

Müller-BBM GmbH
Helmut-A.-Müller-Straße 1 - 5
82152 Planegg bei München

Telefon +49(89)85602 0
Telefax +49(89)85602 111

www.MuellerBBM.de

Dr.-Ing. Klaus Hartmann
Telefon +49(89)85602 306
Klaus.Hartmann@mbbm.com

05. Juli 2022
M167306/01 Version 2 HTM/SCHJ

SB 202 TA12 Düker Nossener Brücke

Gutachten baudynamische Schwingungen

Bericht Nr. M167306/01

Auftraggeber:

SachsenEnergieBau GmbH
Friedrich-List-Platz 2
01069 Dresden

Auftragsnummer:

4010002047

Bearbeitet von:

Dr.-Ing. Klaus Hartmann

Berichtsumfang:

51 Seiten insgesamt, davon
33 Seiten Textteil und
18 Seiten Anhang

Müller-BBM GmbH
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk,
Dr. Alexander Ropertz,
Stefan Schierer, Elmar Schröder

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1 Situation und Aufgabenstellung	6
2 Verwendete Unterlagen	7
3 Grundlagenermittlung	8
3.1 Erschütterungseinwirkungen auf das GTHKW	8
3.1.1 Erschütterungsempfindliche Geräte und Anlagentechnik	8
3.1.2 Erschütterungseinwirkungen auf das Gebäude des GTHKW	10
3.2 Bauwerke, Konstruktion, Bauverfahren, Erschütterungsquellen	12
4 Erschütterungsprognose	14
4.1 Allgemeines	14
4.2 Prognose aus Literaturangaben [12]	15
4.2.1 Allgemeines	15
4.2.2 Rammarbeiten	16
4.2.3 Verdichtungsarbeiten	18
4.2.4 Abbrucharbeiten (Meißelbagger)	19
4.2.5 Zusammenfassung der Prognose (Literatur)	20
4.3 Prognose aus Vergleichsmessungen	21
4.3.1 Allgemeines, Erschütterungsquellpegel, Übertragung	21
4.3.2 Prognose anhand von Vergleichsmessdaten	23
4.3.3 Zusammenfassung der Prognose (Vergleichsmessung)	26
4.4 Zusammenfassung: Erschütterungsimmissionen im GTHKW	28
4.4.1 Gebäude K (Kfz – Waschhalle, Garage für Bereitschaftsfahrzeuge)	28
4.4.2 Düker	29
4.4.3 Startschacht mit Fernwärmebauwerk – West	30
4.4.4 Absperrbauwerk	31
4.4.5 Leitungsgaben zwischen Absperrbauwerk und Fernwärmebauwerk – West	32
4.4.6 Baustellenverkehr	33

Inhaltsverzeichnis Anhang:
Messtechnische Untersuchung/Diagramme

A1	Art der Messungen	2
A2	Ort, Datum, Messpersonal	3
A3	Lage der Messpunkte	4
A4	Messgeräte und Messunsicherheit	9
A5	Durchführung der Messung	10
A6	Messergebnisse	11
A6.1	Schwingungs- und Übertragungsmessung im Freifeld (Zentraler Betriebshof)	11
A6.2	Schwingungs- und Übertragungsmessung im Gebäude des GTHKW	17

Zusammenfassung

Im Zuge der Umsetzung des Projektes „Stadtbahn 2020“ soll in Dresden die Nossener Brücke erneuert werden. Aufgrund der neuen Straßen- bzw. zusätzlichen Trassenführung der Straßenbahn muss eine nördlich parallel zur Nossener Brücke verlaufende Rohrbrücke rückgebaut werden. Die Rohrbrücke führt derzeit u. a. zwei Fernwärmeleitungen (je DN 600) über eine insgesamt 125 m breite Bahnanlage (22 Gleise) der DB AG mit der Hauptstrecke 6258 Dresden – Werdau.

Entsprechend der vorliegenden Entwurfsplanung (ICL Ingenieur Consult GmbH) [1] soll die Fernwärmeleitung und weitere Medien unterirdisch in einem Düker in einer Tiefe von rd. 12 m die Bahnanlage queren. Hierbei soll der Düker mittels Rohrvortrieb über eine Länge von 271 m hergestellt werden.

Verfahrensbedingt wird für den Rohrvortrieb ein Start- und ein Zielschachtbauwerk errichtet. Der Startschacht kommt westlich auf dem Grundstück der DREWAG und der Zielschacht östlich der Bahnanlagen (Zwickauer Straße) zu liegen. Zusätzlich entsteht auf dem Grundstück der DREWAG ein Absperrbauwerk.

Während der Errichtung der Bauwerke: Start-, Zielschacht, Absperrbauwerk und Dücker werden baubedingt Erschütterungen hervorgerufen, welche sich über den Baugrund ausbreiten und auf die angrenzenden Bauwerke/Anlagen einwirken.

In rd. 150 m Entfernung zum Startschacht und in rd. 100 m Entfernung zum Absperrbauwerk liegt westlich das Heizkraftwerk Nossener Brücke (GTHKW) der DREWAG. In diesem werden drei Gasturbinen und eine Dampfturbine betrieben.

Im Rahmen einer erschütterungstechnischen Betrachtung waren die bauseits zu erwartenden Erschütterungseinwirkungen zu prognostizieren und deren Verträglichkeit mit dem Betrieb der Gasturbinen und weiteren Anlagenteilen zu bewerten. Zur Prognose wurden Prognoseformeln aus der Literatur [12] sowie Messdaten aus Vergleichsuntersuchungen herangezogen.

Folgende Anlagentechnik/Anlagenteile des GTHKW wurden betrachtet:

- Gasturbine/Dampfturbine
- Booster
- Transformatoren
- Schaltanlagen
- Serveranlagen (EDV)
- Gebäude (Einwirkung auf bauliche Anlagen)

Die erschütterungstechnische Betrachtung kam zu folgendem Ergebnis:

- Die für die betrachteten Bauverfahren prognostizierten Baustellenerschütterungen können sämtliche Anhalts-/Grenzwerte für die untersuchte Anlagentechnik sowie für das Gebäude des GTHKW mit deutlichem Abstand einhalten.
- Die höchsten Erschütterungsimmissionen werden durch das Einrütteln der Spundwände beim Absperrbauwerk sowie bei Verdichtungsarbeiten hervorgerufen.

Bei besonders erschütterungsintensiven Bauverfahren (Einrütteln von Spundbohlen, Verdichtungsarbeiten) kann lediglich im Bereich der Transformatoren in Ebene ± 0.00 m sowie der Server und Schaltanlagen in Ebene +15.50 m das derzeit vorliegende Erschütterungsniveau überschritten werden. Das derzeitige Erschütterungsniveau an den Gas- und Dampfturbinen und Booster wird bei Weitem nicht erreicht.

- Aufgrund der relativ großen Abstände zwischen den Erschütterungsquellen und dem nächsten Gebäudeteil des GTHKW sowie der insgesamt niedrigen zu erwartenden Erschütterungsimmissionen ist eine Erschütterungsüberwachung in Bezug auf die Einhaltung von Grenz- und Anhaltswerten während der Bauzeit nicht unbedingt erforderlich.

Hinsichtlich eines dennoch möglichen Schadenfalles an der Anlagentechnik des GTHKW, welcher nicht unbedingt ursächlich mit Erschütterungseinwirkungen zusammenhängen muss, kann durch eine Erschütterungsüberwachung (im GTHKW-Gebäude und im Freifeld) dargelegt werden, ob dem Schadensfall ein Erschütterungsereignis seitens der Baustelle zugeordnet werden kann oder nicht. Diesbezüglich wird eine kontinuierliche Erschütterungsüberwachung über die gesamte Bauzeit dringend empfohlen.

Für den technischen Inhalt verantwortlich



Dr.-Ing. Klaus Hartmann

Telefon +49 (0)89 85602-306

– Projektverantwortlicher –

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Gegenstände.

1 Situation und Aufgabenstellung

Im Zuge der Umsetzung des Projektes „Stadtbahn 2020“ soll in Dresden die Nossener Brücke erneuert werden. Diese soll künftig eine Straßenbahntrasse aufnehmen. Aufgrund der neuen Straßen- bzw. Trassenführung muss eine nördlich parallel zur Nossener Brücke verlaufende Rohrbrücke rückgebaut werden. Die Rohrbrücke führt derzeit u. a. zwei Fernwärmeleitungen (je DN 600) über eine insgesamt 125 m breite Bahnanlage (22 Gleise) der DB AG mit der Hauptstrecke 6258 Dresden – Werdau.

Entsprechend der vorliegenden Entwurfsplanung (ICL Ingenieur Consult GmbH) [1] soll die Fernwärmeleitung und weitere Medien unterirdisch in einem Düker in einer Tiefe von rd. 12 m die Bahnanlage queren. Hierbei soll der Düker – DN 3000 – aus 2,5 m langen Betonfertigteilen (Außendurchmesser 3,8 m) mittels Rohrvortrieb im Vollschnittverfahren – mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust – über eine Länge von 271 m hergestellt werden.

Verfahrensbedingt muss für den Rohrvortrieb ein Start- und ein Zielschachtbauwerk errichtet werden. Der Startschacht kommt westlich auf dem Grundstück der DREWAG und der Zielschacht östlich der Bahnanlagen (Zwickauer Straße) zu liegen. Zusätzlich entsteht auf dem Grundstück der DREWAG ein Absperrbauwerk.

Während der Errichtung der Bauwerke: Start-, Zielschacht, Absperrbauwerk und Dücker werden baubedingt Erschütterungen hervorgerufen, welche sich über den Baugrund ausbreiten und auf die angrenzenden Bauwerke/Anlagen einwirken.

In rd. 150 m Entfernung zum Startschacht und in rd. 100 m Entfernung zum Absperrbauwerk liegt westlich das Heizkraftwerk Nossener Brücke (GTHKW) der DREWAG. In diesem werden drei Gasturbinen und eine Dampfturbine betrieben, welche vier baugleiche Generatoren mit einer elektrischen Gesamtleistung von 270 Megawatt antreiben. Die Fernwärmeleistung beträgt 455 Megawatt. Für den störungsfreien Betrieb insbesondere der Turbinen werden Anforderungen an maximal zulässige Erschütterungsamplituden gestellt.

Im Rahmen einer erschütterungstechnischen Betrachtung sind die bauseits zu erwartenden Erschütterungseinwirkungen zu prognostizieren und deren Verträglichkeit mit dem Betrieb der Gasturbinen und weiteren Anlagenteilen zu bewerten.

2 Verwendete Unterlagen

- [1] Stadtbahn Dresden 2020; Stadtbahn-Neubaustrecke;
Nossener Brücke – Nürnberger Straße; Entwurfsplanung;
Mediendüker unter den Anlagen der DB AG;
ICL Ingenieur Consult GmbH, Diezmannstraße 5, 04207 Leipzig
- [2] 1432-030-BER, Anlage 2 Blatt 171; Baugrundlängsschnitt nördlich der
Nossener Brücke zur Darstellung des Baugrundes für den Mediendüker.;
GEPRO Ingenieurgesellschaft. 28.01.2022
- [3] Entwurfsplanung Absperrbauwerk; Grundriss/Schnitte;
Generalplaner: ICL Ingenieur Consult GmbH; 30.04.2021
(I 03 B03_BWP-AbsperrBW-West.pdf)
- [4] Entwurfsplanung Absperrbauwerk; Grundriss/Schnitte;
Generalplaner: ICL Ingenieur Consult GmbH; 30.04.2021
(I 03 B03_BWP-AbsperrBW-West.pdf)
- [5] Entwurfsplanung Leitungsraben; Schnitte;
Generalplaner: ICL Ingenieur Consult GmbH; 30.04. 2021,
(I 02 B03_RQS-FW-LtgsGraben.pdf)
- [6] DIN 45669-1: Messung von Schwingungsimmissionen –
Teil 1: Schwingungsmesser; Anforderungen, Prüfung. Juni 2020
- [7] DIN 45669-2: Messung von Schwingungsimmissionen –
Teil 2: Messverfahren. Juni 2005
- [8] DIN 45672-1: Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen –
Teil 1: Messverfahren für Schwingungen; Februar 2018
- [9] DIN 4150-1: Erschütterungen im Bauwesen –
Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen; Juni 2001
- [10] DIN 4150-3: Erschütterungen im Bauwesen –
Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen; Dezember 2016
- [11] DIN EN 60721-3-3: Klassifizierung von Umweltbedingungen –
Teil 3 Umwelteinflussgrößen und deren Grenzwerte, Hauptabschnitt 3:
Ortsfester Einsatz, wettergeschützt (IEC 721-3-3:1994); September 1995
- [12] IFB e.V.: Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten:
Grundlagen – Messergebnisse – Prognosen, M. Achmus, J. Kaiser, F.
tom Wörden, Bericht 20, 2004
- [13] Pläne: ESAG. GT-HKW Dresden, Nossener Brücke
Maschinenhaus für Gasturbosatz, Übersichtsplan; Grundriss ± 0.00 m, 1992
Maschinenhaus für Gasturbosatz, Belastungsplan; Grundriss + 15.50 m, 1992
- [14] GTHKW, Daten aus Grenzwertliste GT, DT und Booster. Grenzwerte der
Maschinenüberwachung, übermittelt von der DREWAG am 23.02.2022

3 Grundlagenermittlung

3.1 Erschütterungseinwirkungen auf das GTHKW

3.1.1 Erschütterungsempfindliche Geräte und Anlagentechnik

- Gasturbine (GT), Dampfturbine (DT), Booster auf Ebene $\pm 0,00$ m

An den Gas- und der Dampfturbinen sowie an den Boostern der Gasturbinen sind Überwachungssysteme eingerichtet, welche die Betriebsschwingungen an den Wellen und den Lagern aufzeichnen. Die Turbinenwelle weisen eine Betriebsdrehzahl von 5400 U/min (90 Hz) auf. Die Generatorwellen drehen mit 3000 U/min (50 Hz). Folgende Grenzwerte zur Beurteilung der Betriebsschwingungen sind vorgegeben:

- Gasturbine (GT): Lagerschwingungen
Warnung bei $v_{\text{eff}} > 7$ mm/s (Effektivwert)
Alarm bei $v_{\text{eff}} > 11$ mm/s (Effektivwert)
- Dampfturbine (DT): Wellenschwingungen (absolut am Lager)
Warnung bei $s_{p-p} > 65$ μm (Spitze – Spitze)
Alarm bei $s_{p-p} > 100$ μm (Spitze – Spitze)
- Booster der GT: Wellenschwingungen (absolut am Lager)
Warnung bei $s_{p-p} > 35,5$ μm (Spitze – Spitze)
Alarm bei $s_{p-p} > 52$ μm (Spitze – Spitze)

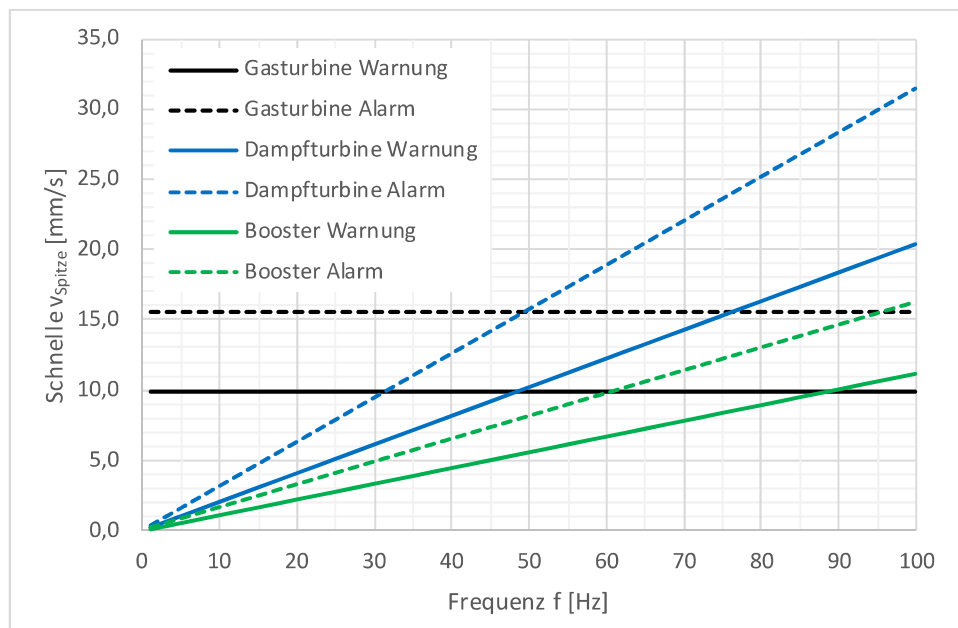


Abbildung 1. Gegenüberstellung der Grenzwerte für eine tonale „stationäre“ Anregung an den Gasturbinen, der Dampfturbine und dem Booster in v_{Spitze} [mm/s] (Spitzewert).

