

Erläuterungsbericht (nachrichtlich)

Erschütterungstechnische Untersuchung

Bauerschütterungen

0	Ausgangsverfahren: Antragsfassung	04.12.2020			
Index	Änderungen bzw. Ergänzungen	Planungsstand			
<p>Vorhabenträgerin:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; border: none; vertical-align: top;"> <p>DB Netz AG Regionalbereich Süd Landshuter Allee 4 80637 München</p> </td> <td style="width: 33%; border: none; vertical-align: top;"> <p>DB Station&Service AG Bahnhofsmanagement Goethestraße 10a 80335 München</p> </td> <td style="width: 33%; border: none; vertical-align: top;"> <p>DB Energie GmbH Energieversorgung Süd Richelstraße 3 80634 München</p> </td> </tr> </table>			<p>DB Netz AG Regionalbereich Süd Landshuter Allee 4 80637 München</p>	<p>DB Station&Service AG Bahnhofsmanagement Goethestraße 10a 80335 München</p>	<p>DB Energie GmbH Energieversorgung Süd Richelstraße 3 80634 München</p>
<p>DB Netz AG Regionalbereich Süd Landshuter Allee 4 80637 München</p>	<p>DB Station&Service AG Bahnhofsmanagement Goethestraße 10a 80335 München</p>	<p>DB Energie GmbH Energieversorgung Süd Richelstraße 3 80634 München</p>			
<p>Vertreter der Vorhabenträgerin:</p> <p>DB Netz AG Großprojekt 2. S-Bahn- Stammstrecke München Arnulfstraße 25-27 80335 München</p>		<p>Verfasser:</p> <p>Ingenieurgemeinschaft SSF-ILF-VI-Sweco-BPR-A4d Möhler + Partner Ingenieure AG Landaubogen 10 81373 München</p>			
Datum	Unterschrift	Datum			
<p>Genehmigungsvermerk Eisenbahn-Bundesamt</p>					

Erschütterungstechnische Untersuchung

2. S-Bahn-Stammstrecke München

Baubedingte Erschütterungsimmissionen

PFA 3 Ost

Bericht Nr. 710-5666-ER-Bau

im Auftrag der

DB Netz AG

80335 München

München, im Juni 2021

Erschütterungstechnische Untersuchung

2. S-Bahn-Stammstrecke München
Baubedingte Erschütterungsimmissionen
PFA 3 Ost

Bericht-Nr.: 710-5666-ER-Bau

Datum: 23.06.2021

Auftraggeber: DB Netz AG
Großprojekt 2. S-Bahn-Stammstrecke
Arnulfstraße 25-27
80335 München

Auftragnehmer: Möhler + Partner Ingenieure AG
Landaubogen 10
D-81373 München
T + 49 89 544 217 - 0
F + 49 89 544 217 - 99
www.mopa.de
info@mopa.de



Die Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025 gilt für den in der Urkundenanlage D-PL-19432-01-00 festgelegtem Umfang.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Christian Eulitz, M. Eng.
Dipl.-Ing. (FH) Alexander Mundschedel
Dipl.-Ing. Hans Högg
Maximilian Mühlbacher, B. Eng.
Paul Zobel, M. Sc.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	14
1. Angaben zum Auftrag.....	16
1.1 Projektbeschreibung.....	16
1.2 Aufgabenstellung.....	16
2. Örtliche Gegebenheiten	17
3. Grundlagen.....	18
3.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden.....	18
3.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen.....	22
3.3 Einwirkungen auf Einbauten und Geräte.....	25
3.4 Einwirkungen durch Sekundärluftschall.....	26
4. Erschütterungsemissionen.....	27
4.1 Baubetrieb	27
4.2 Emissionsansätze	27
5. Prognosemodell.....	31
5.1 Emission.....	31
5.2 Transmission.....	31
5.3 Immission.....	32
6. Erschütterungsimmissionen und Beurteilung.....	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abnahmefunktionen der Erschütterungsemission; Vibrationsramme (SWR), Bohrfahlgerät (BG 28), Meißelabbruch und Tunnelvortriebsmaschine (TVM).29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen nach DIN 4150-2, Tabelle 2.....	21
Tabelle 2: Anhaltswerte A für Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen nach DIN 4150-2, Tabelle 1	22
Tabelle 3: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ zur Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen auf Bauwerke	24
Tabelle 4: VC Linien in Anlehnung an die VDI 2038 [20]	25
Tabelle 5: Baubetriebszeiten	28
Tabelle 6: Einwirk- und Beurteilungszeiten.....	28
Tabelle 7: Gebäude mit den Eigenfrequenzen, Dämpfungen und Abstand zur Emission.....	34
Tabelle 8: Prognose der Erschütterungsimmissionen an den nächstgelegenen Gebäuden.....	35
Tabelle 9: Erschütterungsprognose zur Beurteilung nach DIN 4150-2, Tagzeitraum.....	37
Tabelle 10: Erschütterungsprognose zur Beurteilung nach DIN 4150-2, Nachtzeitraum	38

Grundlagenverzeichnis

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), in der aktuellen Fassung
- [2] Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG), in der aktuellen Fassung
- [3] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV), 05.02.1997
- [4] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO)
- [5] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – Vom 19. August 1970 [Bundesanzeiger Nr. 160 vom 1. September 1970]
- [6] Verfügung zu baubedingten Erschütterungen in der Planfeststellung, 51.20-51pv/001-0230#019, Eisenbahn-Bundesamt, 18.10.2017
- [7] Urteil des bay. VGH München, 20 A 93 40080 vom 21.02.1995
- [8] Urteil des BVerwG, 7 A 14.09, 7. Senat vom 21.10.2010
- [9] Digitale Geodaten: DGM5, ALKIS-Datensätze, 3D-Gebäudemodell, bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
- [10] Bebauungspläne der Landeshauptstadt München Nr. 1464, 1448, 1707, 1632, 917, 1486, 1367, 2061, 1562, 1822, <http://maps.muenchen.de/plan/bebauungsplan> (letzter Zugriff: 13.11.2020)
- [11] Digitaler Flächennutzungsplan der Landeshauptstadt München, online abrufbar unter <http://maps.muenchen.de/plan/flaechennutzungsplan> (letzter Zugriff: 13.11.2020)
- [12] DIN 4150-1, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- [13] DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [14] DIN 4150-3, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Dezember 2016
- [15] DIN 45669-1: Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1: Schwingungsmesser – Anforderungen und Prüfungen, September 2010
- [16] DIN 45669-2: Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren, Juni 2005

- [17] DIN 4109, Schallschutz im Hochbau, November 1989
- [18] Bautechnik, Leit-, Signal- und Telekommunikationstechnik, Grundlagen des Oberbaus, Erschütterungen und sekundärer Luftschall. DB AG – Richtlinien 820.2050 bzw. 820.2050A01 bis 820.2050A06, gültig ab 15.09.2017
- [19] VDI 2057 Blatt 3, Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen – Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen in Gebäuden, März 2017
- [20] VDI 2038 Blatt 2, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik – Schwingungen und Erschütterungen – Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung, Januar 2013
- [21] VDI 3837, Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen – Spektrales Prognoseverfahren, Januar 2013
- [22] VDI 2058 Blatt 3, Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten, August 2014
- [23] LAI-Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen, Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz, 06.03.2018
- [24] Taschenbuch der Technischen Akustik, 3., erweiterte und überarbeitete Auflage, G. Müller et. al., Springer Berlin 2004
- [25] Charakteristische Querschnitte, Querschnitt Bau-km 109,1+14, Planungsgemeinschaft 2. S-Bahn-Stammstrecke München, Stand: 12.10.2018
- [26] Baustelleneinrichtungs- und –erschließungspläne, Rettungsschacht 7 Strecke 5547, Bau-km 108,1+76, Stand: 28.10.2020
- [27] Baustelleneinrichtungs- und –erschließungspläne, Rettungsschacht 8 Strecke 5547, Bau-km 109,5+18, Stand: 14.10.2020
- [28] Baustelleneinrichtungs- und –erschließungspläne, Rettungsschacht 9 Strecke 5547, Bau-km 110,5+89, Stand: 04.10.2018
- [29] Grobablauf Baulärmgutachten181129_Grobablauf_Baulärmgutachten.xlsx, Planungsgemeinschaft 2. S-Bahn-Stammstrecke München, Stand 29.11.2018
- [30] Rahmenterminplan RTP_Bauablauf_Konzept_B_OBF_V4.7, Planungsgemeinschaft 2. S-Bahn-Stammstrecke München, Stand 16.10.2018
- [31] Schematischer Bauablaufplan, Planungsgemeinschaft 2. S-Bahn-Stammstrecke München, Stand 11.07.2018
- [32] VDI 2719, Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen, August 1987

- [33] O985 2.SBSS: Kollisionsprüfung 1.SBSS; Höhenplan 1.SBSS, rechtes und linkes Gleis, nicht überhöht; Querprofile & Lageplan Konfliktprüfung 1.SBSS; Stand 15.10.2018
- [34] Erläuterungsbericht Schalltechnische Untersuchung Baulärm, 2. S-Bahn-Stammstrecke München, Planfeststellung, PFA 3 Ost, Unterlage 15.1.5, Bericht Nr. 710-5666-SU-Bau vom 29.01.2021

Abkürzungsverzeichnis

A

aRz	außerhalb der Ruhezeiten
A	äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m ²
A	Außenbereich
A _i , A _w , A _r , A _o	Anhaltswerte nach DIN 4150-2
ABS	Ausbaustrecke
Abzw	Abzweigstelle
AT	Arbeitstage
AVV Baulärm	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm

B

BauNVO	Baunutzungsverordnung
BD	Betondecke
BE	Baustelleneinrichtung
Bf	Bahnhof
Bft	Bahnhofsteil
BG	Bohrgerät
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
16. BImSchV	16. Bundes-Immissionsschutzverordnung (Verkehrslärmschutzverordnung)
24. BImSchV	24. Bundes-Immissionsschutzverordnung (Verkehrswege-Schutzmaßnahmenverordnung)
BP	Bauphase
B-Plan	Bebauungsplan
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
BVWP	Bundesverkehrswegeplan

