

	<p align="center">SuedOstLink - BBPIG Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a –</p>	
	<p align="center">Abschnitt D2 Nittenau bis Pfatter</p> <p align="center">Unterlagen gemäß § 21 NABEG</p>	<p>Das Vorhaben Nr. 5 im SuedOstLink ist von der Europäischen Union gefördert; sie haftet nicht für die Inhalte.</p>  <p>Kofinanziert von der Fazilität „Connecting Europe“ der Europäischen Union</p>
<h1>Teil E3 Erschütterungsgutachten</h1>		

00	29.06.2023	Unterlage gemäß § 21 NABEG	ARGE T Lackner	ARGE T Jurek	TenneT M. Schafhirt
Rev.	Datum	Ausgabe	Erstellt	Geprüft	Freigegeben

Festgestellt nach §24 NABEG
Bonn, den

INHALTSVERZEICHNIS

TABELLENVERZEICHNIS	4	
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5	
ANLAGEN	6	
ZUSAMMENFASSUNG	7	
1	EINFÜHRENDER TEIL	9
1.1	Angaben zur Anlage, Antragsteller, Gutachter	9
1.2	Aufgabenstellung	9
2	AUSGANGSSITUATION	10
2.1	Übersicht	10
2.2	Trassenbeschreibung Abschnitt D2	10
2.3	Vorgehen	11
2.4	Bauverfahren	12
3	BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN	14
3.1	Erschütterungen	14
3.1.1	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	14
3.1.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen	17
3.1.3	Zusammenfassung Zielgrößen Erschütterung	19
3.2	Sekundärer Luftschall (Körperschall)	19
4	ABSCHÄTZUNG DER AUFTRETENDEN ERSCHÜTTERUNGEN	21
4.1	Rammarbeiten	21
4.1.1	Abschätzung der Erschütterungen auf dem Gebäudefundament	21
4.1.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen – Abschätzung der maximalen Schwingschnellen	22
4.1.3	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden – Abschätzung der maximalen Betriebsdauer der Rammarbeiten	23
4.1.4	Zusammenfassende Beurteilung der Rammarbeiten	24
4.2	Verdichtungsarbeiten	25
4.2.1	Abschätzung der Erschütterungen auf dem Gebäudefundament	25
4.2.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen – Abschätzung der maximalen Schwingschnellen	26
4.2.3	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden – Abschätzung der maximalen Betriebsdauer der Verdichtungsarbeiten	26
4.2.4	Zusammenfassende Beurteilung der Verdichtungsarbeiten	27
4.3	Arbeiten mit dem Brecher	28
4.3.1	Abschätzung der Erschütterungen im Freifeld	28
4.3.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen – Abschätzung der maximalen Schwingschnellen	29
4.3.3	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden – Abschätzung der maximalen Betriebsdauer der Brecherarbeiten	30

4.3.4	Zusammenfassende Beurteilung der Brecherarbeiten	30
4.4	Arbeiten mit dem Meißelbagger	31
4.4.1	Abschätzung der Erschütterungen auf dem Gebäudefundament	31
4.4.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen – Abschätzung der maximalen Schwingschnellen	32
4.4.3	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden – Abschätzung der maximalen Betriebsdauer der Meißelarbeiten	32
4.4.4	Zusammenfassende Beurteilung der Meißelarbeiten	33
4.5	Bohrvortrieb	34
4.6	Abschätzung der auftretenden Erschütterungen aufgrund Baustellenverkehr	34
5	FALLBEZOGENE BEURTEILUNG VON GEBÄUDEN INNERHALB DER EINWIRKUNGSBEREICHE NACH ABSCHNITT 4	35
5.1	Allgemeines – Baubedingte Erschütterungen	35
5.1.1	Sonderregelungen	35
5.2	Beurteilung	35
6	QUELLEN-/LITERATURVERZEICHNIS	39
7	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	40

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [6] (Tabelle 1) für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen.	15
Tabelle 2:	Anhaltswerte nach DIN 4150-2 Tabelle 2 [6] für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen.	16
Tabelle 3:	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke nach DIN 4150-3, Tabelle 1.	18
Tabelle 4:	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke nach DIN 4150-3, Tabelle 3 [7].	18
Tabelle 5:	Anhaltswerte für Innenschallpegel nach VDI-Richtlinie 2719 [10].	20
Tabelle 6:	Schwingschnelle (Beton/ Holz) in Abhängigkeit vom Abstand zur Beurteilung nach DIN 4150-3.	22
Tabelle 7:	Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke – Beton.	23
Tabelle 8:	Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke – Holz.	23
Tabelle 9:	Kritische Abstände zwischen Rammarbeiten und nächstgelegenen Immissionsort, Massivbau.	24
Tabelle 10:	Kritische Abstände zwischen Rammarbeiten und nächstgelegenen Immissionsort, Holzbau.	25
Tabelle 11:	Schwingschnelle (Beton / Holz) in Abhängigkeit vom Abstand zur Beurteilung nach DIN 4150-3.	26
Tabelle 12:	Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke – Beton.	26
Tabelle 13:	Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke – Holz.	27
Tabelle 14:	Kritische Abstände zwischen Verdichtungsarbeiten und nächstgelegenen Immissionsort, Massivbau.	28
Tabelle 15:	Kritische Abstände zwischen Verdichtungsarbeiten und nächstgelegenen Immissionsort, Holzbau.	28
Tabelle 16:	Schwingschnelle für Beton- und Holzdecken in Abhängigkeit vom Abstand zur Beurteilung nach DIN 4150-3.	29
Tabelle 17:	Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke.	30
Tabelle 18:	Kritische Abstände zwischen Brecherarbeiten und nächstgelegenen Immissionsort für Beton- und Holzdecken.	31
Tabelle 19:	Schwingschnelle für Beton- und Holzdecken in Abhängigkeit vom Abstand zur Beurteilung nach DIN 4150-3.	32
Tabelle 20:	Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke.	32
Tabelle 21:	Kritische Abstände zwischen Meißelarbeiten und nächstgelegenen Immissionsort für Beton- und Holzdecken.	33
Tabelle 22:	Gebäude im Einwirkungsbereich für potenzielle Gebäudeschäden.	37

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1. Abstands-Schwinggeschwindigkeitsbeziehung während Brecherarbeiten.

29

ANLAGEN

Anlage 1
Anlage 2

Fauna
Gebäudespezifische Maßnahmenbeurteilung

Zusammenfassung

Für die geplante Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung – SuedOstLink – soll ein erschütterungstechnisches Gutachten für die Bauphase erstellt werden, da dieses im laufenden Verfahren zu § 21 (NABEG) als Bestandteil der Verfahrensunterlagen einzubringen ist.

Für die Prognose der Erschütterungen wird ein „Musterabschnitt“ mit den entsprechenden Baumaschinen und Bauverfahren für den Abschnitt D2 betrachtet.

Folgende Ergebnisse gehen aus den Untersuchungen hervor:

Erschütterungen:

Folgende Bautätigkeiten waren als erschütterungstechnisch relevant zu betrachten

- Brecherarbeiten
- Rammen
- Verdichtungsarbeiten
- Meißelarbeiten
- Nachrangig Bohren und LKW-Verkehr

Für die entsprechenden erschütterungsintensiven Baumaßnahmen ist nicht mit Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150 -2,-3 zu rechnen, wenn die genannten Abstände in den Abschnitten 4.1 – 4.4 eingehalten werden können.

Vereinzelte Gebäude liegen innerhalb der unter Abschnitt 4 genannten Einwirkungsbereiche. Für diese Gebäude findet in Abschnitt 5 bzw. Anlage 2 eine fallbezogene Einzelbetrachtung statt.

Für 15 Gebäude können Gebäudeschäden nach DIN 4150-3 [7] (Einwirkungen auf bauliche Anlagen) nicht ausgeschlossen werden. Zur Vermeidung von Gebäudeschäden wird empfohlen, auf alternative Bauverfahren auszuweichen, die erschütterungsträchtigen Arbeiten im Rahmen eines Erschütterungsmonitorings zu überwachen.

Für 355 Gebäude kann eine Überschreitung nach DIN 4150-2 [6] (Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden), Tabelle 2, Stufe II nicht ausgeschlossen werden. Zur Vermeidung einer unzumutbaren erschütterungstechnischen Belastung der Anwohner wird empfohlen, die effektive Arbeitszeit der erschütterungsträchtigen Bauverfahren zu begrenzen oder auf alternative Bauverfahren auszuweichen. Alternativ sind die Arbeiten im Rahmen eines Erschütterungsmonitorings zu überwachen oder Sonderregelungen zur Kompensation einer unzumutbaren erschütterungstechnischen Belastung der Anwohner mit den Nutzern/Eigentümern des Gebäudes abzustimmen.

Bauverkehr:

Aufgrund von Schwerlastverkehr kann es zu spürbaren Erschütterungen in den an die Baustraßen angrenzenden Gebäuden kommen. Durch luftbereifte und gefederte Fahrzeuge sind jedoch in der Regel keine erheblichen Erschütterungsbelastungen bzw. Überschreitungen der Anhaltswerte zu erwarten. Um dies zu gewährleisten, sollten sich die Straßen während der kompletten Bauzeit in einem einwandfreien Zustand befinden.

Weitere Baumaßnahmen:

Es werden keine erschütterungstechnisch beurteilungsrelevanten Immissionen erwartet.

Für den technischen Inhalt verantwortlich:

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Lackner
Telefon +49 (89) 85602 – 3177
– Projektverantwortlicher –

Die Akkreditierung besteht für den messtechnischen Teil unter Abschnitt 3 und 4.



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-14119-01-00

Testing laboratory accredited by DAkkS according
to DIN EN ISO/IEC 17025:2018.
The accreditation is valid only for the scope
listed in the annex of the accreditation certificate.

(Akkreditierungslogo Prüflaboratorium für Schall, Schwingungen, elektromagnetische Felder und Licht, Immissionsschutz und Gefahrstoffe der Müller-BBM GmbH)

1 Einführender Teil

1.1 Angaben zur Anlage, Antragsteller, Gutachter

Bei dem Projekt handelt es sich um die Vorhaben Nr. 5 (Wolmirstedt – Isar) und Nr. 5a (Klein Rogahn/Stralendorf/Warsow/Holthusen/Schossin – Isar), Anlage zu § 1 Abs. 1 Satz 1 des Bundesbedarfsplangesetzes vom 23. Juli 2013 (BGBl. I S. 2543; 2014 I S. 148, 271), zuletzt geändert durch Art. 5 des Gesetzes zur Änderung des Energiesicherungsgesetzes und anderer energiewirtschaftlicher Vorschriften vom 8.10.2022 (BGBl. I S. 1726). Im Hinblick auf die Bautätigkeit besteht ein enger räumlicher und zeitlicher Zusammenhang, so werden z. B. Baustellenflächen und oberirdische Anlagen für beide Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a gemeinsam errichtet und genutzt. Die baubedingten Auswirkungen in Phase 1 können entsprechend real nicht den beiden Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a eindeutig zugeordnet und somit nicht getrennt ermittelt werden. Daher erfolgt eine Gesamtbetrachtung der beiden Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (Gesamtauswirkung), da für Phase 1 Emissionen durch den Baubetrieb für beide Vorhaben gleichermaßen ausgehen. Die Vorhaben sind Leitungen zur Höchstspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) und aufgrund ihrer Kennzeichnung mit „E“ im Bundesbedarfsplan gemäß § 3 Abs. 1 i. V. m. § 2 Abs. 5 BBPIG vorrangig als Erdkabel auszuführen.

Das vorliegende Gutachten bezieht sich auf den Abschnitt D2 (Nittenau bis Pfatter) und bewertet die zu erwartenden Immissionen durch Erschütterungen während der Bauarbeiten im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens. Es handelt sich im vorliegend untersuchten Abschnitt D2 (Nittenau bis Pfatter) um eine grundsätzlich erdverlegende Kabelstrecke. Im Folgenden sind Informationen über das Planfeststellungsverfahren, die Anlage und die beteiligten Institutionen aufgeführt.

Verfahren:	Planfeststellungsverfahren SuedOstLink, D2 (Nittenau bis Pfatter)
Verfahrensführende Behörde:	Bundesnetzagentur, Netzausbau Postfach 8001, 53105 Bonn
Antragsteller / Betreiber:	TenneT TSO GmbH Bernecker Str. 70, 95448 Bayreuth
Auftraggeber des Gutachtens:	ARGE SOL-iG Im Neyl 18 59823 Arnsberg
Auftragnehmer des Gutachtens:	Müller BBM Industry Solutions GmbH Helmut-A.-Müller-Straße 1 – 5 82152 Planegg
Verantwortlicher Gutachter:	Müller BBM GmbH Dipl.-Ing. (FH) Andreas Lackner Helmut-A.-Müller-Straße 1 – 5, 82152 Planegg

1.2 Aufgabenstellung

Ziel des vorliegenden Gutachtens ist es, darzulegen, ob alle maßgeblichen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben für den Erschütterungsschutz während der Bauarbeiten durch das Vorhaben HGÜ-SuedOstLink, südlicher Teil, eingehalten werden. Die Abschätzung der auftretenden Erschütterungen erfolgt hierbei im Rahmen eines „Worst-Case“-Ansatzes.

2 Ausgangssituation

2.1 Übersicht

Geplant ist ein 525-kV-Gleichstrom-Erdkabelsystem (vier Kabel, Polanordnung + - + -) zur Übertragung einer Leistung von 4 GW. Die geplanten Regelquerschnitte können dem Anhang C2.2.1 der Bauablaufbeschreibung [2] entnommen werden.

2.2 Trassenbeschreibung Abschnitt D2

Die Trasse des Abschnitts D2 beginnt südlich von Nittenau in der Gemeinde Bernhardswald in der Gemarkung Plitting an der Grenze des Landkreis Schwandorf zum Landkreis Regensburg und endet westlich von Pfatter in der Gemarkung Geisling mit Anschluss an den Abschnitt D3a (vgl. [3]).