Entsprechend Anhang, Abschnitt A6.2, wurde in der vorliegenden Untersuchung folgendes Schwingungsniveau messtechnisch festgestellt:

- Gasturbine/Generatorlager: $v_{95\%} \leq \pm 4,9$ mm/s
- Booster: $v_{95\%} \leq \pm 1,1$ mm/s

Der Schnellewert von $v_{95\%}$ bezeichnet den 95-%-Perzentilwert. Innerhalb der Spannweite des angegebenen Perzentilwertes liegen 95 % der innerhalb der Messzeit aufgezeichneten Messwerte. Der $v_{95\%}$ -Wert charakterisiert gut das allgemeine Schwingungsniveau.

- Server auf Ebene +15.50 m

Die Server in der Leitwarte auf Ebene +15.50 m werden in die Umweltklasse „3M1“ nach DIN EN 60721-3-3 [11] eingeordnet. Die Zuordnung von Anlagen dieser Art in die Umweltklasse „3M1“ wurde bereits für vergleichbare baudynamische Untersuchungen bzw. Überwachungsprojekte (für Serverräume oder Telekommunikationsanlagen) verwendet.

- Dauererschütterungen (stationäre Vibrationen):
 $2 \text{ Hz} \leq f < 9 \text{ Hz}$ $s_{\text{Spitze}}(t) = 0,3 \text{ mm}$
 $9 \text{ Hz} \leq f \leq 200 \text{ Hz}$ $a_{\text{Spitze}}(t) = 1 \text{ m/s}^2$
- Kurzzeitige Erschütterungen (z. B. Stoß, Schock):
 $a_{\text{Spitze}}(t) = 40 \text{ m/s}^2$

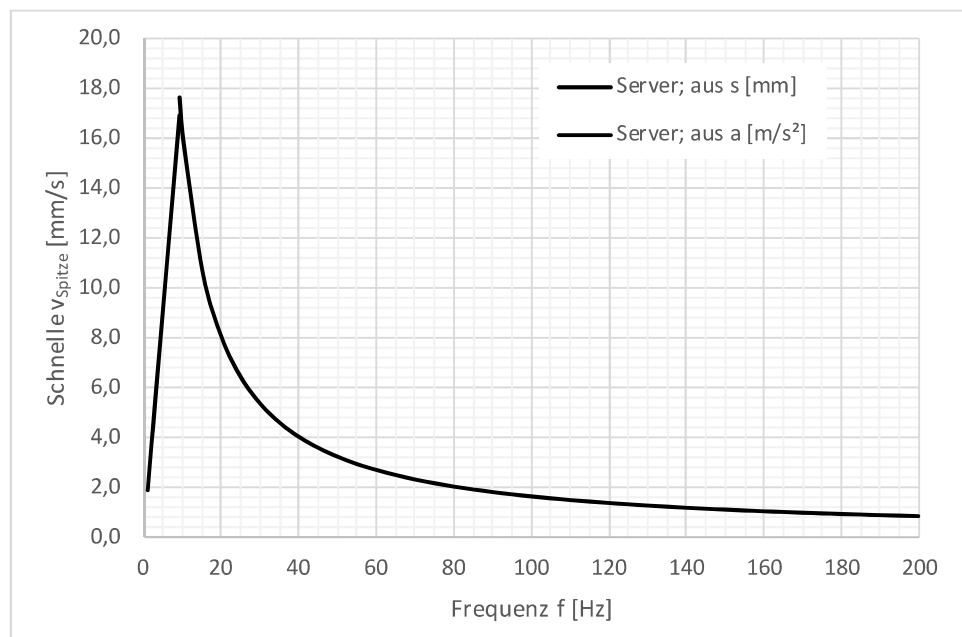


Abbildung 2. Gegenüberstellung der Grenzwerte für eine tonale „stationäre“ Anregung an den Servern in v_{Spitze} [mm/s] (Spitzewert).

Entsprechend Anhang, Abschnitt A6.2, wurde in der vorliegenden Untersuchung folgendes Schwingungsniveau messtechnisch festgestellt:

- Server (Ebene +15,50 m): $v_{95\%} \leq \pm 0,27 \text{ mm/s}$

Der Schnellewert von $v_{95\%}$ bezeichnet den 95-%-Perzentilwert. Innerhalb der Spannweite des angegebenen Schwingschnellewertes liegen 95 % der innerhalb der Messzeit aufgezeichneten Messwerte. Der $v_{95\%}$ -Wert charakterisiert gut das allgemeine Schwingungsniveau.

- Schaltanlagen und Transformatoren allgemein:

Für den sicheren und ungestörten Betrieb der Schaltanlagen und Transformatoren kann erfahrungsgemäß folgender Grenzwert angesetzt werden:

$$a_{\text{Spitze}}(t) = 1 \text{ m/s}^2$$

Bei den Einwirkungen wird nicht zwischen dauerhaften und kurzzeitigen (z. B. Stoß, Schock) Erschütterungen unterschieden. Der entsprechende Schwingungsgrenzwert in v_{Spitze} [mm/s] ist analog in Abbildung 2 eingetragen.

Der Grenzwert wird für folgende benannte erschütterungsrelevante Anlagenteile angesetzt:

- Transformatoren auf Ebene $\pm 0,00$ m
- Schaltanlagen der Gasturbinen +15,50 m
- 110-kV-Schaltanlage auf Ebene +15,50 m

Entsprechend Anhang, Abschnitt A6.2, wurde in der vorliegenden Untersuchung folgendes Schwingungsniveau messtechnisch festgestellt:

- Transformatoren auf Ebene $\pm 0,00$ m: $v_{95\%} \leq \pm 0,04$ mm/s
- Schaltanlagen der Gasturbinen +15,50 m: $v_{95\%} \leq \pm 0,13$ mm/s
- 110-kV-Schaltanlage auf Ebene +15,50 m: $v_{95\%} \leq \pm 0,13$ mm/s

Der Schnellewert von $v_{95\%}$ bezeichnet den 95-%-Perzentilwert. Innerhalb der Spannweite des angegebenen Schwingungsschnellewertes liegen 95 % der innerhalb der Messzeit aufgezeichneten Messwerte. Der $v_{95\%}$ -Wert charakterisiert gut das allgemeine Schwingungsniveau.

3.1.2 Erschütterungseinwirkungen auf das Gebäude des GTHKW

Als Grundlage für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke wird die Norm DIN 4150-3 „Erschütterungen im Bauwesen“, Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“ vom Dezember 2016 [10] herangezogen. Hierbei wird prinzipiell zwischen kurzzeitigen Erschütterungen und Dauererschütterungen unterschieden.

In der Norm werden Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes nicht eintreten. Ob eine Verminderung des Gebrauchswertes vorliegt, ist nach der entsprechenden Gebäudeart zu entscheiden.

Das Bauwerk des GTHKW ist in Stahlbeton- bzw. Stahlbetonständerbauweise errichtet. Aufgrund der Nutzung und Tragwerkskonstruktion werden die Gebäude den „Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten“ zugeordnet. Zur Beurteilung der dynamischen Belastung des Bauwerks durch Baustellenerschütterungen werden die in der Tabelle 1 und Tabelle 2 aufgeführten Anhaltswerte herangezogen.

Tabelle 1. Zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen gewählte Anhaltswerte v_{Spitze} [mm/s] nach DIN 4150–3 [10].

Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s				
	Fundament, alle Richtungen, $i = x, y, z$; Frequenzen			Deckenebene, horizontal $i = x, y$,	Decke, vertikal $i = z$
	1 bis 10 Hz	10 bis 50 Hz	50 bis 100 Hz*)	alle Frequenzen	alle Frequenzen
Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 – 40	40 – 50	40	20

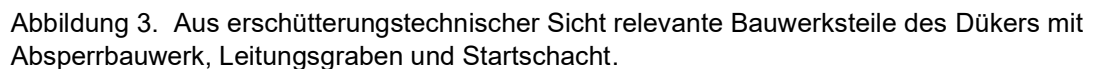
*) Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.

Tabelle 2. Zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen gewählte Anhaltswerte v_{Spitze} [mm/s] nach DIN 4150–3 [10].

Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s	
	Deckenebene, horizontal $i = x, y$,	Decke, vertikal $i = z$
	alle Frequenzen	alle Frequenzen
Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10	10

Werden die gewählten Anhaltswerte eingehalten, treten Schäden im Sinne einer Gebrauchsminderung der Gebäude nach bisherigen Erfahrungen nicht auf. Bei Überschreitung der Anhaltswerte folgt nicht, dass zwangsläufig Schäden auftreten. Werden hingegen die Anhaltswerte deutlich überschritten, sind weitergehende Untersuchungen erforderlich.

In folgender Abbildung sind in einem Längsschnitt die aus erschütterungstechnischer Sicht relevanten Bauwerksteile des Dükers mit Absperrbauwerk, Leitungsgraben und Startschacht dargestellt. Das Absperrbauwerk ist rd. 100 m und der Startschacht rd. 150 m vom nächstgelegenen Gebäudeteil des GTHKW entfernt. Der Zielschacht an der Zwickauer Straße ist aufgrund der hohen Entfernung zum GTHKW (rd. 350 m) nicht mehr beurteilungsrelevant.



- Gebäude K (Kfz – Waschhalle, Garage für Bereitschaftsfahrzeuge)
(Gebäude K siehe Anhang, Abbildung A 1)

- herabfallende Massen beim Abbrechen des Bauwerkes
- Meißelarbeiten zum Abbruch der Bodenplatte
- Baustellenverkehr

- Düker

Erschütterungseinwirkungen beim Vortrieb des Dükerrohrs:

- Vortrieb des Rohres im Mergelstein
(Pläner, Plänerzersatz, Festigkeitswerte: 65 MN/m² bis 150 MN/m²) mit einer minimalen Überdeckungshöhe vom 11,70 m im Bahnbereich.
- Vortriebsverfahren:
geschlossenes Schild mit vollflächigem Abbau und Flüssigkeitsstützung
- Vortriebsmaschine:
AVN-D 3000 AB im Vollschnittverfahren mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust, Fa. Herrenknecht
- Vortriebsrohr:
Außendurchmesser = 3,80 m, Wanddicke = 0,8 m Rohrlänge = 2,5 m;
Rohrgewicht = 27,4 t

- Startschacht mit Fernwärmebauwerk – West

Erschütterungseinwirkungen sind lediglich bei den Tiefbauarbeiten für die Baugrubenumschließung des Startschachtes zu erwarten. Die Ausbauarbeiten für das Fernwärmebauwerk sind erschütterungstechnisch nicht bedeutsam:

- Herstellung Bohrpfähle (Bohrpfahldurchmesser = 1,2 m, Länge ca. 25 m)
- Verfahren des Bohrgerätes (Kettenfahrzeug)
- Baustellenverkehr

- Absperrbauwerk

Erschütterungseinwirkungen sind lediglich bei den Tiefbauarbeiten für die Baugrubenumschließung des Absperrbauwerk zu erwarten. Die Ausbauarbeiten für das Absperrbauwerks selbst sind erschütterungstechnisch nicht bedeutsam:

- Einbringen von Spundwänden
(Vibrationsrammen mit Vorbohren; Profil: Larssen 604 Länge = 13 m) in Mittel- bis Grobkies
- Verfahren des Spundwandrüttlers (Kettenfahrzeug)
- Baustellenverkehr

- Leitungsgraben zwischen Absperrbauwerk und Fernwärmebauwerk – West

Erschütterungseinwirkungen sind beim Wiederverfüllen der Leitungsgräben und Verdichten des Bodens sowie bei allgemeinen Verdichtungsarbeiten sowie beim Hinterfüllen von Tiefbauwerken zu erwarten.

- Baustellenverkehr

- Anlieferverkehr (Lkw)
- Lkw für Erdtransport
- Fahren von Kettenfahrzeugen (i. A. Bohrgeräte)

4 Erschütterungsprognose

4.1 Allgemeines

Grundsätzlich erzeugen eine Vielzahl von Bautätigkeiten Erschütterungen, welche in den Baugrund eingeleitet werden und auf Nachbargebäude einwirken können. Bei den meisten Bautätigkeiten werden vergleichsweise geringe Erschütterungen erzeugt, wodurch die Auswirkungen auf Nachbargebäude eine untergeordnete Rolle spielen. Bei Bauverfahren, welche gezielt dynamische Wechselkräfte zur Umlagerung (Bodenverdichtung) oder zur Verdrängung (Einbringung von Spundbohlen, Rammpfählen etc.) des Untergrundes eintragen, entstehen Erschütterungen, deren Einwirkungen auf benachbarte Gebäude von Bedeutung sind.

Der Aushub von Boden, das Einpressen von Spundbohlen sowie das Herstellen von Bohrpfählen und Schlitzwänden und allgemeine Betonierarbeiten gelten hierbei als erschütterungsarme Bauverfahren.

Zur Prognose von Erschütterungsimmissionen in einem Gebäude/Anlage muss

- die Art und Höhe der Erschütterungen an der Einleitungsstelle (Erschütterungsquellpegel),
- die entsprechende Übertragung im Erdreich sowie
- die Reaktion des Gebäudes auf die von außen einwirkenden Erschütterungen

betrachtet werden.

Bei der Reaktion des Gebäudes sind zudem noch folgende Komponenten zu beachten:

- der Übergang vom Erdreich in die Fundamente
- die Erschütterungsfortleitung im Gebäude
- die Übertragung auf Decken verschiedener Bauarten

4.2 Prognose aus Literaturangaben [12]

4.2.1 Allgemeines

In [12] sind für verschiedene Bauverfahren empirische Prognoseformeln angegeben, über die in Abhängigkeit vom Abstand zur Erschütterungsquelle, der Geräteleistung bzw. des Maschinengewichtes Schwingungswerte an Gebäudefundamenten abgeschätzt werden können. Für die empirischen Prognoseformeln nach [12] werden die Ansätze mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von $P = 2,25 \%$ gewählt. Damit liegen die Prognosewerte konservativ auf der „sicheren Seite“.

Da sich die wesentlichen zu errichtenden Bauwerke in einem Abstand von 100 m (Absperrbauwerk) und 150 m (Startschacht) zum nächsten Gebäudeteil des GTHKW befinden, werden die Erschütterungsprognosen für Abstände von $r_1 = 100$ m und $r_2 = 150$ m berechnet.

Die verwendeten Prognoseformeln bestimmen die Schwinggeschwindigkeiten an den Gebäudefundamenten, daher werden für die Schwingungsübertragung auf die Obergeschosse bzw. die Deckenbauteile entsprechend [12] folgende Faktoren angesetzt:

- horizontale Schwinggeschwindigkeitskomponente von Wänden und Decken:

$$k_{x/y}^{F-OG} = 1,0 \text{ (steifer Boden)}$$

- vertikale Schwinggeschwindigkeitskomponente in Deckenmitte:

- Vibration mit Resonanz mit $D = 0,05$: $k_{z,max}^{F-D} = \frac{1}{2D} = 10,0$

- Vibration ohne Resonanz: $k_{z,max}^{F-D} = 1,5$

- für breitbandige Anregung
(z. B. Schlagrammung) in Abhängigkeit vom Frequenzinhalt
(Bodenreaktion): $k_{z,max}^{F-D} = 2,0$

Es wird davon ausgegangen, dass für das Gebäude des GTHKW nach den Ansätzen in [12] folgende Ausgangsparameter gelten:

- Anhaltswert der Bauwerk-Boden-Eigenfrequenz (siehe auch [9]) $f_B < 8$ Hz
- Resonanzbereich von Stahlbetondecken im Industriebau (aus [12]):
 $f_D = 5$ bis 15 Hz
- maßgebende Frequenz bei der Erschütterungsreaktion des Bodens infolge impulsförmiger Anregung: $f_{UB} = 16$ bis 25 Hz (Terzband) entsprechend Messung (Anhang).