C

c	Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle [m/s]
C _F	Konstante für die Art der Erschütterungseinwirkungen
C _m	Faktor zur Ermittlung des KB _{Fmax} – Wertes aus dem KB _{Ftm} – Wert

D	
D	Korrektursummand in dB (zur Berücksichtigung der Raumnutzung)
dB	Dezibel (Schwingschnellepegel in dB mit der Bezugsschnelle 5E-8 m/s)
dB(A)	Dezibel (A bewerteter Schallpegel)
DB AG	Deutsche Bahn AG
DG	Dachgeschoss
DIN®	Verbandzeichen des Deutschen Instituts für Normung e.V.
dL	Weichenkorrekturspektrum
E	
η	Frequenzverhältnis Eigenfrequenz der Decke f_E zur Frequenz f
E	Korrektursummand in dB (der sich aus dem Spektrum des Außengeräusches und der Frequenzabhängigkeit der Schalldämmmaße von Fenstern ergibt)
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EG	Erdgeschoss
EN	Euro-Norm
EP	Emissionspunkt
EÜ	Eisenbahnüberführung
F	
f	Frequenz [Hz]
f_E	Eigenfrequenz [Hz]
f_0	Grenzfrequenz des Hochpasses des KB-Filters (5,6 Hz)
f_0	Abstimmfrequenz der jeweiligen Schutzmaßnahme
F	Zeitbewertung FAST ($\tau = 0,125$ s)
FSS	Frostschuttschicht
FNP	Flächennutzungsplan
FFT	Fast Fourier Transformation
G	
g	Erdbeschleunigung ($g = 9,81$ m/s ²)
G	Gewerbliche Nutzung (Nutzungsart) gemäß Flächennutzungsplan
GE	Gewerbegebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
GOK	Geländeoberkante
H	
HBD	Holzbalkendecke
Hbf	Hauptbahnhof
Hp	Haltepunkt
Hz	Hertz (Einheit der Frequenz)

I	
iRz	innerhalb der Ruhezeiten
IO	Immissionsort
IOE	Messort für Erschütterungen
ISO	International Organization for Standardization (Internationale Organisation für Normung)
J	
K	
km	Kilometer
$KB_f(t)$	bewertete Schwingstärke [/]
KB_{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke [/]
KB_{FTi}	Taktmaximal-Effektivwert eines Taktes ($T = 30$ s) [/]
KB_{FTm}	Taktmaximal-Effektivwert [/]
KB_{FTm1}	der Taktmaximal-Effektivwert außerhalb der Ruhezeit [/]
KB_{FTm2}	der Taktmaximal-Effektivwert während der Ruhezeit [/]
KB_{FTr}	Beurteilungs-Schwingstärke [/]
KG	Kellergeschoss
Krbw	Kreuzungsbauwerk
L	
l	Länge der Züge
l.d.B.	links der Bahn
lg	Dekadischer Logarithmus (Basis 10)
L_{AFmax}	Maximalpegel
$L_{l,Tag}$	Innengeräuschpegel Tag
$L_{l,Nacht}$	Innengeräuschpegel Nacht
$L_{m,T}$	Mittelungspegel Tag
$L_{m,N}$	Mittelungspegel Nacht
$L_{r,N}$	Beurteilungspegel für die Nacht in dB(A)
L_r	Beurteilungspegel
LHM	Landeshauptstadt München
M	
M	Mischnutzung (Nutzungsart) gemäß Flächennutzungsplan
MD	Dorfgebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
MI	Mischgebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
MK	Kerngebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
MLEU	München Leuchtenbergring
Mü	München

N	
n	Exponent in Abhängigkeit von der Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung
N	Anzahl der Takte
O	
OG	Obergeschoss
P	
Pbf	Personenbahnhof
PFA	Planfeststellungsabschnitt
PU	Personenunterführung
Q	
R	
r.d.B.	rechts der Bahn
$R'_{W,res}$	bewertetes Schalldämm-Maß
RS	Rettungsschacht
S	
s	Abstand
S_g	vom Raum aus gesehene Gesamtaußenfläche in m^2
SBSS	S-Bahn-Stammstrecke
1. SBSS	1. S-Bahn-Stammstrecke
2. SBSS	2. S-Bahn-Stammstrecke
Schall 03	Anlage 2 zur 16. BImSchV: Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege
SO	Schienenoberkante
SWR	Spundwandrütteln
T	
τ	Zeitkonstante der Zeitbewertung F (FAST)
T	Taktzeit (30 s)
T_{e1}	Einwirkungszeit außerhalb der Ruhezeiten [min]
T_{e2}	Einwirkungszeit während der Ruhezeiten [min]
T_r	Beurteilungszeit [Std.]
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
TBM	Tunnelbohrmaschine
TVM	Tunnelvortriebsmaschine
U	
UG	Untergeschoss

V	
v	Zuggeschwindigkeit gemäß Betriebsprogramm
v_0	arithmetisch mittlere gemessene Zuggeschwindigkeit
v_i	Schwinggeschwindigkeit [mm/s]
v_{eff}	Effektivwert der Schwingschnelle [mm/s]
v_{max}	Maximale Geschwindigkeit
V(f)	Übertragungsfunktion in Abhängigkeit von der Frequenz f
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz
W	
w	Wochen
W	Wohnnutzung (Nutzungsart) gemäß Flächennutzungsplan
WA	Allgemeines Wohngebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
WB	Besonders Wohngebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
WR	Reines Wohngebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
WT	Werktage
X	
Y	
Z	

Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung werden die baubedingten Erschütterungsimmissionen im Planfeststellungsabschnitt PFA 3 Ost der „2. S-Bahn-Stammstrecke München“ untersucht. Die Untersuchung kommt zu folgenden Ergebnissen:

- Die höchsten Schwingschnellen wurden mit $v = 0,50$ mm/s am Fundament und mit $v = 3,84$ mm/s an der obersten Geschossdecke der nächstgelegenen Gebäude während der Verbautätigkeiten im Bereich Bft Mü Leuchtenbergring und PU West prognostiziert. Damit werden die Anforderungen der DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 für die Einwirkung auf bauliche Anlagen eingehalten. Zur Dokumentation vorhandener Vorschädigungen und zur späteren Abwehr von Schadensersatzansprüchen sind gebäudetechnische Beweissicherungen an Gebäuden mit einem Abstand von weniger als 25 m von den untersuchten Einzelbaumaßnahmen erforderlich.
Eine Besonderheit stellt die PU Friedenstraße dar, die sich mit Teilen innerhalb eines Baufters des B-Plans Werksviertel befindet. In diesem Bereich kann es zu einer Überlagerung der Baumaßnahme mit angrenzender Bebauung kommen. Bei einer kraftschlüssigen Verbindung kommt es zu Körperschallbrücken, sodass in diesem Fall besondere Maßnahmen zur Überwachung der baubedingten Erschütterungen erforderlich sind.
- Die vorhandenen Schlitzwände des Tunnels der 1. S-Bahn-Stammstrecke (1. SBSS) werden durch die Fahrtunnel der 2. SBSS angeschnitten. Dabei wird in den unbewehrten Teil der Schlitzwände eingegriffen. Es erfolgt somit eine direkte Übertragung der Erschütterungen in das bestehende Tunnelbauwerk. Für das Bestandsbauwerk der 1. SBSS sind daher eine bauwerkstechnische Beweissicherung (Vorschäden) und ein Erschütterungsmonitoring am bestehenden Tunnelbauwerk vorzusehen.
- Bei den Erschütterungseinwirkungen auf Menschen kommt die Prognoseabschätzung zu dem Ergebnis, dass bei den Bautätigkeiten an der Station Hp Ostbahnhof (tief), am Rettungsschacht 9, an der Station Bft Mü Leuchtenbergring und am Kreuzungsbauwerk km 1,871 tagsüber während der Abbrucharbeiten und der Verbautätigkeiten/ Spundwandrütteln Überschreitungen der Anhaltswerte der Stufe II der DIN 4150-2 (Einwirkung auf Menschen) auftreten können. Im Nachtzeitraum sind bei den untersuchten Einzelbaumaßnahmen Überschreitungen der Anhaltswerte der Tabelle 1 der DIN 4150-2 zu erwarten. Aus diesem Grund sind erschütterungsintensive Bauarbeiten zur Nachtzeit (22.00 bis 06.00 Uhr) sowie an Sonn- und Feiertagen auf das betrieblich unumgängliche Maß zu beschränken und entsprechend zu überwachen.
- Während der unterirdischen Tunnelvortriebsarbeiten im Nachtzeitraum sind Überschreitungen der DIN 4150-2 in Gebäuden etwa von Bau-km 109,0 (Weißenburger Platz) bis Bau-km 109,37 (Orleansstraße) bei einer Korridorbreite bis zu 24 m beidseitig der Tunnelachsen nicht auszuschließen.
- Die Baumaßnahmen verursachen keine unlösbaren Konfliktsituationen. Im Rahmen der Bauausführungsplanung sowie anschließend in der Bauausführung sind erschütterungsmindernde Maßnahmen nach Nr. 6.5.4.3 der DIN 4150-2 auf Grundlage von Überwachung

und Beratung (Messstellen, Immissionsschutzbeauftragter) zu konkretisieren. Unter Berücksichtigung dieser Maßnahmen (z. B. baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen wie Pausen, Vermeidung von Arbeiten in sensiblen Zeiten, Anpassungen der Betriebsweise von erschütterungsintensiven Baumaschinen) sind keine schädlichen Umwelteinwirkungen durch Bauerschütterungen zu erwarten.

