

	<p>SuedOstLink - BBPIG Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a –</p>	
	<p>Abschnitt D3b Konverterstation ISAR</p> <p>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>
<p align="center">Anlage N1</p> <p align="center">Kapitel 17.1.1.4 Erschütterungsgutachten</p> <p align="center">Deckblatt II</p>		

00	30.11.2023	Deckblatt II	MBBM Meinerzhagen	ARGE-T H. Hecker	TenneT M. Engel
Rev.	Datum	Ausgabe	Erstellt	Geprüft	Freigegeben

Festgestellt nach §24 NABEG
Bonn, den

INHALTSVERZEICHNIS

TABELLENVERZEICHNIS	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
ZUSAMMENFASSUNG	5
1 EINFÜHRENDER TEIL	7
1.1 Angaben zur Anlage, Antragsteller, Gutachter	7
1.2 Aufgabenstellung	7
2 AUSGANGSSITUATION	8
2.1 Lage Konverterstation ISAR Abschnitt D3b	8
2.2 Vorgehen	8
2.3 Bauverfahren	9
3 BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN	10
3.1 Erschütterungen	10
3.1.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	10
3.1.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen	13
3.1.3 Zusammenfassung Zielgrößen Erschütterung	15
3.2 Sekundärer Luftschall (Körperschall)	15
4 ABSCHÄTZUNG DER AUFTRETENDEN ERSCHÜTTERUNGEN	17
4.1 Verdichtungsarbeiten	17
4.1.1 Abschätzung der Erschütterungen auf dem Gebäudefundament	17
4.1.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen – Abschätzung der maximalen Schwingsschnellen	18
4.1.3 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden – Abschätzung der maximalen Betriebsdauer der Verdichtungsarbeiten	18
4.1.4 Zusammenfassende Beurteilung der Verdichtungsarbeiten	19
4.2 Abschätzung der auftretenden Erschütterungen aufgrund Baustellenverkehr	20
5 FALLBEZOGENE BEURTEILUNG VON GEBÄUDEN INNERHALB DER EINWIRKUNGSBEREICHE NACH ABSCHNITT 4	21
5.1 Allgemeines – baubedingte Erschütterungen	21
5.1.1 Sonderregelungen	21
5.2 Beurteilung	21
6 QUELLEN-/LITERATURVERZEICHNIS	25
7 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	26

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [5] (Tabelle 1) für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen.	11
Tabelle 2:	Anhaltswerte nach DIN 4150-2 Tabelle 2 [5] für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen.	12
Tabelle 3:	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke nach DIN 4150-3, Tabelle 1.	14
Tabelle 4:	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke nach DIN 4150-3, Tabelle 3 [6].	14
Tabelle 5:	Anhaltswerte für Innenschallpegel nach VDI-Richtlinie 2719 [9].	16
Tabelle 6:	Schwingschnelle (Beton / Holz) in Abhängigkeit vom Abstand zur Beurteilung nach DIN 4150-3.	18
Tabelle 7:	Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke – Beton.	18
Tabelle 8:	Abschätzung der maximalen Betriebsdauer in h für oberste Geschossdecke – Holz.	19
Tabelle 9:	Kritische Abstände zwischen Verdichtungsarbeiten und nächstgelegenen Immissionsort, Massivbau.	20
Tabelle 10:	Kritische Abstände zwischen Verdichtungsarbeiten und nächstgelegenen Immissionsort, Holzbau.	20
Tabelle 11:	Betrachtete Immissionsorte.	23
Tabelle 12:	Arbeitszeit in h in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Immissionsort und Verdichtungsarbeiten mit schwerer Vibrationswalze (7,5 to).	24

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Immissionsorte mit kritischen Abstandsbereichen für Verdichtungsarbeiten mit schwerer Vibrationswalze (7,5 to). Orange: Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 für Holzbalkendecken. Rot: Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 für Beton- und Holzbalkendecken. Blau: Baufeld Konverterstation nach [15].
(Copyright: openstreetmaps.de).

23

Zusammenfassung

Für die geplante Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung – SuedOstLink – ist die Erstellung der Konverterstation ISAR notwendig. Für jene Station in Niederaichbach, Abschnitt D3b, soll ein erschütterungstechnisches Gutachten für die Bauphase erstellt werden.

