

# Integrierte Gesamtlösung München Hauptbahnhof

## 5. Planänderung zum Planfeststellungsbeschluss

PFA 1 der 2. S-Bahn-Stammstrecke München,

Vorhaltemaßnahme Rohbau Untergeschosse Neubau  
Empfangsgebäude und Teilrückbau Empfangsgebäude  
Bestand,

Vorhaltemaßnahme Rohbau Stationsbauwerk U9

Ergänzende Untersuchung zu Bauerschütterungen  
(nachrichtlich)

Vorhabenträger

**DB NETZE**

DB Netz AG  
Regionalbereich Süd  
Richelstraße 1, 80634 München

**DB NETZE**

DB Station & Service AG  
Bahnhofsmanagement München  
Bayerstraße 10a, 80335 München

**DB NETZE**

DB Energie GmbH  
Energieversorgung Süd  
Richelstraße 3, 80634 München

**Landeshauptstadt München**

Baureferat – Ingenieurbau  
Friedenstraße 40, 81671 München

Die Vorhabenträger vertreten durch

**DB NETZE**

DB Netz AG  
Großprojekt 2. S-Bahn-Stammstrecke München  
Arnulfstr. 27, 80335 München, Tel 089/1308-0

  
München, den 19.05.2021

## **Beteiligte Planer und Gutachter:**

### **INGE 2. S-Bahn Stammstrecke München**

atelier 4d / BPR / ILF / Vössing Ingenieure / sweco / SSF Ingenieure

### **Fachplaner, Gutachter**

Möhler + Partner Ingenieure AG

### **Recht**

RAe GSK Stockmann

Weitergehende Informationen zur 2. S-Bahn Stammstrecke München Hauptbahnhof bzw. zur integrierten Gesamtlösung München Hauptbahnhof sind unter <https://www.2.stammstrecke-muenchen.de/> in digitaler Form verfügbar.

Sofern auf planfestgestellte Planungen verwiesen wird, so sind diese mitsamt den zugehörigen Beschlüssen unter <https://www.2.stammstrecke-muenchen.de/planfeststellungsunterlagen-74.html> abrufbar.

## Erschütterungstechnische Untersuchung

### Integrierte Gesamtlösung

- 2. S-Bahn-Stammstrecke München, PFA 1, 5. Planänderung
- Vorhaltemaßnahme Rohbau Untergeschosse Neubau Empfangsgebäude, Teilrückbau Empfangsgebäude Bestand (im Weiteren „VHM NEG“)
- Vorhaltemaßnahme Rohbau Stationsbauwerk U9 (im Weiteren „VHM U9“)

### Baubedingte Erschütterungsimmissionen

Bericht Nr. 710-5666-ER-Bau-PFA1-PAE5

im Auftrag der

DB Netz AG

80335 München

München, im Mai 2021

**MÖHLER+PARTNER**  
 **INGENIEURE AG**

BERATUNG IN SCHALLSCHUTZ + BAUPHYSIK  
MÜNCHEN · ST. GILGEN · WITTSCH

## Erschütterungstechnische Untersuchung

### Integrierte Gesamtlösung

- 2. S-Bahn-Stammstrecke München, PFA 1, 5. Planänderung
- Vorhaltemaßnahme Rohbau Untergeschosse Neubau Empfangsgebäude, Teilrückbau Empfangsgebäude Bestand (im Weiteren „VHM NEG“)
- Vorhaltemaßnahme Rohbau Stationsbauwerk U9 (im Weiteren „VHM U9“)

### Baubedingte Erschütterungsimmissionen

**Bericht-Nr.:** 710-5666-ER-Bau-PFA1-PAE5

**Datum:** 19.05.2021

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

**Auftragnehmer:** Möhler + Partner Ingenieure AG  
Beratung in Schallschutz + Bauphysik  
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:** M. Eng., Dipl.-Ing. (FH) Christian Eulitz  
Dipl.-Ing. H. Högg  
B. Eng. M. Mühlbacher

