimmung mit den Vorgaben der 24. BImSchV die Zumutbarkeitsschwelle für einwirkenden sekundären Luftschall bei 40 dB(A)/tags für Wohnräume und 30 dB(A) nachts für Schlafräume liegt.“*

Danach gelten für Wohnräume, unabhängig von der Lage des Gebäudes und der Gebietseinstufung, folgende Richtwerte:

Tabelle 3: Richtwerte für Sekundärschall in Gebäuden

Beurteilungszeitraum	Tag (6 - 22 Uhr) Wohnzimmer	Nacht (22 - 6 Uhr) Schlafzimmer
Sekundärluftschall	40 dB(A)	30 dB(A)

Die Richtwerte in Tabelle 3 beziehen sich auf Mittelungspegel ( $L_{m,sek}$ ) über die jeweilige Beurteilungszeit.

Es wird bei der Dimensionierung bei evtl. notwendig werdenden Schutzmaßnahmen darauf Rücksicht genommen, dass kurzzeitige Geräuschspitzen bei Einzelereignissen den Richtwert um nicht mehr als 10 dB überschreiten.

Die Berechnungen zu den zu erwartenden sekundären Luftschallpegeln basieren auf den Ergebnissen zu den Schwingungsgeschwindigkeiten in Deckenmitte eines Obergeschosses der betroffenen Bauwerke. So wird anhand von Deckendimension und -material die entsprechende Abstrahlcharakteristik abgeleitet, wodurch eine Approximation zu dem Schalldruckpegel  $L_p$  während erschütterungsintensiver Tätigkeiten durch das untersuchte Gewerbe möglich ist. Eine A-Bewertung des so berechneten Schalldruckpegels berücksichtigt dabei die Störwirkung von sekundärem Luftschall auf die Frequenzempfindlichkeit des menschlichen Gehörs.

### 3.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Strukturen

Die DIN 4150-3 (Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen; Februar 1999) [3] behandelt den Schutz vor Gebäudeschäden. Diese Norm nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht zu erwarten sind. Werden die Anhaltswerte überschritten, folgt daraus nicht, dass zwangsläufig Schäden auftreten müssen.

Die zeitliche Einwirkdauer der Erschütterungen auf bauliche Strukturen wird dabei in zwei Kategorien eingeteilt, denen jeweils unterschiedliche Anhaltswerte zugeteilt werden. Kurzzeitige Erschütterungsereignisse sind solche, welche impulsartig und nicht wiederholend auftreten, daher kein Potenzial haben, eine bauliche Struktur oder deren bauliche Teile in Resonanz zu versetzen (Beispiel: Rammbohrung oder fallende Abbruchteile). Dauererschütterung hingegen sind solche Erschütterungen, welche wiederholend in einer solchen Taktrate auftreten, dass sie das Potenzial haben, Resonanzerscheinungen in den Gebäuden oder deren Bauteile hervorzurufen. Dauererschütterung produzierende Erschütterungsquellen sind z.B. die Rüttelplatte oder Vibrationsrammverfahren.

Tabelle 4: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit  $v$  in mm/s zur Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen auf Bauwerke durch kurzzeitige Erschütterungen [3].

Gebäudeart	Maximale Schwinggeschwindigkeit $v_i$ in mm/s			
	Fundament, maximale Schwingungsrichtung			Oberste Deckenebene, horizontal / vertikal
	1 bis 10 Hz	10 bis 50 Hz	50 bis 100 Hz	Alle Frequenzen
Industriebau, gewerbliche Bauten	20	20 - 40	40 - 50	40 / 20
Wohngebäude	5	5 - 15	15 - 20	15 / 20
Empfindliche Bauten, Denkmalschutz	3	3 - 8	8 - 10	8 / 20

In Tabelle 4 sind für verschiedene Gebäudearten Anhaltswerte für Schwinggeschwindigkeiten am Fundament und in der Deckenebene angegeben, die für kurzzeitige Erschütterungen geltend gemacht werden. Diese Anhaltswerte sind für Fundamentalschwinggeschwindigkeiten frequenzabhängig, da bei tieferen Frequenzen die Wahrscheinlichkeit größer ist, dass das gesamte Gebäude in Resonanz gerät.

Bei auf bauliche Strukturen wirkende Dauererschütterungen ist das Potenzial gegeben, dass bei diesen durch die Dauerbelastung Ermüdungserscheinungen auftreten. Daher sind die Anhaltswerte für die maximalen Schwinggeschwindigkeiten durch Dauererschütterungen, im Vergleich zu kurzzeitigen Erschütterungen, reduziert.

In folgender Tabelle 5 werden die Anhaltswerte bei dauerhaften Erschütterungen nach DIN 4150-3 [3] benannt.

Tabelle 5: Anhaltswerte für die maximale, frequenzunabhängige Schwinggeschwindigkeit  $v_{i,max}$  in mm/s zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke [3].

Gebäudeart	Maximale Schwinggeschwindigkeit $v_i$ in mm/s	
	Oberste Deckenebene, horizontale Schwingungen	Deckenebenen, Vertikale Schwingungen
Industriebau, gewerbliche Bauten	10	10
Wohngebäude	5	10
Empfindliche Bauten, Denkmalschutz	2,5	10

In Bezug auf Fundamentalschwinggeschwindigkeiten für Dauererschütterungen enthält die DIN 4150-3 [3] keine Anhaltswerte. Hier könnte die schweizerische Norm SN 640312a herangezogen werden. Deren Anhaltswerte belaufen sich für „häufige“ Ereignisse bei Erschütterungssignalen zwischen 30 und 60 Hz auf 8 mm/s und für „permanente“ Ereignisse auf 4 mm/s. Baustellenereignisse sind meist als „häufig“ einzustufen. Zusätzlich ist zu bedenken, dass die schweizerische Norm den Vektorbetrag  $v_R$  aller drei Schwinggeschwindigkeitskomponenten und nicht die einzelnen Komponenten, wie die DIN 4150 – 3 [3], als Beurteilungswert heranzieht. Dieser liegt um den Faktor 1 bis  $\sqrt{3}$  höher als die einzelnen Komponenten. Aus eigener Erfahrung werden bei den vorliegenden Aktivitäten in der Regel Wellenformen angeregt, die vornehmlich in 2 Raumrichtungen schwingen und deren Verhältnis von der maximalen Schwingamplitude in allen 3 Raumrichtungen zur maximalen Schwingamplitude entlang einer einzelnen Raumachse ca. 1,37 ist. Um die gemessenen bzw. prognostizierten Schwinggeschwindigkeiten den Anhaltswerten gegenüberstellen zu können, wird daher dieser Umrechnungsfaktor angewendet.

Tabelle 6: Maximal erlaubte Anhaltswerte der Fundamentalschwinggeschwindigkeiten  $v_R$  bei Dauererschütterungen bei einem normal empfindlichen Gebäude nach Einwirkungshäufigkeit und dominanter Frequenz gemäß der schweizerischen Norm SN640312a

Gebäudeart	Häufigkeit der Einwirkung	Maximale Schwinggeschwindigkeit $v$ in mm/s		
		< 30 Hz	30 – 60 Hz	> 60 Hz
Normal empfindlich	Gelegentlich	15	20	30
	Häufig	6	8	12
	Permanent	3	4	6

## 4 Berechnungsverfahren

### 4.1 Erschütterungsausbreitung

Die Berechnung der Erschütterungsimmissionen erfolgt auf Grundlage einschlägiger Literatur [4][5][6]. Ausgangspunkt der Erschütterungsprognosen ist die Berechnung des Energieeintrags der jeweiligen Baumaschine in den Untergrund.

Der Energieeintrag durch Schlagrammung ist gleich der Rammenergie des jeweiligen Baugeräts.