Für die Prognose der Erschütterungen werden die entsprechenden Baumaschinen und Bauverfahren für den Abschnitt D3b Konverterstation ISAR (entsprechend Unterlage N1 17.1.1.2) betrachtet.

Folgende Ergebnisse gehen aus den Untersuchungen hervor:

Folgende Bautätigkeiten waren als erschütterungstechnisch relevant zu betrachten

- Verdichtungsarbeiten
- Nachrangig 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 Abschnitt 4.1 und die erläuterten Maßnahmen in Abschnitt 4.2 eingehalten werden können.

Vereinzelte Gebäude liegen innerhalb der unter Abschnitt 4.1 genannten Einwirkungsbereiche. Für diese Gebäude findet in Abschnitt 5 eine fallbezogene Einzelbetrachtung statt.

Gebäudeschäden nach DIN 4150-3 [6] (Einwirkungen auf bauliche Anlagen) müssen für kein Gebäude angenommen werden.

Für 6 Gebäude kann eine Überschreitung nach DIN 4150-2 [5] (Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden), Tabelle 2, Stufe II bei Vorliegen von Holzbalkendecken 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. Überschreitungen nach DIN 4150-2 für Betondecken sind in keinem Fall anzunehmen.


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 Industry Solutions 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 08.10.2022 (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 D3b Konverterstation ISAR und bewertet die zu erwartenden Immissionen durch Erschütterungen während der Bauarbeiten im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens. Es handelt sich im vorliegend untersuchten Abschnitt D3b Konverterstation ISAR um eine grundsätzlich erdverlegende Kabelstrecke. Im Folgenden sind Informationen über das Planfeststellungsverfahren, die Anlage und die beteiligten Institutionen aufgeführt.

Bezeichnung der Anlage:	Konverterstation ISAR
Verfahren:	Planfeststellungsverfahren SuedOstLink, Abschnitt D3b Konverterstation ISAR
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 Industry Solutions 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 Lage Konverterstation ISAR Abschnitt D3b

Das Plangebiet für die Konverterstation befindet sich in der Gemeinde Essenbach im niederbayerischen Landkreis Landshut. Die Anlage wird ca. 14 Kilometer flussabwärts der Isar von Landshut auf der Südseite der Autobahn A92 errichtet. Das Kernkraftwerk Isar/Ohu ist ca. 1,5 km in südwestlicher Richtung vom Standort der Konverterstation entfernt. Im Süden des Baufeldes bzw. von der geplanten Anlage befinden sich eine Bahnstrecke und Wohnbebauungen (vgl. [2]).

2.2 Vorgehen

Die maßgebliche Quelle für Erschütterungsemissionen stellen durch den Geräteeinsatz die Bauarbeiten zur Herstellung Konverterstation dar. Zur Beurteilung der baubedingten Erschütterungen werden Erschütterungsimmissionen, die durch die Baustellenerschütterungen, die beim Neubau der Konverterstation 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 [5] und -3 [6] ist vorgesehen:

- Prognose der Erschütterungsimmissionen durch die zum Einsatz kommenden Baumaschinen und Bauverfahren.
- 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 [5] und -3 [6] (d. h. keine Auslegung konkreter Maßnahmen, sondern in Anlehnung an die DIN 4150-2 [5] Absatz 6.5.4.3 (Maßnahmen zur Minderung erheblicher Belästigungen) und DIN 4150-3 [6], Anhang E.1.5).

Prinzipielle Maßnahmen im Sinne der DIN 4150-2 [5] 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 [6] 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.