1. Angaben zum Auftrag

1.1 Projektbeschreibung

Der Planfeststellungsabschnitt PFA 3 Ost ist Teil des Gesamtprojekts „2. S-Bahn-Stammstrecke München“. Das Gesamtprojekt dient der Entlastung und Ertüchtigung der bestehenden S-Bahnstrecke und umfasst den Neubau einer zweigleisigen elektrifizierten S-Bahnstrecke zwischen den S-Bahnhöfen Laim und Leuchtenbergring. Des Weiteren umfasst das Projekt den Um- bzw. Neubau der bestehenden S-Bahnanlagen im Bahnhof Laim und im Ostbahnhof mit dem Bahnhofsteil Leuchtenbergring. Das Gesamtbauvorhaben beinhaltet drei neue unterirdische Stationen am Hauptbahnhof, am Marienhof und am Ostbahnhof (tief) sowie den Umbau bzw. die Erweiterung der Stationen Laim und Leuchtenbergring.

1.2 Aufgabenstellung

Der vorliegende Planfeststellungsabschnitt 3 Ost (im weiteren PFA 3 Ost) erstreckt sich von der Gemarkungsgrenze zwischen den Sektionen 2 und 9 am westlichen Isarufer bis zum Bahnhofsteil (Bft) Mü Leuchtenbergring. Er schließt im Westen an den Planfeststellungsabschnitt 2 an.

Der Neubau der 2. S-Bahn-Stammstrecke sowie der Um- und Neubau der S-Bahn-Anlagen umfasst mehrere Einzelbaumaßnahmen:

- Tunnelvortrieb
- Rettungsschacht 7
- Rettungsschacht 8
- Rettungsschacht 9
- Neubau Hp Ostbahnhof (tief)
- Umbau Bft Mü Leuchtenbergring
- Rückbau und Neubau der Gleisanlagen
- Rückbau und Neubau des Kreuzungsbauwerks (Strecke 5553, km 1,8171)
- Bereitstellungsfläche Hüllgraben

Gegenstand des vorliegenden Berichtes sind die auf die Bauarbeiten im PFA 3 Ost bezogenen erschütterungstechnischen Untersuchungen.

Die bauzeitlichen Erschütterungsimmissionen sind abzuschätzen und zu bewerten. Mit der Erstellung der erschütterungstechnischen Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure AG von der Vössing Ingenieurgesellschaft mbH am 20.12.2017 beauftragt.

2. Örtliche Gegebenheiten

Der Planfeststellungsabschnitt 3 Ost liegt innerhalb des Stadtgebietes der Landeshauptstadt München. Als 2. S-Bahn-Stammstrecke München wird die Strecke 5547 im gesamten Bereich neu erstellt. Diese verläuft im PFA 3 Ost vom Beginn des Planfeststellungsabschnitts bis zum Bft Mü Leuchtenbergring im Tunnel. Im PFA 3 Ost befinden sich zahlreiche weitere Strecken.

Die Bebauungssituation ist im Bereich vom Beginn des Planfeststellungsabschnitts bis etwa zur Berg-am-Laim-Straße durch dichte innerstädtische Bebauung gekennzeichnet. Die geschlossene Bebauung mit hauptsächlich Wohn- und Mischnutzung befindet sich vorwiegend in Wohn-, Misch- und Kerngebieten. Von der Berg-am-Laim-Straße bis zum Ende des Planfeststellungsabschnitts liegt vorwiegend offene Bebauung hauptsächlich mit gewerblicher oder Mischgebietsnutzung vor.

Alle Einzelbaumaßnahmen befinden sich in innerstädtischer Lage und damit in Nachbarschaft zu schutzbedürftigen Gebäuden. Die konkrete Schutzbedürftigkeit der Bebauung wurde aus vorhandenen rechtskräftigen Bebauungsplänen [10] übernommen. Sofern keine Bebauungspläne vorhanden waren, wurde die Schutzbedürftigkeit der betroffenen Gebiete unter Berücksichtigung des aktuellen Flächennutzungsplans der Landeshauptstadt München [11] eingestuft und im Rahmen von Ortsbesichtigungen verifiziert.

3. Grundlagen

Baustellen gelten nach § 3 Abs. 5 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes BImSchG [1] als nicht genehmigungsbedürftige Anlagen. Nach BImSchG [1] wird vom Betreiber gefordert, dass schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind und dass unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Nach § 74 Abs. 2 Satz 2 und 3 VwVfG [2] sind vorhabenbedingte nachteilige Wirkungen auf Rechte anderer grundsätzlich zu vermeiden. Zur Vermeidung sind Schutzvorkehrungen oder Schutzanlagen vorzusehen. Wenn solche Schutzmaßnahmen unverhältnismäßig oder mit dem Zweck des Vorhabens unvereinbar sind, hat der Betroffene Anspruch auf angemessene Entschädigung in Geld.

Es existieren zurzeit keine gesetzlichen Regelungen zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen auf Menschen bzw. auf bauliche Anlagen. In einschlägigen Sachverständigenäußerungen werden jedoch Beurteilungsmaßstäbe zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Erschütterungen beschrieben. Die Bewertung der Erheblichkeit von Belästigungen bzw. Nachteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne des BImSchG [1] ist daher anhand von Regelwerken sachverständiger Organisationen oder von einzelfallbezogenen Gutachten vorzunehmen, wobei die Normenreihen der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ ([12], [13], [14]) als antizipierte Sachverständigengutachten zur Konkretisierung des Begriffs der schädlichen Umwelteinwirkung herangezogen werden können.

Der Teil 1 der DIN 4150 [12] gibt eine Anleitung für die Vorermittlung von Erschütterungen und enthält Verfahren, Angaben und Hinweise, auf deren Grundlage die Werte von Erschütterungsgrößen vorausgesagt und beurteilt werden können.

Zweck der DIN 4150 Teil 2 [13] ist es insbesondere, Anforderungen und Anhaltswerte aufzuzeigen, bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden vermieden werden können.

Die DIN 4150 Teil 3 [14] legt ein Verfahren für die Ermittlung und Beurteilung der durch Erschütterungen verursachten Einwirkungen auf bauliche Anlagen fest. Sie gilt für Bauwerke, die nicht nach spezifischen Normen und Richtlinien für dynamische Einwirkungen auszulegen sind. Insbesondere finden sich hierin Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Bauwerken nicht zu erwarten sind.

3.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen auf Menschen in Gebäuden erfolgt nach der DIN 4150, Teil 2. Bei der Einhaltung der entsprechenden Anhaltswerte ist in der Regel zu erwarten, dass erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden vermieden werden.

3.1.1 Beurteilungsgrößen

Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden werden mittels der bewerteten Schwingstärke $KB_f(t)$ bewertet. Das $KB_f(t)$ -Signal ist das durch Frequenzbewertung und Normierung des unbewerteten Schnel-

lesignals entstandene Signal. Nach der DIN 4150-2 [13] ist das $KB_f(t)$ -Signal als der gleitende Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals durch die Zeitbewertung FAST (0,125 s) definiert.

Hinsichtlich der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden nach DIN 4150, Teil 2 [13] werden zwei Beurteilungsgrößen gebildet:

- maximale bewertete Schwingstärke KB_{fmax}

Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{fmax} ist der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_f(t)$, der während der jeweiligen Beurteilungszeit (einmalig oder wiederholt) auftritt und der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist.

- Beurteilungs-Schwingstärke KB_{fTr}

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{fTr} berücksichtigt die Dauer und die Häufigkeit des Auftretens von Erschütterungen. Hinsichtlich der Dauer der Erschütterungsereignisse werden jeweils 30-s-Takte (Taktmaximalwertverfahren) gebildet.

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{fTr} errechnet sich unter Berücksichtigung der Einwirkungszeiten nach Gleichung (5) der DIN 4150-2 [13] mit folgender Formel:

$$KB_{fTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r} (T_{e1} \cdot KB_{fTm1}^2 + 2T_{e2} \cdot KB_{fTm2}^2)}$$

Dabei ist:

T_r	die Beurteilungszeit
T_{e1}	die Einwirkungszeit außerhalb der Ruhezeiten
T_{e2}	die Einwirkungszeit während der Ruhezeiten
KB_{fTm1}	der Taktmaximal-Effektivwert außerhalb der Ruhezeit
KB_{fTm2}	der Taktmaximal-Effektivwert während der Ruhezeit

Bei der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen gelten nach DIN 4150-2 folgende Besonderheiten:

Erschütterungseinwirkungen während der Ruhezeiten führen in Wohnungen zu erhöhten Störwirkungen. Bei der Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{fTr} wird dies dadurch berücksichtigt, dass diese Zeiten mit dem Faktor 2 gewichtet werden. Entsprechend DIN 4150-2 werden innerhalb der Beurteilungszeit tags folgende Ruhezeiten definiert:

- werktags von 6.00 bis 7.00 Uhr und von 19.00 bis 22.00 Uhr
- sonn- und feiertags von 6.00 bis 22.00 Uhr

Der Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} wird aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte KB_{FTi} nach Gleichung (3) der DIN 4150-2¹ [13] mit folgender Formel ermittelt:

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2}$$

Dabei ist:

N die Anzahl der Takte

KB_{FTi} Taktmaximalwert

Der Taktmaximalwert KB_{FTi} beschreibt den in jedem Takt i ($T = 30$ s) erreichten Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_{\tau}(t)$, wobei als Zeitkonstante τ die Zeitbewertung F ($\tau = 0,125$ s) verwendet wird.

3.1.2 Beurteilungsverfahren

Das Beurteilungsverfahren unterscheidet zwischen selten auftretenden kurzzeitigen bzw. häufigen Einwirkungen. Entsprechend Punkt 6.5.1 der DIN 4150-2 sind bis zu drei Ereignisse je Tag als selten einzustufen. Aufgrund der Erregerquellen beim Baubetrieb ist im vorliegenden Fall grundsätzlich von häufigen Einwirkungen auszugehen.