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	5
Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	6
Grundlagenverzeichnis.....	7
Abkürzungsverzeichnis .....	9
Zusammenfassung.....	15
1. Allgemeines.....	16
1.1 Projektbeschreibung .....	16
1.2 Gesamtuntersuchung Planfeststellungsabschnitt 1 .....	16
1.3 Aufgabenstellung.....	17
2. Örtliche Gegebenheiten .....	18
3. Grundlagen.....	19
3.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden .....	19
3.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen.....	24
3.3 Einwirkungen auf Einbauten und Geräte .....	27
3.4 Einwirkungen durch Sekundärluftschall .....	27
4. Erschütterungsemissionen.....	28
4.1 Baubetrieb .....	28
4.2 Emissionsansätze .....	30
5. Prognosemodell .....	32
5.1 Emission.....	32
5.2 Transmission.....	32
5.3 Immission .....	33
5.4 Vorgehensweise.....	33
6. Erschütterungsimmissionen und Beurteilung.....	35
6.1 Erschütterungsimmissionen .....	35

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	Darstellung der untersuchungsrelevanten Baumaßnahmen IGL.....	18
<b>Abbildung 2:</b>	Abnahmefunktionen der Erschütterungsemission; Bohrpfahlgerät (BG 28) und Meißelabbruch.....	31

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b>	Anhaltswerte $A$ für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen nach DIN 4150-2, Tabelle 2.....	23
<b>Tabelle 2:</b>	Anhaltswerte $A$ für Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen nach DIN 4150-2, Tabelle 1.....	24
<b>Tabelle 3:</b>	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ zur Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen auf Bauwerke.....	26
<b>Tabelle 4:</b>	VC Linien in Anlehnung an die VDI 2038 [20].....	27
<b>Tabelle 5:</b>	Bauphasen gemäß [25].....	28
<b>Tabelle 6:</b>	Maschineneinsatzzeiten der relevanten Baumaßnahmen, Dauer in Tagen [d] ....	30
<b>Tabelle 7:</b>	Gebäude mit den Eigenfrequenzen, Dämpfungen und Abstand zur Emission.....	35
<b>Tabelle 8:</b>	Prognose der Erschütterungsimmissionen an den nächstgelegenen Gebäuden.....	36
<b>Tabelle 9:</b>	Erschütterungsprognose zur Beurteilung nach DIN 4150-2, Tag.....	37

## Grundlagenverzeichnis

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), in der aktuellen Fassung
- [2] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV), 05.02.1997
- [3] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO)
- [4] Verfügung zu baubedingten Erschütterungen in der Planfeststellung, 51.20-51pv/001-0230#019, Eisenbahn-Bundesamt, 18.10.2017
- [5] Urteil des bay. VGH München, 20 A 93 40080 vom 21.02.1995
- [6] Urteil des BVerwG, 7 A 14.09, 7. Senat vom 21.10.2010
- [7] Digitale Geodaten: DGM5, ALKIS-Datensätze, 3D-Gebäudemodell, bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
- [8] Bebauungspläne der Landeshauptstadt München Nr. 41a, 41b, 41c, 65k, 688, 1589, 1756, rechtsverbindlich seit 1969 bis 1996, <http://maps.muenchen.de/plan/bebauungsplan> (letzter Zugriff: 25.01.2019)
- [9] Digitaler Flächennutzungsplan der Landeshauptstadt München, Stand: August 2018,
- [10] DIN 4150-1, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- [11] DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [12] DIN 4150-3, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Dezember 2016
- [13] DIN 45669-1: Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1: Schwingungsmesser – Anforderungen und Prüfungen, September 2010
- [14] DIN 45669-2: Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren, Juni 2005
- [15] DIN 45680 Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft einschließlich des zugehörigen Beiblattes 1, März 1997
- [16] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau, November 1989