Vom Übergang Abschnitt D1 zu Abschnitt D2 verläuft die Trasse Richtung Süden parallel zur Hochspannungs-Freileitung LH-08-B99 und führt an einem Waldstück sowie etwa 60 m östlich an der Ortschaft Plitting und den darüber liegenden Gehöften vorbei. Zwischen Plitting und Darmannsdorf quert die Trasse die Hochspannungs-Freileitung (TKM km 0,88) und eine Gemeindestraße und verläuft anschließend auf der westlichen Seite weiter parallel zu dieser Leitung in südliche Richtung. Auf Höhe TKM km 1,23 befindet sich die dauerhafte bauliche Anlage einer Lichtwellenleiter-Zwischenstation (LWL-ZS). Im weiteren Verlauf über Ackerflächen und Grünland passiert die Trasse zwei Waldflächen in jeweils einer HDD von über 250 m. Etwa 510 m nordwestlich der Ortschaft Hinterappendorf verlässt die Trasse die Bündelung mit der Hochspannungs-Freileitung, um das Waldgebiet „Ziegelholz“ in einem Bogen in westlicher Richtung zu umgehen. Anschließend quert die Trasse die Bundesstraße B16 (bei TKM km 3,64) etwa 360 m westlich von Züchmühl und kreuzt erneut die Hochspannungsfreileitung (TKM km 3,77). In einer längeren HDD unterquert die Trasse den Züchmühlbach (TKM km 3,99) und ein Waldgebiet, verläuft dann weiter nach Südosten, kreuzt hierbei erneut die Hochspannungsfreileitung (TKM km 5,0) und ändert auf Höhe der Ortschaft Samberg den Verlauf in Richtung Westen. Die Trasse verläuft weiter, vorwiegend über Ackerland, westlich der Ortschaft Grubberg, östlich der beiden Ortschaften Lohhof und Wolferszwing. Etwa 190 m östlich von Wolferszwing quert die Trasse die Staatsstraße St2650 (bei TKM km 6,45). Anschließend verläuft die Trasse auf einer Länge von etwa 400 m parallel zur Kreisstraße R25 bis auf Höhe der Ortschaft Refthal, um dort erneut die Bündelung mit der Hochspannungs-Freileitung LH-08-B99 aufzunehmen. Der Verlauf des SüdOstLinks führt nun weiter über Acker- und Grünland vorbei an Wiesing und Pfittershof. Nördlich der Ortschaft Landsgrub quert die Trasse die Kreisstraße R25 und den Sulzbach (TKM km 8,13) in östlicher Richtung. Die Trasse verläuft anschließend nördlich von Orhalm weiter in südöstlicher Richtung. Etwa 500 m südwestlich von Pfaffenfang quert die Trasse eine Gemeindestraße und mehrere unterirdisch verlegten Fremdleitungen. Danach setzt sich der Verlauf etwa 470 m in südlicher Richtung fort und biegt schließlich südwestlich der Ortschaft Pfannenstiel nach Osten hin ab. Im weiteren Verlauf quert die Trasse das Gottesberger Bächlein (bei TKM km 10,17), passiert Gottesberg vorwiegend auf Ackerflächen im südlichen Bereich und kreuzt das Stubenthaler Bächlein (bei TKM km 10,69). Von hier aus verläuft die Trasse weiter südlich um Schönfeld herum, kreuzt dabei die Hochspannungsfreileitung LH-08-B99 (TKM km 11,53) und unterquert mittels einer langen HDD eine Gemeindestraße, den Otterbach (TKM km 11,65) und die Staatsstraße St2145 (TKM km 11,76) in nordöstliche Richtung. Anschließend biegt der Verlauf scharf nach Südosten hin ab, wo mittels einer etwa 350 m langen geschlossenen Querung ein Waldgebiet unterquert wird. Direkt im Anschluss kommt ein weiteres HDD-Verfahren zum Einsatz, um ein Waldstück (TKM km 12,43) sowie mehrere Fremdleitungen zu unterqueren. Die Trasse läuft dann etwa 60 m weiter östlich an der Ortschaft Kirnberg, vorwiegend über Grünland- und Ackerflächen, vorbei in südliche Richtung. Nach der Querung der Staatsstraße St2153 (TKM km 13,51) verläuft die Trasse weiter über Ackerflächen zwischen den Gehöften Grabenhof 1 und Grabenhof 2. Kurz vor einem großen Waldgebiet biegt der Verlauf des SüdOstLinks nach Südosten ab und verläuft über eine Länge von etwa 1.200 m parallel zum nördlichen Rand dieses Waldes. Anschließend quert die Trasse die Kreisstraße R24 (TKM km 15,50) bei Himmelmühle mittels einer etwa 30 m langen Bohrpressung in östliche Richtung und umgeht die Ortschaft Himmelmühle in nördlicher Richtung. Bei Himmelmühle verläuft die Trasse auf einer Länge von etwa 100 m durch das geplante Wasserschutzgebiet Brennbach. Zwischen den Ortschaften Himmelthal und Hechthof wird die Kreisstraße R24 (bei TKM km 16,23) erneut mittels einer HDD in Richtung Süden unterquert. Die Trasse führt, zunächst in Richtung Südosten über Acker- und Grünlandflächen bei

Ochsenweide bis kurz vor Frauenzell, wo sie westlich parallel zur Kreisstraße R42 weiter Richtung Südwesten verläuft. Zwischen Fischbehälter und dem südlichen Ortsrand von Frauenzell schwenkt der Verlauf Richtung Südosten und quert die Kreisstraße R42 mittels HDD-Verfahren (TKM km 17,53). Anschließend folgt der SüdOstLink über eine Länge von etwa 430 m dem Verlauf der Kreisstraße Richtung Süden bis kurz vor die Ortschaft Zieglöde, wo die Kreisstraße R42 erneut unterquert wird (TKM km 18,11). Die Trasse verläuft nun weiter über Ackerland und Grünland westlich der R 42 und kreuzt den Pfätergraben (TKM km 18,43) in offener Bauweise. Im Folgenden passiert die Trasse das Waldgebiet des Forstmühler Forsts auf einer Länge von etwa 3.300 m und folgt dabei dem Verlauf der Kreisstraße R42 auf westlicher Seite. Im Forstbereich werden mehrere Wirtschaftswege in offener Bauweise gequert und der auf der östlichen Seite liegende Nepal-Himalaya-Pavillon in einer Entfernung von etwa 50 m passiert. Nordwestlich von Wiesent verlässt der Trassenverlauf den Forstmühler Forst und folgt der R42 weiter in südliche Richtung, vorwiegend über Ackerflächen, vorbei am westlichen Stadtrand von Wiesent. Die Trasse verläuft hier zudem parallel zur MERO-Rohölleitung (ab TKM km 22,20). Südwestlich von Wiesent wird die Staatsstraße St2125 in geschlossener Bauweise gequert (TKM km 22,93). Im weiteren Verlauf führt die Trasse über Grünlandflächen, auf denen der Moosgraben zweimalig sowie die MERO-Rohölleitung mittels HDD-Verfahren gequert wird (TKM km 23,12, TKM km 23,35 und TKM km 23,52). Im Anschluss an die Querung der MERO-Leitung verläuft die Trasse weiter Richtung Süden und biegt nach etwa 330 m nach Westen hin ab, um die Autobahnauffahrt zu umgehen. Die Trasse quert die Bundesautobahn A3 bei TKM km 24,24 mittels HDD-Verfahren. Im weiteren Verlauf führt der SüdOstLink über Ackerflächen, etwa 440 m östlich an der Ortschaft Kiefenholz und etwa 30 m westlich des Wasserschutzgebietes Giffa vorbei weiter in Richtung Süden und quert dabei mehrere Gemeindestraßen und Wirtschaftswege. Zwischen TKM km 26,62 und TKM km 27,26 quert die Trasse die Donau sowie mehrere Wirtschaftswege und Fremdleitungen in einer insgesamt ca. 640 m langen geschlossenen Querung. Nach der Donauquerung verläuft die Trassenführung über Ackerflächen, etwa 400 m westlich der Ortschaft Seppenhausen sowie parallel zur Staatsstraße St2146 weiter in südliche Richtung. Im Folgenden quert der SüdOstLink den Alten Lohgraben (TKM km 27,95) etwa 130 m östlich von Moosmühle in geschlossener Bauweise. Die Trasse führt anschließend weiter über Acker- und Grünflächen in Richtung Südwesten und quert dabei den Geislinger Mühlbach (TKM km 28,37) und die Bundesstraße B8 (TKM km 28,46) mittels einer HDD. Südlich der geschlossenen Querung der Bundesstraße B8 kreuzt die Trasse eine Hochspannungs-Freileitung (TKM km 28,66) und führt dann zum Übergabepunkt an den anschließenden Planfeststellungsabschnitt D3a.

2.3 Vorgehen

Die maßgebliche Quelle für Erschütterungsemissionen stellen durch den Geräteeinsatz die Bauarbeiten zur Herstellung der Leitungen und Nebenanlagen dar. Zur Beurteilung der baubedingten Erschütterungen werden Erschütterungsimmissionen, die durch die Baustellenerschütterungen, die beim Neubau der Trasse und deren Nebenanlagen zu erwarten sind, prognostiziert und Abstände ermittelt, bei denen die jeweils anzuwendenden Anhaltswerte einzuhalten sind. Beurteilungsgrundlage für baustellenbezogene Immissionsprognosen der Erschütterungen ist die DIN 4150 -2 und -3.

Folgende grundsätzliche Vorgehensweise zur Überprüfung der Einhaltung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [6] und -3 [7] ist vorgesehen:

- Prognose der Erschütterungsimmissionen durch die zum Einsatz kommenden Musterbaumaschinen und Musterbauverfahren (u. a. Unterscheidung in offene und geschlossene Bauweise).
- Festlegung von Einwirkungsbereichen (Abstände zur Baustelle zur Einhaltung der maßgeblichen Beurteilungsgrößen)
- ggf. Ausarbeitung prinzipieller Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungen bei Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [6] und -3 [7] (d. h. keine Auslegung konkreter Maßnahmen, sondern in Anlehnung an die DIN 4150-2 [6] Absatz 6.5.4.3 (Maßnahmen zur Minderung erheblicher Belästigungen) und DIN 4150-3 [7], Anhang E.1.5).

Prinzipielle Maßnahmen im Sinne der DIN 4150-2 [6] können sein:

- a. umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahmen, die Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Baubetrieb

- b. Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen und die damit verbundenen Belästigungen
- c. zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen (Pausen, Ruhezeiten, Betriebsweise der Erschütterungsquelle usw.)
- d. Benennung einer Ansprechstelle, an die sich Betroffene wenden können, wenn sie besondere Probleme durch Erschütterungseinwirkungen haben
- e. Information der Betroffenen über die Erschütterungswirkungen auf das Gebäude
- f. Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkungen auf Menschen und Gebäude

Die DIN4150-3 [7] nennt folgende grundsätzliche Möglichkeiten zur Verringerung von Schwingungsimmissionen:

- Verkehrserschütterungen
 - Herstellung und Erhaltung von ebenen Fahrwegen (Straßen, Schiene)
 - Reduzierung der Geschwindigkeit
- Bauerschütterungen
 - Übergang zu erschütterungsarmen Bauverfahren
 - Bei Vibrationsrammen Übergang zu höheren Frequenzen
 - Vermeidung von Resonanzen

Diese Aufzählungen sind den jeweiligen Normen entnommen, beispielhaft und nicht zwingend abschließend.

2.4 Bauverfahren

Im Regelfall wird das Erdkabel in offener Bauweise im Kabelgraben verlegt. Klassifizierte Straßen, Gewässer sowie sensible Bereiche innerhalb der Trasse werden in der Regel in geschlossener Bauweise (z. HDD und Microtunneling) gequert.

Die Baudurchführung umfasst generell die Baufeldfreimachung, die Herstellung von Baustelleneinrichtungs- und Lagerflächen, Arbeitsstreifen und Zuwegungen, die Durchführung der maschinellen Aushub-, Lagerungs- und Bodenaufbereitungsarbeiten, die Lieferung und den Einbau der Mantelrohre und des Erdkabels sowie die Wiederverfüllung der Gräben / Baugruben und Rekultivierung.

Auf den Trassenabschnitten, die im offenen Leitungsgaben ausgeführt werden, schreiten die Bauarbeiten mit etwa 100 m Grabenlänge pro Woche fort, mögliche Beeinträchtigungen durch Erschütterungen bleiben örtlich und zeitlich eng begrenzt.

Die typischen Zeitaufwände der einzelnen Bauphasen beider Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a können der Unterlage C2.2 [2] entnommen werden. Die Angaben zur Dauer der einzelnen Vorgänge sind Erfahrungswerte aus vergleichbaren Projekten. Mögliche Risiken, die den Bauablauf und damit den Zeitplan beeinträchtigen könnten, sind hier nicht berücksichtigt.

Die vorgenannten Baustellentätigkeiten, beim offenen Verfahren, finden nacheinander statt und ausschließlich am Tag in der Zeit zwischen 07:00 und 20:00 Uhr.

Die vorgenannten Baustellentätigkeiten, beim geschlossenen Verfahren, finden in der Regel am Tag statt, können aber, falls erforderlich, auch in den Beurteilungszeitraum Nacht fallen. Wie nachfolgend in Absatz 4.5 ausgeführt, sind im Rahmen der Bohrarbeiten keine hohen Erschütterungseinwirkungen zu erwarten. Allerdings können sekundäre Luftschallimmissionen nicht ausgeschlossen werden. Damit diese im Nachtzeitraum nicht zu einer unzumutbaren Belästigung von Anwohnern führen, sollten zwischen 22:00 Uhr bis 6:00 Uhr nur vor- oder nachbereitende Arbeiten zu den Bohrmaßnahmen umgesetzt werden.

Erschütterungsrelevante Bauverfahren:

- Rammarbeiten

- Verdichtungsarbeiten
- Brecherarbeiten
- Bohrungen
- Meißelarbeiten

3 Beurteilungsgrundlagen

Entsprechend § 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1 und Nr. 2 BImSchG sind schädliche Umwelteinwirkungen (beispielsweise Lärm und Erschütterungen) zu verhindern bzw. auf ein Mindestmaß zu beschränken. Als maßgebliche Beurteilungsgrundlage für die Annahme schädlicher Umwelteinwirkungen wird mangels anderweitiger gesetzlicher Konkretisierungen auf die Beurteilungsmaßstäbe der DIN 4150-2 und DIN 4150-3 abgestellt. Dieses Vorgehen entspricht auch den LAI-Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen [8] und ist in der Rechtsprechung anerkannt (BVerwG, Urteil vom 29. Juni 2017, 3 A 1/16, juris. Rn. 104).