2.3 Bauverfahren

Die Baumaßnahme gliedert sich in zwei Bauphasen:

In der ersten Bauphase sind folgende Bauarbeiten geplant, entsprechend [2]:

- Einrichtung der Baustelle
- Erstellung von Baustraßen und Bauzaun
- Schottern des Baufeldes
- Auffüllen und Schottern der Lagerfläche
- Aushub und Entsorgung nicht tragfähiger Bodenschichten

In der Hauptbauphase (zweite Bauphase) sind folgende Bauarbeiten geplant, entsprechend [2]:

Fundamente für die Konverterhalle sowie das Betriebsgebäude:

- Betonierarbeiten der Bodenplatte anschließend Stahlbau Konverterhalle, Dach- und Fassadenarbeiten
- Stellen der Stahlbetonfertigbauteile für Betriebsgebäude, sowie Betonierarbeiten für die Wände und Zwischendecken
- Fundamentarbeiten für Trafofundament / Kühlerfundament und Außenfundamente
- Erstellung von Straßen und Außenanlagen

Daraus ergeben sich folgende erschütterungsrelevante Bauverfahren:

- Verdichtungsarbeiten
- LKW-Verkehr

Grundsätzlich ist geplant, die Bautätigkeiten in der Tageszeit nach AVV-Baulärm [10] (07:00 bis 20:00 Uhr) durchzuführen.

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 [7] 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 [5] und der DIN 4150), Teil 3 (Einwirkung auf bauliche Anlagen) [6].

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 [3] als gleitender Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals (Zeitbewertung 0.125 sec, „FAST“) definiert.

Die Beurteilung erfolgt nach DIN 4150 Teil 2 [5] 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_{Fmax} und Vergleich mit den Anhaltswerten A_u und A_o nach Tabelle 1:

- Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert A_u , dann ist die Anforderung dieser Norm eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der (obere) Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung nicht eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als A_u , aber kleiner, höchstens gleich A_o , gilt die Anforderung dieser Norm dann als eingehalten, wenn die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} 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 [5] (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 [7]. 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 [5] und LAI-Hinweise, Abschnitt 5.2 [7]. 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 [5]. 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 [5] für A_u oder A_r liegen, nicht mitzuzählen.

Tabelle 2: Anhaltswerte nach DIN 4150-2 Tabelle 2 [5] für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen.

Dauer	$D < = 1 \text{ Tag}$			6 Tage < $D < = 26 \text{ Tage}$			26 Tage < $D < = 78 \text{ Tage}$		
	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 [5] 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 [5] (Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden), siehe Abschnitt 3.1.1, wird bei der Beurteilung nach DIN 4150-3 [6] nicht zwischen Bauerschütterungen und Erschütterungen aus anderen Quellen unterschieden, vgl. LAI-Hinweise, Abschnitt 5.1 [7].

Für kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen (z. B. Freibär) geltende Anhaltswerte sind in Tabelle 3 aufgeführt. Entsprechend der DIN 4150-3 [6] 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 Erschütterungs-empfindlichkeit 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 [6].

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 Erschütterungs-empfindlichkeit 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 [6] 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. Verdichten) überwiegend tagsüber stattfinden, werden die prognostizierten Erschütterungen für den Tagzeitraum bewertet und die nach DIN 4150-2 [5] 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 [6] 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 [6] 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 [5] eingehalten werden können.

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

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 [6] 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 [9] liefern, die Anforderungen an Innenraumpegel für verschiedene Gebäudenutzungen bei von außen eindringenden Geräuschen benennt.

Nach Tabelle 6 der VDI-Richtlinie 2719 [9] 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 [9].

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		30 – 40	40 – 50
	Büros für mehrere Personen		35 – 45	45 – 55
	Großraumbüros, Gaststätten, Schalterräume, Läden		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 einzuhaltenden Innenraumpegel auf die Mindestanforderung der VDI Richtlinie 2719 [9] abzustellen. Es ergeben sich damit folgende Anforderungen für den sekundären Luftschall:

$$\text{tags } (L_m/L_{max}): \quad 40/50 \text{ dB(A)}$$

Bei kurzzeitigen Geräuschspitzen, die insgesamt auch nicht häufig auftreten, können dann während der Tagzeit analog der Vorgehensweise der AVV Baulärm [10] 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 [12] 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 [12]. Wenn weitere Baumaßnahmen angesetzt werden, müssen diese ebenfalls erschütterungstechnisch bewertet 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 [4] 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. 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 Verdichtungsarbeiten

4.1.1 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 [12] 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:

$$v_F = 10,87 \cdot \frac{\sqrt{G}}{r} \quad (2)$$

Dabei ist:

G = Gewicht der Vibrationsplatte bzw. -walze in t

r = Abstand zur nächsten Bebauung in m

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 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 6.