Die Beurteilung nach DIN 4150-2 erfolgt für häufige Einwirkungen nach folgender Vorgehensweise:

- Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert A_u , dann sind die Anforderungen der Norm eingehalten.
- Ist der KB_{Fmax} größer als der (obere) Anhaltswert A_o , dann sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der untere Anhaltswert A_u und kleiner als der obere Anhaltswert A_o , gilt die Anforderung der Norm als eingehalten, wenn der $KB_{F\tau}$ kleiner oder gleich dem Anhaltswert A_r ist. Ist der $KB_{F\tau}$ größer als der Anhaltswert A_r , gilt die Anforderung der Norm als nicht eingehalten.

Das beschriebene Verfahren ist dabei grundsätzlich bei allen Arten von Erschütterungseinwirkungen anzuwenden, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Anhaltswerte nicht schematisch anzuwenden sind und eine Beurteilung im Einzelfall zu erfolgen hat. Dabei ist im Einzelfall zu prüfen, ob die entsprechenden Werte aufgrund von Art, Ausmaß und Dauer der Erschütterungseinwirkungen geeignet sind, deren Erheblichkeit und Zumutbarkeit sachgerecht zu beurteilen.

¹Bei der Berechnung der Taktmaximal-Effektivwerte KB_{FTm} werden Werte $KB_{FTi} \leq 0,1$ mit dem Wert 0 angesetzt. Die mit Null belegten Takte gehen jedoch auch in die Anzahl N ein.

3.1.3 Anhaltswerte zur Beurteilung

Die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen durch baubedingte Erschütterungen wird in Kapitel 6.5.4 der DIN 4150-2 beschrieben.

Bei der Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden durch Baumaßnahmen sind tags (06:00 bis 22:00 Uhr) die durch den Baustellenbetrieb verursachten Erschütterungen nach den nachfolgend dargestellten Anhaltswerten der Tabelle 2 in der DIN 4150-2 [13] gebietsunabhängig zu bewerten (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen nach DIN 4150-2, Tabelle 2									
Dauer	$D \leq 1$ Tag			6 Tage < $D \leq 26$ Tage			26 Tage < $D \leq 78$ Tage		
Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anhaltswerte	A_U	$A_O^*)$	A_r	A_U	$A_O^*)$	A_r	A_U	$A_O^*)$	A_r
Stufe I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe II	1,2	5	0,8	0,8	5	0,6	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 $A_O=6$									

Die Stufen haben folgende Bedeutungen:

Stufe I: Untere Stufe, bei deren Unterschreitung auch ohne besondere Vorinformation nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist.

Stufe II: Mittlere Stufe, bei deren Unterschreitung ebenfalls noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist, falls die in Nr. 6.5.4.3 der DIN 4150-2 genannten Maßnahmen ergriffen werden. Ist zu erwarten, dass die Anhaltswerte der Stufe II überschritten werden, so ist zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren oder Verfahrensweisen möglich ist.

Stufe III: Obere Stufe, bei deren Überschreitung die Einwirkungen unzumutbar sind. Besondere Maßnahmen sind zu vereinbaren.

Unter der Dauer D der Erschütterungseinwirkung in der Tabelle 1 ist die Anzahl von Tagen zu verstehen, an denen tatsächlich Erschütterungseinwirkungen bezogen auf einen Immissionsort auftreten. Tage mit Erschütterungseinwirkungen, die unter diesen Anhaltswerten (siehe Tabelle 1) liegen, sind nicht mitzuzählen.

Liegt die Dauer der Erschütterungseinwirkungen im Zeitraum zwischen 2 und 6 Tagen, werden die Anhaltswerte entsprechend interpoliert.

Baubedingte Erschütterungen nachts (22:00 bis 06:00 Uhr) werden anhand der nachfolgend dargestellten Anhaltswerte nach Tabelle 1 der DIN 4150-2 [13] beurteilt (siehe Tabelle 2):

Tabelle 2: Anhaltswerte A für Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen nach DIN 4150-2, Tabelle 1							
Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	A _r
1	Industriegebiete	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Gewerbegebiete	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Misch-, Kerngebiete	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Allgemeine bzw. Reine Wohngebiete	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

Erschütterungseinwirkungen² mit einer Dauer über 78 Tage sind entsprechend Ziffer 5.2 der LAI-Hinweise [23] ebenfalls nach Tabelle 1 der DIN 4150-2 zu beurteilen.

3.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude erfolgt nach der DIN 4150, Teil 3 [14]. Dabei nennt die Norm Anhaltswerte, bei deren Einhaltung keine Gebäudeschäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes zu erwarten sind.

Eine Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden oder Gebäudeteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne dieser Norm ist z.B.:

- Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und Bauteilen
- Verminderung der Tragfähigkeit von Decken

Bei Wohngebäuden, in ihrer Nutzung gleichartigen Bauten oder besonders erschütterungsempfindlichen Gebäuden nach Tabelle 1, Zeilen 2 und 3 der DIN 4150, Teil 3 [14] (siehe auch nachfolgende Tabelle 3) ist eine Verminderung des Gebrauchswertes auch gegeben, wenn z.B.

- Risse im Putz von Wänden auftreten,
- bereits vorhandene Risse in Gebäuden vergrößert werden,
- Trenn- und Zwischenwände von tragenden Wänden oder Decken abreißen.

Diese Schäden werden auch als leichte Schäden bezeichnet.

² Akzeptorbezogene Häufigkeit

3.2.1 Beurteilungsgrößen

Einwirkungen auf bauliche Anlagen werden mittels der unbewerteten Schwinggeschwindigkeit v_i bewertet, wobei in Abhängigkeit von der Lage des Messortes innerhalb des Gebäudes bzw. der Dauer der Erschütterungen unterschiedliche Anhaltswerte in der DIN 4150, Teil 3 definiert sind. Beurteilungsgrößen sind:

- Maximalwert $v_{i,max}$ der drei Einzelkomponenten $i = x,y,z$ (kartesische Koordinaten) der Schwinggeschwindigkeit $v_i(t)$ am Fundament
- Maximalwert $v_{i,max}$ der beiden horizontalen Einzelkomponenten $i = x,y$ der Schwingungen in der Ebene der obersten Decke, die auf den Außenwänden aufliegt
- Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ der vertikalen Einzelkomponente $i = z$ in der Mitte von Gebäudedecken
- Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit v_i auf erdverlegten Leitungen

3.2.2 Beurteilungsverfahren

Das Beurteilungsverfahren unterscheidet zwischen kurzzeitigen Erschütterungen und Dauererschütterungen. Dabei werden als Dauererschütterungen jene Einwirkungen bezeichnet, bei denen die Definition von kurzzeitigen Erschütterungen nicht zutrifft. Erschütterungen gelten als kurzzeitig, wenn sie für jedes Ereignis höchstens wenige Sekunden andauern und keine Materialermüdungen oder Resonanzerscheinungen in den betroffenen Strukturen erzeugen. Werden beispielsweise Rammträger eingerüttelt, Pfahlwände gebohrt, Flächen verdichtet etc., ist vom Belastungsfall durch Dauererschütterungen auszugehen. Bei der Beurteilung nach der DIN 4150-3 [14] werden folglich die messtechnisch erfassten maximalen Schwinggeschwindigkeiten $v_{i,max}$ mit den jeweiligen Anhaltswerten für Dauererschütterungen verglichen.

3.2.3 Anhaltswerte zur Beurteilung

Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude und erdverlegte Leitungen (soweit nicht durch spezielle Anlagen und Einrichtungen in den Gebäuden höhere Anforderungen festgelegt werden müssen), die durch Bautätigkeiten, wie beispielsweise Spezialtiefbau (Spundwandrütteln, Bohrtätigkeiten usw.) verursacht werden, sind entsprechend den Anhaltswerten der DIN 4150-3 zu bewerten. Gemäß DIN 4150, Teil 3 sind folgende Anhaltswerte einzuhalten.

Tabelle 3: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ zur Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen auf Bauwerke								
Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte der Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ in mm/s						
		Kurzzeitige Erschütterungen					Dauererschütterungen	
		Fundament			Oberste Deckenebene			
					horizontal	vertikal	horizontal	vertikal
		1 – 10 Hz	10 – 50 Hz	50 – 100 Hz ^a	Alle Frequenzen			
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 - 40	40 - 50	40	20	10	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 - 15	15 - 20	15	20	5	10
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 ^b	2,5	10 ^b

ANMERKUNG: Auch bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 1, Spalten 2 bis 5 können leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden.

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

^b Unterabschnitte 5.1.2 bzw. 6.1.2 der DIN 4150-3 sind zu beachten (d.h. einzelfallabhängig)

3.3 Einwirkungen auf Einbauten und Geräte

Die Anhaltswerte der DIN 4150-Reihe gelten für die Einwirkung auf Menschen und bauliche Anlagen (Bauwerke). Für Erschütterungseinwirkungen auf hochschwingungssensible Geräte und Anlagen (z. B. im Forschungsbereich) gibt es die Anforderungen der VDI 2038-2 [20], die in nachfolgender Tabelle informativ dargestellt sind.