Bei Oberflächenverdichtungsgeräten wird der Energieeintrag durch deren Gewicht in Tonnen (t) nach [4] approximiert.

$$E = G \quad (1)$$

Bei Fallobjekten, wie sie beispielsweise bei Rammgeräten eingesetzt werden, wird die potenzielle Energie, dem Produkt aus Masse, Erdbeschleunigung und Fallhöhe herangezogen:

$$E = m * g * h \quad (2)$$

Um die Erschütterungseinwirkungen auf einen Immissionsort in Abhängigkeit des Abstands zur Erschütterungsquelle zu berechnen, wird der geometrische Ausbreitungsverlust sowie die Materialdämpfung in die Prognoseberechnungen mit aufgenommen. Der geometrische Ausbreitungsverlust ist gemäß DIN 4150-1 [1] für harmonisch angeregte Schwingungen (HS) (z.B. Vibrationsrammung und Vibrationsverdichtung) proportional zu  $1/\sqrt{r}$  und für impulsartige Anregung (I) (Fallobjekte, Schlagrammung) proportional zu  $1/r$ . Die Materialdämpfung  $\alpha$  und ein Vorfaktor  $k$ , der den tatsächlichen, gebietsabhängigen Energieeintrag in den Untergrund am Immissionspunkt bemisst, werden auf der Basis von eigenen Messdaten ermittelt. Die Materialdämpfung geht in die Prognoseberechnungen als exponentieller Term  $e^{-\alpha r}$  ein. M. Achmus [5] und V. Rizkallah [6] ignorieren diesen Term der Materialdämpfung in ihren Prognoseverfahren, deuten aber gleichzeitig auf eine Überschätzung ihrer Prognosewerte ab einem Abstand zur Erschütterungsquelle von ca. 30 m hin.

Für Erschütterungsimmissionen werden zur Bestimmung der maximalen Komponente der Schwinggeschwindigkeit  $v_{\max}$ , abhängig vom Abstand  $r$  zur Erschütterungsquelle die in Tabelle 7 angegebenen Gleichungen angewendet, um den Einfluss der Materialdämpfung und des geometrischen Ausbreitungsverlustes bei der Wellenausbreitung zu berücksichtigen.  $V_0$  beschreibt hier den Referenzwert, der die gemessene Schwingamplitude im Abstand  $r_0$  von der Quelle ist.

Tabelle 7: Prognosegleichungen in Anlehnung an [5] und [6] für die maximale Komponente der Schwinggeschwindigkeit im Abstand  $r$ 

Maschineneinsatz	Fundamentalschwinggeschwindigkeit in mm/s
Schlagrammung / Fallobjekt	$v_{max} = v_0 * \frac{r_0}{r} * e^{-\alpha(r-r_0)}$
Vibrationswalze / Vibrationsplatte	$v_{max} = v_0 * \left(\frac{r_0}{r}\right)^{\frac{1}{2}} * e^{-\alpha(r-r_0)}$
*Abwandlung zu den Prognosegleichungen von M. Achmus [5] und V. Rizkallah [6].	

Der Abklingkoeffizient  $\alpha$  wird so gewählt, dass die Differenz von Messdaten zu den berechneten Erschütterungsimmissionen minimal wird.

Es soll an dieser Stelle angemerkt werden, dass in besonderen Ausnahmefällen die Erschütterungen bei ungünstigen Ausbreitungsverhältnissen, einer verstärkten Übertragung von Erdreich auf Fundament oder von Fundament auf Deckenebene auch wesentlich höhere Schwingamplituden auftreten können.

## 5 Messkampagne

Die Messungen wurden am 23.10.2023 im Zeitraum von ca. 8:30 bis 15:00 Uhr durchgeführt. Die Messbereiche waren das Wanderheim Aresing in der Sonnenhamer Straße 53 selbst, in dem Messungen zur Schwingungsübertragung vom Erdreich ins Gebäude durchgeführt wurden, die östlich angrenzende Grünfläche, wo Untersuchungen zur Ausbreitungsdämpfung des Untergrundes durchgeführt wurden, und ein weiterer Messpunkt östlich der Zufahrt zum Werksgelände im freien Gelände, der die Erschütterungsimmissionen beim Regelbetrieb des zu untersuchenden Gewerbes dokumentieren soll. Eine Ansicht des Untersuchungsgebietes mit den verschiedenen Messorten ist in Abbildung 3 dargestellt.

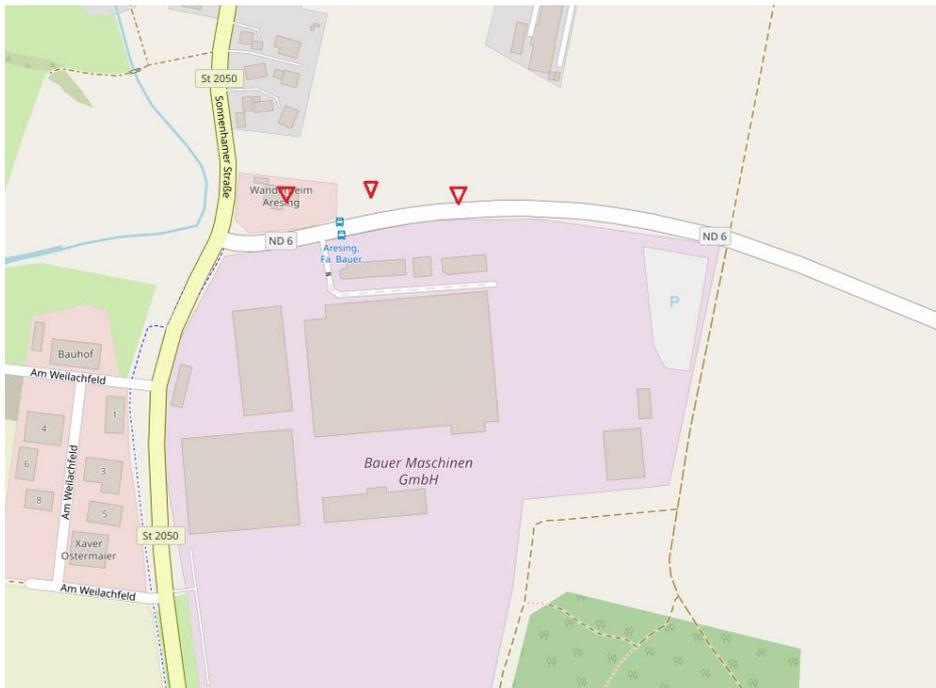


Abbildung 3: Untersuchungsgebiet mit Messorten (rote Dreiecke).

Zum Zeitpunkt der Messungen war es windstill und sonnig bei Temperaturen um ca. 13 °C. Während der Messungen konnten keine Aktivitäten vom Werksgelände der Bauer Maschinen GmbH festgestellt werden, die in einem besonders hohen Maß Erschütterungsimmissionen produziert hätten. Zu den erschütterungsrelevanten Aktivitäten durch den regulären Betrieb des Gewerbes wurden festgestellt:

- LKW Verkehr

## 5.1 Messstrategie

### 5.1.1 Freifeldmessung

Westlich und östlich der Zufahrt zum Werksgelände der Bauer Maschinen GmbH wurden zwei separate, triaxiale Messsensoren aufgestellt, die dazu dienen, die Erschütterungsimmissionen bei Regelbetrieb des Gewerbes messtechnisch zu erfassen. MP1 ist der östliche Sensor und MP2 der westliche. MP2 ist derselbe Sensor, der auch für die Gebäudemessung verwendet wurde (s. Kapitel 5.1.2). Die Positionen der Messsensoren sind in Abbildung 4 dargestellt.