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 [7].

4.1.3 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 [12] berechnet worden sind, sind in Tabelle 7 und Tabelle 8 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 Einwirkungsdauer wurde mit bis zu 26 Tage angenommen. Die maximale Betriebsdauer für den Tagzeitraum beträgt 16 h, entsprechend DIN 4150-2.

Tabelle 7: 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	bis 26 Tage	0,2/ 1,0/ 2,7	0,0/ 0,0/ 0,0
50	bis 26 Tage	1,7/ 4,6/ 16	0,2/ 0,7/ 2,0
100	bis 26 Tage	10,6/ 16/ 16	0,7/ 2,8/ 7,9
200	bis 26 Tage	16/ 16/ 16	2,8/ 11,3/ 16
500	bis 26 Tage	16/ 16/ 16	16/ 16/ 16

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

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

4.1.4 Zusammenfassende Beurteilung der Verdichtungsarbeiten

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

- Bereich 1: Alle Anhaltswerte der DIN 4150-2 [5] und -3 [6] 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 9: Kritische Abstände zwischen Verdichtungsarbeiten und nächstgelegenen Immissionsort, Massivbau.

Bereich	Abstand a in m ²	
	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 10: 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.

4.2 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.

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

5 Fallbezogene Beurteilung von Gebäuden innerhalb der Einwirkungsbereiche nach Abschnitt 4

5.1 Allgemeines – baubedingte Erschütterungen

1. Die Vorhabenträgerin 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 (Immissionschutzbeauftragten) 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 D3b 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. Hierzu werden nachfolgend für die betroffenen Gebäude (siehe Tabelle 11) entsprechende Maßnahmen definiert.

Bezüglich der Zumutbarkeit der Erschütterungsbelastung für den Menschen wird im vorliegenden Fall die Einhaltung der DIN 4150-2 [5] 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 potenziellen erschütterungstechnischen Einwirkungsbereiches liegen, werden in Tabelle 11 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 [5] und -3 [6] vorzubeugen.

In Tabelle 11 werden die Gebäude zusammengefasst, welche nach aktuellem Stand der Planung im Einwirkungsbereich der Baumaßnahmen zur Konverterstation ISAR liegen. Die Gebäude werden im Folgenden als Immissionsorte bezeichnet, deren Bezeichnung sich am Schallgutachten [2] orientiert. Gebäudeschäden nach DIN 4150-3 müssen für keinen der in Tabelle 11 genannten Immissionsorte angenommen werden. In Abbildung 1 sind die kritischen Abstandsbereiche dargestellt. In Orange ($a < 250$ m) ist der Abstandsbereich markiert, für den bei Vorliegen von Holzbalkendecken eine Überschreitung nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe II im Rahmen von Verdichtungsarbeiten nicht ausgeschlossen werden kann. In Rot ($a < 170$ m) ist der Abstandsbereich markiert, für den auch für Betondecken eine Überschreitung nach DIN 4150-2, Tabelle 2 Stufe II im Rahmen von Verdichtungsarbeiten nicht ausgeschlossen werden kann. Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, liegt der rote Abstandsbereich nur geringfügig im Einflussbereich des Baufelds der Konverterstation. Nach Möglichkeit ist in den kritischen Abstandsbereichen auf kleineres Verdichtungsgerät (0,5 to bis 3 to) auszuweichen. Alternativ müssen die Verdichtungsarbeiten mit schwerer Vibrationswalze (7,5 to) entsprechend Tabelle 12 zeitlich begrenzt werden. Sind die genannten Maßnahmen nicht umsetzbar, müssen die Verdichtungsarbeiten im Rahmen eines Erschütterungsmonitorings überwacht werden oder Sonderregelungen zur Kompensation von unzumutbaren Erschütterungseinwirkungen mit den Nutzern/Eigentümern der Gebäude abgestimmt werden.

Tabelle 11: Betrachtete Immissionsorte.