4.2.2 Rammarbeiten

Entsprechend [12] ergibt sich unter Berücksichtigung der hier gewählten Leistungsparameter der ungünstigste Wert der Fundamentalschwingungen v_F [mm/s] aus Rammarbeiten zu:

- Vibrationsramme: $v_{F,2,25\%} = 18,52 \frac{\sqrt{W/f}}{r}$
 - hydraulische Leistung $W = 140 \text{ kW}$ bis 200 kW (Enk2)
 - Rüttlerfrequenz: $f_R = 41$ bis 46 Hz
 - Ansatz: $E_1 = W/f_R = 140 \text{ kW} / 41 \text{ Hz} = 3,41 \text{ kNm}$
 $E_2 = W/f_R = 200 \text{ kW} / 41 \text{ Hz} = 4,88 \text{ kNm}$
 - Abstand Vibrationsramme – Gebäude
 $r_1 = 100 \text{ m}$; $r_2 = 150 \text{ m}$
 - Fundamentalschwingung
 - E_1 : $r_1 = 100 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,342 \text{ mm/s}$
 - E_1 : $r_2 = 150 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,228 \text{ mm/s}$
 - E_2 : $r_1 = 100 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,409 \text{ mm/s}$
 - E_2 : $r_2 = 150 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,273 \text{ mm/s}$

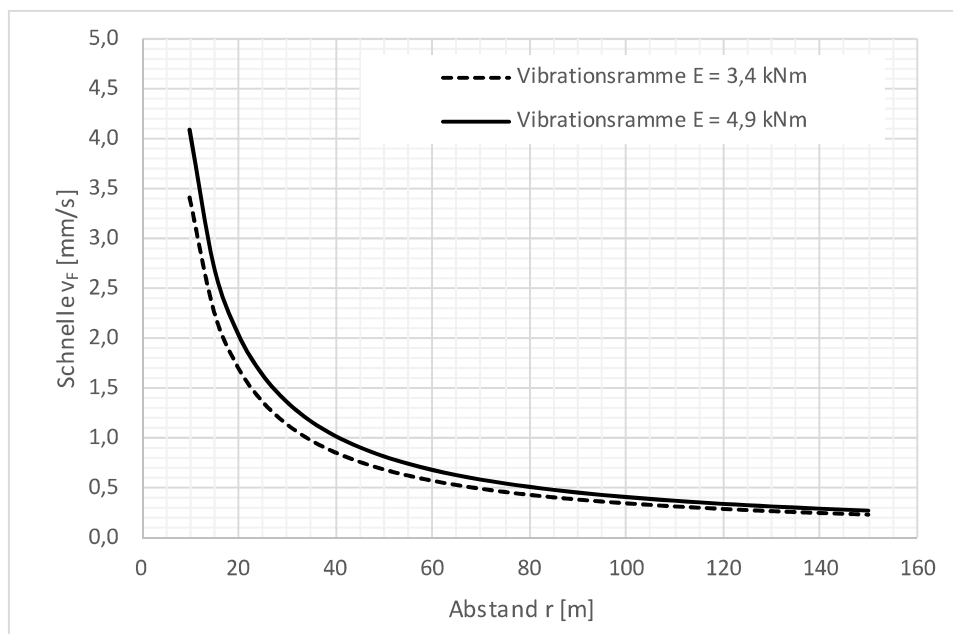


Abbildung 4. Fundamentalschwingungen $v_{F,2,25\%}$ [mm/s]; Vibrationsramme.

- Schlagramme

Dieselbär: $v_{F,2,25\%} = 3,82 \frac{\sqrt{E}}{r}$

Freifallbär: $v_{F,2,25\%} = 11,07 \frac{\sqrt{E}}{r^{1,3}}$

- Schlaggewicht Kolben: $m_{k1} = 1250 \text{ kg}$, $m_{k2} = 2200 \text{ kg}$
- Schlagzahl: $\text{BPM}_1 = 42 [1/\text{min}]$, $\text{BPM}_2 = 38 [1/\text{min}]$
- Fallhöhe: $h_{k1} = 2,502 \text{ m}$, $h_{k2} = 3,05 \text{ kg}$ ($h_k = 4415/\text{BPM}^2 [12]$)
- Energie pro Schlag $E_1 = m_k g h_k = 31,275 \text{ kNm}$, $E_2 = 67,100 \text{ kNm}$
- Abstand Schlagramme – Gebäude
 $r_1 = 100 \text{ m}$; $r_2 = 150 \text{ m}$
- Fundamentschwingung/Dieselbär
 E_1 : $r_1 = 100 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,215 \text{ mm/s}$
 E_1 : $r_2 = 150 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,144 \text{ mm/s}$
 E_2 : $r_1 = 100 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,315 \text{ mm/s}$
 E_2 : $r_2 = 150 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,210 \text{ mm/s}$
- Fundamentschwingung/Freifallbär
 E_1 : $r_1 = 100 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,156 \text{ mm/s}$
 E_1 : $r_2 = 150 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,092 \text{ mm/s}$
 E_2 : $r_1 = 100 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,228 \text{ mm/s}$
 E_2 : $r_2 = 150 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,134 \text{ mm/s}$

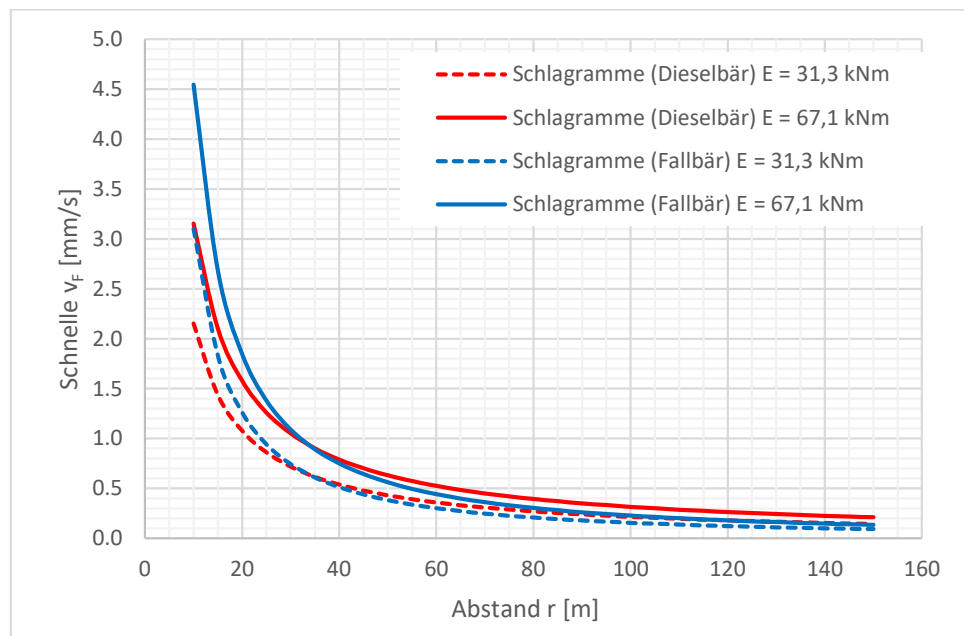


Abbildung 5. Fundamentschwingungen $v_{F,2,25\%}$ [mm/s]; Schlagramme.

4.2.3 Verdichtungsarbeiten

Entsprechend [12] ergibt sich unter Berücksichtigung der hier gewählten Maschinengewichte der ungünstigste Wert der Fundamentalschwingungen v_F [mm/s] aus Verdichtungsarbeiten zu:

- Vibrationsplatte und -walze: $v_{F,2,25\%} = 10,87 \frac{\sqrt{G}}{r}$
 - Gerätegewicht: $G_1 = 0,5 \text{ t}$ Vibrationsplatte
 $G_2 = 11 \text{ t}$ Vibrationswalze
 - Abstand Verdichtung – Gebäude
 $r_1 = 100 \text{ m}$; $r_2 = 150 \text{ m}$
 - Fundamentalschwingung
 - G_1 : $r_1 = 100 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,077 \text{ mm/s}$
 - G_1 : $r_2 = 150 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,051 \text{ mm/s}$
 - G_2 : $r_1 = 100 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,361 \text{ mm/s}$
 - G_2 : $r_2 = 150 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,240 \text{ mm/s}$

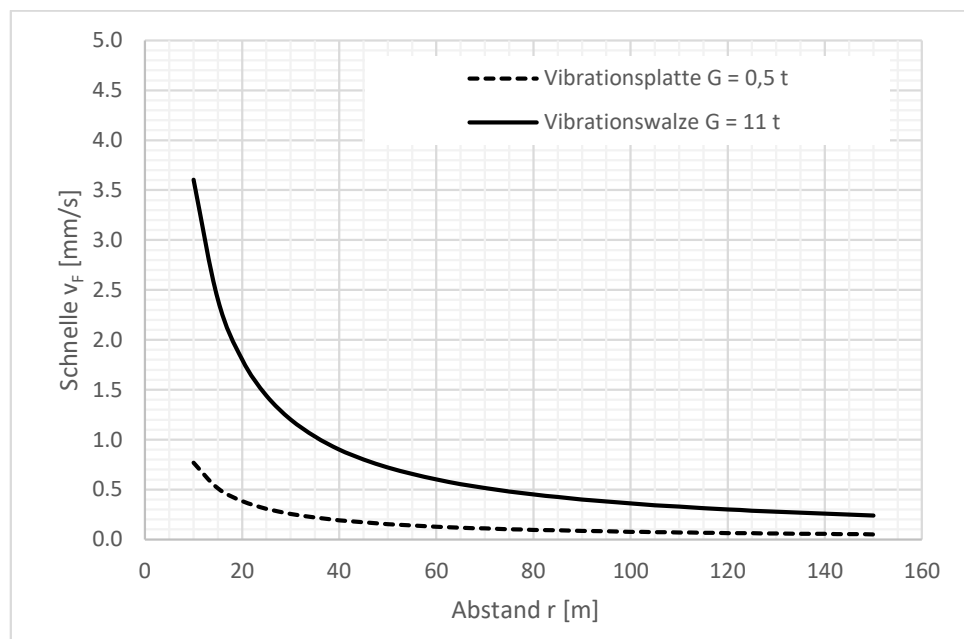


Abbildung 6. Fundamentalschwingungen $v_{F,2,25\%}$ [mm/s]; Vibrationsplatte und -walze.

4.2.4 Abbrucharbeiten (Meißelbagger)

Für die Erschütterungseinwirkungen beim Abbruchbetrieb mittels Meißelbagger wurde unter Anpassung der Leistungsparameter der Prognoseansatz für eine Schlagramme (Dieselbär) aus [12] verwendet. Hierbei ergibt sich der ungünstigste Wert der Fundamentalschwingungen v_F [mm/s] aus Verdichtungsarbeiten zu:

- Meißelbagger – orientierender Ansatz: $v_{F,2,25\%} = 3,82 \frac{\sqrt{E}}{r}$
 - Schlaggewicht: $m_{k2} = 2000 \text{ kg}$
 - Schlagzahl: $\text{BPM} = 490 \text{ [1/min]}$
 - Fallhöhe: $h_k = 0,02 \text{ m}$ ($h_k = 4415/\text{BPM}^2$ [12])
 - Energie pro Schlag $E = m_k g h_k = 0,4 \text{ kNm}$
 - (Masse Bagger: 23 t bis 29 t)
 - (Leistung Bagger 118 kW bis 142 kW)
 - Abstand Schlagramme – Gebäude
 $r_1 = 100 \text{ m}$; $r_2 = 150 \text{ m}$
 - Fundamentalschwingung/Meißelbagger
 $r_1 = 100 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,024 \text{ mm/s}$
 $r_2 = 150 \text{ m}$; $v_{F,2,25\%} = 0,016 \text{ mm/s}$

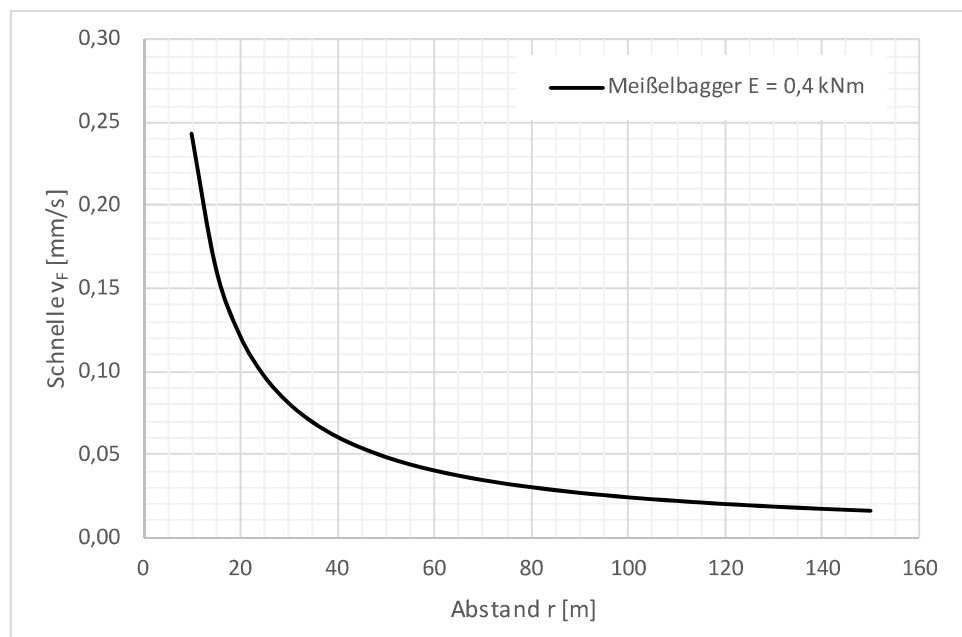


Abbildung 7. Fundamentalschwingungen $v_{F,2,25\%}$ [mm/s]; Meißelbagger.

4.2.5 Zusammenfassung der Prognose (Literatur)

Tabelle 3. Zusammenfassung der Prognosewerte für die Bauerschütterungen nach Abschnitt 4.2 für einen Abstand von $r_1 = 100$ m (Erschütterungsquelle – Bauwerk GTHKW) (Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25%) Lage: **Absperrbauwerk**.

Bauverfahren	Fundament $V_{F,max}$ [mm/s]	Übertragung $K_{x/y}^{F-OG}$	K_z^{F-D}	Bauteilschwingung $v_{OG,x/y}$ [mm/s]	$v_{D,z}$ [mm/s]	Bemerkung (beachte Angaben in Abschnitt 4.2.1)
Vibrationsramme	0,409	1,0	1,5	0,409	0,614	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, harmonische Anregung mit $f_R > 41$ Hz; keine Resonanz
Schlagramme (Dieselbär)	0,315	1,0	2,0	0,315	0,630	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, impulsförmige Anregung mit $f_{UB} = 16 - 25$ Hz
Schlagramme (Fallbär)	0,228	1,0	2,0	0,228	0,456	
Verdichtung (Platte $m = 0,5$ t)	0,077	1,0	1,5	0,077	0,115	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, harmonische Anregung mit $f_{R,Platte} > 50$ Hz bzw. $f_{R,Walze} > 25$ Hz ; keine Resonanz
Verdichtung (Walze $m = 11$ t)	0,361	1,0	1,5	0,361	0,541	
Meißelbagger	0,024	1,0	2,0	0,024	0,048	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, impulsförmige Anregung mit $f_{UB} = 16 - 25$ Hz

Tabelle 4. Zusammenfassung der Prognosewerte für die Bauerschütterungen nach Abschnitt 4.2 für einen Abstand von $r_1 = 150$ m (Erschütterungsquelle – Bauwerk GTHKW) (Überschreitungswahrscheinlichkeit 2,25%) Lage: **Startschacht**.

Bauverfahren	Fundament $V_{F,max}$ [mm/s]	Übertragung $K_{x/y}^{F-OG}$	K_z^{F-D}	Bauteilschwingung $v_{OG,x/y}$ [mm/s]	$v_{D,z}$ [mm/s]	Bemerkung (beachte Angaben in Abschnitt 4.2.1)
Vibrationsramme	0,273	1,0	1,5	0,273	0,410	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, harmonische Anregung mit $f_R > 41$ Hz; keine Resonanz
Schlagramme (Dieselbär)	0,210	1,0	2,0	0,210	0,420	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, impulsförmige Anregung mit $f_{UB} = 16 - 25$ Hz
Schlagramme (Fallbär)	0,134	1,0	2,0	0,134	0,268	
Verdichtung (Platte $m = 0,5$ t)	0,051	1,0	1,5	0,051	0,077	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, harmonische Anregung mit $f_{R,Platte} > 50$ Hz bzw. $f_{R,Walze} > 25$ Hz ; keine Resonanz
Verdichtung (Walze $m = 11$ t)	0,240	1,0	1,5	0,240	0,360	
Meißelbagger	0,016	1,0	2,0	0,016	0,032	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, impulsförmige Anregung mit $f_{UB} = 16 - 25$ Hz

4.3 Prognose aus Vergleichsmessungen

4.3.1 Allgemeines, Erschütterungsquellpegel, Übertragung

Anhand bereits vorliegender messtechnischer Untersuchungen (Vergleichsmessung) liegen Erschütterungsquellpegel von verschiedenen Bauverfahren vor. Die Messdaten wurden im Abstand von 8 m von der jeweiligen Erschütterungsquelle aufgezeichnet, wobei der verwendete Messsensor auf einem zuvor eingeschlagenen Erdspieß nach [6] angebracht wurde. Die Messrichtung war jeweils vertikal.

Die für die Vergleichsmessungen im nächsten Abschnitt aufgeführten Schwingungsschnellequellwerte sind als 95-%-($v_{95\%}$ [mm/s]) und 100-%-($v_{100\%}$ [mm/s]) Perzentilwert angegeben. Der Prozentwert gibt dabei an, welcher prozentuale Anteil der Messwerte innerhalb des entsprechenden Wertebereiches liegt. Bei $v_{100\%}$ [mm/s] handelt es sich letztlich um den Maximalwert, da 100 % der Messwerte innerhalb des entsprechenden Wertebereiches liegen.