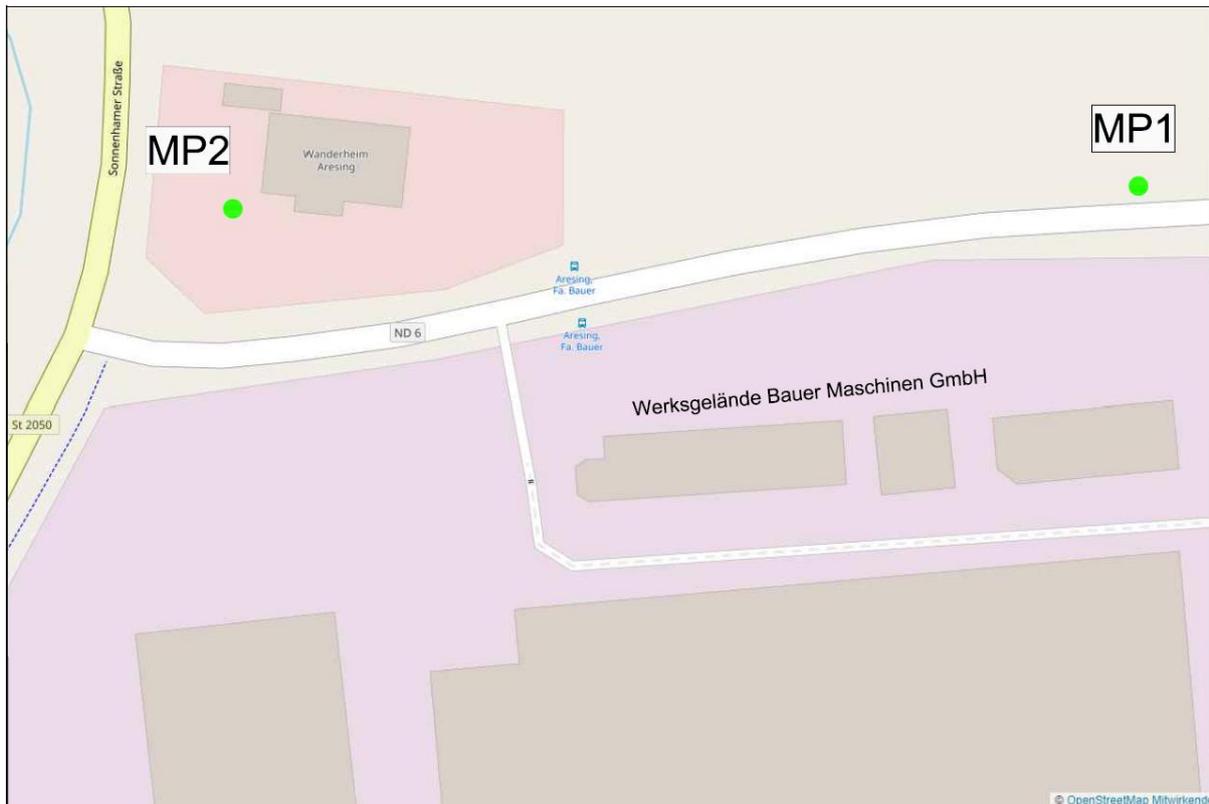


Abbildung 4: Positionen der Messsensoren der Freifeldmessung

### 5.1.2 Gebäudemessung

Im und am Gebäude des Wanderheim Aresing wurden Messungen durchgeführt, die den Eintrag von Erschütterungsimmissionen vom Freifeld zum Fundament des Gebäudes dokumentieren sollen. Mit der so erhaltenen Transferfunktion lassen sich Rückschlüsse auf die zu erwartenden Erschütterungen innerhalb eines Gebäudes mit einem ähnlichen Aufbau ziehen. Es wurden dafür zwei triaxiale Messsensoren verwendet, wobei Messpunkt 1 (MP1) auf der Grünfläche vor dem Wanderheim und MP2 im Keller am Fundament des Wanderheims positioniert wurde. Eine Skizze der Messpositionen ist in Abbildung 5 dargestellt. Abbildung 6 zeigt Fotos von den Aufstellorten.



Abbildung 5: Positionen der Messsensoren für die Gebäudemessung; MP2 liegt außerhalb und MP3 innerhalb des Gebäudes

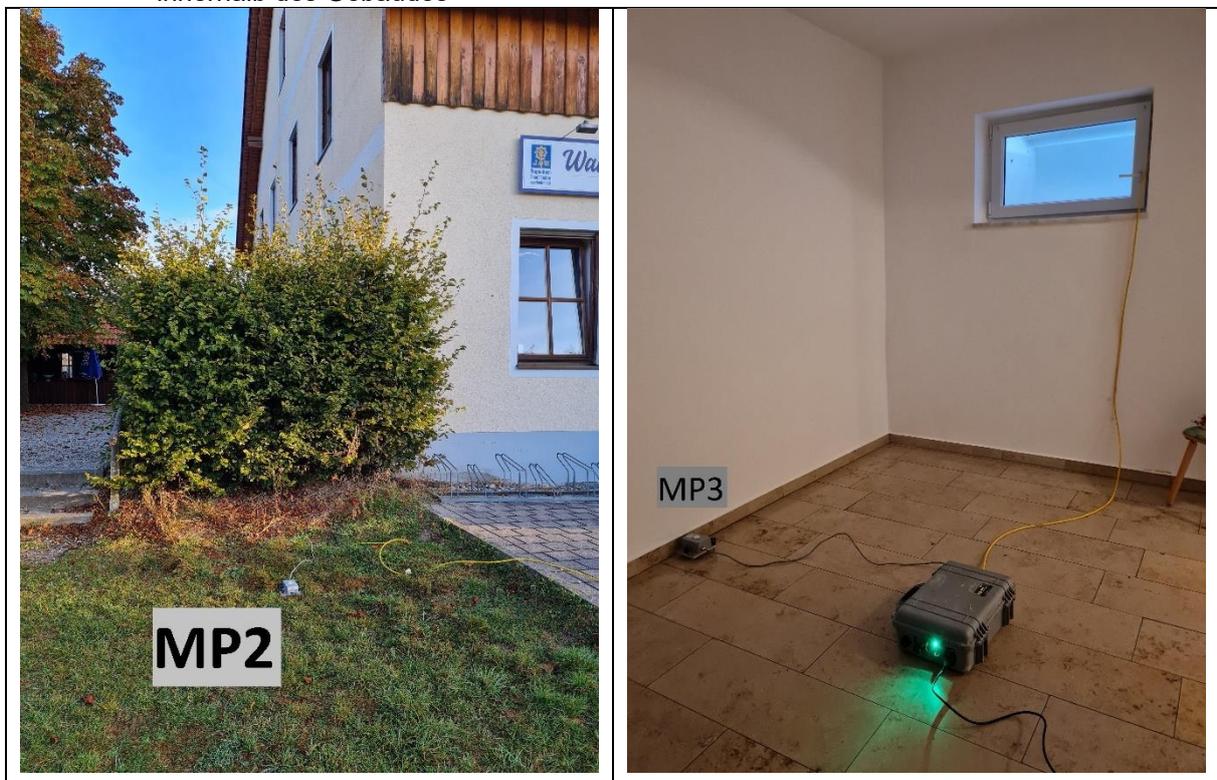


Abbildung 6: Foto vom Messsensor im Freifeld MP2 (li.) und vom MP3 (re.) im Keller des Wanderheims Aresing

### 5.1.3 Ausbreitungsmessungen

Um Rückschlüsse auf die Materialparameter der vor Ort herrschenden geologischen Strukturen ableiten zu können, wurden Ausbreitungsmessungen im Freifeld durchgeführt. Hierfür wurde ein Messprofil in einem für die zu untersuchenden Gegebenheiten topografisch und geologisch repräsentativem Umfeld ausgewählt und mit Hammerschlagtests die Abklingrate der seismischen Oberflächenwellen analysiert. Ein Foto des Versuchsaufbaus ist in Abbildung 8 dargestellt. Für die Ausbreitungsmessung wurden 8 Messensoren an einem Messquerschnitt (MQ) angeordnet, wobei die Gesamtauslage von Kanal 1 bis Kanal 8 insgesamt 27,5 m betrug. Der Abstand der Quelle (Hammerschlag) zum nächstgelegenen Messsensor (Kanal 1) betrug 2.5 m. Eine Skizze des Messaufbaus ist in Abbildung 7 dargestellt.