Tabelle 4: VC Linien in Anlehnung an die VDI 2038 [20]			
VC-Linien Anlehnung an die VDI 2038			
Kriterium	Terzschnelle (Effektivwert) [mm/s]	Frequenz	Anwendung
Menschliche Fühlschwelle	0,1	4...80 Hz	menschliche Fühlschwelle, für empfindliche Schlafbereiche, für Opernhäuser, Theater, für Mikroskope mit 100-facher Vergrößerung
VC-A	0,05	4...80 Hz	unter fast allen Umständen geeignet für optische Mikroskope mit bis zu 400-facher Vergrößerung
VC-B	0,025	1..80 Hz	ein geeigneter Standard für Inspektionsgeräte, allgemeine anspruchsvolle Labore, Lithografiegeräte (inklusive Stepper) bis zu 3 µm Strukturbreite
VC-C	0,0125	1..80 Hz	ein geeigneter Standard für Mikroskope mit bis zu 1000-facher Vergrößerung, ein guter Standard für die meisten Lithografie- und Inspektionsgeräte bis hinunter zu 1 µm Strukturbreite
VC-D	0,00625	1..80 Hz	unter fast allen Umständen passend für sehr hochwertige Elektronenmikroskope (REM, TEM), E-Beam-Systeme usw. Die bis an ihre Leistungsgrenze eingesetzt werden

Bei derartigen Anlagen werden in der Regel bereits immissionsseitig Schutz-/ Kompensationsmaßnahmen gegenüber allgemeinen Erschütterungsimmissionen (Nutzer, Straßenverkehr usw.) ausgeführt, so dass diese im Wohn- und Arbeitsumfeld der Münchner Innenstadt nicht absehbar relevant sind.

3.4 Einwirkungen durch Sekundärluftschall

Durch die baubedingten Erschütterungen kann es in der Nachbarschaft von Baumaßnahmen zu Bauwerksschwingungen und Körperschallübertragungen kommen, so dass Luftschall von Raumbegrenzungsflächen (Wände und vor allem Geschossdecken) innerhalb von Gebäuden abgestrahlt wird. Diese erschütterungsinduzierten tieffrequenten Schallimmissionen werden als sekundärer Luftschall bezeichnet. Für die Beurteilung dieser sekundären Luftschallabstrahlung durch baubedingte Erschütterungen existieren keine spezifischen Regelungen oder Festlegungen von Richt- oder Grenzwerten. Der Sekundärluftschall kann jedoch zu Lärmimmissionen innerhalb von Gebäuden führen und sich in Zusammenhang mit dem Primärluftschall, der direkt über die Außenbauteile in Gebäude dringt, als erheblich belästigend in den betroffenen Nachbargebäuden auswirken.

Die Ermittlung und Beurteilung von baubedingten Lärmimmissionen erfolgt nach der AVV Baulärm in der Fassung vom 19. August 1970 (Beil. Zum BAnz. Nr. 160, [5]). In Ziffer 6.3.1 der AVV Baulärm [5] ist der Ort der Messung und Beurteilung des Baulärms für die Einwirkung auf ein zum Aufenthalt von Menschen bestimmtes Gebäude 0,5 m vor dem geöffneten Fenster, das vom Geräusch am stärksten betroffen ist. Insofern existieren von Seiten des Gesetzgebers keine Regelungen, welche baubedingten Innenpegel in der Nachbarschaft noch zu tolerieren sind. Ein konkreter Immissionswert für die Baumaßnahme für Sekundärluftschall kann auf Grund der fehlenden gesetzlichen Regelungen nicht genannt werden.

Eine Prognose des Sekundärluftschalls von innerstädtischen Baustellen ist nicht zuverlässig möglich, weil anders als bspw. beim Sekundärluftschall des Bahnbetriebs neben den pauschalisierten Annahmen für Transmission und Immission beim Baubetrieb mit einer weiteren Vielzahl an Unbekannten gerechnet werden muss, zum Beispiel Lage, Zeitstruktur und Frequenzen der Emission, Überlagerung verschiedener Quellen, die Rückwirkung des Untergrundes auf die Bauverfahren (z.B. Rammungen).

4. Erschütterungsemissionen

4.1 Baubetrieb

Während der Durchführung der Baumaßnahmen ist mit folgenden erschütterungsrelevante Bautätigkeiten zu rechnen:

- Bau der Streckentunnel - unterirdische Tunnelvortriebsarbeiten: Tunnelbohrmaschine
- Bau des Erkundungs- und Rettungsstollens mit Querschlägen zu den Streckentunneln
- Abbrucharbeiten bestehender Bauwerke: Abbruch (Bagger mit Abbruchmeißel)
- Herstellung der Baugruben- bzw. Schachtumschließungen - Rettungsschächte 7 und 9, Hp Ostbahnhof (tief): Schlitzwandverbau
- Herstellung der Baugruben- bzw. Schachtumschließungen - Rettungsschacht 8, Hp Ostbahnhof (tief), Querung Berg-am-Laim-Straße/Tunnel offene Bauweise: Herstellung Bohrpfähle/Bohrpfahlwand (Großdrehbohrgerät)
- Herstellung der Baugrubensicherungen und -umschließungen - mehrere Einzelbaumaßnahmen: Spundwandverbau
- Verankerung der Baugruben- bzw. Schachtumschließungen und Baugrubensicherungen - mehrere Einzelbaumaßnahmen: Ankerbohrgerät
- Verdichtungsarbeiten - mehrere Einzelbaumaßnahmen: Vibrationsgeräte, wie schwere Rüttelplatte, Walzenzug/Grabenwalze

Nicht erschütterungsrelevant sind Bautätigkeiten von geringer Erschütterungsemission, wie z.B. Lkw-Verkehr, Ladevorgänge usw. oder Bautätigkeiten mit Abständen von mehr als 100 m (z.B. Gleisbau) zur Nachbarschaft.

4.2 Emissionsansätze

Signifikante Erschütterungen können bei Baumaßnahmen insbesondere z.B. beim Rütteln, Rammen und Ziehen von Spundbohlen, Profilträgern, dem Bohren von Pfahlwänden, Ankern und dergleichen sowie bei Verdichtungen (Walzen, Betonrütteln, usw.) auftreten. Die in das Erdreich übertragenen Erschütterungen hängen von einer Vielzahl von Parametern, wie z.B. den eingesetzten Baumaschinen, der in das Erdreich eingeleiteten Kräfte und deren Anregungsfrequenzen, den Untergrundbeschaffenheiten, der Bodenschichtung bzw. dessen Konsolidierungsgrad, Grundwasserständen und den Abmessungen des einzubringenden Körpers, etc., ab.

Bei der Baumaßnahme kommen unterschiedliche Bautätigkeiten zum Einsatz. Erfahrungsgemäß sind nur einige davon erschütterungstechnisch relevant. Die Einzelbaumaßnahmen sind voneinander eindeutig abgrenzbar und werden getrennt betrachtet. Die Baumaßnahmen werden werktags am Tag außerhalb (aRz) sowie innerhalb der Ruhezeiten (iRz) sowie zum Teil in der Nacht durchgeführt. Die

geplanten Baubetriebszeiten wurden der schalltechnischen Untersuchung (Unterlage 15.1.5) [34] entnommen. Folgende Tabelle zeigt Baubetriebszeiten in den jeweiligen Baubereichen.

Baubereich	Bauzeiten
Tunnelstrecke (Tunnelvortrieb/ Querschläge)	0-24 Uhr
RS 7	7-22 Uhr
RS 8	6-24 Uhr
RS 9	6-24 Uhr
Hp Ostbahnhof (tief)	
▶ Verbau Stationsbauwerk	6-24 Uhr
▶ PU West	0-24 Uhr
▶ PU Friedenstraße	7-20 Uhr
Bft Mü Leuchtenbergring	7-20 Uhr
Kreuzungsbauwerk	0-24 Uhr

Die Einwirkzeiten der Baumaßnahmen sind sehr unterschiedlich, sodass in nachfolgender Tabelle die maßgebenden Einwirkzeiten T_e und die Beurteilungszeiten T_r Tag/Nacht der jeweiligen Baubereiche gegenüber gestellt sind.

Baubereich	Beurteilungszeit T_r [h]		Einwirkzeit T_e [h]		
	Tag 6-22 Uhr	Nacht 22-6 Uhr	Tag aRz	Tag iRz	Nacht
Tunnelstrecke (Tunnelvortrieb/ Querschläge)	16	8	12	4	8
RS 7	16	8	12	3	-
RS 8	16	8	12	4	2
RS 9	16	8	12	4	2
Hp Ostbahnhof (tief)					
▶ Verbau Stationsbauwerk	16	8	12	4	2
▶ PU West	16	8	12	4	8
▶ PU Friedenstraße	16	8	12	1	-
Bft Mü Leuchtenbergring	16	8	12	1	-
Kreuzungsbauwerk	16	8	12	4	8