Eine Umrechnung der Vergleichsmessdaten auf die im vorliegenden Fall anstehenden Bodenverhältnisse kann anhand der Scherwellengeschwindigkeiten nach [8] erfolgen:

$$v_{\text{neu}} = v_{\text{alt}} \frac{v_{\text{s,alt}}^2}{v_{\text{s,neu}}^2} = v \cdot k_{\text{Anpassung}}$$

Bei den Bodenverhältnissen der Vergleichsmessungen lag eine Scherwellengeschwindigkeit von $v_{\text{s,alt}} = 170$ m/s vor. Anhand der aktuellen Messdaten (Anhang) kann eine Scherwellengeschwindigkeit von $v_{\text{s,neu}} = 290$ m/s angesetzt werden. Der Anpassungsfaktor ergibt sich zu $k_{\text{Anpassung}} = 0,34$.

Da sich die wesentlichen zu errichtenden Bauwerken in einem Abstand von 100 m (Absperrbauwerk) und 150 m (Startschacht) zum nächsten Gebäudeteil des GTHKW befinden, werden die Erschütterungsprognosen für Abstände von $r_1 = 100$ m und $r_2 = 150$ m berechnet. Bezüglich der Ausbreitungsverhältnisse der Erschütterungen im Baugrund werden anhand der Messergebnisse (Anhang) für eine harmonische und eine impulsförmige Anregung folgende Funktionen (Fernfeld; Annahme: $R_0 = 10$ m) verwendet:

- harmonische Anregung: $v_B = v_{\text{Quelle}} \cdot 3,342 \cdot r^{-0,524}$
 - $r_1 = 100$ m: $v_B = v_{\text{Quelle}} \cdot 0,299$
 - $r_2 = 150$ m: $v_B = v_{\text{Quelle}} \cdot 0,242$
 - $r_3 = 20$ m: $v_B = v_{\text{Quelle}} \cdot 0,695$ (für Baustellenverkehr, Fabrikstraße)
- impulsförmige Anregung: $v_B = v_{\text{Quelle}} \cdot 10,568 \cdot r^{-1,524}$
 - $r_1 = 100$ m: $v_B = v_{\text{Quelle}} \cdot 0,095$
 - $r_2 = 150$ m: $v_B = v_{\text{Quelle}} \cdot 0,062$

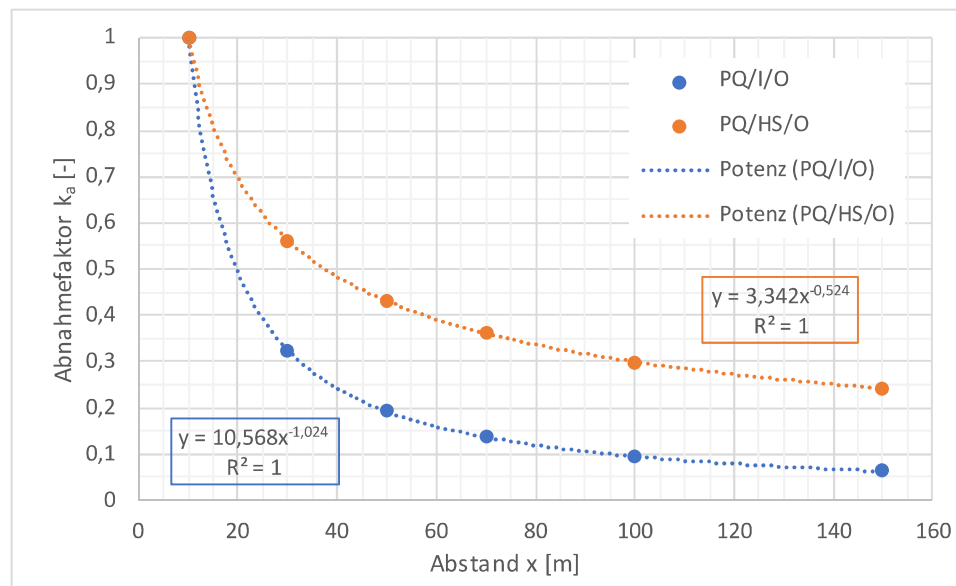


Abbildung 8. Abnahme der Schwingungsamplituden mit der Entfernung r (Fernfeld) für eine harmonische und impulsförmige Anregung.

Für die Übertragung der Freifeldschwingungen auf die Gebäudefundamente des GTHKW wird ein Anhaltswert der Bauwerk-Boden-Eigenfrequenz (siehe auch [9]) von $f_B < 8$ Hz angenommen. Folgende Übertragungsfaktoren werden für eine Boden-Fundament Übertragung „auf der sicheren Seite“ angesetzt:

- mit Resonanz mit $D_B = 0,25$: $k_z^{B-F} = \frac{1}{2D} = 2,0$
- ohne Resonanz: $k_z^{B-F} < 1,0$

Für die Schwingungsübertragung auf die Obergeschosse bzw. die Deckenbauteile werden analog zu Abschnitt 4.2.1 folgende Faktoren (aus [12]) angesetzt.

- horizontale Schwinggeschwindigkeitskomponente von Wänden und Decken: $k_{x/y}^{F-OG} = 1,0$ (steifer Boden)
- vertikale Schwinggeschwindigkeitskomponente in Deckenmitte:
 - Vibration mit Resonanz mit $D = 0,05$: $k_{z,max}^{F-OG} = \frac{1}{2D} = 10,0$
 - Vibration ohne Resonanz: $k_{z,max}^{F-D} = 1,5$
 - Für breitbandige Anregung (z. B. Schlagrammung) in Abhängigkeit vom Frequenzinhalt (Bodenreaktion): $k_{z,max}^{F-D} = 2,0$

Es wird davon ausgegangen, dass für das Gebäude des GTHKW nach den Ansätzen in [12] folgende Ausgangsparameter gelten:

- Anhaltswert der Bauwerk-Boden-Eigenfrequenz (siehe auch [9]):
 $f_B < 8 \text{ Hz}$
- Resonanzbereich von Stahlbetondecken im Industriebau (aus [12]):
 $f_D = 5 \text{ bis } 15 \text{ Hz}$
- maßgebende Frequenz bei der Erschütterungsreaktion des Bodens infolge impulsförmiger Anregung:
 $f_{UB} = 16 \text{ bis } 25 \text{ Hz (Terzband) entsprechend Messung (Anhang)}$

4.3.2 Prognose anhand von Vergleichsmessdaten

Für die folgenden Vergleichsmessdaten der jeweiligen Bauverfahren werden, für die Abstände $r_1 = 100 \text{ m}$ und $r_2 = 150 \text{ m}$ (Erschütterungsquelle – Bauwerk GTHKW) die zu erwartenden Fundamentschwingungen mit folgendem Ansatz berechnet:

$$v_F = v_{100\%} \cdot k_{\text{Anpassung}} \cdot k_r \cdot k_z^{B-F}$$

- Walzenzug; Fa. BOMAG, Typ: BW 211
(Glattmattelbandage; $m \approx 11000 \text{ kg}$), Anregung mit „kleiner Amplitude“
 - Anregung: harmonisch mit $f = 38 \text{ Hz}$
 - Schwingschnellequellwert: $v_{95\%} = \pm 0,14 \text{ mm/s}$; $v_{100\%} = \pm 0,26 \text{ mm/s}$
 - Prognose:
 - $r_1 = 100 \text{ m}$: $v_F = 0,26 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,299 \cdot 1,0 = 0,026 \text{ mm/s}$
 - $r_2 = 150 \text{ m}$: $v_F = 0,26 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,242 \cdot 1,0 = 0,021 \text{ mm/s}$
- Walzenzug; Fa. BOMAG, Typ: BW 211
(Glattmattelbandage; $m \approx 11000 \text{ kg}$), Anregung mit „großer Amplitude“
 - Anregung: harmonisch mit $f = 28 \text{ Hz}$
 - Schwingschnellequellwert: $v_{95\%} = \pm 0,19 \text{ mm/s}$; $v_{100\%} = \pm 0,38 \text{ mm/s}$
 - Prognose:
 - $r_1 = 100 \text{ m}$: $v_F = 0,38 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,299 \cdot 1,0 = 0,039 \text{ mm/s}$
 - $r_2 = 150 \text{ m}$: $v_F = 0,38 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,242 \cdot 1,0 = 0,031 \text{ mm/s}$

- Verdichtung mit Stampfer; Fa. Wacker Neuson, Typ: DS 70 (m ≈ 80 kg)
 - Anregung: impulsförmig $f = 16$ bis 25 Hz
 - Schwingschnellequellwert: $v_{95\%} = \pm 0,34$ mm/s; $v_{100\%} = \pm 0,47$ mm/s
 - Prognose:
 - $r_1 = 100$ m: $v_F = 0,47 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,095 \cdot 1,0 = 0,015$ mm/s
 - $r_2 = 150$ m: $v_F = 0,47 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,062 \cdot 1,0 = 0,010$ mm/s
- Verdichtung mit Rüttelpatte; Fa. BOMAG, Typ: BPR 70/70 D (m ≈ 560 kg)
 - Anregung: harmonisch mit $f = 31$ Hz
 - Schwingschnellequellwert: $v_{95\%} = \pm 0,26$ mm/s; $v_{100\%} = \pm 0,51$ mm/s
 - Prognose:
 - $r_1 = 100$ m: $v_F = 0,51 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,299 \cdot 1,0 = 0,052$ mm/s
 - $r_2 = 150$ m: $v_F = 0,51 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,242 \cdot 1,0 = 0,042$ mm/s
- Vorbeifahrt mit mittelgroßem Radlader (Gummibereifung),
gefahren auf Baustraße mit Kiesdecke
 - Anregung: breitbandig mit $f = 16$ bis 25 Hz
 - Schwingschnellequellwert: $v_{95\%} = \pm 0,02$ mm/s; $v_{100\%} = \pm 0,03$ mm/s
 - Prognose:
 - $r_1 = 100$ m: $v_F = 0,03 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,299 \cdot 1,0 = 0,003$ mm/s
 - $r_2 = 150$ m: $v_F = 0,03 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,242 \cdot 1,0 = 0,002$ mm/s
 - $r_3 = 20$ m: $v_F = 0,12 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,695 \cdot 1,0 = 0,028$ mm/s
- Vorbeifahrt mit Lkw zum Erdtransport (vier Achsen),
gefahren auf Baustraße mit Kiesdecke
 - Anregung: breitbandig mit $f = 16$ bis 25 Hz
 - Schwingschnellequellwert: $v_{95\%} = \pm 0,08$ mm/s; $v_{100\%} = \pm 0,19$ mm/s
 - Prognose:
 - $r_1 = 100$ m: $v_F = 0,19 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,299 \cdot 1,0 = 0,019$ mm/s
 - $r_2 = 150$ m: $v_F = 0,19 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,242 \cdot 1,0 = 0,016$ mm/s
 - $r_3 = 20$ m: $v_F = 0,12 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,695 \cdot 1,0 = 0,028$ mm/s

- Vorbeifahrt mit Kettenfahrzeug/Kettenbagger, gefahren auf dem Baufeld
 - Anregung: breitbandig mit $f = 16$ bis 25 Hz
 - Schwingschnellequellwert: $v_{95\%} = \pm 0,22$ mm/s; $v_{100\%} = \pm 0,65$ mm/s
 - Prognose:
 - $r_1 = 100$ m: $v_F = 0,65 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,299 \cdot 1,0 = 0,066$ mm/s
 - $r_2 = 150$ m: $v_F = 0,65 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,242 \cdot 1,0 = 0,053$ mm/s
- Vorbeifahrt eines Dumpers zum Erdtransport (drei Achsen), gefahren auf Baustraße mit Asphaltdecke über Holzbrett.
 - Anregung: breitbandig mit $f = 16$ bis 25 Hz
 - Schwingschnellequellwert: $v_{95\%} = \pm 0,03$ mm/s; $v_{100\%} = \pm 0,12$ mm/s
 - Prognose:
 - $r_1 = 100$ m: $v_F = 0,12 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,299 \cdot 1,0 = 0,012$ mm/s
 - $r_2 = 150$ m: $v_F = 0,12 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,242 \cdot 1,0 = 0,010$ mm/s
 - $r_3 = 20$ m: $v_F = 0,12 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,695 \cdot 1,0 = 0,028$ mm/s
- Rüttelstopfverdichten inkl. Vorbohren mit Schnecke.
 - Anregung: breitbandig mit $f = 16$ bis 25 Hz
 - Schwingschnellequellwert: $v_{95\%} = \pm 2,35$ mm/s; $v_{100\%} = \pm 2,67$ mm/s
 - Prognose:
 - $r_1 = 100$ m: $v_F = 2,67 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,299 \cdot 1,0 = 0,271$ mm/s
 - $r_2 = 150$ m: $v_F = 2,67 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,242 \cdot 1,0 = 0,220$ mm/s
- Herabfallende Masse (Abbruch).
 - Anregung: impulsförmig $f = 16$ bis 25 Hz
 - Masse $m = 2,5$ t
 - Fallhöhe $h = 2$ m
 - Schwingschnellequellwert: $v_{100\%} = \pm 0,41$ mm/s
 - Prognose:
 - $r_1 = 100$ m: $v_F = 0,41 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,095 \cdot 1,0 = 0,026$ mm/s
 - $r_2 = 150$ m: $v_F = 0,41 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 0,34 \cdot 0,062 \cdot 1,0 = 0,022$ mm/s

4.3.3 Zusammenfassung der Prognose (Vergleichsmessung)

Tabelle 5. Zusammenfassung der Prognosewerte für die Bauerschütterungen nach Abschnitt 4.3 für einen Abstand von $r_1 = 100$ m (Erschütterungsquelle – Bauwerk GTHKW) (Vergleichsmessung) Lage: **Absperrbauwerk**.

Bauverfahren	Fundament	Übertragung		Bauteilschwingung		Bemerkung (beachte Angaben in Abschnitt 4.2.1)
	$v_{F,max}$ [mm/s]	$k_{x/y}^{F-OG}$	k_z^{F-D}	$v_{OG,x/y}$ [mm/s]	$v_{D,z}$ [mm/s]	
Walze $m = 11$ t (gr. Amplitude)	0,026	1,0	1,5	0,026	0,040	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, harmonische Anregung mit $f_R > 25$ Hz; keine Resonanz
Walze $m = 11$ t (kl. Amplitude)	0,039	1,0	1,5	0,039	0,058	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, harmonische Anregung mit $f_R > 30$ Hz; keine Resonanz
Stampfer $m = 0,08$ t	0,015	1,0	2,0	0,015	0,030	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, impulsförmige Anregung mit $f_{UB} = 16 - 25$ Hz
Rüttelplatte $m = 0,56$ t	0,052	1,0	1,5	0,052	0,078	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, harmonische Anregung mit $f_R > 50$ Hz keine Resonanz
Radlader, mittlere Größe, Baufeld	0,003	1,0	2,0	0,003	0,006	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, breitbandige Anregung mit $f_{UB} = 16 - 25$ Hz
LKW (4 Achsen), Baufeld (Erdtransport)	0,019	1,0	2,0	0,019	0,039	
Kettenbagger, Baufeld	0,066	1,0	2,0	0,066	0,132	
Dumper, Asphaltstraße	0,012	1,0	2,0	0,012	0,024	
Rüttelstopf- verdichten	0,271	1,0	1,5	0,271	0,407	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, harmonische Anregung mit $f_R > 50$ Hz keine Resonanz
Fallende Masse $m = 2,5$ t	0,013	1,0	2,0	0,013	0,026	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, impulsförmige Anregung mit $f_{UB} = 16 - 25$ Hz

Tabelle 6. Zusammenfassung der Prognosewerte für die Bauerschütterungen nach Abschnitt 4.3 für einen Abstand von $r_1 = 150$ m (Erschütterungsquelle – Bauwerk GTHKW) (Vergleichsmessung) Lage: **Startschacht**.

Bauverfahren	Fundament	Übertragung		Bauteilschwingung		Bemerkung (beachte Angaben in Abschnitt 4.2.1)
	$V_{F,max}$ [mm/s]	$k_{x/y}^{F-OG}$	k_z^{F-D}	$v_{OG,x/y}$ [mm/s]	$v_{D,z}$ [mm/s]	
Walze $m = 11$ t (gr. Amplitude)	0,021	1,0	1,5	0,021	0,032	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, harmonische Anregung mit $f_R > 25$ Hz; keine Resonanz
Walze $m = 11$ t (kl. Amplitude)	0,031	1,0	1,5	0,031	0,047	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, harmonische Anregung mit $f_R > 30$ Hz; keine Resonanz
Stampfer $m = 0,08$ t	0,010	1,0	2,0	0,010	0,020	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, impulsförmige Anregung mit $f_{UB} = 16 - 25$ Hz
Rüttelplatte $m = 0,56$ t	0,042	1,0	1,5	0,042	0,063	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, harmonische Anregung mit $f_R > 50$ Hz keine Resonanz
Radlader, mittlere Größe, Baufeld	0,002	1,0	2,0	0,002	0,005	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, breitbandige Anregung mit $f_{UB} = 16 - 25$ Hz
LKW (4 Achsen), Baufeld (Erdtransport)	0,016	1,0	2,0	0,016	0,031	
Kettenbagger, Baufeld	0,053	1,0	2,0	0,053	0,107	
Dumper, Asphaltstraße	0,010	1,0	2,0	0,010	0,020	
Rüttelstopf-verdichten	0,220	1,0	1,5	0,220	0,330	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, harmonische Anregung mit $f_R > 50$ Hz keine Resonanz
Fallende Masse $m = 2,5$ t	0,009	1,0	2,0	0,009	0,017	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, impulsförmige Anregung mit $f_{UB} = 16 - 25$ Hz

Tabelle 7. Zusammenfassung der Prognosewerte für die Erschütterungen bzgl. Baustellenverkehr nach Abschnitt 4.3 für einen Abstand von $r_1 = 20$ m (Erschütterungsquelle – Bauwerk GTHKW) (Vergleichsmessung) Lage: **Fabrikstraße**.