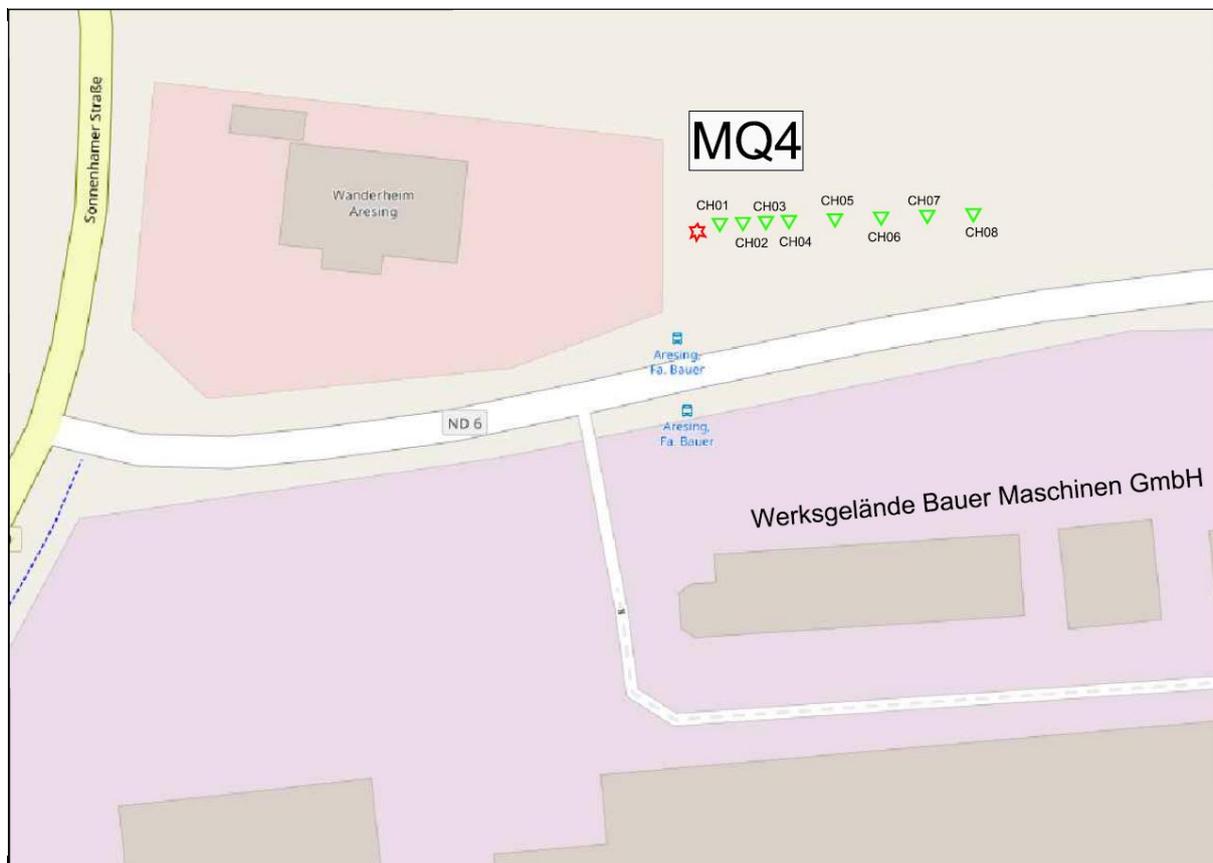


Abbildung 7: Positionen der Messsensoren (grün) und der Quelle (rot) bei der Ausbreitungsmessung

### 5.2 Messgeräte und Zubehör

Im Rahmen der Messkampagne wurden zwei unterschiedliche Systeme zur Aufzeichnung der Messdaten verwendet. Zum einen war das ein passives Messgerät vom Typ VibroStar 9000, welches eine autonome Messeinheit mit 6 Eingangskanälen ist. Im Wesentlichen besteht diese Messeinheit aus einem Datenlogger zur eigentlichen Erfassung der Daten und einem Industriecomputer zur Speicherung und Verarbeitung der Daten. Als Messsensoren werden zwei triaxiale Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer (Geophone) der Firma Walesch Electronic vom

Typ MST 1031 eingesetzt. Eine Auflistung der verwendeten Messgeräte ist in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Liste der verwendeten Messensoren

Messposition	Messgerät	Geophon	Seriennr.
MP1	MST 60	iC 328	1861815
MP2	MST 63	iC 409	1837615
MP3		iC412	1840615

Für die Ausbreitungsmessungen auf der Grünfläche östlich des Wanderheims Aresing wurde ein 8-kanaliges Messsystem der Firma imc Test & Measurement GmbH in Kombination mit Beschleunigungsaufnehmern der Firma Piezotronics verwendet. Die Beschleunigungsaufnehmer messen die Beschleunigung der vertikalen Komponente in  $\text{mm/s}^2$ . Das gemessene Signal wird digitalisiert und auf Festplatte gespeichert. Die Beschleunigungssensoren unterliegen einer regelmäßigen Kontrolle auf Einhaltung ihrer Spezifikationen.

Tabelle 9: Verwendetes Messgerät für die Ausbreitungsmessung

Art der Messgeräte	Hersteller	Typ	Serien-Nummer
8 Kanal PC-Messsystem	imc	CS 8008	121161
<b>Messquerschnitt 4</b>			
Kanal 1	PCB Piezotronics Inc.	393A03; 1 V/9,81 $\text{m/s}^2$	22996
Kanal 2	PCB Piezotronics Inc.	393A03; 1 V/9,81 $\text{m/s}^2$	22997
Kanal 3	PCB Piezotronics Inc.	393A03; 1 V/9,81 $\text{m/s}^2$	22995
Kanal 4	PCB Piezotronics Inc.	393A03; 1 V/9,81 $\text{m/s}^2$	17344
Kanal 5	PCB Piezotronics Inc.	393A03; 1 V/9,81 $\text{m/s}^2$	17348
Kanal 6	PCB Piezotronics Inc.	393A03; 1 V/9,81 $\text{m/s}^2$	17349
Kanal 7	PCB Piezotronics Inc.	393A03; 1 V/9,81 $\text{m/s}^2$	17346
Kanal 8	PCB Piezotronics Inc.	393A03; 1 V/9,81 $\text{m/s}^2$	17347

### 5.3 Messgeometrie der Ausbreitungsmessung

Um Rückschlüsse auf die Materialparameter der vor Ort herrschenden geologischen Strukturen ableiten zu können, wurden Ausbreitungsmessungen durchgeführt, die eine Abnahme der Schwingamplituden im Freifeld durchgeführt. Hierfür wurde ein Messprofil in einem für die zu untersuchenden Gegebenheiten topografisch und geologisch repräsentativem Umfeld

ausgewählt und mit Hammerschlagtests die Abklingrate der seismischen Oberflächenwellen analysiert. Ein Foto des Versuchsaufbaus ist in Abbildung 8 dargestellt.

Um die Ankopplung der Sensoren an den Untergrund zu gewährleisten, wurden die Erschütterungssensoren auf Erdpflocken befestigt und in ausreichender Tiefe im Boden verankert. Die Aufzeichnung der Schwingensignale wurde manuell vor den Hammerschlägen ausgelöst und auf ein Computersystem gespeichert.

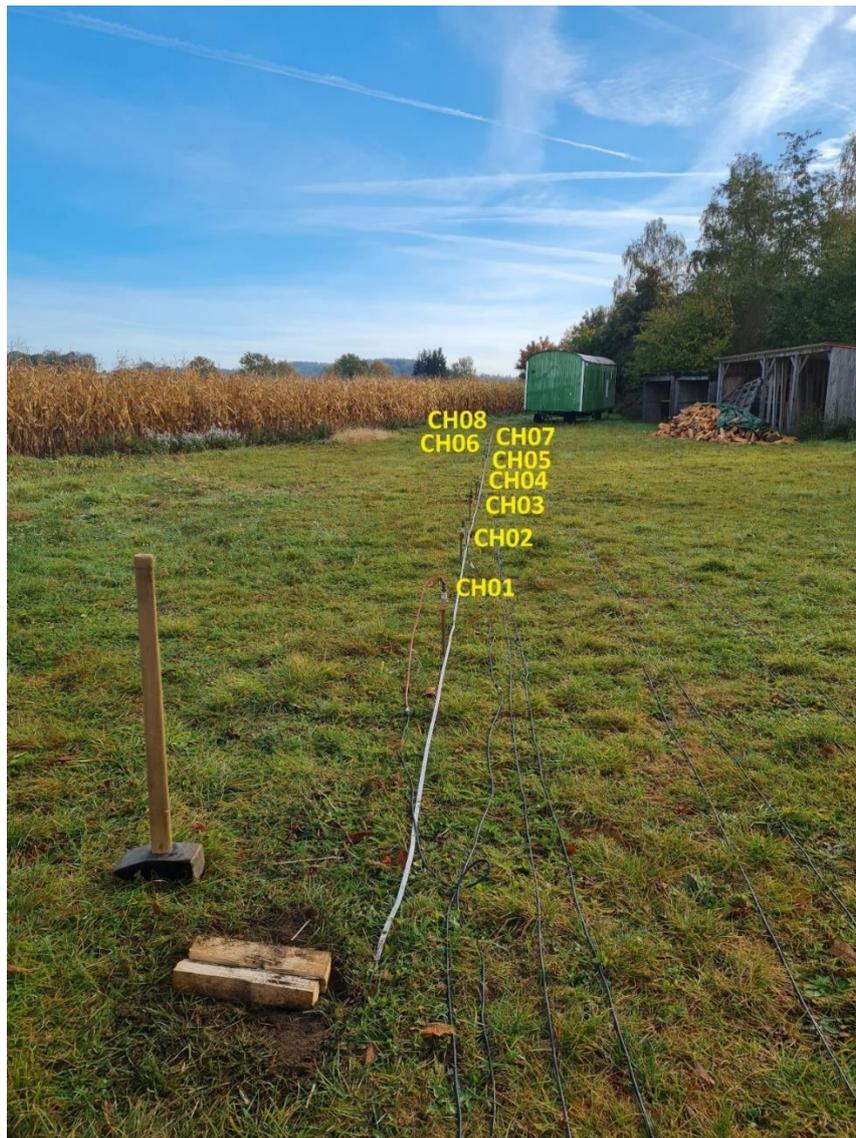


Abbildung 8: Messaufbau für die Ausbreitungsmessung

Für die Ausbreitungsmessung wurden 8 Messensoren angeordnet, wobei die Gesamtauslage von Kanal 1 bis Kanal 8 insgesamt 27,5 m betrug. Der Abstand der Quelle zum nächstgelegenen Messsensor (Kanal 1) betrug 2,5 m.