3.1 Erschütterungen

Die Beurteilung von Erschütterungen, auch aus dem Betrieb von Baustellen, erfolgt entsprechend nach der DIN 4150, Teil 2 (Einwirkung auf Menschen [6] und der DIN 4150), Teil 3 (Einwirkung auf bauliche Anlagen) [7].

3.1.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Zur Bewertung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen wird die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ herangezogen.

Die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ ist dabei nach DIN 45 669 [4] als gleitender Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals (Zeitbewertung 0.125 sec, „FAST“) definiert.

Die Beurteilung erfolgt nach DIN 4150 Teil 2 [6] anhand von zwei Beurteilungsgrößen:

KB_{Fmax} , die maximale bewertete Schwingstärke

KB_{FT_r} , die Beurteilungsschwingstärke

Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} ist der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$, welche während der jeweiligen Beurteilungszeit (einmalig oder wiederholt) auftritt.

Die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r} berücksichtigt die Häufigkeit und Dauer der Erschütterungsereignisse. Sie wird mit Hilfe eines Taktmaximalwertverfahrens (Taktzeit = 30 sec) ermittelt.

Die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r} ergibt sich dabei nach folgender Gleichung:

$$KB_{FT_r} = KB_{FT_m} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{T_r}} \quad (1)$$

mit:

T_r = Beurteilungszeit (tags 16 Std., nachts 8 Std.),

T_e = Einwirkzeit,

KB_{FT_m} = Taktmaximal-Effektivwert. Dieser ergibt sich aus der Wurzel aus den Mittelwerten der quadrierten Taktmaximalwerte (KB_{Fmax} -Werte) der Einzelereignisse.

Die Beurteilung erfolgt nach nachstehend beschriebener Vorgehensweise:

Ermittlung der maximalen bewerteten Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ und Vergleich mit den Anhaltswerten A_u und A_o nach Tabelle 1:

- Ist $KB_{F_{max}}$ kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert A_u , dann ist die Anforderung dieser Norm eingehalten.
- Ist $KB_{F_{max}}$ größer als der (obere) Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung nicht eingehalten.
- Ist $KB_{F_{max}}$ größer als A_u , aber kleiner, höchstens gleich A_o , gilt die Anforderung dieser Norm dann als eingehalten, wenn die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ nicht größer als A_r nach Tabelle 1 ist.

Die in der DIN 4150-2 angegebenen Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [6] (Tabelle 1) für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen.

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vgl. Industriegebiete § 9 BauNVO)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vgl. Gewerbegebiete § 8 BauNVO)	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vgl. Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vgl. Reine Wohngebiete § 3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. Krankenhäuser, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung – BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 – 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkung vorgenommen worden ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Der Charakter eines Gebiets wird anhand der bauplanungsrechtlichen Festsetzungen, soweit vorhanden, ermittelt. Wenn keine bauplanungsrechtlichen Festsetzungen bestehen, sind Gebiete und Anlagen nach ihrer Schutzbedürftigkeit zu beurteilen, vgl. LAI-Hinweise, Abschnitt 3.2 [8]. Weiterhin wird in den LAI-Hinweisen ausgeführt:

„Wenn gewerblich, industriell oder hinsichtlich ihrer Erschütterungsauswirkungen vergleichbar genutzte und zum Wohnen dienende Gebiete aneinandergrenzen (Gemengelage), können die für die zum Wohnen dienenden Gebiete geltenden Immissionswerte auf einen geeigneten Zwischenwert der für die aneinander grenzenden Gebietskategorien geltenden Werte erhöht werden, soweit dies nach der Pflicht zur gegenseitigen Rücksichtnahme erforderlich ist. Die Immissionswerte für Kern-, Dorf- und Mischgebiete sollen dabei nicht überschritten werden.“

Für die Beurteilung von Erschütterungen, die durch Baumaßnahmen verursacht werden, gelten Sonderregelungen, siehe DIN 4150-2 Abschnitt 6.5.4 [6] und LAI-Hinweise, Abschnitt 5.2 [8]. Die Norm nennt dabei ein dreistufiges Beurteilungsschema, das auch als Handlungsgrundlage im Vorfeld der Planung dienen kann.

Das Beurteilungsschema weist Anhaltswerte tagsüber für verschiedene Zeitdauern der Einwirkungen (< 1 Tag, 6 bis 26 Tage, 26 bis 78 Tage) aus. Für nachts auftretende Erschütterungen gelten die Anhaltswerte nach Tabelle 1 der DIN 4150-2.

Für länger als 78 Tage einwirkende Erschütterungen macht die Norm keine Angaben. Es sollte dann nach den besonderen Gegebenheiten des Einzelfalles individuell beurteilt werden. In der Regel erfolgt dann die Beurteilung anhand der Anhaltswerte nach Tabelle 1 der DIN 4150-2 [6]. Unter der Dauer der Erschütterungseinwirkung ist die Anzahl der Tage zu verstehen, an denen tatsächlich Erschütterungseinwirkungen auftreten (nicht die Dauer der Baumaßnahme an sich). Dabei sind Tage mit Erschütterungen, die unter den jeweiligen Werten der Tabelle 1 der DIN 4150-2 [6] für A_u oder A_r liegen, nicht mitzuzählen.

Tabelle 2: Anhaltswerte nach DIN 4150-2 Tabelle 2 [6] für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen.

Dauer	$D \leq 1$ Tag			6 Tage < $D \leq 26$ Tage			26 Tage < $D \leq 78$ Tage		
	A_u	$A_0^*)$	A_r	A_u	$A_0^*)$	A_r	A_u	$A_0^*)$	A_r
Stufe I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe II	1,2	5	0,8	0,8	5	0,6	0,6	5	0,4
Stufe III	1,6	5	1,2	1,2	5	1,0	0,8	5	0,6

*) Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt $A_0 = 6$

Die in Tabelle 2 genannten Stufen klassieren die Einwirkungen folgendermaßen:

- Stufe I: Bei Unterschreitung ist auch ohne besondere Vorinformation nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen.
- Stufe II: Bei Unterschreitung ist ebenfalls noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen, falls die nachfolgend genannten Maßnahmen a) bis e) und erforderlichenfalls auch Maßnahme f) ergriffen werden. Bei zunehmender Überschreitung auch dieser Stufe werden mit wachsender Wahrscheinlichkeit erhebliche Belästigungen auftreten.
- Ist zu erwarten, dass Erschütterungseinwirkungen auftreten, die oberhalb der Anhaltswerte der Stufe II liegen, so ist zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist.
- Stufe III: Zumutbarkeitsschwelle, bei deren Überschreitung die Fortführung von Bauarbeiten nur unter Berücksichtigung und Vereinbarung besonderer Maßnahmen möglich ist.

Die DIN 4150-2 [6] nennt folgende Maßnahmen bzw. Handlungsanleitungen zur Minderung erheblicher Belästigungen:

- a. Umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahmen, die Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Baubetrieb.
- b. Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen und die damit verbundenen Belästigungen.
- c. Zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen (Pausen, Ruhezeiten, Betriebsweise der Erschütterungsquelle usw.)
- d. Benennung einer Ansprechstelle, an die sich Betroffene wenden können, wenn sie besondere Probleme durch Erschütterungseinwirkungen haben.
- e. Information der Betroffenen über die Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude.
- f. Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkungen auf Menschen und Gebäude.

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

3.1.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Der Teil 3 der Norm DIN 4150 nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Bauschäden im Sinne der Norm¹ nicht zu erwarten sind. Das Überschreiten der genannten Anhaltswerte besagt nicht, dass dann Schäden bereits zwingend auftreten müssen. Je nach Gebäudeart und Dauer der Erschütterungseinwirkungen müssen unterschiedliche Anhaltswerte herangezogen werden, siehe Tabelle 3 und Tabelle 4. Im Gegensatz zur Beurteilung nach DIN 4150-2 [6] (Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden), siehe Abschnitt 3.1.1, wird bei der Beurteilung nach DIN 4150-3 [7] nicht zwischen Bauerschütterungen und Erschütterungen aus anderen Quellen unterschieden, vgl. LAI-Hinweise, Abschnitt 5.1 [8].

Für kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen (z. B. Freifallbär) geltende Anhaltswerte sind in Tabelle 3 aufgeführt. Entsprechend der DIN 4150-3 [7] werden Erschütterungen als kurzzeitige Erschütterungen definiert, deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungserscheinungen hervorzurufen und deren zeitliche Abfolge und Dauer nicht geeignet sind, um in der betroffenen Struktur eine wesentliche Vergrößerung der Schwingungen durch Resonanzerscheinungen zu erzeugen.

¹ Bauschäden im Sinne der Norm sind z.B.

- die Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und Bauteilen,
- die Verminderung der Tragfähigkeit von Decken,
- das Abreißen von Trenn- und Zwischenwänden von tragenden Wänden oder Decken,
- das Auftreten von Rissen in Putz von Wänden,
- die Vergrößerung bereits vorhandener Risse in Gebäuden.

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

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ in mm/s				
		Fundament, alle Richtungen, $i = x, y, z$			Oberste Deckenebene, horizontal, $i = x, y$	Decken, vertikal, $i = z$
		Frequenzen				
		< 10 Hz	10 bis 50 Hz	50 bis 100 Hz*	alle Frequenzen	alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 – 40	40 – 50	40	20
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und / oder ihrer Nutzung gleichartige Bauten	5	5 – 15	15 – 20	15	20
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 – 8	8 – 10	8	20**

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

** Zur Verhinderung leichter Schäden kann eine deutliche Abminderung dieses Anhaltswertes notwendig werden

Für stationäre Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude werden die in Tabelle 4 beschriebenen Anhaltswerte genannt.

Tabelle 4: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke nach DIN 4150-3, Tabelle 3 [7].

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

* Zur Verhinderung leichter Schäden kann eine deutliche Abminderung dieses Anhaltswertes notwendig werden.

Wenn Bauwerke in Oberschwingungen angeregt werden, können die Höchstwerte auch in anderen Deckenebenen oder in der Fundamentebene auftreten. Für ihre Beurteilung dürfen ebenfalls die Werte der Tabelle 3 der DIN 4150-3 [7] herangezogen werden.

Für alle Gebäude können frequenzunabhängig bei Einwirkungen von Dauererschütterungen auf Decken Schwinggeschwindigkeiten bis zu 10 mm/s in vertikale und 2,5 mm/s in horizontale Schwingrichtung, bei kurzzeitigen Einwirkungen Schwinggeschwindigkeiten bis 20 mm/s in Deckenfeldmitte (vertikale Schwingungsrichtung) und 8 mm/s (horizontale Schwingrichtung) zugelassen werden. Für unter Denkmalschutz stehende Gebäude können zur Verhinderung leichter Schäden deutlich geringere Schwinggeschwindigkeiten zulässig sein.

3.1.3 Zusammenfassung Zielgrößen Erschütterung

Da die erschütterungsträchtigen Bauarbeiten (z. B. Rammen, Verdichten) überwiegend tagsüber stattfinden, werden die prognostizierten Erschütterungen für den Tagzeitraum bewertet und die nach DIN 4150-2 [6] maximale Betriebsdauer pro Tag in Abhängigkeit der Beurteilungsstufen I bis III zur Vorinformation der betroffenen Anwohner bestimmt, vgl. Tabelle 2.

Um Gebäudeschäden durch baustellenbedingte Erschütterungen zu vermeiden, sind folgende Anhaltswerte der DIN 4150-3 [7] einzuhalten:

Kurzzeitige Erschütterungen nach Tabelle 3:

Wohnbebauung: $v_{\max} \leq 5 \text{ mm/s}$

Denkmalschutz: $v_{\max} \leq 3 \text{ mm/s}$

Bei Ansatz des strengsten Anhaltswertes der DIN 4150-3 [7] für Fundamentalschwingungen von 3 mm/s für denkmalgeschützte Gebäude und von 5 mm/s für Wohn- bzw. gleichartige Gebäude (Gebäude nach Zeile 3 und 2 Tabelle 1, Einwirkungen im Frequenzbereich von 1 Hz bis 10 Hz) ist davon auszugehen, dass auch die Anhaltswerte der DIN 4150-2 [6] eingehalten werden können.

Dauererschütterungen nach Tabelle 4 (z. B. Rammarbeiten):

Wohnbebauung: $v_{\max} \leq 10 \text{ mm/s}$

Denkmalschutz: $v_{\max} \leq 5 \text{ mm/s}$

Für Dauererschütterungen wird pauschal die oberste Deckenebene in vertikaler Richtung beurteilt. Um auch leichten Schäden bei denkmalgeschützten Gebäuden vorbeugen zu können, wird eine Abminderung entsprechend der Norm DIN 4150-3 [7] vorgesehen.

Gewerbliche Gebäude werden als Wohngebäude beurteilt, da dies die Einhaltung der Anhaltswerte für gewerbliche Gebäude sicherstellt. Alternativ müssten sonst gewerblich genutzte Gebäude auf ihre Tragwerkskonstruktion hin geprüft werden, um eine Beurteilung auch für Industriebauten und damit weniger strengen Grenzwerten vornehmen zu können. Dies erscheint jedoch für das gegenständliche Vorhaben als nicht zielführend.

3.2 Sekundärer Luftschall (Körperschall)

Infolge von Körperschalleinwirkung zum Schwingen angeregte Raumbegrenzungsflächen (Wände, Geschossdecken) strahlen ähnlich Lautsprechermembranen Luftschall ab. Bei ausreichend hohen Pegeln wird dieser „Sekundärluftschall“ vom Menschen hörbar wahrgenommen.

Für die Beurteilung der Sekundärluftschallimmissionen aus dem Baubetrieb liegen derzeit weder eingeführte Regelwerke noch verbindliche Richtwerte vor. Es wird daher meist hilfsweise auf Regelwerke, die Anforderungen an Innenraumpegel angeben, und auf die darin genannten Anhaltswerte zur Beurteilung zurückgegriffen.