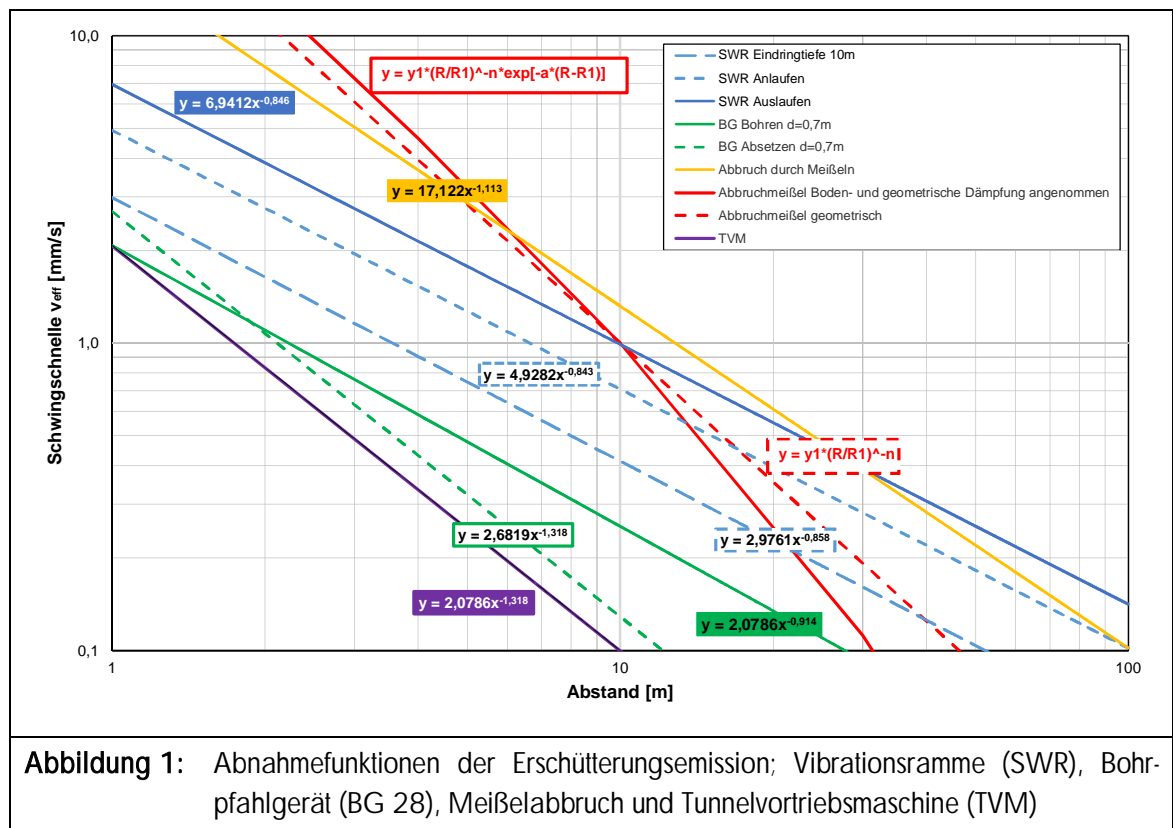
Für die baubedingten Erschütterungsemissionen wurden abstandsabhängige Standardwerte für einen Abbruchmeißel, für eine Vibrationsramme beim Einbringen von Spundwänden (Rüttelfrequenz 40 Hz) und einem Großbohrgerät bei Bohrpfahlarbeiten (Haupterregfrequenz 63 Hz) aus Messungen an Referenzbaustellen angesetzt. Für eine Tunnelbohrmaschine und eine Schlitzwandfräse werden die gleichen Erschütterungsemissionen wie beim Großdrehbohrgerät in Ansatz gebracht. Da der Bau der Streckentunnel unterhalb der Erdoberfläche verläuft, breiten sich die hierbei entstehenden unterirdischen Erschütterungen in Form von sog. Raumwellen aus. Nach DIN 4150-1 [12] erhöht sich bei gleicher Erschütterungsanregung bei Raumwellen gegenüber Oberflächenwellen der Exponent

der geometrischen Ausbreitung n um etwa 0,5 (siehe Kapitel 5.2). Diese stärkere Erschütterungsabnahme bei der Ausbreitung wird für die Tunnelbohrmaschine berücksichtigt.

Der Bau des Erkundungs- und Rettungsstollens ist wie die Streckentunnel in bergmännischer Bauweise geplant. Zusätzlich werden etwa alle 330 m Querschläge zu den Streckentunneln hergestellt. Zur Herstellung der Querschläge wird der Erkundungs- und Rettungsstollen aus Gründen der Standsicherheit zunächst in dem zu öffnenden Abschnitt mit Magerbeton gefüllt, der nach dem Einbringen der Querschläge mit einem Abbruchmeißel wieder entfernt wird. Die Erschütterungen der unterirdischen Meißelarbeiten sind ebenfalls zu beurteilen.

Bei den Ankerbohrungen, Verdichtungsarbeiten und Gleisstopfen sind erfahrungsgemäß keine höheren Emissionen zu erwarten. Zudem sind bei diesen Tätigkeiten Emissionsprognosen ungleich unsicher (Drehschlag-Verfahren; Anker in Auffüllungen, Maschinengröße und Arbeitsweise bei Verdichtungsgeräten).

Die vorherrschenden Erschütterungsemissionen werden insbesondere vom Einsatz des Abbruchmeißels, der Vibrationsramme und dem Bohrpfahlgerät verursacht. Diese stellen den höchsten Ansatz für Emissionen in rolligen Böden dar (Auffüllungen); bei Festgestein, kraftschlüssigen Verbindungen (Betonbrocken) oder Verbackungen können höhere Emissionen auftreten. Die zugehörigen Abnahmefunktionen über den Abstand werden mit der nachfolgenden Abbildung beschrieben.



Die Ausbreitung der Erschütterungen durch den unterirdischen Betrieb des Abbruchmeißels zur Entfernung des Magerbetons im Bereich der Querschläge des Erkundungs- und Rettungsstollens wurde

anhand der Zusammenhänge der DIN 4150-1 [12] unter Annahme einer Punktquelle mit impulsförmiger Anregung sowie einer Raumwelle ermittelt. Es wurde dabei zwischen rein geometrischer sowie geometrischer und zusätzlicher bodenspezifischer Abnahme im Erdreich unterschieden (siehe Abbildung 2). Es zeigt sich, dass bereits in einem Abstand von mehr als 25 m zum Arbeitsbereich der Querschläge die erwarteten Erschütterungsimmissionen unter 0,1 mm/s (Fühlbarkeitsschwelle) liegen. Aufgrund der Tiefe der Querschläge unter dem Gelände ist in diesem Einwirkungsbereich keine schutzwürdige Nutzung vorhanden. Deshalb ist der Bau der Querschläge aus Sicht des Erschütterungsschutzes unbedenklich und wird nachfolgend nicht weiter beurteilt.

5. Prognosemodell

Bei der Ausbreitung von Erschütterungen von der Quelle zum Einwirkungsort können die drei Teilbereiche Emission, Transmission und Immission unterschieden werden. In Anlehnung an diese Teilbereiche erfolgt die Prognose von Erschütterungen grundsätzlich gemäß folgender Gleichung [18]:

$$L_{v,Raum}(f) = L_E(f) + \Delta L_B(f) + \Delta L_G(f) + \Delta L_M(f)$$

mit:

$L_{v,Raum}(f)$	Terzschnellespektrum am betrachteten Immissionsort
$L_E(f)$	Terzschnellespektrum der Erschütterungen am Emissionsort
$\Delta L_B(f)$	baugrund- und abstandsbedingte Erschütterungsabnahme (Transmissionsweg)
$\Delta L_G(f)$	gebäudespezifische Übertragungsfunktion am Immissionsort
$\Delta L_M(f)$	Summe der Einfügedämmung schwingungsmindernder Maßnahmen

Die Prognoseformel entspricht auch den Empfehlungen der VDI 3837 [21]. Aufgrund der Prognoseunsicherheit und der zugänglichen Emissionsdaten erfolgt die Anwendung abweichend davon mit summen- und nicht frequenzabhängigen Schwingschnellewerten.

Aus den Effektivwerten der Schwingschnellen v_{eff} am Immissionsort können im Weiteren die relevanten Beurteilungsgrößen berechnet werden.

5.1 Emission

Bei baubedingten Erschütterungen können vor der Baumaßnahme grundsätzlich sog. „in situ“ Messungen (sog. Kalibrierversuche) durchgeführt werden bzw. es kann auf Angaben in der einschlägigen Literatur oder auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Die tatsächliche Höhe der Erschütterungsemissionen verschiedener Baugeräte hängt von einer Vielzahl von verschiedenen Parametern (Werkzeugzustand, Untergrundbeschaffenheit, eingesetztes Material, etc.) ab, weshalb im Rahmen von Literaturdaten nur pauschale Annahmen getroffen werden können. Die Einwirkdauer bzw. die Einwirkzeit von Erschütterungsemissionen ergeben sich aus dem Baubetriebsablauf.

5.2 Transmission

Die Erschütterungen werden auf ihrem Ausbreitungsweg zwischen Erschütterungsquelle und Einwirkungsort in Abhängigkeit von der Entfernung reduziert. Verantwortlich hierfür ist die Amplitudenabnahme auf Grund der Geometrie und der Materialdämpfung des Erdreichs.

Entsprechend der DIN 4150-1 [4] wird die Abnahme der Amplitude der Schwinggeschwindigkeit v näherungsweise durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\bar{v} = \bar{v}_1 \left(\frac{R}{R_1} \right)^{-n} \exp[-\alpha(R - R_1)]$$

mit:

\bar{v}	Amplitude der Schwinggeschwindigkeit, in mm/s
\bar{v}_1	Amplitude der Schwinggeschwindigkeit, in mm/s in der Entfernung R_1
R_1	Bezugsabstand, in m
R	Entfernung von der Quelle, in m
n	Exponent in Abhängigkeit von der Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung
α	Abklingkoeffizient, in m^{-1} , $\alpha = 2\pi D/\lambda$
D	Dämpfungsgrad
λ	maßgebende Wellenlänge, in m, $\lambda = c/f$
c	Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle, in m/s
f	Frequenz, in Hz

Durch Annahmen für die jeweiligen Parameter aufgrund der geologischen Untergrundverhältnisse kann die Pegelabnahme der Schwingungen im Ausbreitungsweg ermittelt bzw. abgeschätzt werden. Im Rahmen dieser Untersuchung erfolgten pauschale Annahmen.

5.3 Immission

Die Anregung des Gebäudes wird i. d. R. mit überhöhten Schwingschnellen auf den Geschossdecken beantwortet. Die durch Resonanz bei den Eigenfrequenzen der Decken auftretenden Vergrößerungsfaktoren hängen insbesondere auch vom zeitlichen Verlauf (harmonisch/stationär oder impulsförmig) der Schwingungen ab.

Im vorliegenden Fall wurde im Rahmen der Prognose für eine Betroffenheitsanalyse die immissionsseitige Übertragung der Erschütterungen im Gebäude mit dem Ersatzmodell eines Ein-Massenschwingers ermittelt:

$$V(f) = \frac{\sqrt{1 + 4 \cdot D^2 \cdot \eta^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + 4 \cdot D^2 \cdot \eta^2}}$$

mit:

$V(f)$	Übertragungsfunktion
η	f_E/f , Frequenzverhältnis Eigenfrequenz der Decke f_E zur Frequenz f ; hier 1 da die Überhöhung bei der Eigenfrequenz berechnet wird
D	Lehr'sches Dämpfungsmaß

Die Fundamentdämpfung bei der Schwingungseinleitung vom Erdreich in das Gebäude wurde mit dem Faktor 0,5 berücksichtigt; die tatsächliche frequenzabhängige Fundamentdämpfung ist impedanzabhängig und i.d.R. deutlich höher, sodass dieser Ansatz auf der sicheren Seite liegt.