## 6 Messergebnisse

Ziel der Messungen war, die Ausbreitungs- und Übertragungscharakteristik der Oberflächenwellen zu bestimmen, sowie die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen durch das zu untersuchende Gewerbe zu ermitteln, um damit Rückschlüsse auf den Einfluss der Erschütterungsimmissionen durch das Werksgelände der Bauer Maschinen GmbH in Aresing zu treffen.

### 6.1 Freifeldmessung

Ziel der Freifeldmessungen ist, die Art und Häufigkeit der Emissionen des zu untersuchenden Gewerbes zu charakterisieren. Dabei wurden die Erschütterungsimmissionen kontinuierlich aufgezeichnet und in 4 Minuten Blöcke gespeichert. Für die Analyse der von dem Gewerbe ausgehenden Erschütterungsimmissionen werden die bewerteten Maximalwerte ( $KB_{Fmax}$ ) nach DIN 4150-2 [2] berechnet.

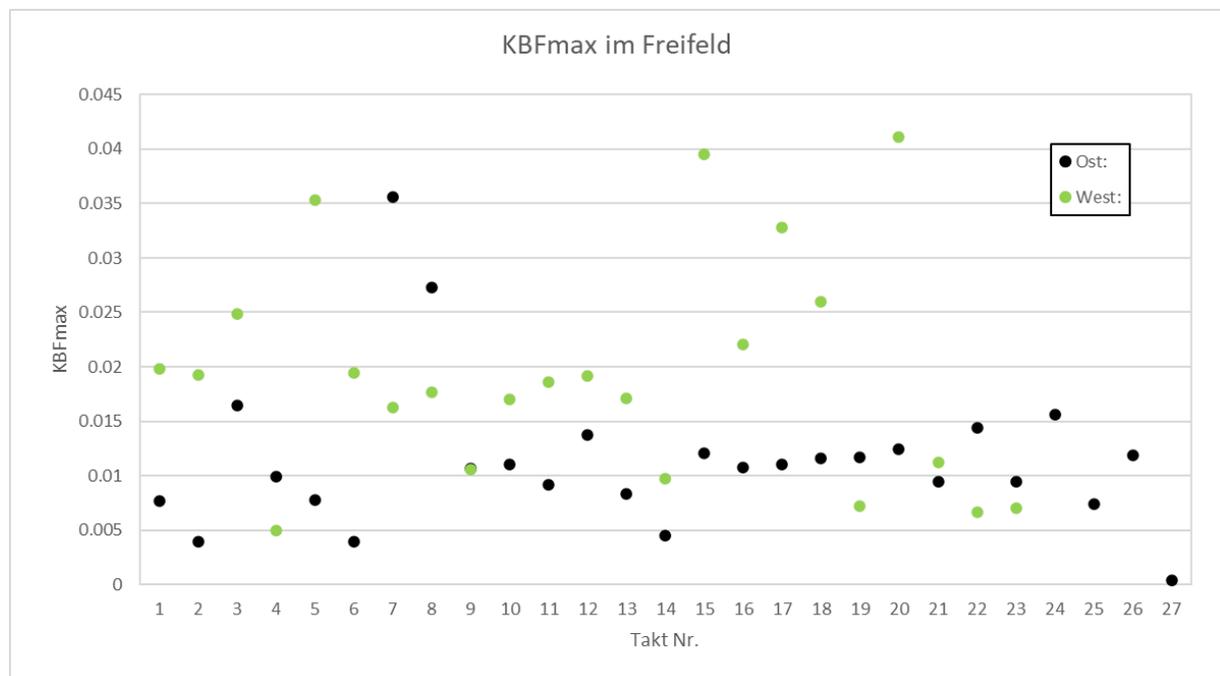


Abbildung 9: Maximale, gemessene, bewertete Schwingstärken  $KB_{Fmax}$  an den Messpunkten im Freifeld östlich (schwarze Punkte) und westlich (grüne Punkte) der Zufahrt zum Werksgelände

Während des Messzeitraums wurde am Messstandort Ost ein Mittelwert von 0,01 und am Messstandort West 0,02 erreicht. Der Maximalwert wurde am Messstandort West mit 0,041 erreicht. Die Fühlschwelle von 0,1 wurde während des Messzeitraums nicht erreicht.

### 6.2 Gebäudemessung

Ziel der Gebäudemessung ist die Bestimmung der Schwingungsübertragung von Erdreich auf das Gebäudfundament unter den vor Ort herrschenden geologischen Bedingungen, die sog. Transferfunktion.

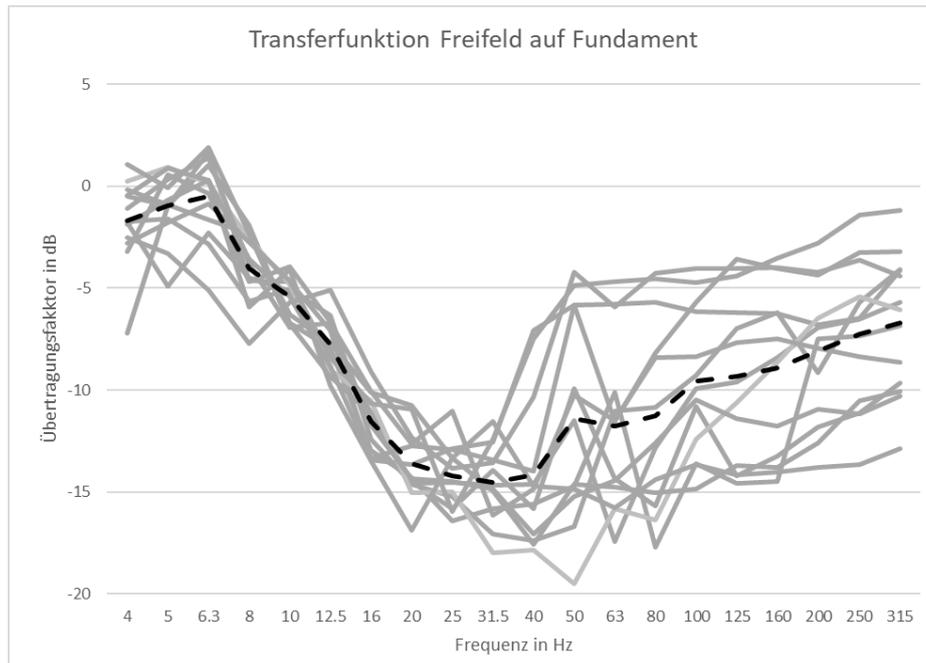


Abbildung 10: Transferfunktion Freifeld auf Fundament im Bauwerk Wanderheim Aresing

Die maximale Übertragung von Erdreich auf das Gebäudefundament des Wanderheims Aresing liegt im Mittel bei ca. -0,5 dB im Terzband von 6,3 Hz. wird also beim Übergang ins Gebäude abgeschwächt. Um auf die Erschütterungsimmissionen auf das OG eines Gebäudes zu schließen, wird zusätzlich die Transferfunktion vom Gebäudefundament auf Obergeschoss eines Bauwerks mit Betondeckenkonstruktion berechnet (Abbildung 11).