Anhaltspunkte kann dabei die VDI-Richtlinie 2719 [10] liefern, die Anforderungen an Innenraumpegel für verschiedene Gebäudenutzungen bei von außen eindringenden Geräuschen benennt.

Nach Tabelle 6 der VDI-Richtlinie 2719 [10] sollen die Mittelungspegel (\bar{L}_m) für von außen in Aufenthaltsräume eindringende Geräusche die in der nachfolgenden Tabelle 5 angegebenen Anhaltswerte nicht überschreiten. Unterscheiden sich Mittelungspegel und auftretende mittlere Maximalpegel um mehr als 10 dB, so ist nach den Anforderungen an den mittleren Maximalpegel \bar{L}_{max} zu beurteilen.

Tabelle 5: Anhaltswerte für Innenschallpegel nach VDI-Richtlinie 2719 [10].

Zeile	Raumart, Nutzungszeit	Gebiet	Mittelungspegel \bar{L}_m in dB(A) *	Mittlerer Maximalpegel \bar{L}_{max} in dB(A) *
1	Schlafräume, nachts (lauteste Nachtstunde zwischen 22:00 Uhr und 06:00 Uhr)	Reine und Allgemeine Wohngebiete	25 – 30	35 – 40
		Sonstige Gebiete	30 – 35	40 – 45
2	Wohnräume tagsüber	Reine und Allgemeine Wohngebiete	30 – 35	40 – 45
		sonstige Gebiete	35 – 40	45 – 50
3	Kommunikations- und Arbeitsräume tagsüber: Unterrichtsräume, ruhebedürftige Einzelbüros, wissenschaftliche Arbeitsräume, Bibliotheken, Kon- ferenz- und Vortragsräume, Arzt- praxen, Operationsräume, Kirchen, Aulen Büros für mehrere Personen Großraumbüros, Gaststätten, Schalterräume, Läden		30 – 40	40 – 50
			35 – 45	45 – 55
			40 – 50	50 – 60

* Der jeweils höhere Wert stellt die Mindestanforderung dar. Der mittlere Maximalpegel \bar{L}_{max} in dB ist das energetische Mittel der Schallpegelspitzen.

Da Baustellengeräusche nur über begrenzte Zeiten anliegen, ist es fachlich zu vertreten, die Anforderung an den sekundären Luftschall an die einzuhaltenen Innenraumpegel auf die Mindestanforderung der VDI Richtlinie 2719 [10] abzustellen. Es ergeben sich damit folgende Anforderungen für den sekundären Luftschall:

tags (L_m/L_{max}): 40/50 dB(A)

Bei kurzzeitigen Geräuschspitzen, die insgesamt auch nicht häufig auftreten, können dann während der Tagzeit analog der Vorgehensweise der AVV Baulärm [11] die Anforderungen für die Tagzeit ausschließlich auf die Mittelungspegel abgestellt werden.

4 Abschätzung der auftretenden Erschütterungen

Die Abschätzung der auftretenden Erschütterungen erfolgt im Rahmen eines „Worst-Case“-Ansatzes. Dies betrifft insbesondere die Annahmen zu den Bodeneigenschaften bzw. Bodenausbreitungsbedingungen und die Parameterwahl der im Folgenden erläuterten Prognosemodelle für die verschiedenen Bauverfahren. So werden für die empirischen Prognoseformeln nach [13] Ansätze mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von lediglich $P = 5\%$ gewählt. Die gewählten (Leistungs-) Ansätze der Baumaschinen gewährleisten einen typischen Arbeitsablauf.

Zum jetzigen Planungsstand sind die im Folgenden beschriebenen Baumaßnahmen vorgesehen und werden erschütterungstechnisch bewertet [13]. Wenn weitere Baumaßnahmen angesetzt werden, müssen diese ebenfalls erschütterungstechnisch untersucht werden.

Die maximalen Erschütterungswerte treten in der Regel auf Gebäudedecken auf. Da die für die Bauverfahren verwendeten Prognosemodelle bzw. Erfahrungswerte ggf. Erschütterungen im Freifeld prognostizieren oder beschreiben, werden diese Freifeldwerte mit Faktoren beaufschlagt, die die Erschütterungsausbreitung vom Freifeld auf die Fundamentbereiche und vom Fundament in die Obergeschosse berücksichtigen.

Beim Übergang von Erschütterungen vom Freifeld auf die Fundamentbereiche von Gebäuden kommt es zu einer Verminderung der Erschütterungen. Nach DIN 4150-1 [5] kann dafür üblicherweise ein Faktor von 0,5 angesetzt werden. Sind allerdings Gebäude direkt auf Fels gegründet, ist beim Übergang auf die Gebäudefundamente unter Umständen keine Minderung vorhanden.

Für die vorliegende Abschätzung wird daher für die zu erwartenden Erschütterungen in den Gebäudefundamenten von den prognostizierten Freifeldwerten ausgegangen, um den „Worst Case“ abzubilden.

Bei der Ausbreitung der Erschütterungen innerhalb eines Gebäudes kommt es üblicherweise zwischen den Fundamentbereichen und den Bauteilen in den Obergeschossen zu einer Erhöhung der Erschütterungswerte. Die Erhöhung ist abhängig davon, inwieweit sich Bauteile resonanzartig anregen lassen. Bei impulsartigen Erschütterungen (z. B. Sprengerschütterungen) kommt es nicht zu wesentlichen Resonanzerscheinungen, bei einem Ansatz einer Erhöhung der Erschütterungen um den Faktor 2,0 liegt man dabei auf der sicheren Seite. Bei Dauererschütterungen (z. B. Ramm- oder Verdichtungsarbeiten) können Resonanzerscheinungen auftreten, weshalb die Freifeld- bzw. Fundamentwerte je nach Anregungsart mit dem Faktor 5,0 bis 10,0 für Massivdecken und 10,0 bis 15,0 für Holzdecken verrechnet werden.

4.1 Rammarbeiten

4.1.1 Abschätzung der Erschütterungen auf dem Gebäudefundament

Rammarbeiten, die im Rahmen der Baugrubenherstellung stattfinden, können in der Nachbarbebauung zu störenden Erschütterungen führen. Die sich daraus ergebenden Schwingschnellen können anhand eines Prognosemodells mit Hilfe des Leitfadens des Instituts für Bauforschung e. V. Hannover [13] ermittelt werden, welcher einen indirekten proportionalen Zusammenhang zwischen Schwingschnelle und Abstand vorgibt.

Der ungünstigste Wert der Schwingschnelle aus Rammarbeiten ergibt sich zu:

$$\text{Vibrationsramme (ENK 2):} \quad v_F = 16,66 \cdot \frac{\sqrt{E}}{r} \quad (2)$$

$$\text{Schlagramme Freifallbär:} \quad v_F = 3,82 \cdot \frac{\sqrt{E}}{r} \quad (3)$$

$$\text{Schlagramme Diesalbär:} \quad v_F = 11,07 \cdot \frac{\sqrt{E}}{r^{1,3}} \quad (4)$$

mit:

r = Abstand zur nächsten Bebauung in m

E = Schlagenergie der Schlagramme in kNm, $E = 95$ kNm

Wir empfehlen, Rammen einzusetzen, die dem neusten Stand der Technik entsprechen. Die Arbeitsfrequenz der Vibrationsramme sollte nach Möglichkeit bei größer 35 Hz liegen. Während des Anfahrens sollte keine Lastübertragung stattfinden (unwuchtfreies An- und Ablaufen), damit die Gebäuderesonanzen, insbesondere die Deckenresonanzen nicht angeregt werden, vgl. LAI-Hinweise zu Vibrationsrammen, Anhang [8]. Wir empfehlen daher HFV-Vibratoren (high frequency variable).

Hinweis:

Oben genannte Voraussetzungen an die Rammen sollten in der Ausschreibung der Tiefbauarbeiten berücksichtigt werden.

4.1.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen – Abschätzung der maximalen Schwingschnellen

Die maximalen Schwingschnellen auf Massiv- bzw. Holzdecken, die mit Hilfe des o. g. Prognosemodells berechnet wurden, sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Schwingschnelle (Beton/ Holz) in Abhängigkeit vom Abstand zur Beurteilung nach DIN 4150-3.

Abstand in m	Niedrigster Anhaltswert in mm/s		Rammarbeiten in mm/s		
			Vibrationsramme	Schlagramme	
	Denkmal	Wohnen		Diesalbär	Freibär
15	5	10	19,2 / 28,9	9,6 / 16,0	6,4 / 10,7
20	5	10	14,4 / 21,6	6,6 / 11,0	4,8 / 8
50	5	10	5,6 / 8,7	2,0 / 3,3	1,9 / 3,2
100	5	10	2,9 / 4,2	0,8 / 1,4	0,9 / 1,6
150	5	10	1,9 / 2,9	0,5 / 0,8	0,6 / 1,1

Ab einem Abstand von ca. 80 m kann auch der strengste Anhaltswert der Schwingschnelle für denkmalgeschützte Gebäude nach DIN 4150-3 mit Holzdecken bei Benutzung einer Vibrationsramme eingehalten werden. Für den Diesalbär ist ein Abstand von 40 m und für den Freibär von 35 m ausreichend. Für nicht unter Denkmalschutz stehende Wohngebäude können die Anhaltswerte bereits ab 40 m (Vibrationsramme), 25 m (Diesalbär) und 20 m (Freibär) eingehalten werden. Für Massivbauweise ergeben sich noch geringere Abstände, siehe Tabelle 6.

Können die Abstände nicht eingehalten werden, sind weitere Untersuchungen im Rahmen von erschütterungsarmen Bauverfahren (z. B. Bohrpfähle) oder Testmessungen entsprechend Abschnitt 3.1.1 durchzuführen. Durch Spülverfahren oder durch Vorbohren können Erschütterungsimmissionen reduziert werden, vgl. LAI-Hinweise zu Vibrationsrammen, Anhang [8].

4.1.3 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden – Abschätzung der maximalen Betriebsdauer der Rammarbeiten

Die maximal zulässigen Einwirkzeiten für Rammarbeiten in verschiedenen Abständen, die mit Hilfe des Prognosemodells nach [13] berechnet worden sind, sind in Tabelle 7 und Tabelle 8 unter Berücksichtigung der drei Beurteilungsstufen (siehe Abschnitt 3.1.1) dargestellt. Es sind jeweils die Schwingschnellen für die oberste Geschossdecke als Holzbalkendecke und als Betondecke aufgeführt. Die maximale Einwirkdauer wurde mit bis zu 26 Tage (s. Tabelle 2) angenommen, da davon auszugehen ist, dass der Baustellenfortschritt groß genug ist, damit nach 26 Tagen keine beurteilungsrelevanten Erschütterungseinwirkungen für die Anwohner bestehen. Die maximale Betriebsdauer für den Tagzeitraum beträgt 16 h, entsprechend DIN 4150-2 [6].

Tabelle 7: Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke – Beton.

Abstand in m	Dauer in Tagen	Vibrationsramme	Schlaghammer	
			Dieselbär	Freibär
Stufe I/ II/ III				
15	<i>bis 26 Tage</i>	0/ 0/ 0	0,0/ 0,0/ 0,0	0/ 0,5/ 1,5
50	<i>bis 26 Tage</i>	0,2/ 0,6/ 1,7	1,5/ 5,0/ 14	1,5/ 5,5/ 15
100	<i>bis 26 Tage</i>	0,6/ 2,4/ 6,7	7,5/ 16/ 16	5,5/ 16/ 16
200	<i>bis 26 Tage</i>	2,4/ 9,6/ 16	16/ 16/ 16	16/ 16/ 16
500	<i>bis 26 Tage</i>	15/ 16/ 16	16/ 16/ 16	16/ 16/ 16

Tabelle 8: Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke – Holz.

Abstand in m	Dauer in Tagen	Vibrationsramme	Schlaghammer	
			Dieselbär	Freibär
Stufe I/ II/ III				
15	<i>bis 26 Tage</i>	0,0/ 0,0/ 0,0	0,0/ 0,0/ 0,0	0,1/ 0,5/ 1,5
50	<i>bis 26 Tage</i>	0,1/ 0,3/ 0,7	0,5/ 2/ 5,0	1/ 2/ 5,5
100	<i>bis 26 Tage</i>	0,3/ 1,1/ 3,0	3/ 11/ 16	2,5/ 8/ 16
200	<i>bis 26 Tage</i>	1,1/ 4,3/ 11,9	16/ 16/ 16	8/ 16/ 16
500	<i>bis 26 Tage</i>	6,7/ 16/ 16	16/ 16/ 16	16/ 16/ 16

Ausgehend von einer tatsächlichen Erschütterungseinwirkdauer von 8 Stunden innerhalb eines zulässigen 10-h-Arbeitstages können die Anhaltswerte der DIN 4150-2 [6] ab einem Abstand von ca. 250 m zwischen Bauarbeiten mit Vibrationsramme und nächstgelegener Bebauung unter Berücksichtigung der Vorabinformation der Anlieger nach Beurteilungsstufe II (siehe Abschnitt 3.1.1) sowohl für Massiv- als auch für Holzbalkendecken eingehalten werden. Dies gilt für den Dieselbär pauschal ab ca. 90 m und für den Freibär ab ca. 100 m Abstand zur nächstgelegenen Bebauung.