6. Erschütterungsimmissionen und Beurteilung

Die erschütterungsrelevanten Bautätigkeiten werden getrennt voneinander bewertet, da sie zeitlich und räumlich voneinander getrennt auftreten. Um im Vorfeld der Maßnahme etwaige Betroffenheiten abzuschätzen, werden Annahmen zu den erwartenden Immissionen anhand eigener Erfahrungswerte aus Literaturangaben [24] herangezogen.

Wie bereits aufgeführt, kann zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht abgesehen werden, welche Geräte, Bauverfahren, Bauabläufe oder Maschineneinsatzzeiten letztendlich mit Abschluss des Vergabeverfahrens und der Auftragserteilung zur Anwendung kommen oder ob auch im Rahmen von z.B. Sondervorschlägen deutlich von den Grundlagen dieser Abschätzung abweichende Parameter zugrunde zu legen sind. Zudem sind die Höhen der durch die diversen Quellen entstehenden Erschütterungsemissionen sowie deren Weiterleitung im Erdreich stark (1.) von der Bauart und Masse der Maschinen und (2.) von den entsprechenden spezifischen geotechnischen Parametern abhängig. In Folge dessen wurde auf Basis der geplanten Bautätigkeiten eine maßgebende Bautätigkeit angesetzt und deren Erschütterungsemissionen für die Betroffenheitsanalyse abgeschätzt.

In nachfolgender Tabelle sind die angesetzten Eigenfrequenzen und Dämpfungen der nächstgelegenen Gebäude (Referenzwerte für die örtlichen Gegebenheiten) zusammen mit dem Abstand zu den relevanten Erschütterungsemissionen aufgelistet. Die tatsächlichen baulastdynamischen Parameter sind stark von der jeweiligen Bausubstanz und Baukonstruktion abhängig.

Tabelle 7: Gebäude mit den Eigenfrequenzen, Dämpfungen und Abstand zur Emission								
Baubereich	Decke	f [Hz]	D [/]	Minimaler Abstand zur Emission				
				E1 Abbruch [m]	E2 Verbau [m]	E3 Bohrpfahl [m]	E4 Schlitzwand [m]	E5 Tunnel [m]
Tunnelstrecke	BD	63,0	0,065	-	-	-	-	11
	HBD	12,5	0,130	-	-	-	-	11
RS 7	BD	63,0	0,065	-	-	-	63	-
RS 8	BD	63,0	0,065	-	-	23	-	-
RS 9	BD	63,0	0,065	48	25	18	38	-
	HBD	12,5	0,130	56	65	65	55	-
Hp Ostbahnhof (tief)								
Verbau Stationsbauwerk	BD	63,0	0,065	18	25	21	21	-
PU West	BD	63,0	0,065	20	20	-	-	-
PU Friedenstraße	BD	63,0	0,065	-	10	-	-	-
Bft Mü Leuchtenberggring	BD	63,0	0,065	70	10	-	-	-
Kreuzungsbauwerk	BD	63,0	0,065	26	26	-	-	-
Fett: Entfernung unter 25 m zu erschütterungsrelevanten Tätigkeiten E1 Abbruch: Abbruchmeißel: Abbrucharbeiten E2 Verbau: Vibrationsramme: Spundwände, Verbau E3 Bohrpfahl: Bohrpfahlgerät: Bohrpfahlwände E4 Schlitzwand: Schlitzwandfräse: Schlitzwände E5 Tunnel: Tunnelbohrmaschine: Tunnelvortrieb								

Aus diesem Abstand kann die Schwingschnelle ermittelt werden, die außen im Erdreich vor dem Gebäude ankommt. Die Prognosewerte sind somit worst-case-Werte für übliche Untergrundverhältnissen (ohne Festkörperübertragung) und typische Baumaschinen. Durch die innerstädtische Lage können Festkörper/ Körperschallübertragungen allerdings nicht ausgeschlossen werden. Die nachfolgenden Abschätzungen können deshalb nur orientierend verwendet werden und sollten mit Erschütterungsmessungen im tatsächlichen Baubetrieb überwacht werden. Die Ergebnisse der Erschütterungsprognose sind für die erschütterungsintensiven Bautätigkeiten aus der nachfolgenden Tabelle ersichtlich.

Tabelle 8: Prognose der Erschütterungsimmissionen an den nächstgelegenen Gebäuden

Baubereich	Decke	v am Fundament [mm/s]					v oberste Geschosshöhe [mm/s]				
		E1 Abbruch	E2 Verbau	E3 Bohrpfahl	E4 Schlitzwand	E5 Tunnel	E1 Abbruch	E2 Verbau	E3 Bohrpfahl	E4 Schlitzwand	E5 Tunnel
Tunnelstrecke	BD	-	-	-	-	0,04	-	-	-	-	0,34
	HBD	-	-	-	-	0,04	-	-	-	-	0,17
RS 7	BD	-	-	-	0,02	-	-	-	0,18	-	
RS 8	BD	-	-	0,06	-	-	-	-	0,46	-	
RS 9	BD	0,12	0,23	0,07	0,04	-	0,89	1,77	0,57	0,29	-
	HBD	0,10	0,10	0,02	0,03	-	0,39	0,40	0,09	0,11	-
Hp Ostbahnhof (tief)											
Verbau Stationsbauwerk	BD	0,34	0,23	0,06	0,06	-	2,66	1,77	0,50	0,50	-
PU West	BD	0,31	0,28	-	-	-	2,37	2,14	-	-	-
PU Friedenstraße	BD	-	0,50	-	-	-	-	3,84	-	-	-
Bft Mü Leuchtenberggring	BD	0,08	0,50	-	-	-	0,59	3,84	-	-	-
Kreuzungsbauwerk	BD	0,23	0,22	-	-	-	1,77	1,71	-	-	-
E1 Abbruch: Abbruchmeißel: Abbrucharbeiten E2 Verbau: Vibrationsramme: Spundwände, Verbau E3 Bohrpfahl: Bohrpfahlgerät: Bohrpfahlwände E4 Schlitzwand: Schlitzwandfräse: Schlitzwände E5 Tunnel: Tunnelbohrmaschine: Tunnelvortrieb											

Die Abschätzung von Art, Umfang und Dauer von potenziellen Betroffenheiten durch baubedingte Erschütterungsimmissionen beruht auf Annahmen zum voraussichtlichen Bauablauf. Unter Berücksichtigung der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 bzw. Teil 3 ist zu erwarten, dass die Bautätigkeiten sowohl zeitlich als auch räumlich begrenzte potenzielle Betroffenheiten auslösen können.

Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Die höchsten Schwingschnellen wurden mit $v = 0,50$ mm/s am Fundament und mit $v = 3,84$ mm/s an der obersten Geschossdecke ermittelt (bei den Verbautätigkeiten/ Spundwandrütteln, Baumaßnahme E2). Damit werden die Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 (siehe Tabelle 3) am Fundament und an der obersten Geschossdecke eingehalten. Zur Dokumentation vorhandener Vorschädigungen und zur späteren Abwehr von Schadensersatzansprüchen sind gebäudetechnische Beweissicherungen an Gebäuden mit einem Abstand von weniger als 25 m von der Baumaßnahme erforderlich.

Eine Besonderheit stellt die PU Friedenstraße dar, die sich mit Teilen innerhalb eines Baufensters des B-Plans Werksviertel befindet. In diesem Bereich kann es zu einer Überlagerung der Baumaßnahme mit angrenzender Bebauung kommen (derzeit sog. Eckhaus). Bei einer kraftschlüssigen Verbindung kommt es zu Körperschallbrücken, sodass in diesem Fall besondere Maßnahmen zur Überwachung der baubedingten Erschütterungen erforderlich sind.

Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Aus dem ermittelten v_{eff} wurden die relevanten Werte zur Beurteilung der erschütterungsbedingten Einwirkung auf Menschen in den Gebäuden abgeschätzt. Es wurden bei der Ermittlung der Beurteilungsschwingschnelle KB_{Tr} unterschiedliche Einwirkzeiten für den Tag sowie die Nacht angenommen (vgl. Tabelle 6). Der KB-Wert wurde aus $v_{i,\text{max}}$ nach der Abschätzformel der DIN 4150-2 ermittelt. Dabei wurde $v_{i,\text{max}} = \sqrt{2} * v_{\text{eff}}$ angesetzt. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle für den Tag angegeben.

Zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden im Tagzeitraum wurden die Anhaltswerte der Stufe II für eine Dauer größer 26 Tage der Tabelle 2 aus der DIN 4150-2 herangezogen ($A_r = 0,4$ vgl. Tabelle 1 in Kapitel 3.1.3). Da unter der Dauer der Erschütterungseinwirkungen i. S. der Norm die Anzahl der Tage mit tatsächlichen Erschütterungseinwirkungen am Immissionsort zu verstehen ist und nicht die Dauer der Baumaßnahme an sich, sind in der Bauausführung die Anhaltswerte in Abhängigkeit der tatsächlichen Erschütterungseinwirkungen maßgebend.