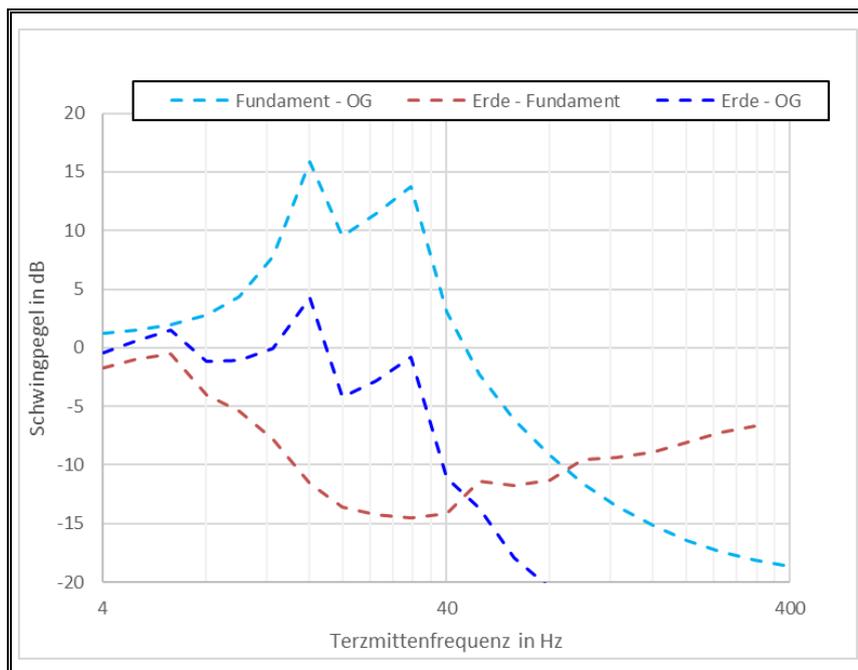


Abbildung 11: Übertragungsfunktion für Schwingungen aus dem Erdreich ins OG eines Gebäudes

Die maximale Schwingungsübertragung liegt mit 4,28 dB beim Terzband von 16 Hz. Ein zweites Maximum bildet sich mit 1,5 dB bei einer Mittenfrequenz von 6,3 Hz aus.

### 6.3 Ausbreitungsmessung

Ziel der Ausbreitungsmessungen war die Bestimmung der Phasengeschwindigkeiten der künstlich angeregten Oberflächenwellen und der Materialdämpfung des Untergrundes unter den vor Ort herrschenden geologischen und topografischen Bedingungen, um mit den gewonnenen Erkenntnissen die Ausbreitung zu weiter entfernt gelegenen Immissionsorte berechnen zu können. Die frequenzabhängigen Ergebnisse zu Wellengeschwindigkeit und Materialdämpfung sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Materialparameter der vor Ort herrschenden Geologie

Frequenz in Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25
Phasengeschwindigkeit in m/s	336	317	297	289	283	291	278	278	278
Dämpfungsgrad	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Frequenz in Hz	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Phasengeschwindigkeit in m/s	265	251	251	258	258	270	270	270	270
Dämpfungsgrad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005

### 6.4 Messungen Fremdgutachten zu BDC Testgelände

Die erschütterungsintensivsten Arbeiten des zu untersuchenden Gewerbes werden im Bereich eines Testgeländes für Tiefbaugeräte im Südosten des bestehenden Werks verursacht. Im Jahr 2020 wurden hierzu von der Firma Bauer Spezialtiefbau GmbH erschütterungstechnische Untersuchungen durchgeführt [7], die die von einem 22 Tonnen Fallgewicht von einer Höhe von 20 m emittierten Erschütterungen an 6 verschiedenen Messpositionen dokumentiert haben. Von diesen 6 Messpositionen befanden sich 5 Messsensoren im Freifeld auf Lockergestein und 1 Sensor am Fundament. In dieser Untersuchung werden nur die Messdaten der im Freifeld gemessenen Erschütterungsimmissionen herangezogen, um vergleichbare Messwerte zur Analyse der Ausbreitungscharakteristik einer impulsartigen Quelle zu erhalten.

Tabelle 11: An den Messpunkten aufgezeichneten Schwingamplituden der Firma Bauer Spezialtiefbau GmbH [7]

Messposition	BDC1	BDC2	BDC3	BDC4	BDC5
Distanz zu Testgelände in m	211	260	175	160	290
Mittelwert in mm/s	0.55	0.55	1.07	1.27	0.33
Maximalwert in mm/s	0.89	0.65	1.45	1.75	0.50
Dominante Frequenz in Hz	8	9	8	8	8

Auf Grundlage dieser Messdaten kann die Ausbreitungscharakteristik einer impulsartigen Punktquelle abgeleitet werden, sodass die Schwingamplitude frequenzabhängig mit dem Abstand zur Quelle prognostiziert wird. Dabei werden die beiden Fälle wahrscheinlicher Fall und ungünstiger Fall unterschieden, wobei der wahrscheinliche Fall die Amplitudenabnahme auf Basis des Mittelwertes der Messdaten und im ungünstigen Fall der maximalen Schwingamplituden berechnet. Die Prognosewerte und die Messwerte sind in Abbildung 12 vergleichend gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass Materialparameter gewählt wurden, sodass die Prognoseergebnisse die tatsächlichen Messwerte übersteigen, um eine Unterschätzung der Erschütterungsimmissionen zu vermeiden.

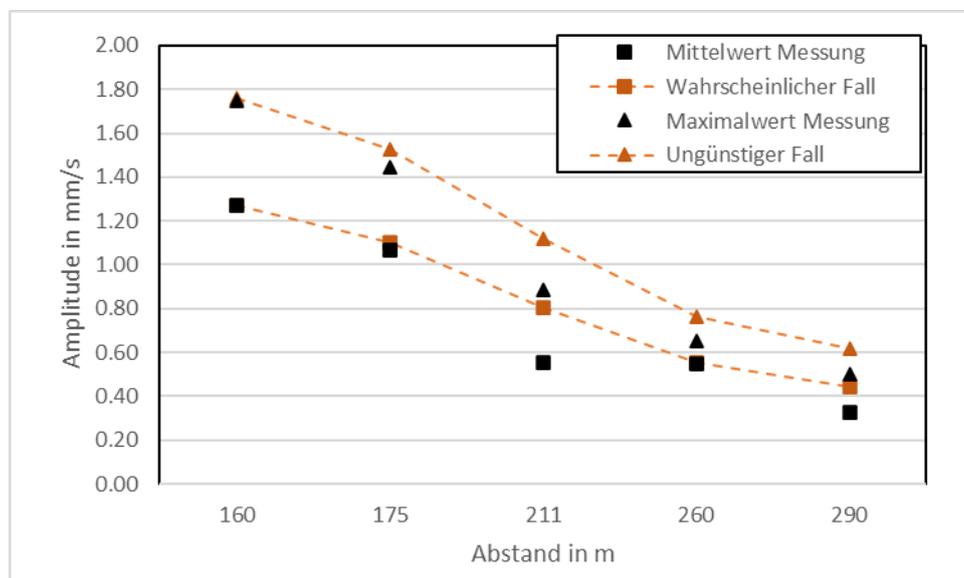


Abbildung 12: Vergleich Messwerte und Prognosewerte der Schwingamplituden in Abhängigkeit des Abstands zur Punktquelle bei einer impulsartigen Anregung

Die Ausbreitung von Oberflächenwellen durch eine harmonisch angeregte Quelle unterscheidet sich von der einer impulsartigen Anregung durch eine geringere Abnahme mit zunehmender Distanz zur Quelle (s. Kapitel 4). Da auf dem Testgelände auch Baugerät mit harmonischer Anregung getestet werden soll, hierfür aber keine Messungen durchgeführt wurden, werden

Berechnungen zur Ausbreitung der Oberflächenwellen bei Anregung durch eine leistungsstarke Vibrationswalze durchgeführt.

Für die Prognose wurde eine leistungsstarke Vibrationswalze mit einer Masse von 28 t und einer Zentrifugalkraft von 275 kN bei 30 Hz Anregungsfrequenz angesetzt. Die Ergebnisse zur Ausbreitung sind in Abbildung 13 dargestellt.