Wenn der Abstand zwischen Bauarbeiten und der nächsten Bebauung geringer als oben angegeben ausfällt, sollte zunächst festgestellt werden, ob es sich bei der schützenswerten Bebauung um einen Massiv- oder Holzbau handelt. Bei Massivbauweise können die Abstände nochmals verringert werden. Werden die einzuhaltenden Abstände unterschritten, sind entweder erschütterungsarme Verbauverfahren (z. B. Bohrpfähle) in Erwägung zu ziehen oder die tatsächlich anstehenden Erschütterungen mit Hilfe von Messungen während Teststrammungen festzustellen. Durch Spülverfahren oder durch Vorbohren können Erschütterungsimmissionen reduziert werden, vgl. LAI-Hinweise zu Vibrationsrammen, Anhang [8]. Da es sich im Vorliegenden um eine Worst-Case-Prognose handelt, können im Rahmen von Testmessungen exakte Schwingungswerte ermittelt werden, die unter Umständen geringere Abstände, bzw. längere Einsatzzeiten der Ramme zulassen. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Angaben nur für einen kontinuierliche Erschütterungseinwirkung gelten. Erfahrungsgemäß können innerhalb eines 10-h-Arbeitstages nur maximal 8 h tatsächlich gerammt werden. Selbst dies ist konservativ angesetzt, da in der Regel aufgrund von Pausen und Umrüstzeiten der Rammen nie eine durchgehende Erschütterungseinwirkung über 8 h vorliegt. Somit können auch die Abstände im Regelbetrieb deutlich geringer ausfallen. Dies ist allerdings entsprechend den tatsächlichen Einwirkzeiten anzupassen.

4.1.4 Zusammenfassende Beurteilung der Rammarbeiten

Die Abstandsbereiche sind in Tabelle 9 und Tabelle 10 aufgeführt und können wie folgt zusammengefasst werden:

- Bereich 1: Alle Anhaltswerte der DIN 4150-2 [6] und -3 [7] werden eingehalten. Es müssen keine Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungsimmissionen durchgeführt werden.
- Bereich 2: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe I. Maßnahmen a) bis e) (wenn möglich f)) nach Abschnitt 3.1.1 zur Information der Anlieger sind zu treffen.
- Bereich 3: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe II. Es ist zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist, z. B. Verbau mit Bohrpfählen.
- Bereich 4: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe III. Nur unter Berücksichtigung und Vereinbarung besonderer Maßnahmen möglich. Weniger erschütterungsintensive Verfahren sollten zum Einsatz kommen, z. B. Verbau mit Bohrpfählen.
- Bereich 5: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3 für denkmalgeschützte Gebäude. Weniger erschütterungsintensive Verfahren sollten zum Einsatz kommen, z. B. Verbau mit Bohrpfählen.
- Bereich 6: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3 für Wohngebäude. Weniger erschütterungsintensive Verfahren sollten zum Einsatz kommen, z. B. Verbau mit Bohrpfählen.

Tabelle 9: Kritische Abstände zwischen Rammarbeiten und nächstgelegenen Immissionsort, Massivbau.

Bereich	Abstand a in m ^{2/}		
	Vibrationsramme	Schlagramme	
		Dieselbär	Freibär
1	$a \geq 350$	$a \geq 100$	$a \geq 70$
2	$350 > a \geq 180$	$100 > a \geq 60$	$70 > a \geq 35$
3	$180 > a \geq 110$	$60 > a \geq 40$	$35 > a \geq 20$
4	$110 > a \geq 70$	$40 > a \geq 25$	$35 > a \geq 15$
5	$70 > a \geq 30$	$25 > a \geq 15$	$a < 15$
6	$a < 30$	$a < 15$	$a < 15$

^{2/} Der Abstand a wurde unter Berücksichtigung eines 8-Stunden-Arbeitstages bzw. einer 8-stündigen Erschütterungseinwirkung am Immissionsort ermittelt.

Tabelle 10: Kritische Abstände zwischen Rammarbeiten und nächstgelegenen Immissionsort, Holzbau.

Bereich	Abstand a in m		
	Vibrationsramme	Schlagramme	
		Dieselbär	Freibär
1	$a \geq 500$	$a \geq 150$	$a \geq 110$
2	$500 > a \geq 250$	$150 > a \geq 90$	$110 > a \geq 60$
3	$250 > a \geq 150$	$90 > a \geq 60$	$60 > a \geq 35$
4	$150 > a \geq 80$	$60 > a \geq 40$	$35 > a \geq 20$
5	$80 > a \geq 40$	$40 > a \geq 25$	$20 > a \geq 15$
6	$a < 40$	$a < 25$	$a < 15$

Da es sich im vorliegenden Prognosemodell um eine Worst-Case-Abschätzung handelt, empfiehlt sich eine Überprüfung der tatsächlichen Schwingschnellen im Rahmen einer messtechnischen Untersuchung vor Ort zu Beginn der Bauarbeiten. Es besteht die Möglichkeit, dass die gemessenen Schwingschnellen geringer sind als die prognostizierten, wodurch einzuhaltende Abstände verringert werden könnten.

4.2 Verdichtungsarbeiten

4.2.1 Abschätzung der Erschütterungen auf dem Gebäudefundament

Verdichtungsarbeiten, die im Rahmen der Herstellung der Baustraßen bzw. Lagerungsflächen stattfinden, können in der Nachbarbebauung zu störenden Erschütterungen führen. Die sich daraus ergebenden Schwingschnellen können anhand eines Prognosemodells mit Hilfe des Leitfadens des Instituts für Bauforschung e. V. Hannover [13] ermittelt werden, welcher einen indirekten proportionalen Zusammenhang zwischen Schwingschnelle und Abstand vorgibt.

Der ungünstigste Wert der Schwingschnelle aus Verdichtungsarbeiten auf dem Gebäudefundament ergibt sich zu:

$$v_F = 10,87 \cdot \frac{\sqrt{G}}{r} \quad (5)$$

Dabei ist:

G = Gewicht der Vibrationsplatte bzw. -walze in t

r = Abstand zur nächsten Bebauung in m

4.2.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen – Abschätzung der maximalen Schwingschnellen

Die maximalen Schwingschnellen auf Massiv- bzw. Holzdecken, die mit Hilfe des o. g. Prognosemodells berechnet wurden, sind in Tabelle 11 aufgeführt.

Tabelle 11: Schwingschnelle (Beton / Holz) in Abhängigkeit vom Abstand zur Beurteilung nach DIN 4150-3.

Abstand in m	Niedrigster Anhaltswert mm/s		Schwingschnelle in mm/s	
	Denkmal	Wohnen	Vibrationsplatte (0,5 t)	Vibrationswalze (7,5 t)
15	5	10	4,6 / 6,9	17,7 / 26,6
20	5	10	3,4 / 5,2	13,3 / 20,0
50	5	10	1,4 / 2,1	5,3 / 8,0
100	5	10	0,7 / 1,0	2,7 / 4,0
150	5	10	0,5 / 0,7	1,8 / 2,7

Ab einem Abstand von ca. 80 m kann auch der strengste Anhaltswert der Schwingschnelle für denkmalgeschützte Gebäude nach DIN 4150-3 mit Holzdecken bei Benutzung einer Vibrationswalze (7,5 t) eingehalten werden. Für die Vibrationsplatte (0,5 t) ist ein Abstand von 20 m ausreichend. Für nicht unter Denkmalschutz stehende Wohngebäude können die Anhaltswerte bereits ab 40 m (Vibrationswalze) und 15 m (Vibrationsplatte) eingehalten werden. Für Massivbauweise ergeben sich noch geringere Abstände, siehe Tabelle 11.

Können die Abstände nicht eingehalten werden, sind weitere Untersuchungen im Rahmen von erschütterungsarmen Bauverfahren (z. B. Vibrationsplatte) oder Testmessungen entsprechend Abschnitt 3.1.1 durchzuführen. Eine Anpassung der Erregerfrequenz sowie das Vermeiden des An- und Abfahrens in unmittelbarer Nähe zur betroffenen Bebauung können die anliegenden Erschütterungsimmissionen reduzieren, vgl. LAI-Hinweise zu Bodenverdichtern, Anhang [8].

4.2.3 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden – Abschätzung der maximalen Betriebsdauer der Verdichtungsarbeiten

Die maximal zulässigen Einwirkzeiten für Verdichtungsarbeiten in verschiedenen Abständen, die mit Hilfe des Prognosemodells nach [13] berechnet worden sind, sind in Tabelle 12 und Tabelle 13 unter Berücksichtigung der drei Beurteilungsstufen (Abschnitt 3.1.1) dargestellt. Es sind jeweils die Schwingschnellen für die oberste Geschossdecke als Holzbalkendecke und als Betondecke aufgeführt. Die maximale Einwirkungszeit wurde mit bis zu 26 Tage angenommen. Die maximale Betriebsdauer für den Tagzeitraum beträgt 16 h, entsprechend DIN 4150-2.

Tabelle 12: Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke – Beton.

Abstand in m	Dauer in Tagen	Stufe I / II / III	
		Vibrationsplatte(0,5 t)	Vibrationswalze (7,5 t)
15	<i>bis 26 Tage</i>	0,2/ 1,0/ 2,7	0,0/ 0,0/ 0,0
50	<i>bis 26 Tage</i>	1,7/ 4,6/ 16	0,2/ 0,7/ 2,0
100	<i>bis 26 Tage</i>	10,6/ 16/ 16	0,7/ 2,8/ 7,9
200	<i>bis 26 Tage</i>	16/ 16/ 16	2,8/ 11,3/ 16
500	<i>bis 26 Tage</i>	16/ 16/ 16	16/ 16/ 16

Tabelle 13: Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke – Holz.

Abstand in m	Dauer in Tagen	Stufe I / II / III	
		Vibrationsplatte(0,5 t)	Vibrationswalze (7,5 t)
15	<i>bis 26 Tage</i>	0,1/ 0,4/ 1,2	0,0/ 0,0/ 0,0
50	<i>bis 26 Tage</i>	1,2/ 4,7/ 13,1	0,1/ 0,3/ 0,9
100	<i>bis 26 Tage</i>	4,7/ 16/ 16	0,3/ 1,3/ 3,5
200	<i>bis 26 Tage</i>	16/ 16/ 16	1,3/ 5,0/ 14
500	<i>bis 26 Tage</i>	16/ 16/ 16	7,9 / 16/ 16

Ausgehend von einer Einwirkungsdauer von 8 Stunden, während eines 10-h-Arbeitstages können die Anhaltswerte der DIN 4150-2 ab einem Abstand von ca. 250 m zwischen Bauarbeiten mit Vibrationswalze (7,5 t) und nächstgelegener Bebauung unter Berücksichtigung der Vorabinformation der Anlieger nach Beurteilungsstufe II (Abschnitt 3.1.1) sowohl für Massiv- als auch für Holzbalkendecken eingehalten werden. Dies gilt für den Betrieb der Vibrationsplatte (0,5 t) schon ab ca. 70 m Abstand zur nächstgelegenen Bebauung.

Wenn der Abstand zwischen Bauarbeiten und der nächsten Bebauung geringer als oben angegeben ausfällt, sollte zunächst festgestellt werden, ob es sich bei der schützenswerten Bebauung um einen Massiv- oder Holzbau handelt. Bei Massivbauweise können die Abstände nochmals verringert werden. Werden die einzuhaltenden Abstände unterschritten, sind entweder erschütterungsarme Verdichtungsverfahren (z. B. Vibrationsplatte) in Erwägung zu ziehen oder die tatsächlich anstehenden Erschütterungen mit Hilfe von Messungen während Test-Verdichtungsarbeiten festzustellen.

Eine Anpassung der Erregerfrequenz sowie das Vermeiden des An- und Abfahrens in unmittelbarer Nähe zur betroffenen Bebauung können die anliegenden Erschütterungsimmissionen reduzieren, vgl. LAI-Hinweise zu Bodenverdichtern, Anhang [8]. Da es sich im Vorliegenden um eine Worst-Case-Prognose handelt, können im Rahmen von Testmessungen exakte Schwingungswerte ermittelt werden, die unter Umständen geringere Abstände zulassen.

4.2.4 Zusammenfassende Beurteilung der Verdichtungsarbeiten

Die Abstandsbereiche sind in Tabelle 14 und Tabelle 15 aufgeführt und können wie folgt zusammengefasst werden:

- Bereich 1: Alle Anhaltswerte der DIN 4150-2 [6] und -3 [7] werden eingehalten. Es müssen keine Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungsimmissionen durchgeführt werden.
- Bereich 2: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe I. Maßnahmen a) bis e) (wenn möglich f)) nach (Abschnitt 3.1.1) zur Information der Anlieger sind zu treffen.
- Bereich 3: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe II. Es ist zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist, z. B. Vibrationsplatte.
- Bereich 4: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe III. Nur unter Berücksichtigung und Vereinbarung besonderer Maßnahmen möglich. Weniger erschütterungsintensive Verfahren sollten zum Einsatz kommen, z. B. Vibrationsplatte.
- Bereich 5: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3 für denkmalgeschützte Gebäude. Weniger erschütterungsintensive Verfahren sollten zum Einsatz kommen, z. B. Vibrationsplatte.
- Bereich 6: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3 für Wohngebäude. Weniger erschütterungsintensive Verfahren sollten zum Einsatz kommen, z. B. Vibrationsplatte.

Tabelle 14: Kritische Abstände zwischen Verdichtungsarbeiten und nächstgelegenen Immissionsort, Massivbau.

Bereich	Abstand a in m ³	
	Vibrationsplatte (0,5 t)	Vibrationswalze (7,5t)
1	$a \geq 90$	$a \geq 340$
2	$90 > a \geq 45$	$340 > a \geq 170$
3	$45 > a \geq 30$	$170 > a \geq 100$
4	$30 > a \geq 15$	$100 > a \geq 60$
5	$a < 15$	$60 > a \geq 30$
6	$a < 15$	$a < 30$

Tabelle 15: Kritische Abstände zwischen Verdichtungsarbeiten und nächstgelegenen Immissionsort, Holzbau.

Bereich	Abstand a in m	
	Vibrationsplatte (0,5 t)	Vibrationswalze (7,5t)
1	$a \geq 130$	$a \geq 500$
2	$130 > a \geq 70$	$500 > a \geq 250$
3	$70 > a \geq 40$	$250 > a \geq 150$
4	$40 > a \geq 20$	$150 > a \geq 80$
5	$20 > a \geq 15$	$80 > a \geq 40$
6	$a < 15$	$a < 40$

Da es sich im vorliegenden Prognosemodell um eine "Worst-Case"-Abschätzung handelt, empfiehlt sich eine Überprüfung der tatsächlichen Schwingschnellen im Rahmen einer messtechnischen Untersuchung vor Ort zu Beginn der Bauarbeiten. Es besteht die Möglichkeit, dass die gemessenen Schwingschnellen geringer sind als die prognostizierten, wodurch einzuhaltende Abstände verringert werden könnten.