Bauverfahren	Fundament	Übertragung		Bauteilschwingung		Bemerkung (beachte Angaben in Abschnitt 4.2.1)
	$V_{F,max}$ [mm/s]	$k_{x/y}^{F-OG}$	k_z^{F-D}	$v_{OG,x/y}$ [mm/s]	$v_{D,z}$ [mm/s]	
Radlader, mittlere Größe, Baufeld	0,007	1,0	2,0	0,007	0,014	$f_B < 8$ Hz; $f_D = 5 - 15$ Hz, breitbandige Anregung mit $f_{UB} = 16 - 25$ Hz
LKW (4 Achsen), Baufeld (Erdtransport)	0,045	1,0	2,0	0,045	0,090	
Dumper, Asphaltstraße	0,028	1,0	2,0	0,028	0,057	

4.4 Zusammenfassung: Erschütterungsimmissionen im GTHKW

Insgesamt wird davon ausgegangen, dass sämtliche erschütterungsrelevante Bautätigkeit in den gewählten Abständen von 100 m bis 150 m zwischen dem Absperrbauwerk und Startschacht mit dem nächsten Gebäudeteil des GTHKW stattfinden. Lediglich für den Baustellenverkehr auf der Fabrikstraße wurde zusätzlich ein Abstand von 20 m betrachtet. Basierend auf den in den Abschnitten 4.2 sowie 4.3 erhaltenen Prognosewerten für verschiedene Bauverfahren können den in Abschnitt 3.2 aufgeführten Bauwerken/Bauverfahren folgende Immissionswerte im GTHKW zugewiesen werden.

4.4.1 Gebäude K (Kfz – Waschhalle, Garage für Bereitschaftsfahrzeuge)

Der Abstand der Erschütterungsquelle zum GTHKW beträgt $r = 150$ m.
Erschütterungsanregung durch:

- herabfallende Massen beim Abbrechen des Bauwerkes.
Anregungsfrequenzen: breitbandig mit $f_{\text{ÜB}} = 16$ bis 25 Hz
 - GTHKW – Fundamentbereich, Gasturbinen: $v_F \leq 0,009$ mm/s
 - GTHKW – Obergeschosse/Decken $v_{\text{OG,D}} \leq 0,017$ mm/s
- Meißelarbeiten zum Abbruch der Bodenplatte
Anregungsfrequenzen: breitbandig mit $f_{\text{ÜB}} = 16$ bis 25 Hz
 - GTHKW – Fundamentbereich, Gasturbinen: $v_F \leq 0,016$ mm/s
 - GTHKW – Obergeschosse/Decken $v_{\text{OG,D}} \leq 0,032$ mm/s
- Baustellenverkehr
Anregungsfrequenzen: breitbandig mit $f_{\text{ÜB}} = 16$ bis 25 Hz
 - GTHKW – Fundamentbereich, Gasturbinen:
 $v_F \leq 0,016 - 0,053$ mm/s
 - GTHKW – Obergeschosse/Decken $v_{\text{OG,D}} \leq 0,031 - 0,107$ mm/s

Die auftretenden Erschütterungen liegen im Frequenzbereich $f_{\text{ÜB}} = 16$ Hz bis 25 Hz. Für die Anlagentechnik des GTHKW können entsprechend Abschnitt 3.1.1 (Abbildung 1 und Abbildung 2) folgende Schwingungsgrenzwerte angegeben werden:

- GTHKW – Fundamentbereich, maßgebend Booster: $v_{16\text{Hz}} = 1,7$ mm/s
- GTHKW – Obergeschosse: Schaltanlagen/Server $v_{25\text{Hz}} = 6,4$ mm/s

Die von den Bauerschütterungen hervorgerufenen Erschütterungsimmissionen im GTHKW können sämtliche Grenzwerte für die Anlagentechnik mit deutlichem Abstand einhalten.

Zudem werden die Anhaltswerte der DIN 4150-3 [10] für Einwirkungen auf bauliche Anlagen (siehe Abschnitt 3.1.2) vollumfänglich eingehalten.

Das derzeitige Erschütterungsniveau (siehe Anhang, Abschnitt A6.2) an den Transformatoren in Ebene $\pm 0,00$ m von $v_{95\%} = 0,04$ mm/s wird durch die Einwirkungen beim Baustellenverkehr leicht überschritten. In allen anderen Bereichen wird das vorliegende Erschütterungsniveau von den prognostizierten Baustellenerschütterungen nicht überschritten.

4.4.2 Düker

Der Abstand der Erschütterungsquelle zum GTHKW beträgt $r = 150$ m.

Im Rahmen des Bohrvortriebes ist erfahrungsgemäß mit mäßigen bis geringen Erschütterungseinwirkungen zu rechnen. Diese Bauverfahren werden im Allgemeinen als erschütterungsarm bzw. erschütterungsfrei bezeichnet. Bei dem Bauverfahren kann meist von gerade spürbaren Erschütterungsemissionen ausgegangen werden.

Für das hier vorgesehene Bauverfahren liegen keine Prognosedaten bzw. Messdaten aus einer Vergleichsmessung vor. Einem konservativen Ansatz folgend, werden zur Abschätzung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen die Prognosewerte aus Abschnitt 4.2.5 (Tabelle 4) für einen Meißelbagger verwendet. Anregungsfrequenzen: breitbandig mit $f_{UB} = 16$ bis 25 Hz.

- GTHKW – Fundamentbereich, Gasturbinen: $v_F \leq 0,016$ mm/s
- GTHKW – Obergeschosse/Decken: $v_{OG,D} \leq 0,032$ mm/s

Die auftretenden Erschütterungen liegen im Frequenzbereich $f_{UB} = 16$ Hz bis 25 Hz. Für die Anlagentechnik des GTHKW können entsprechend Abschnitt 3.1.1 (Abbildung 1 und Abbildung 2) folgende Schwingungsgrenzwerte angegeben werden:

- GTHKW – Fundamentbereich, maßgebend Booster: $v_{16\text{Hz}} = 1,7$ mm/s
- GTHKW – Obergeschosse: Schaltanlagen/Server $v_{25\text{Hz}} = 6,4$ mm/s

Die von den Bauerschütterungen hervorgerufenen Erschütterungsimmissionen im GTHKW können sämtliche Grenzwerte mit deutlichem Abstand einhalten.

Zudem werden die Anhaltswerte der DIN 4150-3 [10] für Einwirkungen auf bauliche Anlagen (siehe Abschnitt 3.1.2) vollumfänglich eingehalten.

In allen untersuchten Bereichen (siehe Anhang, Abschnitt A6.2) wird das vorliegende Erschütterungsniveau von den prognostizierten Erschütterungen im Rahmen des Rohrvortriebes nicht überschritten.

4.4.3 Startschacht mit Fernwärmebauwerk – West

Der Abstand der Erschütterungsquelle zum GTHKW beträgt $r = 150 \text{ m}$.
Erschütterungsanregung durch:

- Herstellung von Bohrpfählen (Bohrpfahldurchmesser = 1,2 m, Länge ca. 25 m)
Anregungsfrequenzen: breitbandig mit $f_{\text{ÜB}} = 16 \text{ bis } 25 \text{ Hz}$

Bei der Herstellung von Bohrpfählen ist erfahrungsgemäß mit mäßigen bis geringen Erschütterungseinwirkungen zu rechnen. Dieses Bauverfahren wird im Allgemeinen als erschütterungsarm bzw. erschütterungsfrei bezeichnet. Bei dem Bauverfahren kann meist von nicht spürbaren Erschütterungsemissionen ausgegangen werden.

Für das hier vorgesehene Bauverfahren liegen keine Prognosedaten bzw. Messdaten aus einer Vergleichsmessung vor. Einem konservativen Ansatz folgend, werden zur Abschätzung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen die Prognosewerte aus Abschnitt 4.3.3 (Tabelle 6) für das Rüttelstopfverfahren (mit Vorbohren) verwendet.

- GTHKW – Fundamentbereich, Gasturbinen: $v_F \leq 0,22 \text{ mm/s}$
- GTHKW – Obergeschosse/Decken $v_{\text{OG,D}} \leq 0,33 \text{ mm/s}$
- Verfahren des Bohrgerätes
Anregungsfrequenzen: breitbandig mit $f_{\text{ÜB}} = 16 \text{ Hz bis } 25 \text{ Hz}$
 - GTHKW – Fundamentbereich, Gasturbinen: $v_F \leq 0,053 \text{ mm/s}$
 - GTHKW – Obergeschosse/Decken $v_{\text{OG,D}} \leq 0,107 \text{ mm/s}$
- Baustellenverkehr
Anregungsfrequenzen: breitbandig mit $f_{\text{ÜB}} = 16 \text{ bis } 25 \text{ Hz}$
 - GTHKW – Fundamentbereich, Gasturbinen:
 $v_F \leq 0,016 - 0,053 \text{ mm/s}$
 - GTHKW – Obergeschosse/Decken $v_{\text{OG,D}} \leq 0,031 - 0,107 \text{ mm/s}$

Die auftretenden Erschütterungen liegen im Frequenzbereich $f_{\text{ÜB}} = 16 \text{ Hz bis } 25 \text{ Hz}$.
Für die Anlagentechnik des GTHKW können entsprechend Abschnitt 3.1.1 (Abbildung 1 und Abbildung 2) folgende Schwingungsgrenzwerte angegeben werden:

- GTHKW – Fundamentbereich, maßgebend Booster: $v_{16\text{Hz}} = 1,7 \text{ mm/s}$
- GTHKW – Obergeschosse: Schaltanlagen/Server $v_{25\text{Hz}} = 6,4 \text{ mm/s}$

Die von den Bauerschütterungen hervorgerufenen Erschütterungsimmissionen im GTHKW können sämtliche Grenzwerte (Abschnitt 3.1) mit deutlichem Abstand einhalten.

Zudem werden die Anhaltswerte der DIN 4150-3 [10] für Einwirkungen auf bauliche Anlagen (siehe Abschnitt 3.1.2) vollumfänglich eingehalten.

Das derzeitige Erschütterungsniveau (siehe Anhang, Abschnitt A6.2) an den Transformatoren in Ebene $\pm 0,00 \text{ m}$ ($v_{95\%} \leq 0,04 \text{ mm/s}$) wird durch die Einwirkungen beim Verfahren des Bohrgerätes und beim Baustellenverkehr leicht überschritten. Beim

Herstellen der Bohrpfähle wird das derzeitige Erschütterungsniveau mäßig stark überschritten.

In Ebene +15.50 m wird beim Herstellen der Bohrpfähle das derzeitige Erschütterungsniveau an den Schaltanlagen ($v_{95\%} \leq 0,13 \text{ mm/s}$) und an den Servern ($v_{95\%} \leq 0,27 \text{ mm/s}$) leicht überschritten.

In allen anderen Bereichen wird das vorliegende Erschütterungsniveau von den prognostizierten Baustellenerschütterungen nicht überschritten.

4.4.4 Absperrbauwerk

Der Abstand der Erschütterungsquelle zum GTHKW beträgt $r = 100 \text{ m}$.
Erschütterungsanregung durch:

- Einbringen von Spundwänden
(Vibrationsrammen mit Vorbohren;
Profil: Larssen 604 Länge = 13 m) in Mittel- bis Grobkies.
Anregungsfrequenzen: harmonisch mit $f_R = 40 \text{ Hz}$ bis 50 Hz
 - GTHKW – Fundamentbereich, Gasturbinen: $v_F \leq 0,409 \text{ mm/s}$
 - GTHKW – Obergeschosse/Decken $v_{OG,D} \leq 0,614 \text{ mm/s}$
- Verfahren des Spundwandrüttlers
Anregungsfrequenzen: breitbandig mit $f_{UB} = 16$ bis 25 Hz
 - GTHKW – Fundamentbereich, Gasturbinen: $v_F \leq 0,066 \text{ mm/s}$
 - GTHKW – Obergeschosse/Decken $v_{OG,D} \leq 0,132 \text{ mm/s}$
- Baustellenverkehr
Anregungsfrequenzen: breitbandig mit $f_{UB} = 16 \text{ Hz}$ bis 25 Hz
 - GTHKW – Fundamentbereich, Gasturbinen:
 $v_F \leq 0,019 - 0,066 \text{ mm/s}$
 - GTHKW – Obergeschosse/Decken $v_{OG,D} \leq 0,039 - 0,132 \text{ mm/s}$

Die Erschütterungsanregung beim Einbringen der Spundwände findet im Frequenzbereich von $f_R = 40 \text{ Hz}$ bis 50 Hz statt. Für die Anlagentechnik des GTHKW können entsprechend Abschnitt 3.1.1 (Abbildung 1 und Abbildung 2) folgende Schwingungsgrenzwerte angegeben werden:

- GTHKW – Fundamentbereich, maßgebend Booster: $v_{40\text{Hz}} = 4,5 \text{ mm/s}$
- GTHKW – Obergeschosse: Schaltanlagen/Server $v_{25\text{Hz}} = 2,7 \text{ mm/s}$

Die auftretenden Erschütterungen für das Verfahren des Spundwandrüttlers sowie den Baustellenverkehr liegen im Frequenzbereich $f_{UB} = 16 \text{ Hz}$ bis 25 Hz . Für die Anlagentechnik des GTHKW können entsprechend Abschnitt 3.1.1 (Abbildung 1 und Abbildung 2) folgende Schwingungsgrenzwerte angegeben werden:

- GTHKW – Fundamentbereich, maßgebend Booster: $v_{16\text{Hz}} = 1,7 \text{ mm/s}$
- GTHKW – Obergeschosse: Schaltanlagen/Server $v_{25\text{Hz}} = 6,4 \text{ mm/s}$

Die von den Bauerschütterungen hervorgerufenen Erschütterungsimmissionen im GTHKW können sämtliche Grenzwerte mit deutlichem Abstand einhalten.

Die Anhaltswerte der DIN 4150-3 [10] für Einwirkungen auf bauliche Anlagen (siehe Abschnitt 3.1.2) werden zudem vollumfänglich eingehalten.

Das derzeitige Erschütterungsniveau (siehe Anhang, Abschnitt A6.2) an den Transformatoren in Ebene $\pm 0,00$ m ($v_{95\%} \leq 0,04$ mm/s) sowie an den Schaltanlagen ($v_{95\%} \leq 0,13$ mm/s) in Ebene +15.50 m wird durch die Baustellenerschütterungen z. T. sehr deutlich überschritten.

In Ebene +15.50 m wird das derzeitige Erschütterungsniveau an den Servern ($v_{95\%} \leq 0,27$ mm/s) nur durch das Einrütteln der Spundwände überschritten.

In allen anderen Bereichen überschreiten die prognostizierten Baustellenerschütterungen nicht das vorliegende Erschütterungsniveau.

4.4.5 Leitungsgaben zwischen Absperrbauwerk und Fernwärmebauwerk – West

Der Abstand der Erschütterungsquelle zum GTHKW beträgt $r = 100$ m bis 150 m. Erschütterungsanregung durch:

- Verdichten mit der Rüttelplatte ($m = 0,5$ t)
Anregungsfrequenzen: harmonisch mit $f_R = 50$ Hz bis 80 Hz
 - GTHKW – Fundamentbereich, Gasturbinen: $v_F \leq 0,051 - 0,077$ mm/s
 - GTHKW – Obergeschosse/Decken $v_{OG,D} \leq 0,077 - 0,155$ mm/s
- Verdichten mit der Walze ($m = 11$ t)
Anregungsfrequenzen: harmonisch mit $f_R = 25$ bis 40 Hz
 - GTHKW – Fundamentbereich, Gasturbinen: $v_F \leq 0,240 - 0,361$ mm/s
 - GTHKW – Obergeschosse/Decken $v_{OG,D} \leq 0,360 - 0,541$ mm/s

Die Erschütterungsanregung beim Verdichten findet im Frequenzbereich von $f_R = 25$ Hz bis 80 Hz statt. Für die Anlagentechnik des GTHKW können entsprechend Abschnitt 3.1.1 (Abbildung 1 und Abbildung 2) folgende Schwingungsgrenzwerte angegeben werden:

- GTHKW – Fundamentbereich, maßgebend Booster: $v_{25\text{Hz}} = 2,8$ mm/s
- GTHKW – Obergeschosse: Schaltanlagen/Server $v_{80\text{Hz}} = 2,0$ mm/s

Die von den Bauerschütterungen hervorgerufenen Erschütterungsimmissionen im GTHKW können sämtliche Grenzwerte mit deutlichem Abstand einhalten.