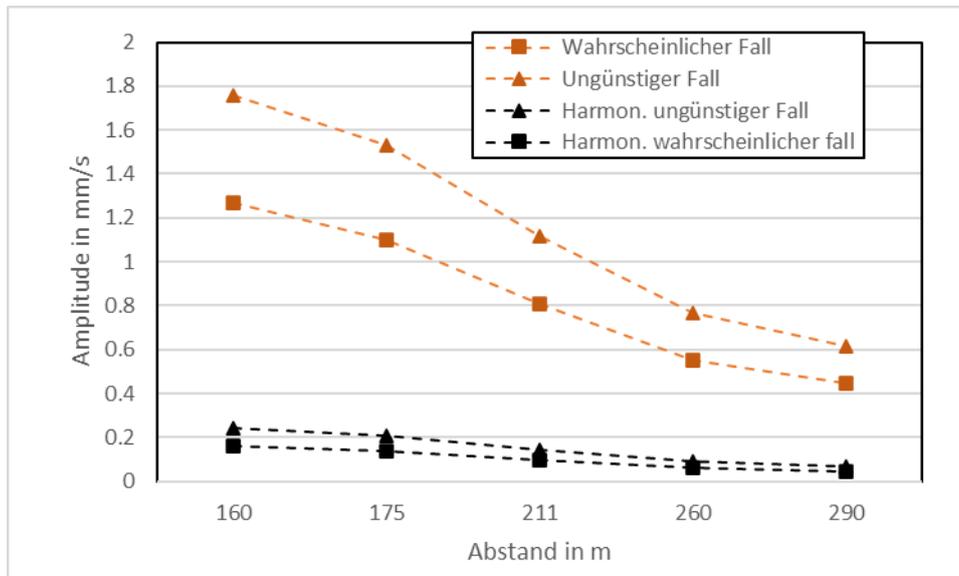


Abbildung 13: Vergleich Amplitudenabnahme Fallgewicht (braun) mit Vibrationswalze (schwarz) im Freifeld

Der Energieeintrag durch das Fallgewicht ist deutlich größer als der durch die schwere 28 t Vibrationswalze, sodass trotz geringerer Amplitudenabnahme bei harmonischen Anregungen die Erschütterungsimmissionen durch die Vibrationswalze nur ein Bruchteil der des Fallgewichts sind. Die Erschütterungsimmissionen durch die Vibrationswalze und deren Einfluss auf die umliegende Bebauung wird daher nicht weiter verfolgt.

## 7 Prognose Erschütterungseinwirkungen und sekundärer Luftschall

### 7.1 Regelbetrieb

Unter Berücksichtigung der Transferfunktion von Erdreich auf OG eines Gebäudes können die Erschütterungsimmissionen auf die einzelnen Immissionsorte durch die im Freifeld gemessenen und abstandskorrigierten Messdaten abgeschätzt werden. Die Ergebnisse zu den maximal bewerteten Schwingstärken ( $KB_{Fmax}$ ) sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: Ergebnisse zu  $KB_{Fmax}$  – Werten

	mittlerer $KB_{Fmax}$	maximaler $KB_{Fmax}$	$A_u$ tags Mischgebiet	$A_o$ tags Mischgebiet	$A_u$ tags Gewerbe	$A_o$ tags Gewerbe
MP1	0.03	0.08	0.2	5	0.3	6
MP2	0.05	0.07				

An den beiden Messpunkten MP1 und MP 2, die jeweils nahe der Zufahrtstraße zum Werksgelände des zu untersuchenden Gewerbes positioniert wurden, und somit die Erschütterungsimmissionen durch den LKW-Verkehr quellennah aufgezeichnet haben, wird der untere Anhaltswert  $A_u$  sowohl für Mischgebiete als auch für Gewerbegebiete beim Regelbetrieb nicht erreicht, sodass eine Beurteilung der Erschütterungsimmissionen anhand des  $KB_{FTr}$  – Wertes nicht notwendig ist. Die Anforderungen an die Norm DIN 4150 – 2 [2] gelten in diesem Fall daher als erfüllt. Die maximal gemessenen Schwinggeschwindigkeiten liegen weit unter der Schwelle der Fundamentalschwinggeschwindigkeit von 5 mm/s, ab der bei kurzzeitigen Erschütterungen von Schäden an Wohngebäuden gemäß DIN 4150 – 3 [3] ausgegangen werden kann.

## 7.2 Testgelände BDC-Teststand

### Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Strukturen

Aus dem Gutachten der Firma Bauer Spezialtiefbau GmbH [7] können die durch den Aufprall eines Fallobjektes einer Verdichtungsramme verursachten Bodenschwinggeschwindigkeiten entnommen werden. An Messpunkt BDC5, der in einer Distanz von 290 m vom Testgelände entfernt liegt, auf dem die Versuche zu Tiefbaugeräten durchgeführt werden, wurde ein Maximalwert von 0,5 mm/s gemessen. Dieser Wert liegt weit unter der Schwelle der Fundamentalschwinggeschwindigkeit von 5 mm/s, ab der bei kurzzeitigen Erschütterungen von Schäden an Wohngebäuden gemäß DIN 4150 – 3 [3] ausgegangen werden kann. Da sich die nächstgelegenen Bestandsgebäude außerhalb des Werksgelände in größerer Entfernung zum Testgelände als der Messpunkt BDC5 befinden, kann davon ausgegangen werden, dass die Schwinggeschwindigkeit von 0,5 mm/s am Fundament eines Gebäudes ebenfalls unterschritten wird.

### Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen in Gebäuden

Auf der Basis der Messdaten von der Firma Bauer Spezialtiefbau GmbH des Fremdgutachtens aus dem Jahr 2020 und der Ausbreitungsmessung vom 23.10.2023 im Rahmen dieser Untersuchung werden für die angrenzenden Immissionsorte die zu erwartenden Erschütterungswerte auf Obergeschossebene in Abhängigkeit ihrer Distanz zum Testgelände berechnet. Hierzu werden die maximalen, bewerteten Schwingstärken ( $KB_{Fmax}$ ) berechnet.

Für die Immissionsorte nördlich des Werksgeländes werden die Prognoseergebnisse den Anhaltswerten für den Tagzeitraum für ein als Mischgebiet ausgewiesenes Gelände und für das im Westen angrenzende Gewerbegebiet für ein als Gewerbegebiet ausgewiesenes Gelände gegenübergestellt. Es wird angenommen, dass Rammversuche auf dem Testgelände nur im Tagzeitraum zwischen 6:00 Uhr und 22:00 Uhr und nicht zur Nachtzeit stattfinden.

Tabelle 13: Berechnete  $KB_{Fmax}$  der individuellen Immissionsorte:

Immissionsort	Distanz zu Testgelände	$KB_{Fmax}$ wahrscheinlich	$KB_{Fmax}$ ungünstig	$A_u$ tags	$A_o$ tags
Gewerbe Sonnenhamer Straße	320	0.32	0.67	0.3	6
Wanderheim Aresing	430	0.21	0.47	0.2	5
Wohngebiet Sonnenhamer Straße	460	0.18	0.44		
Wohngebiet Gerolsbacher Straße	550	0.13	0.34		

Nach Tabelle 13 wird der obere Anhaltswert  $A_o$  an allen betrachteten Immissionsorten eingehalten. Der untere Anhaltswert  $A_u$  wird im wahrscheinlichen Fall in den Bereichen *Gewerbe Sonnenhamer Straße* und dem *Wanderheim Aresing überschritten*, sodass eine Folgebeurteilung der täglichen Erschütterungsimmissionen anhand des  $KB_{FTr}$  – Wertes notwendig wird. Bei Unterschreitung des unteren Anhaltswertes  $A_u$  gelten die Anforderungen an die Norm DIN 4150 – 2 [2] als eingehalten.

Der  $KB_{FTr}$  – Wert berücksichtigt bei der Berechnung die tägliche Dauer der Erschütterungseinwirkungen auf ein zu schützendes Objekt. Unterschreitet der  $KB_{FTr}$  – Wert den Beurteilungswert  $A_r$ , so gelten die Anforderungen an die Norm DIN 4150 – 2 [2] als eingehalten. In den folgenden Tabellen (Tabelle 14 bis Tabelle 17) sind die Ergebnisse des  $KB_{FTr}$  – Wertes nach Immissionsort und täglicher Betriebsdauer des Testgeländes aufgelistet.