Tabelle 9: Erschütterungsprognose zur Beurteilung nach DIN 4150-2, Tagzeitraum																
Bau- be- reich	Decke	$KB_{r,max}, C_f=0,8$					$KB_{r,T} \text{ mit } T_e^*$					Überschreitung Anhaltswerte der Stufe II der Tabelle 2 der DIN 4150-2				
		E1 Abbruch	E2 Verbau	E3 Bohrpfahl	E4 Schlitz- wand	E5 Tunnel	E1 Abbruch	E2 Verbau	E3 Bohrpfahl	E4 Schlitz- wand	E5 Tunnel	E1 Abbruch	E2 Verbau	E3 Bohrpfahl	E4 Schlitz- wand	E5 Tunnel
Tunnel	BD	-	-	-	-	0,27	-	-	-	-	0,20	-	-	-	-	Nein
	HBD	-	-	-	-	0,12	-	-	-	-	0,08	-	-	-	-	Nein
RS 7	BD	-	-	-	0,14	-	-	-	-	0,10	-	-	-	-	Nein	-
RS 8	BD	-	-	0,37	-	-	-	-	0,27	-	-	-	-	Nein	-	-
RS 9	BD	0,71	1,41	0,45	0,23	-	0,53	1,05	0,34	0,17	-	Ja	Ja	Nein	Nein	-
	HBD	0,28	0,29	0,07	0,08	-	0,19	0,19	0,04	0,05	-	Nein	Nein	Nein	Nein	-
Hp Ostbf. (tief)																
Station	BD	2,12	1,41	0,40	0,40	-	1,58	1,05	0,30	0,30	-	Ja	Ja	Nein	Nein	-
PU W.	BD	1,89	1,71	-	-	-	1,41	1,27	-	-	-	Ja	Ja	-	-	-
PU Fr.	BD	-	3,06	-	-	-	-	1,91	-	-	-	-	Ja	-	-	-
MLEU	BD	0,47	3,06	-	-	-	0,29	1,91	-	-	-	Nein	Ja	-	-	-
Krbw	BD	1,41	1,36	-	-	-	1,05	1,02	-	-	-	Ja	Ja	-	-	-
E1 Abbruch: Abbruchmeißel: Abbrucharbeiten E2 Verbau: Vibrationsramme: Spundwände, Verbau E3 Bohrpfahl: Bohrpfahlgerät: Bohrpfahlwände E4 Schlitzwand: Schlitzwandfräse: Schlitzwände E5 Tunnel: Tunnelbohrmaschine: Tunnelvortrieb * Einwirkzeiten gem. Tabelle 6																

Zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden im Nachtzeitraum wurden die gebietsabhängigen Anhaltswerte der Tabelle 1 aus der DIN 4150-2 in Abhängigkeit des Schutzniveaus der maßgebenden Einwirkungsorte je Baubereich herangezogen (vgl. Tabelle 2 in Kapitel 3.1.3).

Tabelle 10: Erschütterungsprognose zur Beurteilung nach DIN 4150-2, Nachtzeitraum																			
Baubereich	Decke	Maßgebendes Schutzniveau	Anhaltswerte		KB _{max} , c _f =0,8					KB _{FF} mit T _e *					Überschreitung Anhaltswerte der Tabelle 1 der DIN 4150-2				
			A ₀	A	E1 Abbruch	E2 Verbau	E3 Bohrpfahl	E4 Schlitzwand	E5 Tunnel	E1 Abbruch	E2 Verbau	E3 Bohrpfahl	E4 Schlitzwand	E5 Tunnel	E1 Abbruch	E2 Verbau	E3 Bohrpfahl	E4 Schlitzwand	E5 Tunnel
Tunnel	BD	WA	0,2	0,05	-	-	-	-	0,27	-	-	-	-	0,18	-	-	-	-	Ja
	HBD	WA	0,2	0,05	-	-	-	-	0,12	-	-	-	-	0,07	-	-	-	-	Ja
RS 7	BD	MK	0,3	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RS 8	BD	MK	0,3	0,07	-	-	0,37	-	-	-	-	0,12	-	-	-	-	Ja	-	-
RS 9	BD	WA	0,2	0,05	0,71	1,41	0,45	0,23	-	0,24	0,47	0,15	0,08	-	Ja	Ja	Ja	Ja	-
	HBD	WA	0,2	0,05	0,28	0,29	0,07	0,08	-	0,08	0,09	0,02	0,02	-	Ja	Ja	Nein	Nein	-
Hp Ostbf. (tief)																			
Station	BD	MK	0,3	0,07	2,12	1,41	0,4	0,4	-	0,71	0,47	0,13	0,13	-	Ja	Ja	Ja	Ja	-
PU W.	BD	MK	0,3	0,07	1,89	1,71	-	-	-	1,26	1,14	-	-	-	Ja	Ja	-	-	-
PU Fr.	BD	MK	0,3	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MLEU	BD	MK	0,3	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Krbw	BD	GE	0,4	0,10	1,41	1,36	-	-	-	0,94	0,91	-	-	-	Ja	Ja	-	-	-

E1 Abbruch: Abbruchmeißel: Abbrucharbeiten
E2 Verbau: Vibrationsramme: Spundwände, Verbau
E3 Bohrpfahl: Bohrpfahlgerät: Bohrpfahlwände
E4 Schlitzwand: Schlitzwandfräse: Schlitzwände
E5 Tunnel: Tunnelbohrmaschine: Tunnelvortrieb
* Einwirkzeiten gem. Tabelle 6

Die Prognoseabschätzung kommt zu dem Ergebnis, dass bei den Bautätigkeiten an der Station Hp Ostbahnhof (tief), am Kreuzungsbauwerk km 1,871 und am RS 9 tagsüber während der Abbrucharbeiten (Baumaßnahme E1) und den Verbautätigkeiten/ Spundwandrütteln (Baumaßnahme E2) Überschreitungen der DIN 4150-2 (Einwirkung auf Menschen) auftreten können. An der PU Friedenstraße sowie an der Station Bft Mü Leuchtenberggring ist während der Baumaßnahme E2 tagsüber mit Überschreitungen der DIN 4150-2 zu rechnen.

Nachts können während der Tunnelvortriebsarbeiten (Baumaßnahme E5) Überschreitungen der DIN 4150-2 (Einwirkung auf Menschen) in Gebäuden bis zu einem Abstand von 24 m (Wohngebiete) zur Tunnelbohrmaschine auftreten. Aufgrund der Tiefenlage der Strecke können die nächtlichen Überschreitungen etwa von Bau-km 109,0 (Weißenburger Platz) bis Bau-km 109,37 (Orleansstraße) bei einer Korridorbreite bis zu 24 m beidseitig der Tunnelachsen auftreten.

Durch die nächtlichen oberirdischen Baumaßnahmen Schlitzwand (E4), Bohrpfahlwände (E3), Verbautätigkeiten (E2) und Abbruch (E1) sind Überschreitungen der DIN 4150-2 (Einwirkungen auf Menschen) im Bereich RS 8, RS 9, Hp Ostbahnhof (tief) und dem Kreuzungsbauwerk zu erwarten.

Die Maßnahmen nach Stufe II der DIN 4150-2, die bereits in den anderen Planfeststellungsabschnitten der 2. SBSS umgesetzt werden, sind auch für den vorliegenden Abschnitt erforderlich.

Zur Minderung der Belästigung möglicher betroffener Gebäude werden folgende Maßnahmen vorgesehen:

- a. umfassende Informationsweitergabe über Baumaßnahmen, Dauer, etc. an betroffene Anwohner
- b. Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahme
- c. Benennung einer Ansprechstelle, an die sich Betroffene wenden können
- d. Informationen über die Erschütterungswirkungen auf das Gebäude
- e. zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen (Pausen, Vermeidung von Arbeiten in sensiblen Zeiten, Anpassungen der Betriebsweise von erschütterungsintensiven Baumaschinen)

Im Rahmen einer immissionsschutzfachlichen Bauüberwachung in der späteren Bauausführung sind durch baubegleitende Erschütterungsmessungen die tatsächlich auftretenden Erschütterungseinwirkungen von erschütterungsrelevanten Bautätigkeiten zu überwachen. Fühlbare Erschütterungen können auch bei Einhaltung der Anhaltswerte unangenehm wahrgenommen werden und zu Beschwerden führen. Auf Grundlage der durchgeführten Prognoseberechnungen und in Verbindung mit Erfahrungen auf anderen Baustellen hat sich ein Umkreis von 50 m zu Erschütterungsquellen als zweckmäßig herausgestellt, in welchem Nachbarn rechtzeitig vor Baubeginn durch Informationen eingebunden werden sollen, um Konflikte zu vermeiden. Die Umsetzung der Maßnahmen zur Information der Betroffenen (Punkte a. b. und d.) ist für alle Gebäude in einem Umkreis von ca. 50 m um die erschütterungsrelevanten Baustellen erforderlich.

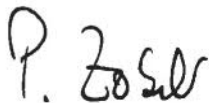
Kollisionsprüfung 1. S-Bahn-Stammstrecke

Die vorhandenen Schlitzwände des Tunnels der 1. S-Bahn-Stammstrecke (1. SBSS) werden gemäß Lageplan, Höhenplan und Querprofilen der Konfliktprüfung 1. SBSS [33] von ca. Bau-km 109,10 (Strecke 5547) bis ca. Bau-km 209,25 (Strecke 5547) durch die Fahrtunnel der 2. SBSS angeschnitten. Dabei wird in den unbewehrten Teil der Schlitzwände eingegriffen. Es erfolgt somit eine direkte Übertragung der Erschütterungen in das bestehende Tunnelbauwerk. Für das Bestandsbauwerk der 1. SBSS ist daher eine bauwerkstechnische Beweissicherung (Vorschäden) vorzusehen. Weiterhin sollte ein Erschütterungsmonitoring am bestehenden Tunnelbauwerk durchgeführt werden, um bei Überschreitung von Schwellenwerten erforderlichenfalls kurzfristig Schutzmaßnahmen beim Tunnelvortrieb zu veranlassen.

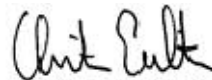
Die vorliegende Untersuchung enthält 40 Seiten und keine Beilagen.

München, den 23. Juni 2021

Möhler + Partner
Ingenieure AG



i.V. P. Zobel, M.Sc.



Dipl.-Ing. (FH) C. Eulitz, M. Eng.