Die Anhaltswerte der DIN 4150-3 [10] für Einwirkungen auf bauliche Anlagen (siehe Abschnitt 3.1.2) werden zudem vollumfänglich eingehalten.

Durch die Verdichtungsarbeiten wird das derzeitige Erschütterungsniveau (siehe Anhang, Abschnitt A6.2) an den Transformatoren in Ebene $\pm 0,00$ m ($v_{95\%} \leq 0,04$ mm/s) an den Schaltanlagen ($v_{95\%} \leq 0,13$ mm/s) sowie an den Servern ($v_{95\%} \leq 0,27$ mm/s) in Ebene +15.50 m z. T. sehr deutlich überschritten.

In allen anderen Bereichen überschreiten die prognostizierten Baustellenerschütterungen nicht das vorliegende Erschütterungsniveau.

4.4.6 Baustellenverkehr

Der Abstand der Erschütterungsquelle zum GTHKW beträgt $r = 20 \text{ m}$ (Fabrikstraße):

Erschütterungsanregung durch Anlieferverkehr (Lkw), Lkw für Erdtransport, keine Kettenfahrzeuge. Anregungsfrequenzen: breitbandig mit $f_{\text{ÜB}} = 16 \text{ Hz}$ bis 25 Hz

- GTHKW – Fundamentbereich, Gasturbinen: $v_F \leq 0,007 - 0,045 \text{ mm/s}$
- GTHKW – Obergeschosse/Decken $v_{\text{OG,D}} \leq 0,014 - 0,090 \text{ mm/s}$

Für die Anlagentechnik des GTHKW können entsprechend Abschnitt 3.1.1 (Abbildung 1 und Abbildung 2) folgende Schwingungsgrenzwerte angegeben werden:

- GTHKW – Fundamentbereich, maßgebend Booster: $v_{16\text{Hz}} = 1,7 \text{ mm/s}$
- GTHKW – Obergeschosse: Schaltanlagen/Server $v_{25\text{Hz}} = 6,4 \text{ mm/s}$

Die von den Bauerschütterungen hervorgerufenen Erschütterungsimmissionen im GTHKW können sämtliche Grenzwerte mit deutlichem Abstand einhalten.

Die Anhaltswerte der DIN 4150-3 [10] für Einwirkungen auf bauliche Anlagen (siehe Abschnitt 3.1.2) werden zudem vollumfänglich eingehalten.

Das derzeitige Erschütterungsniveau (siehe Anhang, Abschnitt A6.2) an den Transformatoren in Ebene $\pm 0,00 \text{ m}$ ($v_{95\%} = 0,04 \text{ mm/s}$) wird durch die Einwirkungen beim Baustellenverkehr leicht überschritten. In allen anderen Bereichen wird das vorliegende Erschütterungsniveau von den prognostizierten Baustellenerschütterungen nicht überschritten.

Anhang

Messtechnische Untersuchung/Diagramme

S:\MI\Proj\167\MI167306\MI167306_01_Ber_2D.DOCX:06.07.2022

A1 Art der Messungen

- Schwingungsmessungen im Freifeld
(Zentraler Betriebshof – Stadtwerke Dresden DREWAG) zur Erfassung der Erschütterungseinwirkung infolge Zugverkehrs
- Messung der Schwingungsübertragung im Freifeld über den anstehenden Baugrund mittels Impulsanregung
- Schwingungsmessung im GTHKW Nossener Brücke der DREWAG zur Erfassung der derzeit vorliegenden Betriebsschwingungen an einer Gasturbine (GT11), einem Transformator, zwei Schaltanlagen (GT11, 110 kV) sowie an einer Serveranlage im Leitstand des GTHKW
- Messung der Schwingungsübertragung vom Freifeld in das Gebäude des GTHKW (Gasturbine, Transformator, Schaltanlage, Server) über den anstehenden Baugrund mittels Impulsanregung

Die Messungen wurden nach den Vorgaben der DIN 45669-1 [6] und -2 [7] durchgeführt.

A2 Ort, Datum, Messpersonal

- Ortsbesichtigung: GTHKW und Freifeld (Zentraler Betriebshof)
 - Ort: Zentraler Betriebshof und
GTHKW Nossener Brücke DREWAG
Fabrikstraße 3 und Oederaner Straße 21
01159 Dresden
 - Datum: Freitag, 09.03.2022
 - Uhrzeit: 08:00 Uhr bis 14:00 Uhr
 - Teilnehmer: Dr.-Ing Klaus Hartmann (Fa. Müller-BBM)
Dipl.-Ing Felix Harzbecker (DREWAG)
Herr Stephan Jeglinsky, zeitweise (DREWAG)
Herr Martin Lange; zeitweise (DREWAG)
- Schwingungs- und Übertragungsmessung im Freifeld
 - Ort: Zentraler Betriebshof
Stadtwerke Dresden DREWAG,
Fabrikstraße 3,
01159 Dresden
 - Datum: Freitag, 16.03.2022
 - Uhrzeit: 08:00 Uhr bis 15:00 Uhr
 - Messdurchführung: Dr.-Ing Klaus Hartmann
- Schwingungs- und Übertragungsmessung im Gebäude des GTHKW
 - Ort: GTHKW Nossener Brücke DREWAG
Oederaner Straße 21
01159 Dresden
 - Datum: Samstag d. 17.03.2022
 - Uhrzeit: 8:00 Uhr bis 17:00 Uhr
 - Messdurchführung: Dr.- Ing Klaus Hartmann

A3 Lage der Messpunkte

Tabelle A 1. Schwingungs- und Übertragungsmessung im Freifeld (Zentraler Betriebshof).

Mp.	Lage der Messpunkte		Richtung*	Messgröße	Befestigung
	Abstand zur Bahn [m]	Abstand zum Impulspunkt [m]			
Mp1	40	30	z	a [m/s ²]	Geklebt auf Randstein Messplattform auf Randstein
Mp2	70	10	z	a [m/s ²]	
Mp3	70	30	z	a [m/s ²]	
Mp4	75	50	z	a [m/s ²]	
Mp5	75	70	z	a [m/s ²]	
Mp6	75	80	z	a [m/s ²]	
Mp7	95	75	z	a [m/s ²]	
Mp8	115	80	z	a [m/s ²]	
I1		Impulspunkt			Stahlplatte mit elastischer Auflage

* Messrichtung: z – vertikal

Tabelle A 2. Schwingungs- und Übertragungsmessung im Gebäude des GTHKW.

Mp.	Beschreibung	Richtung*	Messgröße	Befestigung
Mp1	Außenbereich – Nordost; 6 m östlich der Gebäudefassade	z	a [m/s ²]	Messplattform auf Randstein
Mp2	Außenbereich - Südost; 6 m östlich der Gebäudefassade	z	a [m/s ²]	
Mp3	Innenbereich/Hallenstütz	x, y, z	a [m/s ²]	Messplattform auf Plättchen, geklebt
Mp4	Gasturbinenfundament G11 nahe Generator	z	a [m/s ²]	
Mp5	Gasturbine G11, östliches Generatorlager	x, y, z	a [m/s ²]	
Mp6	Betonfundament Booster	x, y, z	a [m/s ²]	
Mp7	Transformator in Ebene ± 0,00 m	x, y, z	a [m/s ²]	
Mp8	Serveranlage in Ebene +15.50 m	x, y, z	a [m/s ²]	Messplattform auf Plättchen, geklebt
Mp9	Schaltanlage G11 in Ebene +15.50 m	x, y, z	a [m/s ²]	
Mp10	Schaltanlage 110 kV in Ebene +15.50 m	x, y, z	a [m/s ²]	Stahlplatte mit elastischer Auflage
I1	Impulspunkt 12 m östlich von Mp1 bzw. Mp2			

* Messrichtung: x, y – horizontal rechtwinklig zueinander. x – senkrecht und y längs zur Fabrikstraße, z – vertikal

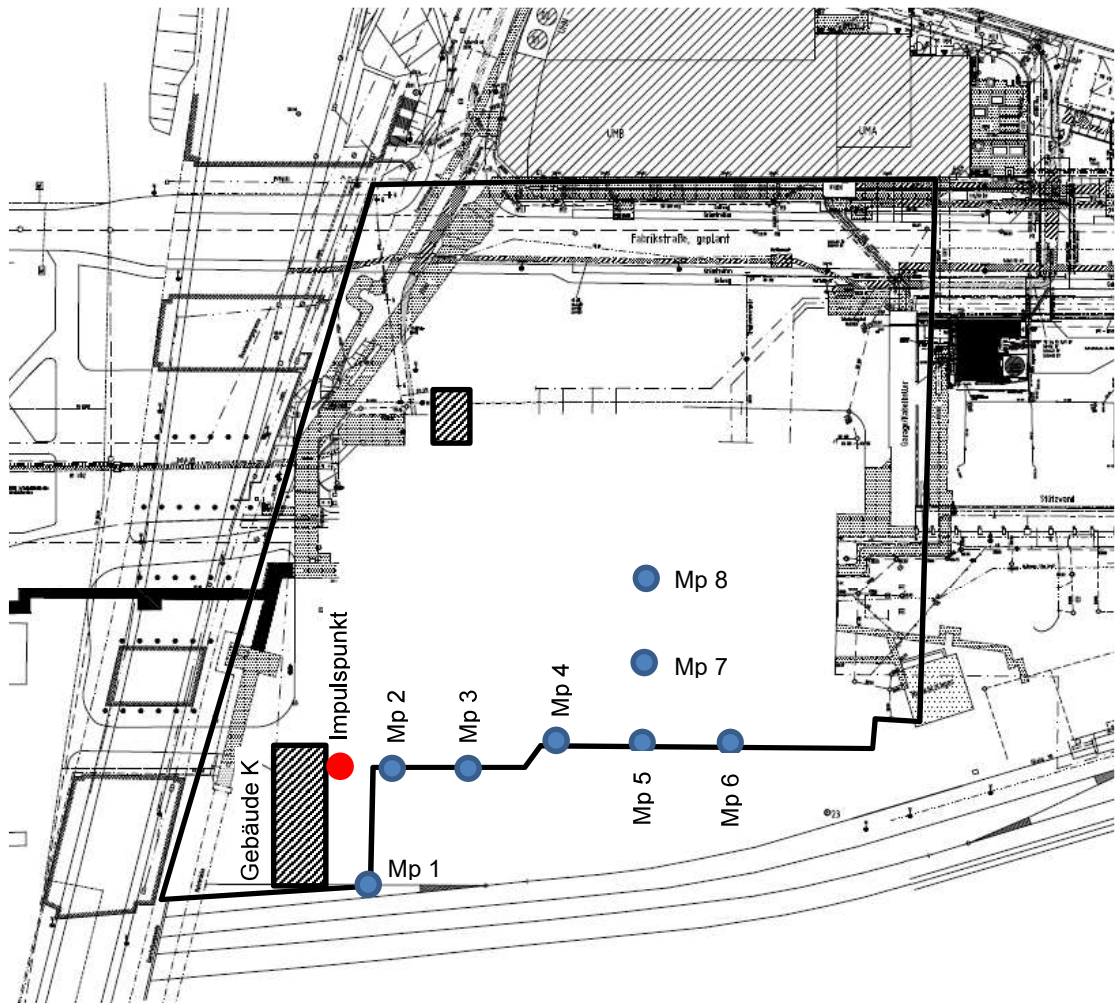


Abbildung A 1. Lageplan der Messpunkte im Freifeld: Zentraler Betriebshof.



Abbildung A 2. Fotodokumentation der Messpunkte im Freifeld: Zentraler Betriebshof.



Abbildung A 3. Fotodokumentation der Messpunkte im Freifeld: Zentraler Betriebshof.



Abbildung A 4. Fotodokumentation der Messpunkte im Freifeld: Zentraler Betriebshof.

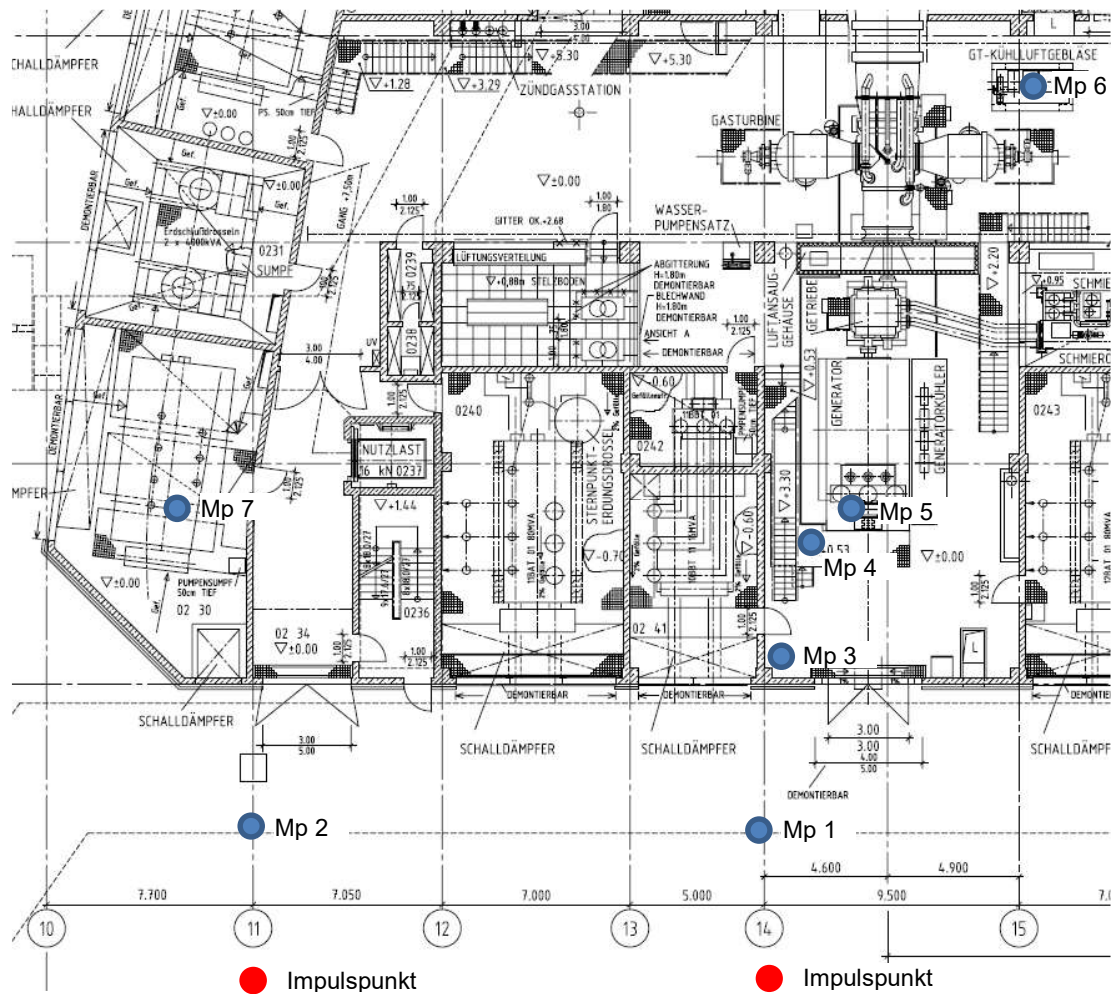


Abbildung A 5. Lageplan der Messpunkte im GTHKW in Ebene $\pm 0,00$ m.

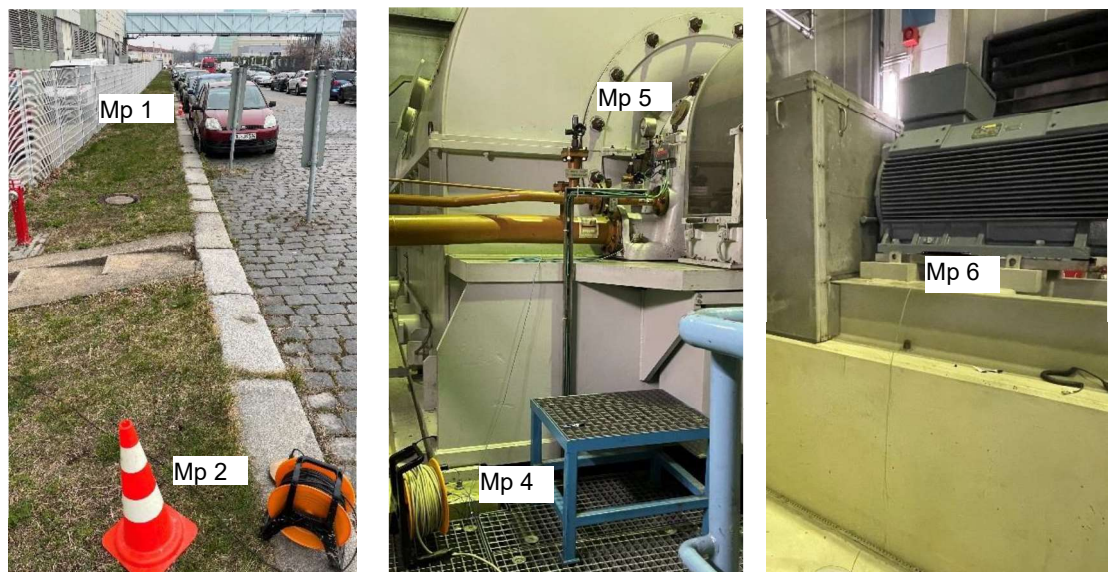


Abbildung A 6. Fotodokumentation GTHKW in Ebene $\pm 0,00$ m.