4.3 Arbeiten mit dem Brecher

4.3.1 Abschätzung der Erschütterungen im Freifeld

Brecherarbeiten, die im Rahmen von Abbrucharbeiten stattfinden, können in der Nachbarbebauung zu störenden Erschütterungen führen. Mit Hilfe von Schwingungsmessungen während Brecherarbeiten der Gesellschaft für Geophysikalische Untersuchungen mbH [14] und aus Erfahrungswerten der Müller-BBM GmbH [15] konnte folgende Abstands-Schwinggeschwindigkeits-Beziehung im Freifeld abgeleitet werden. Dabei wird zwischen impulshaften (z. B. Fallenlassen von Gesteinsbrocken durch Bagger mit bis zu 80 cm Abmessung beim Befüllen des Brechers) und dauerhaft anstehenden Erschütterungseinwirkungen während des Brechens unterschieden. Folgende Leistungsdaten des Brechers wurden hierbei berücksichtigt:

Masse des Brechers:	ca. 31 to
Motor:	dieselhydraulischer Antrieb, 160 kW

³ Der Abstand a wurde unter Berücksichtigung eines 8-Stunden-Arbeitstages bzw. einer 8-stündigen Erschütterungseinwirkung am Immissionsort ermittelt.

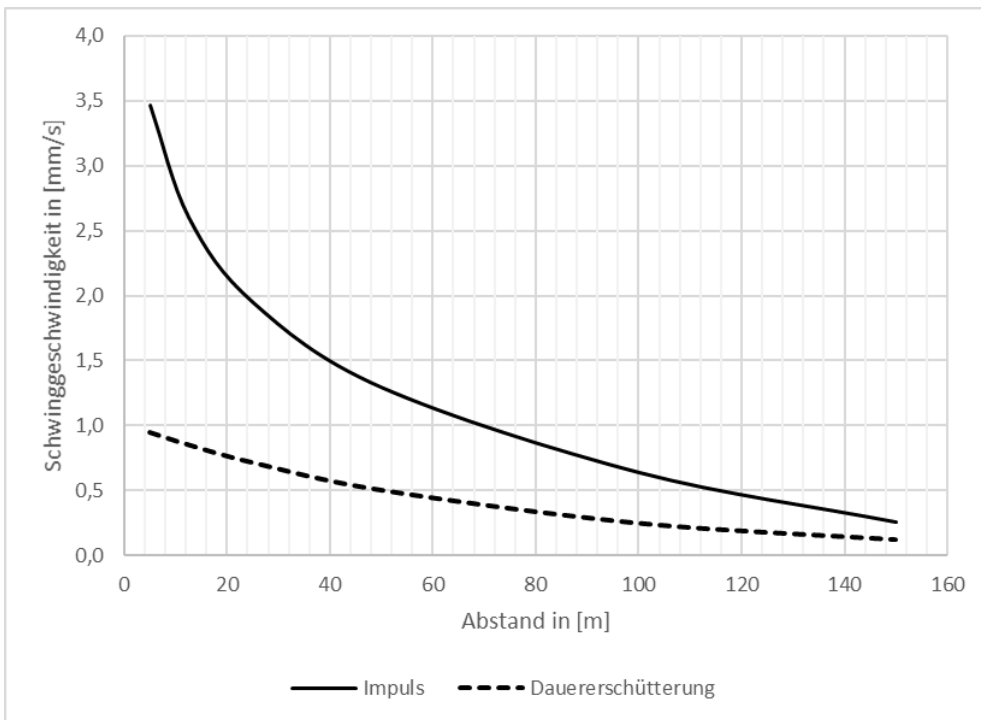


Abbildung 1. Abstands-Schwinggeschwindigkeitsbeziehung während Brecherarbeiten.

4.3.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen – Abschätzung der maximalen Schwingschnellen

Die maximalen Schwingschnellen auf Massiv- bzw. Holzdecken, die mit Hilfe der o. g. Abstands-Schwinggeschwindigkeitsbeziehung berechnet wurden, sind in Tabelle 16 aufgeführt.

Tabelle 16: Schwingschnelle für Beton- und Holzdecken in Abhängigkeit vom Abstand zur Beurteilung nach DIN 4150-3.

Abstand in m	Niedrigster Anhaltswert mm/s		Schwingschnelle in mm/s	
	Denkmal	Wohnen	Beton	Holz
15	5	10	4,9	8,2
20	5	10	4,3	7,7
50	5	10	2,6	5,1
100	5	10	1,3	2,5
150	5	10	0,5	1,2

Ab einem Abstand von 50 m kann auch der strengste Anhaltswert der Schwingschnelle für denkmalgeschützte Gebäude nach DIN 4150-3 mit Holzdecken eingehalten werden. Für nicht unter Denkmalschutz stehende Wohngebäude können die Anhaltswerte bereits in einem Abstand von ca. 15 m eingehalten werden. Für Massivbauweise ergeben sich noch geringere Abstände, siehe Tabelle 16.

Können die Abstände nicht eingehalten werden, sind weitere Untersuchungen im Rahmen von erschütterungsarmen Bauverfahren oder Testmessungen entsprechend Abschnitt 3.1.1 durchzuführen.

4.3.3 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden – Abschätzung der maximalen Betriebsdauer der Brecherarbeiten

Die maximal zulässigen Einwirkzeiten für Brecherarbeiten in verschiedenen Abständen, die mit Hilfe der Abstands-Schwinggeschwindigkeitsbeziehung (siehe Abbildung 1) berechnet worden sind, sind in Tabelle 17 unter Berücksichtigung der drei Beurteilungsstufen (siehe Abschnitt 3.1.1) dargestellt. Es sind jeweils die Schwingschnellen für die oberste Geschossdecke als Holzbalkendecke und als Betondecke aufgeführt. Die maximale Einwirkdauer wurde mit bis zu 26 Tage angenommen. Die maximale Betriebsdauer für den Tagzeitraum beträgt 16 h, entsprechend DIN 4150-2 [6].

Tabelle 17: Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke.

Abstand in m	Dauer in Tagen	Stufe I / II / III	
		Massivdecke	Holzdecke
15	<i>bis 26 Tage</i>	0,5 / 1 / 2,5	0,1 / 0,5 / 1
50	<i>bis 26 Tage</i>	1 / 3 / 8	0,5 / 1 / 2
100	<i>bis 26 Tage</i>	3 / 12 / 16	1 / 3,5 / 9
200	<i>bis 26 Tage</i>	16 / 16 / 16	2 / 15,0 / 16
500	<i>bis 26 Tage</i>	16 / 16 / 16	16 / 16 / 16

Ausgehend von einer Einwirkdauer von 8 Stunden während eines 10-h-Arbeitstages können die Anhaltswerte der DIN 4150-2 [6] ab einem Abstand von ca. 180 m zwischen Bauarbeiten und nächstgelegener Bebauung unter Berücksichtigung der Vorabinformation der Anlieger nach Beurteilungsstufe II (siehe Abschnitt 3.1.1) sowohl für Massiv- als auch für Holzbalkendecken eingehalten werden.

Wenn der Abstand zwischen Bauarbeiten und der nächsten Bebauung geringer als oben angegeben ausfällt, sollte zunächst festgestellt werden, ob es sich bei der schützenswerten Bebauung um einen Massiv- oder Holzbau handelt. Bei Massivbauweise können die Abstände nochmals verringert werden. Werden die einzuhaltenden Abstände unterschritten, sind die tatsächlich anstehenden Erschütterungen mit Hilfe von Messungen während Test-Brecherarbeiten festzustellen. Da es sich im Vorliegenden um eine Worst-Case-Prognose handelt, können im Rahmen von Testmessungen exakte Schwingungswerte ermittelt werden, die unter Umständen geringere Abstände zulassen.

4.3.4 Zusammenfassende Beurteilung der Brecherarbeiten

Die Abstandsbereiche sind in Tabelle 18 aufgeführt und können wie folgt zusammengefasst werden:

- Bereich 1: Alle Anhaltswerte der DIN 4150-2 [6] und -3 [7] werden eingehalten. Es müssen keine Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungsimmissionen durchgeführt werden.
- Bereich 2: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [6], Tabelle 2 Stufe I. Maßnahmen a) bis e) (wenn möglich f)) nach Abschnitt 3.1.1 zur Information der Anlieger sind zu treffen.
- Bereich 3: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [6], Tabelle 2 Stufe II. Es ist zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist.
- Bereich 4: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [6], Tabelle 2 Stufe III. Nur unter Berücksichtigung und Vereinbarung besonderer Maßnahmen möglich. Weniger erschütterungsintensive Verfahren sollten zum Einsatz kommen.
- Bereich 5: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3 [7] für denkmalgeschützte Gebäude. Weniger erschütterungsintensive Verfahren sollten zum Einsatz kommen.
- Bereich 6: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3 [7] für Wohngebäude. Weniger erschütterungsintensive Verfahren sollten zum Einsatz kommen.

Tabelle 18: Kritische Abstände zwischen Brecherarbeiten und nächstgelegendem Immissionsort für Beton- und Holzdecken.

Bereich	Abstand a in m ⁴	
	Beton	Holz
1	$a \geq 160$	$a \geq 230$
2	$160 > a \geq 100$	$230 > a \geq 180$
3	$100 > a \geq 60$	$180 > a \geq 100$
4	$60 > a \geq 30$	$100 > a \geq 50$
5	$30 > a \geq 10$	$50 > a \geq 15$
6	$a < 10$	$a < 15$

Da es sich im vorliegenden Prognosemodell um eine Worst-Case-Abschätzung handelt, empfiehlt sich eine Überprüfung der tatsächlichen Schwingschnellen im Rahmen einer messtechnischen Untersuchung vor Ort zu Beginn der Bauarbeiten. Es besteht die Möglichkeit, dass die gemessenen Schwingschnellen geringer sind als die prognostizierten, wodurch einzuhaltende Abstände verringert werden könnten.

4.4 Arbeiten mit dem Meißelbagger

4.4.1 Abschätzung der Erschütterungen auf dem Gebäudefundament

Meißelarbeiten, die im Rahmen von Gesteinsarbeiten stattfinden, können in der Nachbarbebauung zu störenden Erschütterungen führen. Die sich daraus ergebenden Schwingschnellen können anhand eines Prognosemodells mit Hilfe des Leitfadens des Instituts für Bauforschung e. V. Hannover [13] ermittelt werden, welcher einen indirekten proportionalen Zusammenhang zwischen Schwingschnelle und Abstand vorgibt.

Es wird dabei von folgenden Eingangsdaten des Meißelbaggers ausgegangen:

Masse Hammer:	1.600 kg ... 2.000 kg
Schlagzahl:	490 min ⁻¹ ... 630 min ⁻¹
Schlagenergie:	3.579 J
Masse Bagger:	23.310 kg ... 28.270 kg
Leistung Bagger:	118 kW ... 142 kW

Dabei handelt es sich um eine harmonische Anregung im Frequenzbereich von 8 bis 10,5 Hz. Der ungünstigste Wert der Schwingschnelle aus Meißelarbeiten ergibt sich zu:

$$v_F = K_E \cdot \frac{\sqrt{E}}{r^n} \quad (6)$$

Dabei ist:

E	Schlagenergie in J
r	Abstand zur nächsten Bebauung in m
K_E, n	empirische Größen, Ermittlung aus Erfahrungswerten

Im vorliegenden Fall wird $K_E = 18,52 \frac{mm}{s} \frac{m^n}{\sqrt{kNm}}$ und $n = 1$ angesetzt. Mit dieser Konstanten wird gemäß [13] die resultierende Schwinggeschwindigkeit v_F auf einem Gebäudefundament zu 97,5 % eingehalten.

4 Der Abstand a wurde unter Berücksichtigung eines 8-Stunden-Arbeitstages bzw. einer 8-stündigen Erschütterungseinwirkung am Immissionsort ermittelt.

4.4.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen – Abschätzung der maximalen Schwingschnellen

Die maximalen Schwingschnellen auf Massiv- bzw. Holzdecken, die mit Hilfe des o. g. Prognosemodells berechnet wurden, sind in Tabelle 19 aufgeführt.

Tabelle 19: Schwingschnelle für Beton- und Holzdecken in Abhängigkeit vom Abstand zur Beurteilung nach DIN 4150-3.

Abstand in m	Niedrigster Anhaltswert mm/s		Schwingschnelle in mm/s	
	Denkmal	Wohnen	Beton	Holz
15	5	10	11,7	23,4
20	5	10	8,8	17,5
50	5	10	3,5	7,0
100	5	10	1,8	3,5
150	5	10	1,2	2,3

Ab einem Abstand von 70 m kann auch der strengste Anhaltswert der Schwingschnelle für denkmalgeschützte Gebäude nach DIN 4150-3 mit Holzdecken eingehalten werden. Für nicht unter Denkmalschutz stehende Wohngebäude können die Anhaltswerte bereits in einem Abstand von ca. 35 m eingehalten werden. Für Massivbauweise ergeben sich noch geringere Abstände, siehe Tabelle 19.

Können die Abstände nicht eingehalten werden, sind weitere Untersuchungen im Rahmen von erschütterungsarmen Bauverfahren oder Testmessungen entsprechend Abschnitt 3.1.1 durchzuführen.

4.4.3 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden – Abschätzung der maximalen Betriebsdauer der Meißelarbeiten

Die maximal zulässigen Einwirkzeiten für Meißelarbeiten in verschiedenen Abständen, die mit Hilfe des Prognosemodells nach [13] berechnet worden sind, sind in Tabelle 20 unter Berücksichtigung der drei Beurteilungsstufen (siehe Abschnitt 3.1.1) dargestellt. Es sind jeweils die Schwingschnellen für die oberste Geschossdecke als Holzbalkendecke und als Betondecke aufgeführt. Die maximale Einwirkungsdauer wurde mit bis zu 26 Tage angenommen. Die maximale Betriebsdauer für den Tagzeitraum beträgt 16 h, entsprechend DIN 4150-2.

Tabelle 20: Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke.