- [17] 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
- [18] Said et al.: „Zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen aus Schienenverkehr“, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 48 (2001) Nr. 6, November 2001
- [19] VDI 2057 Blatt 3, „Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen – Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen in Gebäuden“, Mai 1987
- [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, Februar 1999
- [23] LAI-Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen, Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz, 10.05.2000
- [24] Taschenbuch der Technischen Akustik, 3., erweiterte und überarbeitete Auflage, G. Müller et. al., Springer Berlin 2004
- [25] Lagepläne Bauphasen 0 bis 9c (BE-Flächen, Bauablauf/Grobablauf etc.), 2. S-Bahn Stammstrecke München Haltepunkt Hauptbahnhof, DB Netze, Planersteller: pwb, Stand: 07.08.2020
- [26] Integrierter Bauablauf (Bauzeitenablaufplan), 2. S-Bahn Stammstrecke München, Zeit – Weg Diagramm, VE 30 HP Hauptbahnhof mit Tunnel, DB Netze, Planersteller: pwb, Stand: 05.06.2020
- [27] VDI 2719 „Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen“, August 1987
- [28] Zusatzinformationen zum Bauablauf und den täglichen Bauzeiten, DB Netz AG, E-Mail vom 27.05.2019



## Abkürzungsverzeichnis

## A

$\alpha$	Abklingkoeffizient ( $\alpha = 2\pi \cdot D/\lambda$ )
A	äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m <sup>2</sup>
A, A <sub>u</sub> , A <sub>r</sub> , A <sub>o</sub>	Anhaltswerte nach DIN 4150-2
AT	Arbeitstage
AVV Baulärm	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm

## B

BauNVO	Baunutzungsverordnung
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

## C

c	Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle [m/s]
c <sub>F</sub>	Konstante für die Art der Erschütterungseinwirkungen
c <sub>m</sub>	Faktor zur Ermittlung des K <sub>B<sub>F</sub>max</sub> – Wertes aus dem K <sub>B<sub>F</sub>T<sub>m</sub></sub> – Wert

## D

$\Delta L_B(f)$	baugrund- und abstandsbedingte Erschütterungsabnahme (Transmissionsweg)
$\Delta L_G(f)$	Gebäudespezifische Übertragungsfunktion am Immissionsort
$\Delta L_M(f)$	Summe der Einfügedämmung schwingungsmindernder Maßnahmen

D	Korrektursummand in dB (zur Berücksichtigung der Raumnutzung)
D	Lehrsches Dämpfungsmaß (Dämpfungsgrad) [ / ]
dB	Dezibel (Schwingschnellepegel in dB re5E-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.
<b>E</b>	
$\eta$	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
<b>F</b>	
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	Frostschutzschicht
FNP	Flächennutzungsplan
<b>G</b>	
g	Erdbeschleunigung ( $g = 9,81$ m/s <sup>2</sup> )
G	Gewerbliche Nutzung (Nutzungsart) gemäß Flächennutzungsplan
GE	Gewerbegebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
GOK	Geländeoberkante

**H**

Hbf	Hauptbahnhof
Hp	Haltepunkt
Hz	Hertz (Einheit der Frequenz)

**I**

IGL	Integrierte Gesamtlösung
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 ( $T = 30 \text{ s}$ ) [ / ]
$KB_{FTm}$	Taktmaximal-Effektivwert [ / ]
$KB_{FTm1}$	der Taktmaximal-Effektivwert außerhalb der Ruhezeit [ / ]
$KB_{FTm2}$	der Taktmaximal-Effektivwert während der Ruhezeit [ / ]
$KB_{FTr}$	Beurteilungs-Schwingstärke [ / ]
KG	Kellergeschoss

**L**

$\lambda$	Wellenlänge ( $\lambda = c / f$ ) in m
$\Lambda$	Logarithmisches Dekrement
l	Länge der Züge
l.d.B.	links der Bahn
lg	Dekadischer Logarithmus (Basis 10)
$L_{AFmax}$	Maximalpegel
$L_E(f)$	Terzschnellespektrum der Erschütterungen am Emissionsort