Immissionsort	Adresse	Gemeinde	Gemarkung	Flurst.-Nr.	Betroffenheit
IO 1	Mettenbacher Str. 8	84100, Niederaichbach	Niederaichbach	1289	ja
IO 2	Landstraße 33	84100, Niederaichbach	Niederaichbach	1005/4	ja
IO 2-2	Landstraße 35	84100, Niederaichbach	Niederaichbach	1005/2	ja
IO 3	Landstraße 37	84100, Niederaichbach	Niederaichbach	1002	ja
IO 3-2	Landstraße 39	84100, Niederaichbach	Niederaichbach	1001	ja
IO 3-3	Landstraße 39a	84100, Niederaichbach	Niederaichbach	1001/1	ja
IO 4	Landstraße 43b	84100, Niederaichbach	Niederaichbach	929	ja
IO4-2	Landstraße 43	84100, Niederaichbach	Niederaichbach	929	nein
IO4-3	Landstraße 43a	84100, Niederaichbach	Niederaichbach	929	nein
IO4-4	Landstraße 45	84100, Niederaichbach	Niederaichbach	931	nein
IO5	Im Moos 3	84100, Niederaichbach	Niederaichbach	932	nein
IO5-2	Im Moos 5	84100, Niederaichbach	Niederaichbach	931/5	nein
IO5-3	Im Moos 7	84100, Niederaichbach	Niederaichbach	931/6	nein