Abstand in m	Dauer in Tagen	Stufe I / II / III	
		Massivdecke	Holzdecke
15	<i>bis 26 Tage</i>	0/ 0/ 0	0,0/ 0/ 0
50	<i>bis 26 Tage</i>	0,4/ 1,6/ 4,5	0,1/ 0,4/ 1,1
100	<i>bis 26 Tage</i>	1,6/ 6,5/ 16	0,4/ 1,6/ 4,5
200	<i>bis 26 Tage</i>	6,5/ 16/ 16	1,6/ 6,5/ 16
500	<i>bis 26 Tage</i>	16/ 16/ 16	10,2/ 16/ 16

Ausgehend von einer Einwirkungsdauer von 8 Stunden während eines 10-h-Arbeitstages können die Anhaltswerte der DIN 4150-2 ab einem Abstand von ca. 200 m zwischen Bauarbeiten und nächstgelegener Bebauung unter Berücksichtigung der Vorabinformation der Anlieger nach Beurteilungsstufe II (siehe Abschnitt 3.1.1) sowohl für Massiv- als auch für Holzbalkendecken eingehalten werden.

Wenn der Abstand zwischen Bauarbeiten und der nächsten Bebauung geringer als oben angegeben ausfällt, sollte zunächst festgestellt werden, ob es sich bei der schützenswerten Bebauung um einen Massiv- oder Holzbau handelt. Bei Massivbauweise können die Abstände nochmals verringert werden (auf ca. 110 m). Werden die einzuhaltenden Abstände unterschritten, sind die tatsächlich anstehenden Erschütterungen mit Hilfe von Messungen während Test-Meißelarbeiten festzustellen. Da es sich im Vorliegenden um eine Worst-

Case-Prognose handelt, können im Rahmen von Testmessungen exakte Schwingungswerte ermittelt werden, die unter Umständen geringere Abstände zulassen.

4.4.4 Zusammenfassende Beurteilung der Meißelarbeiten

Die Abstandsbereiche sind in Tabelle 21 aufgeführt und können wie folgt zusammengefasst werden:

- Bereich 1: Alle Anhaltswerte der DIN 4150-2 [6] und -3 [7] werden eingehalten. Es müssen keine Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungsimmissionen durchgeführt werden.
- Bereich 2: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe I. Maßnahmen a) bis e) (wenn möglich f)) nach Abschnitt 3.1.1 zur Information der Anlieger sind zu treffen.
- Bereich 3: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe II. Es ist zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist.
- Bereich 4: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe III. Nur unter Berücksichtigung und Vereinbarung besonderer Maßnahmen möglich. Weniger erschütterungsintensive Verfahren sollten zum Einsatz kommen.
- Bereich 5: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3 für denkmalgeschützte Gebäude. Weniger erschütterungsintensive Verfahren sollten zum Einsatz kommen.
- Bereich 6: Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3 für Wohngebäude. Weniger erschütterungsintensive Verfahren sollten zum Einsatz kommen.

Tabelle 21: Kritische Abstände zwischen Meißelarbeiten und nächstgelegendem Immissionsort für Beton- und Holzdecken.

Bereich	Abstand a in m ⁵	
	Beton	Holz
1	$a \geq 220$	$a \geq 440$
2	$220 > a \geq 110$	$440 > a \geq 220$
3	$110 > a \geq 70$	$220 > a \geq 140$
4	$70 > a \geq 35$	$140 > a \geq 70$
5	$35 > a \geq 20$	$70 > a \geq 35$
6	$a < 20$	$a < 35$

Da es sich im vorliegenden Prognosemodell um eine Worst-Case-Abschätzung handelt, empfiehlt sich eine Überprüfung der tatsächlichen Schwingschnellen im Rahmen einer messtechnischen Untersuchung vor Ort zu Beginn der Bauarbeiten. Es besteht die Möglichkeit, dass die gemessenen Schwingschnellen geringer sind als die prognostizierten, wodurch einzuhaltende Abstände verringert werden könnten.

⁵ Der Abstand a wurde unter Berücksichtigung eines 8-Stunden-Arbeitstages bzw. einer 8-stündigen Erschütterungseinwirkung am Immissionsort ermittelt.

4.5 Bohrvortrieb

Im Rahmen von Bohrarbeiten/Microtunneling mit vergleichsweise kleinem Querschnitt (wie im vorliegenden Fall vorgesehen) ist erfahrungsgemäß mit vergleichsweise hohen Anteilen hochfrequenter Schwingungsemissionen zu rechnen. Dies bedeutet, dass im Vergleich zu den zuvor beschriebenen und beurteilten (tieferfrequenten) Baumaßnahmen von deutlich geringeren, meist nicht spürbaren Erschütterungsemissionen ausgegangen werden kann. Daher wird diese Maßnahme (Bohren) im Allgemeinen als erschütterungsarmes/erschütterungsfreies Bauverfahren bezeichnet.

Die hohen Frequenzanteile haben allerdings zur Folge, dass ein hoher Körperschall bzw. in den Gebäuden ein hörbarer sekundärer Luftschall verursacht wird. Die Prognose des sekundären Luftschall ist deutlich komplexer als die Prognose der Erschütterungen, da unter anderem die maßgeblichen Frequenzanteile bekannt sein müssen, um ein belastbares Ergebnis prognostizieren zu können. Dies bedeutet, dass genaue spektrale Informationen zu Quelle, dem Ausbreitungsweg und den Bauteileigenschaften des zu beurteilenden Gebäudes bekannt sein müssen. Dies ist dementsprechend nicht ohne einen messtechnischen Input zu quantifizieren.

Da allerdings das Erdreich Tiefpasseigenschaften aufweist und somit hohe Frequenzanteile stärker auf ihrem Ausbreitungsweg gedämpft werden, sind hohe sekundäre Luftschallpegel in der Regel auf den Nahbereich zu einer Baustelle begrenzt. Überschreitungen der aus der VDI 2719 [10] abgeleiteten sekundären Luftschallpegel müssen daher in der Regel nicht angenommen werden.

4.6 Abschätzung der auftretenden Erschütterungen aufgrund Baustellenverkehr

Aufgrund von Schwerlastverkehr kann es zu spürbaren Erschütterungen in den an die Baustraßen angrenzenden Gebäuden kommen. Durch luftbereifte und gefederte Fahrzeuge sind jedoch in der Regel keine erheblichen Erschütterungsbelastungen bzw. Überschreitungen der Anhaltswerte zu erwarten. Um dies zu gewährleisten, sollten sich die Straßen während der kompletten Bauzeit in einem einwandfreien Zustand befinden. Dies muss gegebenenfalls durch Räum- bzw. Reinigungsfahrzeuge und Straßeninstandhaltungsmaßnahmen gewährleistet werden.

Hinweis:

Oben genannte Voraussetzungen an den Straßenzustand sollten in der Planung berücksichtigt werden.

5 Fallbezogene Beurteilung von Gebäuden innerhalb der Einwirkungsbereiche nach Abschnitt 4

5.1 Allgemeines – Baubedingte Erschütterungen

1. Die VHT hat sicherzustellen, dass die Baustellen so geplant, eingerichtet und betrieben werden (Ausführungsplanung), dass Erschütterungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind. Die Anforderungen der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teile 2 und 3 sind zu berücksichtigen und einzuhalten.
2. Die Vorhabenträgerin hat die Bauablaufdaten, insbesondere den geplanten Beginn, die Dauer und das geplante Ende der Baumaßnahmen sowie die Durchführung besonders erschütterungsintensiver Bautätigkeiten (jeweils unverzüglich nach Kenntnis) den Anliegern, den betroffenen Gemeinden und der zuständigen Behörde in geeigneter Weise mitzuteilen. Die Benachrichtigung über den Beginn der Bauarbeiten muss spätestens eine Woche vor dem vorgesehenen Beginn der Bauarbeiten erfolgen.
3. Die Vorhabenträgerin hat für die Zeit der Bauausführung einen unabhängigen anerkannten Sachverständigen für Erschütterungsfragen als Immissionsschutzfachliche Baubegleitung (Immissionsschutzbeauftragten) einzusetzen (Mitarbeiter einer nach § 29 BImSchG bekannt gegebenen Messstelle oder öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Immissionsschutz). Dieser hat die Bauarbeiten immissionstechnisch zu überwachen und gegebenenfalls notwendige Minderungsmaßnahmen zu veranlassen. Die Empfehlungen aus dem Erschütterungsgutachten Teil E3 für den Planfeststellungsabschnitt D2 sind durch den Immissionsschutzbeauftragten in der Bauphase zu prüfen, zu bewerten und bei festgestellter Notwendigkeit deren Umsetzung zu überwachen.
4. Der Immissionsschutzbeauftragte (ISB) hat auch als Ansprechpartner für die durch die baubedingten Immissionen betroffene Bevölkerung zur Verfügung zu stehen. Name und Erreichbarkeit des ISB sind der zuständigen Behörde und den Anliegern rechtzeitig vor Baubeginn mitzuteilen. Die VHT hat sicherzustellen, dass für die Zeiten der Abwesenheit des Immissionsschutzbeauftragten ein gleichwertiger Ansprechpartner zur Verfügung steht.

5.1.1 Sonderregelungen

- I. Bei den „Sonderregelungen“ handelt es sich um Entschädigungsleistungen (Geld/Ersatzwohnraum) bei Einwirkungen auf das Schutzgut Mensch (DIN 4150 Teil 2 bzw. AVV Baulärm). Die Entschädigungsleistungen sollen nicht im PFB festgestellt werden.
- II. Die VHT wird sich bei festgestellten Überschreitungen der verfassungsrechtlichen Zumutbarkeitsschwelle durch Geräusche oder der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 durch Erschütterungen mit den betroffenen Anwohnern rechtzeitig in Verbindung setzen.

5.2 Beurteilung

Grundsätzlich wird im Rahmen der Beurteilung höchstes Augenmerk auf die Vermeidung von Gebäudeschäden und einer unzumutbaren Erschütterungsbelastung für den Menschen in Gebäuden gelegt. Bezüglich der Zumutbarkeit der Erschütterungsbelastung für den Menschen wird im vorliegenden Fall die Einhaltung der DIN 4150-2 [6] Tabelle 2, Stufe II angestrebt. In der Maßnahmenbeschreibung werden dementsprechend auch Vorschläge zur Einhaltung der Stufe II ausgewiesen. Entsprechend sind die Maßnahmen a) bis e) s. Absatz 3.1.1 im Rahmen des Vorhabens umzusetzen. Reichen technische Lösungen nicht aus, um die Einhaltung der Anhaltswerte nach Stufe II sicherzustellen, wird als Rückfallebene die Stufe III zur Beurteilung herangezogen.

Aufgrund des Umstandes, dass das hiesige Vorhaben aus Gründen eines überragenden öffentlichen Interesses und im Interesse der öffentlichen Sicherheit erforderlich ist (vgl. § 1 Satz 3 NABEG, § 1 Satz 2 BBPIG) und einer anzustrebenden wirtschaftlichen Realisierung wird daher nicht eine pauschale Einhaltung

der Stufe II anvisiert. Erst bei einer Überschreitung der Stufe III gelten die Erschütterungseinwirkungen als nicht mehr zumutbar und es muss nach weiteren Lösungen gesucht werden (z. B. begleitende messtechnische Überprüfung, ggf. persönliche Vereinbarungen). Da den Einwirkungsbereichen eine Worst-Case-Prognose zugrunde liegt, ist ohnehin davon auszugehen, dass selbst die Abstände zu Stufe III einen gewissen Puffer bezüglich zumutbarer Erschütterungseinwirkungen beinhalten.

Objekte, welche innerhalb eines potentiellen erschütterungstechnischen Einwirkungsbereiches liegen, werden in Anlage 1 aufgeführt. Ggf. werden prinzipielle Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungsimmissionen diskutiert.

Weiterführender Hinweis:

Sofern mehrere Gebäude auf einer Grundstücksadresse vorhanden sind, wird im Sinne der Worst-Case-Betrachtung und zugunsten der Betroffenen immer das Gebäude für die Beurteilung herangezogen, welches sich im geringsten Abstand zu den Baumaßnahmen befindet.

Werden im Zuge der Bauausführung die empfohlenen Maßnahmen zu den jeweiligen Gebäuden nicht umgesetzt (z. B. Unterschreitung der empfohlenen Mindestabstände, andere Bauverfahren und Arbeitszeitreduzierungen), sind die Erschütterungseinwirkungen messtechnisch zu begleiten (Beispielsweise durch ein Monitoring im Gebäude) und zu beurteilen, um Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [6] und -3 [7] vorzubeugen.

Grundsätzlich wird im Rahmen von Rammtätigkeiten angenommen, dass Vibrationsrammen zum Einsatz kommen, da diese aus schalltechnischer Sicht deutlich geringere Immissionen als Schlagrammen verursachen.

Nachfolgend werden die Gebäude zusammengefasst, für welche nach aktuellem Stand der Planung Gebäudeschäden nicht ausgeschlossen werden können. Maßnahmenempfehlungen sind wiederum der Anlage 2 zu entnehmen. Werden die empfohlenen Maßnahmen umgesetzt, ist nicht mit Gebäudeschäden im Sinne der DIN 4150-3 [7] zu rechnen.

Tabelle 22: Gebäude im Einwirkungsbereich für potenzielle Gebäudeschäden.