$L_{i,Tag}$	Innengeräuschpegel Tag
$L_{i,Nacht}$	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
$L_v\text{-Raum}(f)$	Terzschnellespektrum am betrachteten Immissionsort
LHM	Landeshauptstadt München
<b>M</b>	
M	Mischnutzung (Nutzungsart) gemäß Flächennutzungsplan
MD	Dorfgebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
MFS	Masse-Feder-System
MI	Mischgebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
MK	Kerngebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
Mü	München
<b>N</b>	
n	Exponent in Abhängigkeit von der Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung
N	Anzahl der Takte
NEG	Neubau Empfangsgebäude
<b>O</b>	
OG	Obergeschoss
<b>P</b>	
PÄ	Planänderung
Pbf	Personenbahnhof
PFA	Planfeststellungsabschnitt
PU	Personenunterführung
<b>Q</b>	

**R**

r.d.B.	rechts der Bahn
$R_1$	Bezugsabstand in m
R	Entfernung von der Quelle in m
$R'_{w,res}$	bewertetes Schalldämm-Maß

**S**

s	Abstand
$S_g$	vom Raum aus gesehene Gesamtaußenfläche in $m^2$
SBSS	S-Bahn-Stammstrecke
2. SBSS	2. S-Bahn-Stammstrecke
Schall 03	Anlage 2 zur 16. BImSchV: Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege
SO	Schienenoberkante
SO	Sondergebiet
SWR	Spundwandrütteln

**T**

$\tau$	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

**U**

UG	Untergeschoss
----	---------------

**V**

$\overset{\sim}{v}$	Amplitude der Schwinggeschwindigkeit [mm/s]
$\overset{\sim}{v}_1$	Amplitude der Schwinggeschwindigkeit in der Entfernung $R_1$ [mm/s]

v	Schwinggeschwindigkeit [mm/s]
$v_i$	Schwinggeschwindigkeit [mm/s]
$v_{eff}$	Schwingschnelle [mm/s]
$v_{i,max}$	maximale unbewertete Schwinggeschwindigkeit [mm/s]
V(f)	Übertragungsfunktion in Abhängigkeit von der Frequenz f
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VHM	Vorhaltemaßnahme
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz
<b>W</b>	
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
<b>X</b>	
$X_m$	Amplitude des ersten Ausschlags
$X_n$	Amplitude des zweiten Ausschlags
<b>Y</b>	
<b>Z</b>	

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung werden die baubedingten Erschütterungsimmissionen durch die drei selbständigen Vorhaben der IGL, die 2. SBSS, die VHM NEG und die VHM U9 untersucht.

Erhebungsmessungen oder eine detaillierte Prognose der baubedingten Erschütterungen liegen für den Bereich der IGL nicht vor. Deshalb erfolgt die Prognose als Grobabschätzung auf Grundlage von Erfahrungswerten. Die Untersuchung kommt zu folgenden Ergebnissen:

- Die höchsten Schwingschnellen wurden mit  $v = 0,24$  mm/s am Fundament und mit  $v = 1,85$  mm/s an der obersten Geschossdecke der nächstgelegenen Gebäude ermittelt. Damit werden die Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 für die Einwirkung auf bauliche Anlagen eingehalten. Zur Dokumentation etwaiger vorhandener Vorschädigungen werden gebäudetechnische Beweissicherungen an Gebäuden mit einem Abstand von weniger als 25 m vom Rand der Baumaßnahme vor Baubeginn durchgeführt.
- Bei der Einwirkung auf Menschen kommt die Prognoseabschätzung zu dem Ergebnis, dass bei den Bautätigkeiten am Münchner Hauptbahnhof tagsüber während der Abbrucharbeiten (E1) und der Verbautätigkeit (E2) Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 4150-2 (Einwirkung auf Menschen) auftreten können. Eine Untersuchung der einzelnen Baubereiche und verkürzter Bauzeit (< 78 Tage) hat gezeigt, dass die Anforderungen gem. Tabelle 2 der DIN 4150-2, während der Abbrucharbeiten überschritten werden. Daher wird die Baumaßnahme mit einem Erschütterungsmonitoring begleitet, um die Auswirkungen der Bauerschütterungen auf Menschen zu dokumentieren und fortlaufend zu bewerten. Die Maßnahmen nach Stufe II der DIN 4150-2 werden bei der vorliegenden Planung der IGL umgesetzt. Diese Maßnahmen wurden für die Bautätigkeiten im Bereich Hbf bereits planfestgestellt und gelten weiterhin (vgl. Nebenbestimmungen zu baubedingten Erschütterungen in A.4.2.1.1 sowie A.4.2.1.3 des Planfeststellungsbeschlusses PFA 1 vom 09.06.2015 i.V.m. A.4.2.1.2 des Planfeststellungsbeschlusses zur 2. Planänderung des PFA 1 vom 06.11.2019).