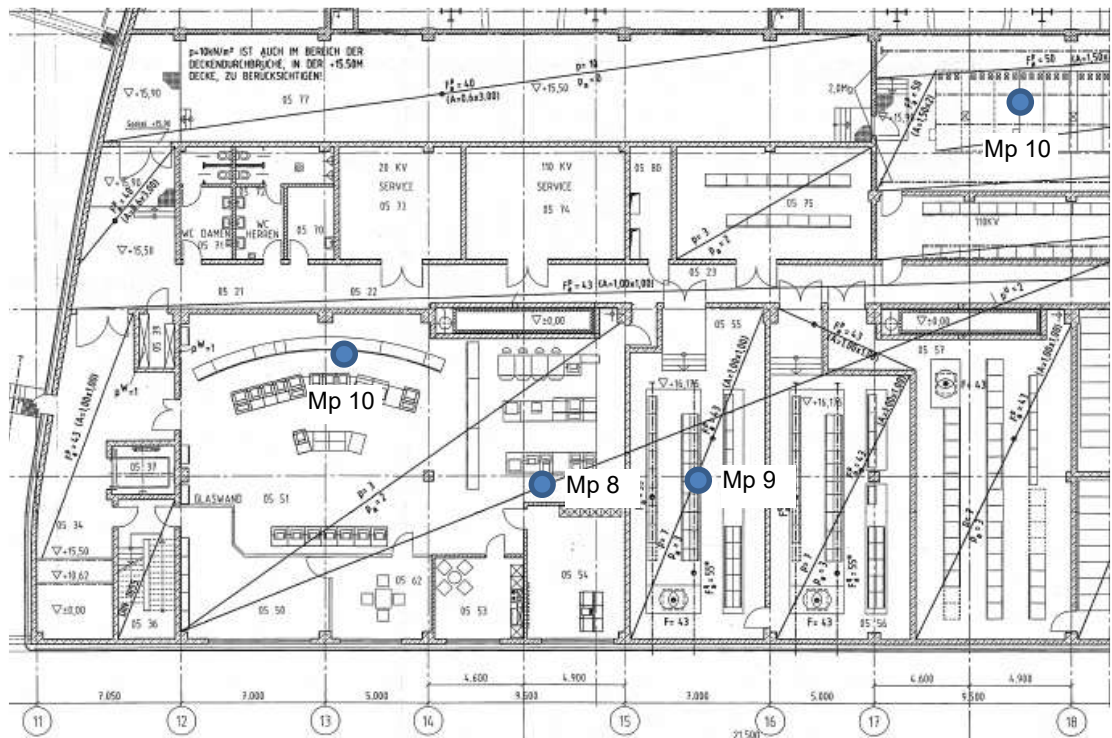


Abbildung A 7. Lageplan der Messpunkte im GTHKW in Ebene + 15,50 m.



Abbildung A 8. Fotodokumentation GTHKW in Ebene + 15,50 m.

A4 Messgeräte und Messunsicherheit

Die zur Messung verwendeten Messgeräte sind in Tabelle A 3 aufgeführt. Diese wurden vor und nach der Messung auf ihre einwandfreie Funktion überprüft. Im Rahmen des hauseigenen Qualitätssicherungssystems werden die Geräte zusätzlich in regelmäßigen Abständen durch ein akkreditiertes Prüflaboratorium auf nationale Normale rückführbar kalibriert.

Tabelle A 3. Verwendete Messgeräte.

Gerät	Hersteller	Typ	Seriennummer
Schwingungs- und Übertragungsmessung im Freifeld (Zentraler Betriebshof)			
Piezoelektrischer Schwingbeschleunigungsaufnehmer (Empfindlichkeit 100 mV/ms ⁻²) „Monoaxial“	PCB	393A03	Mp 1: 2535 Mp 2: 40461 Mp 3: 6225 Mp 4: 6223 Mp 5: 6211 Mp 6: 10495 Mp 7: 10499
Piezoelektrischer Schwingbeschleunigungsaufnehmer (Empfindlichkeit 1 V/ms ⁻²) „Monoaxial“	PCB	393B05	Mp 8: 10013
Schwingungs- und Übertragungsmessung im Gebäude des GTHKW			
Piezoelektrischer Schwingbeschleunigungsaufnehmer (Empfindlichkeit 0,1 V/ms ⁻²) „Monoaxial“	PCB	393A03	Mp 1: 2535 Mp 2: 40461 Mp 3x: 10499 Mp 3y: 10495 Mp 7x: 6225 Mp 7y: 6223 Mp 7z: 6211
Piezoelektrischer Schwingbeschleunigungsaufnehmer (Empfindlichkeit 1 V/ms ⁻²) „Monoaxial“	PCB	393B05	Mp 3z: 10013 Mp 4: 0561
Piezoelektrischer Schwingbeschleunigungsaufnehmer (Empfindlichkeit 100 mV/ms ⁻²) „Triaxial“	PCB	356B18	Mp 5xyz: 70508 umgesetzt auf Mp 8 Mp 6xyz: 70509 umgesetzt auf Mp 9 Mp 10xyz: 73761
Allgemeine Messtechnik			
Körperschallkalibrator	Metra	VC12	000620
Messdatenerfassung	Mecal	MK II	-
- Controller		PQ12 G2	0615M8828
- Inputkarte	Mecal	SC42S7	0611M4238
- Inputmodul		ICP42S8	1008M5615 1008M5556 1008M5659 1008M5583
Messwerterfassungs- und Auswertesoftware	Müller-BBM Vibroakustik Systeme GmbH	PAK	Version 5.11 SR 6

Die für die Schwingungsmessungen eingesetzten Geräte entsprechen den Vorgaben für Schwingungsmesser nach DIN 45669-1 [6]. Durch die Erfüllung der in DIN 45669-1 [6] festgelegten Einzelanforderungen an Schwingungsmesser können gerätetechnisch bedingte Messabweichungen klein gehalten werden. Aufgrund der in DIN 45669-1 [6] erlaubten Einzelabweichungen ist zu erwarten, dass die Messabweichungen einer einzelnen Anzeigegröße unabhängig von der Signalart die Vertrauensgrenze von 15 % für effektivwertbasierte Messwerte und 20 % für Spitzenwerte mit hohem statistischem Vertrauensniveau einhalten.

A5 Durchführung der Messung

Die Messsignale von den Messsensoren wurden als Zeitrohdaten in Form von Schwingbeschleunigungen a [m/s^2] mit dem Messsystem PAK MKII (Verstärker, Filter, 24-Bit-AD-Wandler – Tabelle A 3 in Abschnitt A4) aufgezeichnet. Das Messsystem entspricht den Anforderungen der DIN 45669-1 [6].

Die Datenerfassung erfolgte von den angeschlossenen Messsensoren zeitgleich. Folgende Messeinstellungen lagen vor:

- Schwingungs- und Übertragungsmessung im Freifeld (Zentraler Betriebshof)
 - Abtastrate: $f_A = 1024 \text{ Hz}$;
maximale darstellbare Frequenz $f_{\text{max}} = 400 \text{ Hz}$
 - Analyse: Terzen
 - Startfrequenz: 1 Hz
 - Stoppfrequenz: 315 Hz
 - Mittelungsart: Exponentiell
 - Zeitkonstante: 0,125 s („Fast“)
 - Schrittweite: 0,125 s
- Schwingungs- und Übertragungsmessung im Gebäude des GTHKW
 - Abtastrate: $f_A = 4096 \text{ Hz}$;
maximale darstellbare Frequenz $f_{\text{max}} = 1600 \text{ Hz}$
 - Analyse: Terzen
 - Startfrequenz: 1 Hz
 - Stoppfrequenz: 315 Hz
 - Mittelungsart: Exponentiell
 - Zeitkonstante: 0,125 s („Fast“)
 - Schrittweite: 0,125 s
 - Analyse: APS – Schmalbandspektren
 - Startfrequenz: 1 Hz
 - Stoppfrequenz: 1600 Hz
 - Frequenzauflösung: 1 Hz
 - Schrittweite: 0,125 s

Die Aussteuerung der Sensoren wurde vor Ort den Messbedingungen angepasst und während der Messung überprüft.

A6 Messergebnisse

A6.1 Schwingungs- und Übertragungsmessung im Freifeld (Zentraler Betriebshof)

- Schwingungsmessung (Einwirkung des Bahnverkehrs)

Bei der Schwingungsmessung zur Erfassung der Erschütterungseinwirkungen infolge Bahnverkehr wurden die Zugfahrten ausgewertet, welche auf dem nächsten zum Messpunkt Mp1 befindlichen Gleis stattgefunden haben, welches regelmäßig befahren wurde. Das betreffende Gleis war in östlicher Richtung vom Messpunkt Mp1 40 m und vom BTHKW Gebäude 200 m entfernt



Abbildung A 9. Zugfahrt auf dem nächstgelegenen und regelmäßig befahrenen Gleis.

Die aufgezeichneten Beschleunigungszeitsignale $a(t)$ wurde bei 4 Hz hochpassgefiltert und anschließend im Zeitbereich zur Schwingschnelle v [mm/s] integriert. In folgender Abbildung A 10 sind beispielhaft von einem typischen Erschütterungsereignis einer Zugvorbeifahrt die an den Messpunkten Mp1, Mp2, Mp4 und Mp7 vorliegenden Schwingschnellezeitverläufe $v(t)$ dargestellt.

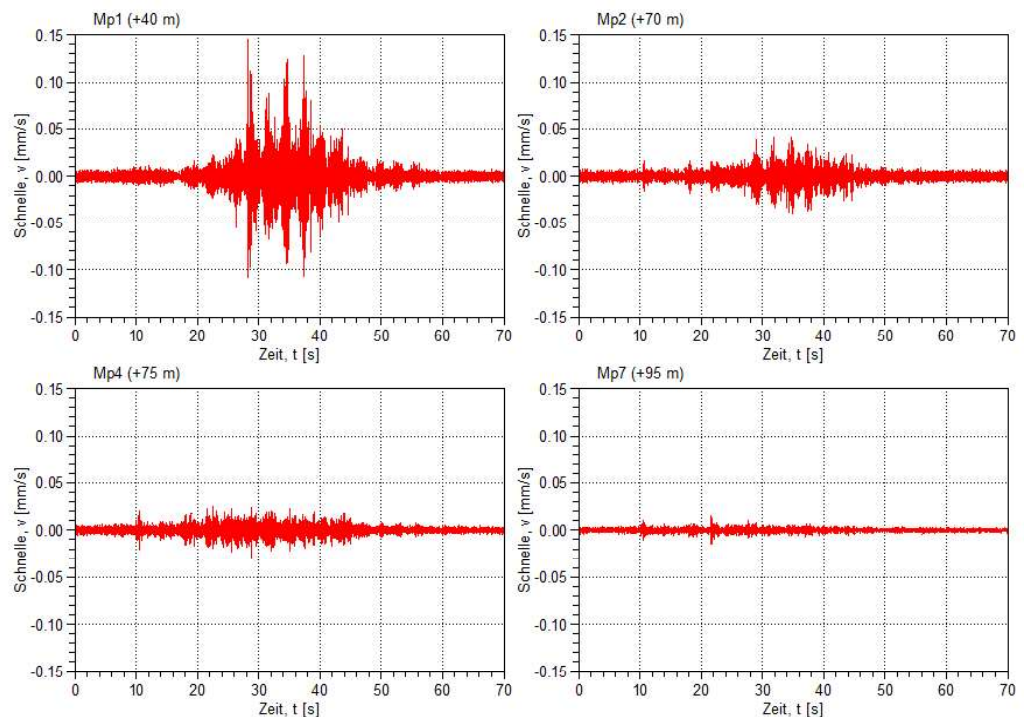


Abbildung A 10. Erschütterungen im Zeitbereich $v(t)$ bei Vorbeifahrt eines Zuges. Exemplarisch für die Messpunkte Mp1 (+40 m), Mp2 (+70 m), Mp4 (+75 m) und Mp7 (+95 m).

Bei der weiteren Auswertung wurden innerhalb des Zeitraumes der Zugvorbeifahrt zu den Erschütterungszeitsignalen die 95-%-($v_{95\%}$ [mm/s]) und 100-%-($v_{100\%}$ [mm/s]) Perzentilwerte ermittelt. Der Prozentwert gibt dabei an, welcher prozentuale Anteil der Messwerte innerhalb der entsprechenden Schwingschnellegrenzen liegt. Weiterhin wurden die Zeitsignale je Messpunkt quadratisch zu einem Mittelwert zusammengefasst. Die Mittelungszeit betrug jeweils 20 Sekunden.

In der nächsten Tabelle A 4 sind die Perzentilwerte und der Mittelwert bei einer Zugvorbeifahrt je Messpunkt aufgeführt. In Abbildung A 11 sind die Werte graphisch mit einer Trennfunktion dargestellt. Anhand der Trendfunktion wurden die Erschütterungseinwirkungen am GTHKW Gebäude in 200 m Entfernung vom betreffenden Gleis abgeschätzt (siehe hier Tabelle A 4).

Tabelle A 4. Schwingungsmessung im Freifeld (Zentraler Betriebshof) bei Zugvorbeifahrt mit Prognose für das GTHKW Gebäude

Messpunkt	Abstand zur Bahn [m]	$v_{100\%}$ [mm/s] „Maximum“	$v_{95\%}$ [mm/s]	$v_{\text{Mittel,Q}}$ [mm/s] „Mittelwert“
Mp1	40	$\pm 0,1454$	$\pm 0,0466$	0,0220
Mp2	70	$\pm 0,0411$	$\pm 0,0190$	0,0091
Mp3	70	$\pm 0,0530$	$\pm 0,0171$	0,0082
Mp4	75	$\pm 0,0296$	$\pm 0,0133$	0,0063
Mp5	75	$\pm 0,0353$	$\pm 0,0135$	0,0065
Mp6	75	$\pm 0,0307$	$\pm 0,0137$	0,0067
Mp7	95	$\pm 0,0144$	$\pm 0,0051$	0,0025
Mp8	115	$\pm 0,0104$	$\pm 0,0041$	0,0020
Prognose:	200	$\pm 0,0025$	$\pm 0,0011$	0,0006

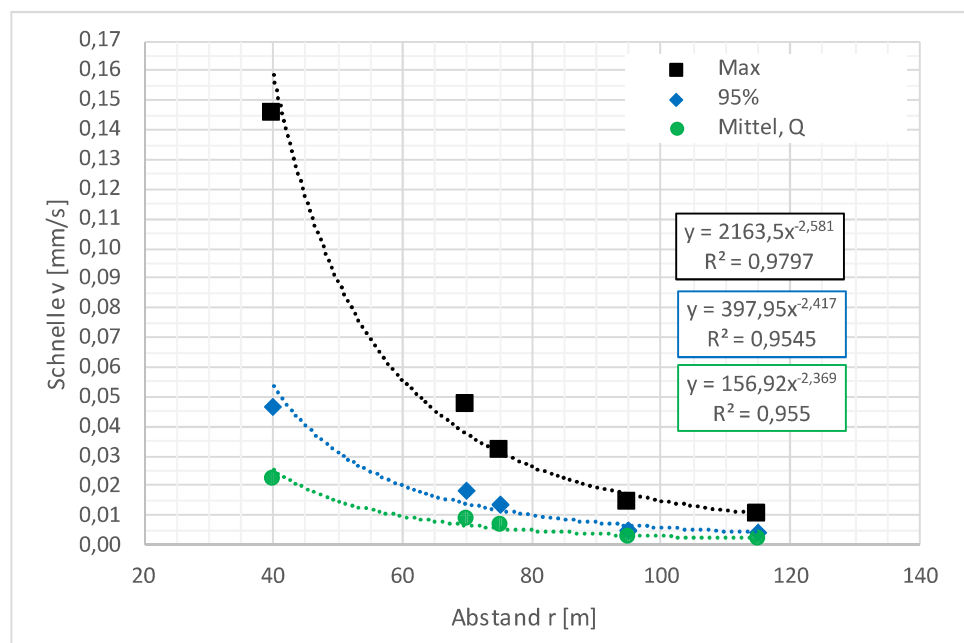


Abbildung A 11. Schwingungsmessung im Freifeld (Zentraler Betriebshof) bei Zugvorbeifahrt mit Prognose für das GTHKW-Gebäude. Die Ergebnisse der Messpunkte Mp2, Mp3 sowie Mp4, Mp5, Mp6 wurden zur Darstellung und zur Berechnung der Trendfunktionen vorab linear gemittelt.