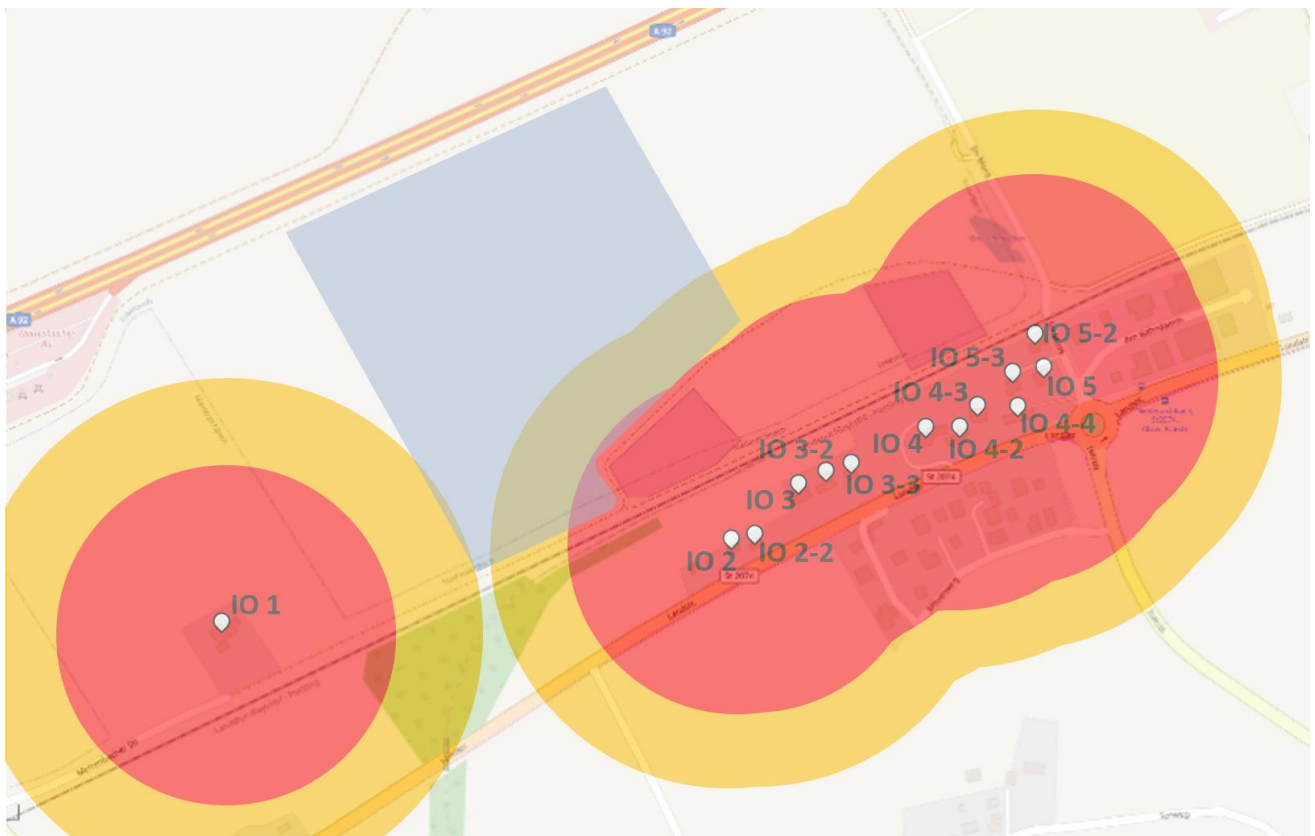


Abbildung 1: Immissionsorte mit kritischen Abstandsbereichen für Verdichtungsarbeiten mit schwerer Vibrationswalze (7,5 to). Orange: Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 für Holzbalkendecken. Rot: Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 für Beton- und Holzbalkendecken. Blau: Bau- und Konverterstation nach [15]. (Copyright: openstreetmaps.de).

Tabelle 12: Arbeitszeit in h in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Immissionsort und Verdichtungsarbeiten mit schwerer Vibrationswalze (7,5 to).

Abstand in m	Arbeitszeit in h für Betondecken	Arbeitszeit in h für Holzbalkendecken
150	7	3
160	7,5	3,5
170	>8	4
185	>8	4,5
200	>8	5
210	>8	5,5
215	>8	6
225	>8	6,5
230	>8	7
240	>8	7,5
250	>8	>8

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 D3b.
- [2] SuedOstLink- BBPIG Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a - „Planfeststellungsverfahren SOL“ Unterlagengemäß § 21 NABEG Abschnitt D3b: Konverterbereich ISAR: Schalltechnisches Gutachten – Baulärm, M. Jüttner – Siemens Energy, 12.07.2022.
- [3] DIN 45669-1: Messung von Schwingungsimmissionen. Teil 1: Schwingungsmesser; Anforderungen, Prüfung. Juni 2020.
- [4] DIN 4150 Teil 1: Erschütterungen im Bauwesen; Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juli 2001.
- [5] DIN 4150 Teil 2: Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Juni 1999.
- [6] DIN 4150 Teil 3: Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen. Dezember 2016.
- [7] 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)
- [8] VDI-Richtlinie 2057, Blatt 3; Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Beurteilung; Mai 1987 (zurückgezogen September 2002).
- [9] VDI-Richtlinie 2719: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen. August 1987.
- [10] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – vom 19.08.1970.
- [11] 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).
- [12] Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten: Grundlagen – Messergebnisse – Prognosen, M. Achmus, J. Kaiser, F. tom Wörden, Bericht 20, 2004.
- [13] Erschütterungsuntersuchungen bei Baumaßnahmen, GGU-Fallbeispiel; GGU Gesellschaft für Geophysikalische Untersuchungen mbH, 1995.
- [14] Erschütterungsmessungen bei Feldversuch mit Brecher, Müller BBM-Bericht, Mai 2009.
- [15] SOL §21 Anlage N1 – 17.1.5 Baustelleneinrichtungsplan, Siemens Energy, 18.04.2023.

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
ca.	circa
D3b	Abschnitt D3b
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
DIN EN	Standard für Vereinheitlichung (Deutsches Institut für Normung)
Dok.	Dokument

Abkürzung	Beschreibung
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
k	Beiwert, empirisch ermittelt
Kap.	Kapitel
KAS	Kabelabschnittsstation
$KB_F(t)$	bewertete Schwingstärke
KB_{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke
KB_{FTr}	Beurteilungsschwingstärke
KB_{FTm}	Taktmaximal-Effektivwert

Abkürzung	Beschreibung
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
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
P	Probability of exidence / Überschreitungswahrscheinlichkeit
PF	Planfeststellung
PFA	Planfeststellungsabschnitt
PFV	Planfeststellungsverfahren

Abkürzung	Beschreibung
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
vi	Schwinggeschwindigkeit in mm/s
VO	Verordnung
V_{Res}	Ersatzresultierende aus den drei Maximalwerten der Schwinggeschwindigkeiten (x, y, z)

Abkürzung	Beschreibung
v_{\max}	Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit
v_F	Schwinggeschwindigkeit am Gebäudefundament
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
zzgl.	zuzüglich