## 1. Allgemeines

### 1.1 Projektbeschreibung

Gegenstand dieses Antrags ist die 5. Planänderung des Planfeststellungsabschnitts PFA 1 der 2. S-Bahn-Stammstrecke (vgl. EB Nr. 1.1.1).

Das Gesamtprojekt 2. S-Bahn-Stammstrecke dient der Entlastung und Ertüchtigung der bestehenden S-Bahnstrecke und umfasst den Neubau einer zweigleisigen elektrifizierten S-Bahnstrecke zwischen den S-Bahnhöfen Laim und Ostbahnhof. Des Weiteren umfasst das Projekt den Um- bzw. Neubau der bestehenden S-Bahnanlagen im Bahnhof Laim und im Ostbahnhof. Das Gesamtbauvorhaben beinhaltet neben dem Streckenneubau drei neue unterirdische Stationen am Hauptbahnhof, am Marienhof und am Ostbahnhof sowie den Umbau bzw. die Erweiterung der Stationen in Laim und am Leuchtenbergring.

Ebenfalls in diesem Verfahren zur Genehmigung beantragt werden die Herstellung der Untergeschosse des neuen Empfangsgebäudes des Hauptbahnhofs München im Rohbau sowie der Teilabbruch des bestehenden Empfangsgebäudes (vgl. EB Nr. 1.1.2).

Ein weiterer Antragsgegenstand ist die Herstellung des Rohbaus der späteren Haltestelle Hauptbahnhof der geplanten U-Bahn-Linie 9 (U9) (vgl. EB Nr. 1.1.3).

### 1.2 Gesamtuntersuchung Planfeststellungsabschnitt 1

Die zur Genehmigung beantragte Integrierte Gesamtlösung am Hauptbahnhof München (IGL) besteht aus den folgenden drei selbständigen Vorhaben:

- der 5. Planänderung des Planfeststellungsabschnitts 1 der 2. S-Bahn-Stammstrecke (im Weiteren „2. SBSS“)
- der Vorhaltemaßnahme Rohbau Untergeschosse Neubau Empfangsgebäude und Teilrückbau Empfangsgebäude Bestand (im Weiteren „VHM NEG“) und
- der Vorhaltemaßnahme Rohbau Stationsbauwerk U9 (im Weiteren „VHM U9“)

Für diese drei Vorhaben wird jedoch aufgrund der engen Verzahnung ein gemeinsames Planfeststellungsverfahren gemäß § 78 VwVfG durchgeführt. Dabei muss jedoch grundsätzlich jedes Vorhaben separat behandelt und dargestellt werden.

Aus Sicht des Schallimmissionsschutzes ist eine solche Trennung bei dem vorliegenden komplexen Bauvorhaben in einem räumlich nicht vorhabenscharf abgrenzbaren Baufeld des Hauptbahnhofs von München nicht sinnvollerweise möglich und auch nicht zielführend.

Nach der zugrundeliegenden DIN 4150 sind die durch den Baustellenbetrieb verursachten Erschütterungen in der Nachbarschaft zu ermitteln und zu beurteilen, d.h. der gesamten Baustelle. Der Umfang der Gesamtmaßnahme bedingt einen Bauablauf, bei dem sich über längere Zeiträume Teilbaumaßnahmen, teilweise verschiedener Vorhaben, überlagern. Es treten dann Erschütterungsemissionen mehrerer Bauerschütterungsquellen gleichzeitig und in räumlicher Nähe



auf. Damit sind die resultierenden Erschütterungsimmissionen in der Prognose nicht bezüglich der rechtlich eigenständigen Vorhaben zu trennen und den Vorhaben zuordenbar.