- Übertragungsmessung

Bei der Übertragungsmessung wurde am „Impulspunkt“ (siehe Abbildung A 1; Anhang, Seite 5) mit einem Hammer auf eine Stahlplatte mit elastischer Auflage geschlagen. Die Schwingungsreaktion auf den eingetragenen Impuls wurde an den Messpositionen Mp2 bis Mp5 ausgewertet. An den Messpositionen Mp6 bis Mp8 wurde aufgrund der hohen Abstände kein auswertbares Messsignal detektiert. Die Signale am Messpunkt Mp1 waren aufgrund von Wellenreflexionen am Gebäude K nicht auswertbar.

Die Messsignale wurde hinsichtlich der Abnahme der Schwingungsamplitude v [mm/s] sowie hinsichtlich der Wellenlaufzeit v_s [m/s] ausgewertet. Die Schwingungsamplituden, welche infolge des Impulses aufgetreten sind, wurden energetisch aus den Amplituden der entsprechenden Schmalbandspektren ermittelt.

Für die Übertragungsmessung werden folgende Ergebnisse erhalten:

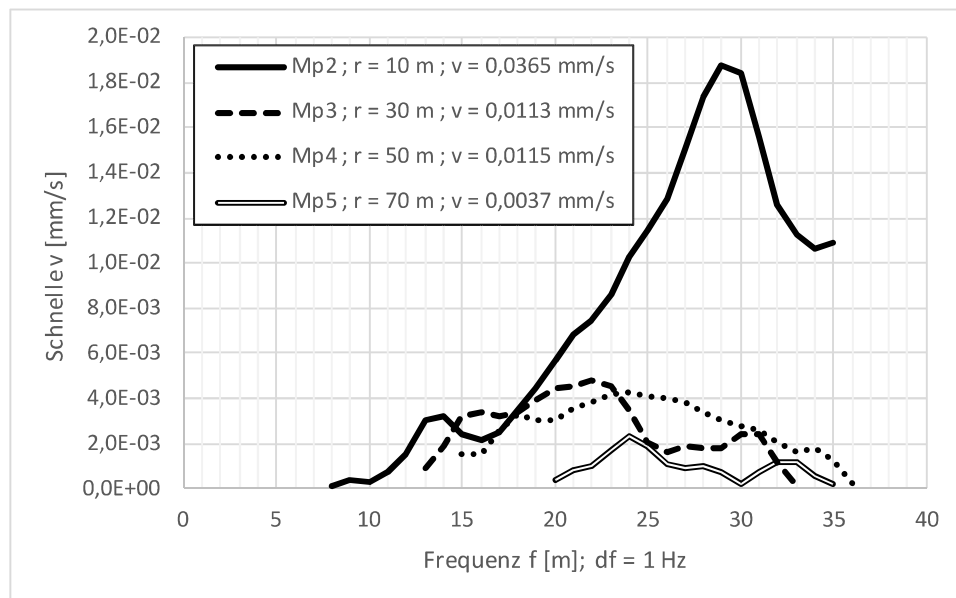


Abbildung A 12. Schwingungsreaktion infolge Impulsanregung an den Messpunkten Mp2 bis Mp5 als Schmalbandspektrum der Schwinggeschwindigkeit v in mm/s.

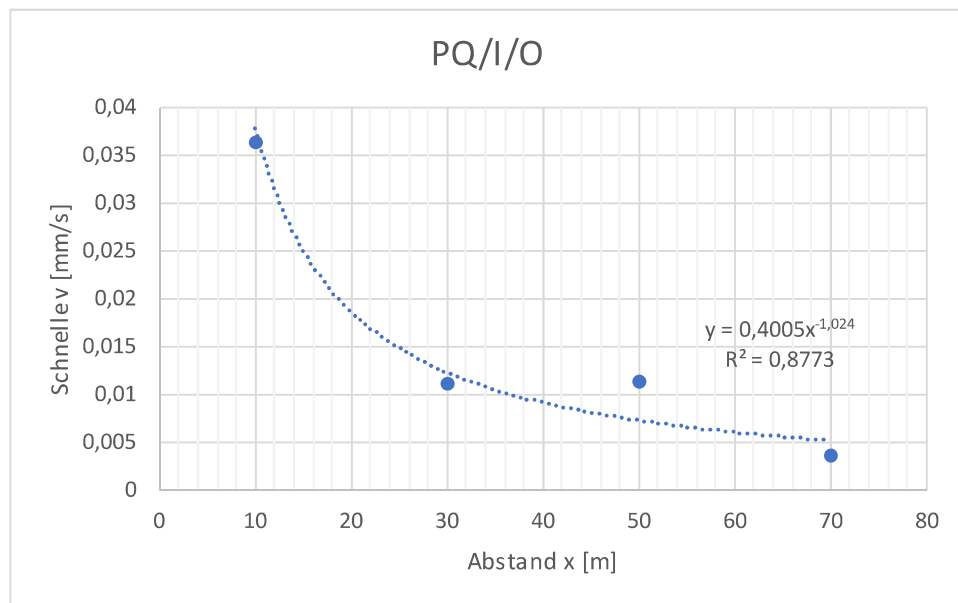


Abbildung A 13. Amplitudenabnahme an den Messpunkte Mp2 bis Mp5 infolge Impulseinwirkung.

Anhand der in Abbildung A 13 angegebenen Abstandsbeziehung zur Amplitude kann durch Normierung auf den Abstand (10 m) bei Messpunkt Mp2 folgende Abstandsbeziehung für die Amplitudenabnahme (Oberflächenwelle) für eine Punktquelle bei Impulsanregung (PQ/I/O) berechnet werden. Bezugnehmend auf Angaben in DIN 4150-1 [9] zur Amplitudenabnahme (Oberflächenwelle) für eine Punktquelle bei harmonischer Anregung (PQ/HS/O) lässt sich aus den Messdaten hier ebenso eine Abstandbeziehung berechnen. Diese (PQ/I/O und PQ/HS/O) sind in folgender Abbildung dargestellt:

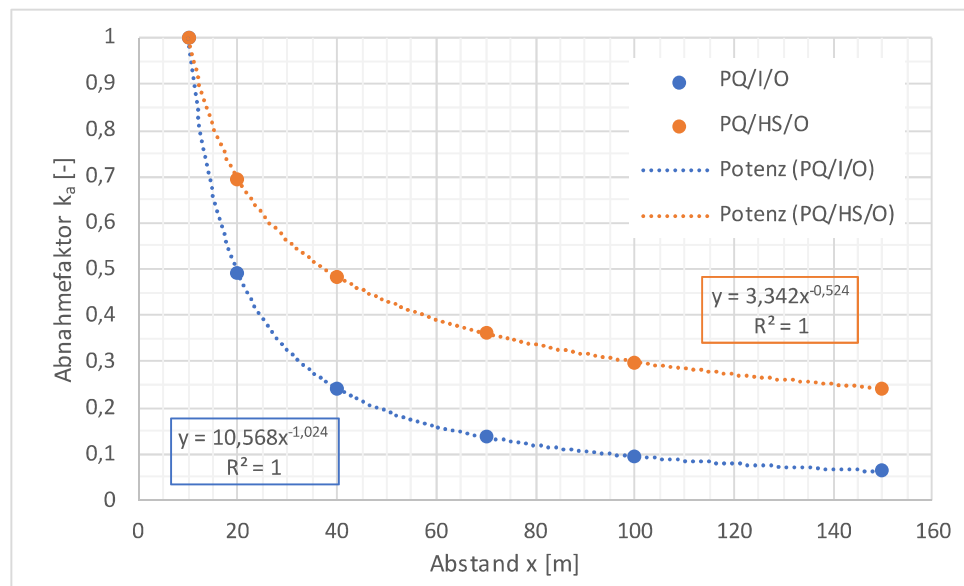


Abbildung A 14. Abstandbeziehung zur Amplitudenabnahme (Faktor k_a) bei impulsförmiger und harmonischer Anregung bei einer Punktquelle. Ausbreitung als Oberflächenwelle.

Bei den Wellenlaufzeiten v_s [m/s] wurden die Zeitpunkte betrachtet, bei denen die Scherwelle infolge des Impulses an den verschiedenen Messpunkten angekommen ist. Anhand der gemessenen Auftretens-Zeitpunkte kann eine Scherwellengeschwindigkeit von 290 m/s errechnet werden (siehe hierzu Abbildung A 15).

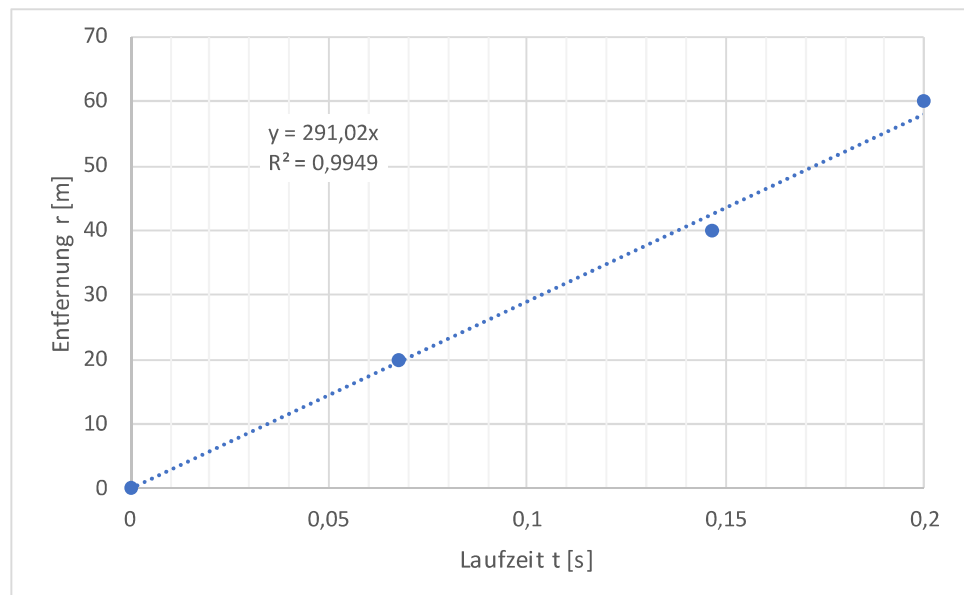


Abbildung A 15. Laufzeiten an den Messpunkten Mp2 (0,0s), Mp3 (0,0674s), Mp4 (0,1465s) und Mp5 (0,200).

A6.2 Schwingungs- und Übertragungsmessung im Gebäude des GTHKW

- Schwingungsmessung (Betriebsschwingungen)

Die aufgezeichneten Beschleunigungszeitsignale $a(t)$ wurden bei 6 Hz (Mp1, Mp2, Mp3, Mp4, Mp7), 28 Hz (Mp5) und 4 Hz (Mp6, Mp8, Mp9) hochpass-gefiltert und anschließend im Zeitbereich zur Schwingschnelle v [mm/s] integriert. In folgender Abbildung A 16 beispielhaft die an den Messpunkten Mp1, Mp2, Mp4 und Mp7 vorliegenden Schwingschnellezeitverläufe $v(t)$ dargestellt.

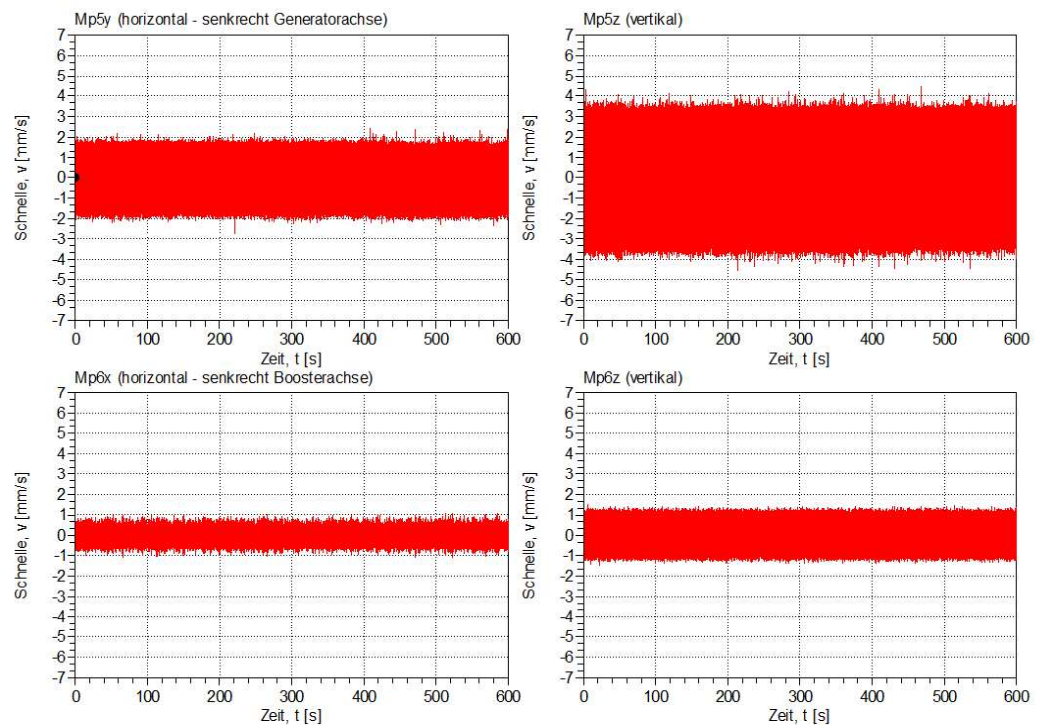


Abbildung A 16. Schwingungen im Zeitbereich $v(t)$. Exemplarisch für die Messpunkte Mp5 (Generator G11) und Mp6 (Booster) jeweils horizontal und vertikal senkrecht zur Drehachse.

Bei der weiteren Auswertung wurden innerhalb des Zeitraumes der Zugvorbeifahrt zu den Erschütterungszeitsignalen die 95-% ($v_{95\%}$ [mm/s]) und 100-%- ($v_{100\%}$ [mm/s]) Perzentilwerte ermittelt. Der Prozentwert gibt dabei an, welcher prozentuale Anteil der Messwerte innerhalb der entsprechenden Schwingschnellegrenzen liegt. Weiterhin wurden die Zeitsignale je Messpunkt quadratisch zu einem Mittelwert zusammengefasst. Die Mittelungszeit betrug jeweils 600 Sekunden.

In der nächsten Tabelle A 5 sind die Perzentilwerte und der Mittelwert je Messpunkt aufgeführt.

Tabelle A 5. Schwingungsmessung im Gebäude des GTHKW.

Messpunkt	Richtung*	$v_{100\%}$ [mm/s] „Maximum“	$v_{95\%}$ [mm/s]	$v_{\text{Mittel,Q}}$ [mm/s] „Mittelwert“
Mp1 (außen)	z	±0,0696	±0,5474	0,0404
Mp2 (außen)	z	±0,0901	±0,0256	0,1449
Mp3 (Hallenstütze)	x	±0,1491	±0,1173	0,0580
	y	±0,0895	±0,0673	0,0323
	z	±0,1038	±0,0625	0,0350
Mp4 (Fundament)	z	±1,0897	±0,7790	0,3928
Mp5 (Generator GT11)	x	±6,5375	±4,9528	2,8631
	y	±2,7024	±1,6345	0,9535
	z	±4,5380	±3,2474	2,1108
Mp6 (Booster)	x	±1,0893	±0,5038	0,2582
	y	±1,7076	±1,0579	0,2521
	z	±1,4908	±0,9460	0,5141
Mp7 (Transformator)	x	±0,1555	±0,0429	0,0196
	y	±0,1436	±0,0405	0,0207
	z	±0,0536	±0,0303	0,0158
Mp8 (Server)	x	±0,4220	±0,2048	0,0149
	y	±0,3462	±0,1517	0,0779
	z	±0,4289	±0,2657	0,1563
Mp9 (Schaltanlage G11)	x	±0,1835	±0,0832	0,0420
	y	±0,2635	±0,1154	0,0586
	z	±0,2914	±0,1286	0,0654
Mp10	x	±0,0186	±0,0099	0,0055
	y	n.a.**	n.a.**	n.a.**
	z			

* Messrichtung: x, y – horizontal rechtwinklig zueinander. x – senkrecht und y längs zur Fabrikstraße, z – vertikal

** n.a.: nicht auswertbar – Signal gestört

- Übertragungsmessung

Für die Übertragungsmessung wurde an den „Impulspunkten“ (siehe Abbildung A 5 Anhang, Seite 7) mit einem Hammer auf eine Stahlplatte mit elastischer Auflage geschlagen. Die Schwingungsreaktion auf den eingetragenen Impuls konnten, außer an den Messpunkten Mp1 und Mp2 (jeweils im Außenbereich), kein auswertbares Messsignal detektiert werden. Die entsprechenden Signale wurden von den Betriebsschwingungen der Gasturbinen verdeckt.

Bezüglich der Schwingungsübertragung wurden in Anlehnung an DIN 4150-1 [9] daher Annahmen getroffen. Diese sind in Abschnitt 4.3.1 dokumentiert.