Trassen km	Adresse	Gemeinde	Gemarkung	Flurst.- Nr.
9,3016				68/1
13,9079				95
15,4798				669/1
15,4872				669/1
15,5979				665/3
15,6006				665/3
15,6599				661
15,6614				661
15,6662				661
16,9191				84/5
16,9244				84/4
16,9358				84/5
16,9700				84/3
16,9827				143/1
22,0479				442

Neben den erschütterungsintensiven Tätigkeiten entlang der Trasse sind auch die – teils von der Trasse losgelösten – Bodenmanagementfläche mit Bodenaufbereitung zu betrachten. Bei Bodenmanagementflächen handelt es sich um "Bodenmanagementflächen mit Bodenaufbereitung". Ursprünglich wurde die Bezeichnung "Baueinrichtungsfläche" verwendet, die hier jedoch irreführend ist, da noch viele weitere BE-Flächen ohne Bodenaufbereitung (z.B. bei jeder HDD) vorliegen. Nachfolgend werden Maßnahmen für die sechs Managementflächen definiert, um Gebäudeschäden und unzumutbare Erschütterungen im Sinne der DIN 4150-2 [6],-3 [7] ausschließen zu können. Werden die empfohlenen Maßnahmen umgesetzt, ist nicht mit Gebäudeschäden bzw. unzumutbaren Erschütterungen im Sinne der DIN 4150-2 [6],-3 [7] zu rechnen. Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass die Positionierung der Brecheranlagen einen Abstand zur nächstgelegenen Bebauung von 100 m bei Betondecken bzw. 180 m für Holzbalkendecken einhalten

- Erste Bodenmanagementfläche mit Bodenaufbereitung Trassen-km ca. 2,20 – 2,50:

Es liegen keine Gebäude im unmittelbaren Einwirkungsbereichen erschütterungsintensiver Bautätigkeiten. Maßnahmen sind daher nicht erforderlich.

- Zweite Bodenmanagementflächen mit Bodenaufbereitung Trassen-km ca. 7,0 bis 7,15:

Die nächstliegende Bebauung liegt ca. 75 m weit entfernt im Südwesten der Bodenmanagementfläche. Weitere Bebauung liegt ca. 150 m weit entfernt im Nordosten der Bodenmanagementfläche. Gebäudeschäden nach DIN 4150-3 müssen nicht angenommen werden.

Eine Überschreitung nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe II im Rahmen von Verdichtungs- und Brecherarbeiten kann hingegen nicht ausgeschlossen werden. Verdichtungsarbeiten mit schwerer Vibrationswalze (7,5 to) sollten daher auf 1 h/Tag (Holzbalkendecken) bzw. 2 h/Tag (Betondecken) im südwestlichen Drittel der Managementfläche und auf 3,5 h/Tag (Holzbalkendecken) bzw. 7 h/Tag (Betondecken) im nordöstlichen Viertel begrenzt werden. Alternativ ist auf ein kleineres Verdichtungsgerät (0,5 to bis 3 to) auszuweichen oder es müssen Sonderregelungen zur Kompensation einer unzumutbaren erschütterungstechnischen Belastung der Anwohner mit den Nutzern/ Eigentümern der Gebäude abgestimmt werden.

Um einer unzumutbaren erschütterungstechnischen Belastung auf die Anwohner aufgrund von Brecherarbeiten entgegenzuwirken, sollte der Brecher im südöstlichen Bereich der Managementfläche positioniert werden.

- Dritte Bodenmanagementflächen mit Bodenaufbereitung Trassen-km ca. 13,1 bis 13,25:

Es liegen keine Gebäude im unmittelbaren Einwirkungsbereichen erschütterungsintensiver Bautätigkeiten. Maßnahmen sind daher nicht erforderlich.

- Vierte Bodenmanagementflächen mit Bodenaufbereitung Trassen-km ca. 17,6 bis 17,8:

Die nächstliegende beurteilungsrelevante Bebauung liegt ca. 5 m nordöstlich der Bodenmanagementfläche (Wegkapelle bei Frauenzell). Bauwerksschäden nach DIN 4150-3 können im Rahmen von Verdichtungsarbeiten nicht ausgeschlossen werden. Zur Prävention von Bauwerksschäden ist im Nahbereich der Kapelle (nördliches Drittel der Managementfläche) auf kleines Verdichtungsgerät (Rüttelplatte 0,5 to) auszuweichen und ein Erschütterungsmonitoring vorzusehen.

Weitere Bebauung liegt ca. 50 m weit entfernt im Südosten, ca. 110 m weit entfernt im Osten und ca. 140 m weit entfernt im Norden der Bodenmanagementfläche. Gebäudeschäden nach DIN 4150-3 müssen nicht angenommen werden.

Eine Überschreitung nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe II im Rahmen von Verdichtungs- und Brecherarbeiten kann hingegen nicht ausgeschlossen werden. Verdichtungsarbeiten mit schwerer Vibrationswalze (7,5 to) sollten daher auf 1 h/Tag (Holzbalkendecken) bzw. 2 h/Tag (Betondecken) im südöstlichen Viertel der Managementfläche und auf 2 h/Tag (Holzbalkendecken) bzw. 4 h/Tag (Betondecken) im nordöstlichen Drittel der Managementfläche begrenzt werden. Alternativ ist auf ein kleineres Verdichtungsgerät (0,5 to bis 3 to) auszuweichen oder es müssen Sonderregelungen zur Kompensation einer unzumutbaren erschütterungstechnischen Belastung der Anwohner mit den Nutzern/Eigentümern der Gebäude abgestimmt werden.

Um einer unzumutbaren erschütterungstechnischen Belastung auf die Anwohner aufgrund von Brecherarbeiten entgegenzuwirken, sollte der Brecher im westlichen Bereich der Managementfläche positioniert werden.

- Fünfte Bodenmanagementflächen mit Bodenaufbereitung Trassen-km ca. 22,0 bis 22,25:

Die nächstliegende Bebauung liegt ca. 70 m weit entfernt im Nordosten der Bodenmanagementfläche. Weitere Bebauung liegt ab ca. 110 m weit entfernt im Osten der Bodenmanagementfläche. Gebäudeschäden nach DIN 4150-3 müssen nicht angenommen werden. Eine Überschreitung nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe II im Rahmen von Verdichtungs- und Brecherarbeiten kann hingegen nicht ausgeschlossen werden. Verdichtungsarbeiten mit schwerer Vibrationswalze (7,5 to) sollten daher im nordöstlichen Viertel der Bodenmanagementfläche auf 0,5 h/Tag (Holzbalkendecke) bzw. 1,5 h/Tag (Betondecke) und in der restlichen östlichen Hälfte auf 1,5 h/Tag (Holzbalkendecken) bzw. 3,5 h/Tag (Betondecke) begrenzt werden, um unzumutbare Erschütterungseinwirkungen auf die nächstliegende Bebauung auszuschließen. Alternativ ist auf ein kleineres Verdichtungsgerät (0,5 to bis 3 to) auszuweichen oder es müssen Sonderregelungen zur Kompensation einer unzumutbaren erschütterungstechnischen Belastung der Anwohner mit den Nutzern/Eigentümern der Gebäude abgestimmt werden.

Um einer unzumutbaren erschütterungstechnischen Belastung auf die Anwohner aufgrund von Brecherarbeiten entgegenzuwirken, sollte der Brecher im westlichen Bereich der Managementfläche positioniert werden.

- Sechste Bodenmanagementflächen mit Bodenaufbereitung Trassen-km ca. 25,3 bis 25,4:

Es liegen keine Gebäude im unmittelbaren Einwirkungsbereichen erschütterungsintensiver Bautätigkeiten. Maßnahmen sind daher nicht erforderlich.

6 Quellen-/Literaturverzeichnis

Die rechtlichen, fachlichen und technischen Grundlagen basieren auf folgenden Unterlagen:

- [1] SuedOstLink – BBPIG Vorhaben Nr. 5 – „Planfeststellungsverfahren SOL“ Antragsunterlagen gemäß § 19 NABEG Abschnitt D2.
- [2] Unterlage C2.2 „SOL_ARG_B0_21C22_FA2_0000_Beschreibung-Bauablauf_05_P – BBPIG Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a – Abschnitt D2 „Nittenau bis Pfatter“ vom 16.01.2023.
- [3] Unterlage SOL D2 §21 Teil C2.3 Trassenbeschreibung vom 27.02.2023
- [4] DIN 45669-1: Messung von Schwingungsimmissionen. Teil 1: Schwingungsmesser; Anforderungen, Prüfung. Juni 2020.
- [5] DIN 4150 Teil 1: Erschütterungen im Bauwesen; Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juli 2001.
- [6] DIN 4150 Teil 2: Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Juni 1999.
- [7] DIN 4150 Teil 3: Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen. Dezember 2016.
- [8] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen
Weblink: [erschuetterungsleitfaden_veroeffentlicht_stand_2018_1529053753.pdf](https://www.lai-immissionsschutz.de/erschuetterungsleitfaden_veroeffentlicht_stand_2018_1529053753.pdf) (lai-immissionsschutz.de)
- [9] VDI-Richtlinie 2057, Blatt 3; Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Beurteilung; Mai 1987 (zurückgezogen September 2002).
- [10] VDI-Richtlinie 2719: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen. August 1987.
- [11] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – vom 19.08.1970.
- [12] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503), geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5).
- [13] Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten: Grundlagen – Messergebnisse – Prognosen, M. Achmus, J. Kaiser, F. Tom Wörden, Bericht 20, 2004.
- [14] Erschütterungsuntersuchungen bei Baumaßnahmen, GGU-Fallbeispiel; GGU Gesellschaft für Geophysikalische Untersuchungen mbH, 1995.
- [15] Erschütterungsmessungen bei Feldversuch mit Brecher, Müller BBM-Bericht, Mai 2009.
- [16] Forschungsbericht IV 1980 Sprengen Bayerischer Wald im Auftrag des Bayerischen Staatministeriums für Arbeit und Sozialordnung durchgeführt von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Juli 1980.
- [17] Forschungsbericht V 1982 Sprengen Oberpfälzer Wald und Frankenwald im Auftrag des Bayerischen Staatministeriums für Arbeit und Sozialordnung durchgeführt von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Dezember 1982.

7 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
Abs.	Absatz
Abb.	Abbildung
AC	Bezeichnung für Wechselstrom (engl. alternating current)
Ao	oberer Anhaltswert zur Beurteilung von Erschütterungen
Ar	Anhaltswert zum Vergleich mit Beurteilungsschwingstärke
ARGE	Arbeitsgemeinschaft
Au	unterer Anhaltswert zur Beurteilung von Erschütterungen
AVV Baulärm	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm
B	Abschnitt B
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BBPIG	Bundesbedarfsplangesetz
<i>b, n</i>	Kennzahlen, empirisch ermittelt
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BNetzA	Bundesnetzagentur
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
BVerwGE	Entscheidungen des Bundesverwaltungsgerichtes
BVVG	Bodenverwertungs- und verwaltungs GmbH
bzw.	beziehungsweise
C1	Abschnitt C1
C2	Abschnitt C2
ca.	circa
D2	Abschnitt D2
DC	Gleichstrom (engl. direct current)
DCA	Verband Güteschutz Horizontalbohrungen e. V. (engl. Drilling Contractors Association)
d. h.	das heißt
DigiNetzG	Gesetz zur Erleichterung des Ausbaus digitaler Hochgeschwindigkeitsnetze
DIN	Deutsche Industrie-Norm

Abkürzung	Beschreibung
DIN EN	Standard für Vereinheitlichung (Deutsches Institut für Normung)
Dok.	Dokument
E	Schlagenergie
EB	Erläuterungsbericht
EK	Erdkabel
EN	Europäische Norm
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EOK	Erdoberkante
etc.	und die übrigen (lat. Et cetera)
EU	Europäische Union
e. V.	eingetragener Verein
G	Gewicht der Vibrationsplatte bzw. –walze in t
ggf.	gegebenenfalls
GOK	Geländeoberkante
GW	Gigawatt (1.000.000.000 W), Einheit der elektrischen Leistung
ha	Hektar
HDD	Horizontalspülbohrverfahren (engl. horizontal directional drilling)
HFV	high-frequency-vibration (Hochfrequenzvibratoren)
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
HV	High Voltage (dt. Hochspannung)
vergleiche HVAC /HVDC	
Hz	Hertz, Einheit für die Frequenz
ID	Identifikationsnummer
i. d. R.	in der Regel
inkl.	inklusive
ISB	Immissionsschutzbeauftragter
k	Beiwert, empirisch ermittelt
Kap.	Kapitel
KAS	Kabelabschnittsstation
$KB_F(t)$	bewertete Schwingstärke

Abkürzung	Beschreibung
KB_{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke
KB_{FTr}	Beurteilungsschwingstärke
KB_{FTm}	Taktmaximal-Effektivwert
KÜS	Kabelübergangsstation
km	Kilometer
KMS	Kabelmonitorstation
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
kV	Kilovolt (1.000 V)
KW	Kalenderwoche
lfd. Nr.	laufende Nummer
LKR	Landkreis
LKW	Lastkraftwagen
L_m	Mittelungspegel in dB(A)
L_{max}	mittlerer Maximalpegel in dB(A)
LWL	Lichtwellenleiter
m	Meter
MaP	Managementplan
max.	maximal
MERO	Mitteuropäische Rohölleitung
mind.	Mindestens
MLM	Mindestlichtmaß
mm	Millimeter
mT	Millitesla
MT	Microtunnel
MW	Megawatt
NABEG	Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz
Nr.	Nummer
NVP	Netzverknüpfungspunkt
o. g.	oben genannt
OGewV	Oberflächengewässerverordnung

Abkürzung	Beschreibung
P	Probability of exidence / Überschreitungswahrscheinlichkeit
PF	Planfeststellung
PFA	Planfeststellungsabschnitt
PFV	Planfeststellungsverfahren
PKW	Personenkraftwagen
PST	Phasenschiebertransformatoren
r	Abstand zur nächsten Bebauung in m
RKS	Rammkernsondierung
ROG	Raumordnungsgesetz
RP	Regionalplan
RVS	Raumverträglichkeitsstudie
s. o.	siehe oben
sog.	sogenannt
SOL	SuedOstLink
t	Tonnen
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
T_e	Einwirkungszeit
TenneT	TenneT TSO GmbH
TöB	Träger öffentlicher Belange
T_r	Beurteilungszeit (tags 16 Std., nachts 8 Std.)
TWh	Terawattstunde
u.	und
u. a.	unter anderem
UIG	Umweltinformationsgesetz
usw.	und so weiter
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
V	Volt
vgl.	vergleiche
VHT	Vorhabenträger

Abkürzung	Beschreibung
v_i	Schwinggeschwindigkeit in mm/s
VO	Verordnung
v_{Res}	Ersatzresultierende aus den drei Maximalwerten der Schwinggeschwindigkeiten (x, y, z)
v_{max}	Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit
v_F	Schwinggeschwindigkeit am Gebäudefundament
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
zzgl.	zuzüglich