Allenfalls lässt sich eine ungefähre Aufgliederung insoweit beschreiben, dass die Erschütterungsimmissionen beim Abbruch der Schalterhalle mit der Herstellung des zentralen Aufgangs vorwiegend dem Vorhaben 2.SBSS und der Abbruch der übrigen Gebäude am Hauptbahnhof vorwiegend der VHM NEG zuzuordnen ist. Die übrigen erschütterungsrelevanten Bautätigkeiten, wie insbesondere die Baugrubenumschließung, werden für die Teilmaßnahmen aller drei Einzelvorhaben (2.SBSS, VHM NEG, VHM U9) benötigt.

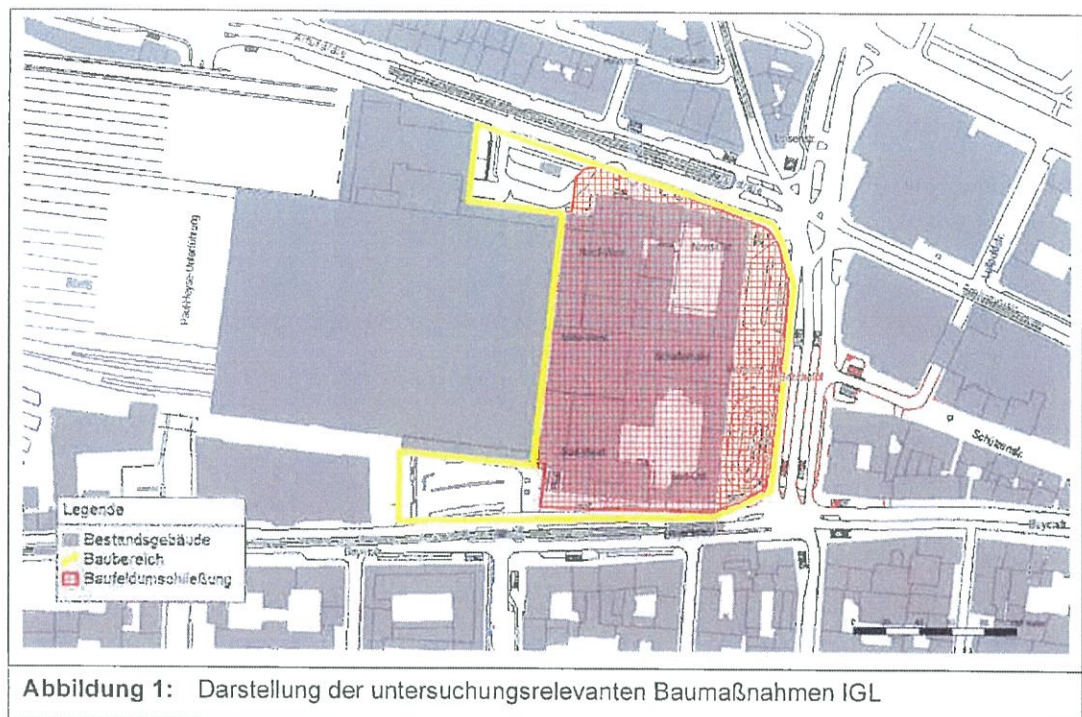
### 1.3 Aufgabenstellung

Die IGL beschränkt sich auf den Bereich des Münchner Hauptbahnhofs sowie dessen Vorplatz. Da in den bisherigen erschütterungstechnischen Untersuchungen zu den Bauerschütterungen lediglich auf Einzelfallbetrachtungen verwiesen wurde, sollen in der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung die baubedingten Erschütterungsimmissionen in der Nachbarschaft des Hauptbahnhofs prognostiziert, bewertet und beurteilt werden. Das vorliegende Gutachten (Anlage 20.3) ergänzt die Anlage 20.1.A um eine genaue Betrachtung der baulichen Erschütterungen durch die IGL.