Tabelle 14: Ergebnisse zu  $KB_{FTr}$  – Werten Gewerbe Sonnenhamer Straße

Dauer/Tag in Minuten	Gewerbe Sonnenhamer Straße		
	$KB_{FTr}$ wahrscheinlich	$KB_{FTr}$ ungünstig	$A_r$ tags Gewerbegebiet
10	0.032	0.069	0.15
20	0.046	0.097	
30	0.056	0.119	
60	0.080	0.168	

Tabelle 15: Ergebnisse zu  $KB_{FTr}$  – Werten Wanderheim Aresing

Dauer/Tag in Minuten	Wanderheim Aresing		
	$KB_{FTr}$ wahrscheinlich	$KB_{FTr}$ ungünstig	$A_r$ tags Mischgebiet
10	0.022	0.048	0.1
20	0.031	0.068	
30	0.038	0.084	
60	0.053	0.119	

Tabelle 16: Ergebnisse zu  $KB_{FTr}$  – Werten Wohngebiet Sonnenhamer Straße

Dauer/Tag in Minuten	Wohngebiet Sonnenhamer Straße		
	$KB_{FTr}$ wahrscheinlich	$KB_{FTr}$ ungünstig	$A_r$ tags Mischgebiet
10	0.018	0.044	0.1
20	0.026	0.063	
30	0.032	0.077	
60	0.045	0.109	

Tabelle 17: Ergebnisse zu  $KB_{FTT}$  – Werten Wohngebiet Gerolsbacher Straße

Dauer/Tag in Minuten	Wohngebiet Gerolsbacher Straße		$A_r$ tags Mischgebiet
	$KB_{FTT}$ wahrscheinlich	$KB_{FTT}$ ungünstig	
10	0.013	0.035	0.1
20	0.019	0.049	
30	0.023	0.060	
60	0.033	0.086	

Die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen durch ein Fallobjekt von 22 t aus 20 m Höhe auf dem Testgelände der Bauer Maschinen GmbH werden nach den Prognosewerten den Beurteilungswert  $A_r$  im wahrscheinlichen Fall nach 210 Minuten Dauerbetrieb erreicht haben. Die betroffenen Immissionsorte sind gleichermaßen das Gewerbe an der Sonnenhamer Straße sowie das Wanderheim Aresing. Im ungünstigen Fall wird der Beurteilungswert nach 42 Minuten Dauerbetrieb am Immissionsort Wanderheim Aresing erreicht werden.

Es wird der gemittelte, maximale sekundäre Luftschallpegel  $L_{sek,Amax}$  und der Beurteilungspegel für den Tagzeitraum ( $L_{r,Tags}$ ) angegeben (Tabelle 18) und den Immissionsrichtwerten (IRW) für den den Tagzeitraum von 40 dB(A) gegenübergestellt. Für die Berechnung des Beurteilungspegel wurde ein Dauerbetrieb des Testgeländes von 8 Stunden täglich angesetzt, was zu einer Überschätzung der Immissionen durch sekundären Luftschall führt. Von einer unzulässig hohen Schallimmission durch den sekundären Luftschall ist laut den Prognoseberechnungen auch bei sehr langem, täglichem Betrieb nicht zu rechnen.

Tabelle 18: Prognoseergebnisse sekundärer Luftschall

$L_{sek,Amax}$	wahrscheinlicher Fall in dB(A)	ungünstiger Fall in dB(A)	IRW in dB(A)
Gewerbe Sonnenhamer Straße	24	28	
Wanderheim Aresing	15	18	
Wohngebiet Sonnenhamer Straße	12	16	
Wohngebiet Gerolsbacher Straße	7	9	
$L_{r,Tags}$	21	25	40

## 8 Bewertung

Für die Bestandsbebauung in der näheren Umgebung des zu erweiternden Werksgeländes sind bei Regelbetrieb keine Überschreitungen der erschütterungstechnischen Immissionen nach DIN 4150-2 [2] prognostiziert. Beim Betrieb einer Ramme auf dem BDC Testgelände mit 22 t Fallgewicht, das aus 20 m Höhe fallengelassen wird, wird der obere Anhaltswert nach den Prognoseergebnissen an den untersuchten Immissionsorten eingehalten. Die Berechnung des  $KB_{FTT}$  – Wertes führt zu dem Ergebnis, dass der Beurteilungswert  $A_r$  bei Dauerbetrieb der Ramme ab 210 Minuten im wahrscheinlichen Fall überschritten wird.

Die prognostizierten sekundären Luftschallpegel  $L_{r,sek}$  für den Innenraum der umliegenden Gebäude weisen keine Überschreitungen der Immissionsrichtwerte auf. Von einer unzulässig hohen Schallimmission aus dem sekundären Luftschall ist nicht auszugehen.

Die Anhaltswerte der DIN 4150-3 [3] für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude werden basierend auf den Berechnungen eingehalten, sodass weder durch den Regelbetrieb noch durch Rammtests von Tiefbaugeräten auf dem Testgelände Schädigungen im Sinne der DIN 4150-3 [3] in den umliegenden Bebauungen zu erwarten sind.

## 9 Zusammenfassung

Im Rahmen einer geplanten Werkserweiterung der Firma *Bauer Maschinen GmbH*, die unter anderem Maschinen für den Spezialtiefbau und Verdichtungsgeräte herstellt, wurden am 23.10.2023 erschütterungstechnische Untersuchungen durchgeführt, die den Einfluss von Erschütterungsemissionen durch dieses Gewerbe auf die umgebende Bebauung ergründen sollen. Im Verlaufe der Planungen wurde die Planungsgrenze noch einmal angepasst, die in der vorliegenden Revision 3 des ursprünglichen Berichts berücksichtigt ist.

Als besonders erschütterungsintensiver Emissionsort existiert auf dem Werksgelände zusätzlich ein Testbereich für Tiefbau- und Verdichtungsgeräte im Südosten des bestehenden Werksgeländes (BDC-Teststand). Hierzu wurde im Jahr 2020 ein Fremdgutachten [7] angefertigt, in dem Messdaten präsentiert werden, die durch mehrere Messsensoren in unterschiedlichen Abständen zur Quelle während des Betriebes einer Ramme akquiriert wurden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zusammen mit den Erkenntnissen aus der eigenen Messkampagne werden dazu verwendet, die Erschütterungsimmissionen auf die umgebende Bebauung und die Menschen in den Gebäuden während des Testbetriebes zu prognostizieren und zu bewerten.

Anhand der Prognoseberechnungen kann festgestellt werden, dass bei der umliegenden Bebauung Erschütterungsimmissionen prognostiziert werden, die keine Überschreitungen des oberen Anhaltswertes  $A_o$  aufweisen, weder beim Regelbetrieb noch bei der Durchführung von Rammtests auf dem BDC Teststand. Die Berechnung des  $KB_{FT}$  – Wertes führt zu dem Ergebnis, dass der Beurteilungswert  $A_r$  bei Dauerbetrieb der Ramme ab 210 Minuten im wahrscheinlichen Fall überschritten wird.

Aus den Prognoseberechnungen zum sekundären Luftschall kann weiterhin abgeleitet werden, dass der Beurteilungspegel des sekundären Luftschalls den Richtwert nach dem Urteil des BVG vom 19.04.2014 einhalten wird.

Eine schädigende Wirkung auf die umliegende Bebauung nach DIN 4150-3 [3] durch Erschütterungsimmissionen durch den Regelbetrieb oder durch den Testbetrieb von Tiefbaumaschinen mit einer Rammenergie des in diesem Bericht beschriebenen Rammgeräts oder mit Maschinen geringerer Energie auf dem Testgelände, kann nach den Prognoseberechnungen ausgeschlossen werden.

Greifenberg, 31.07.2025



M. Sc. Marvin Binnig  
ACCON GmbH

## Quellenverzeichnis

- [1] DIN 4150-1, Erschütterungen im Bauwesen – Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Dezember 2022
- [2] DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [3] DIN 4150-3, Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Dezember 2016
- [4] J. Wieck, Erschütterungen im Bauwesen. In: Die vorsorgliche Beweissicherung im Bauwesen, Schadenfreies Bauen, Band 31, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2003
- [5] M. Achmus, J. Kaiser und F. tom Wörden, Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten – Mitteilungen des Instituts für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau der Universität Hannover, Heft 61, 2005.
- [6] Institut für Bauforschung e.V. IFB, V. Rizkallah, Bauschäden im Hoch- und Tiefbau – Standardwerk zur Schadenserkennung und Schadensvermeidung, Bd. 1: Tiefbau, 1. Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2007
- [7] Bauer Spezialtiefbau GmbH, Bericht Schwingungsmessung Aresing, Test BDC Stand, 19.11.2020
- [8] Diverse Planunterlagen vom Auftraggeber
- [9] <https://openrailwaymap.org/>