Der Abbruch sowie der Neubau der unterirdischen Station Hp Hauptbahnhof umfasst mehrere Einzelbaumaßnahmen. Die aus erschütterungstechnischer Sicht relevanten Bautätigkeiten gliedern sich wie folgt (vgl. Abbildung 1):

- Abbruch der Schalterhalle inkl. Vordach, der Bauten Mitte-West, Nord (Ost und West) und Süd (Ost und West)
- Verbauarbeiten /Baugrubenumschließung Zentraler Aufgang (Mitte-Ost), Westliche Erweiterung, Süd und Nord, südliches Sperrengeschoss U9 und Anschluss U4/U5

Die Örtlichkeit der erschütterungstechnisch relevanten Bautätigkeiten ist in folgender Abbildung rot dargestellt.



Die bauzeitlichen Erschütterungsimmissionen werden abgeschätzt und bewertet. Mit der Erstellung der erschütterungstechnischen Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure AG von der DB Netz AG am 12.12.2018 beauftragt.

## 2. Örtliche Gegebenheiten

Die IGL mit den drei selbständigen Vorhaben 2. SBSS, VHM NEG und VHM U9 liegt innerhalb des Stadtgebietes der Landeshauptstadt München. Nördlich des von den Vorhaben betroffenen Abschnitts verläuft die Arnulfstraße. Im Osten befindet sich der Bahnhofplatz und im Süden verläuft die Bayerstraße. Auf der Arnulfstraße, dem Bahnhofplatz sowie auf der Bayerstraße verkehren mehrere Straßenbahnlinien. Zusätzlich verlaufen unterhalb des von den Vorhaben der IGL betroffenen Abschnitts mehrere Tunnel der Münchner U-Bahn sowie der 1. SBSS. Von Westen kommend enden zusätzlich die Gleise des Nah- und Fernverkehrs im untersuchten Abschnitt. Die Umgebung des betrachteten Abschnitts verfügt demnach bereits über eine erhebliche Vorbelastung durch Erschütterungen aus ober- und unterirdischem Schienenverkehr.

Alle Einzelbaumaßnahmen befinden sich in innerstädtischer Lage, umringt von Gebäuden mit schutzbedürftigen Nutzungen. Anhand von rechtskräftigen Bebauungsplänen ist das gesamte Gebiet als Kerngebiet (MK) festgesetzt (vgl. [8]). Auch der Flächennutzungsplan kennzeichnet das Gebiet als Kerngebiet (vgl. [9]).

### 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.

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 einzel-fallbezogenen Gutachten vorzunehmen, wobei die Normenreihen der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ ([10], [11], [12]) als antizipierte Sachverständigengutachten zur Konkretisierung des Begriffs der schädlichen Umwelteinwirkung herangezogen werden können.

Der Teil 1 der DIN 4150 [10] 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 [11] 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 [12] 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  $KB(t)$ -Signal ist das durch Frequenzbewertung und Normierung des unbewerteten Schnellesignals entstandene Signal. Nach der DIN 4150-2 [11] ist das  $KB_F(t)$ -Signal als der gleichende 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 [11] werden zwei Beurteilungsgrößen gebildet:

- maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{F_{max}}$

Die maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{F_{max}}$  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  $KB_{FT}$

Die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FT}$  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 [11] mit folgender Formel:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r} (T_{e1} \cdot KB_{FTm1}^2 + 2 \cdot T_{e2} \cdot KB_{FTm2}^2)} \quad (1)$$

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 4150-2<sup>1</sup> [11] mit folgender Formel ermittelt:

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

Dabei ist:

- $N$  die Anzahl der Takte
- $KB_{FTi}$  Taktmaximalwert

---

<sup>1</sup>Bei 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.

Der Taktmaximalwert  $KB_{FTi}$  beschreibt den in jedem Takt  $i$  ( $T = 30$  s) erreichten Maximalwert der bewerteten Schwingstärke  $KB_T(t)$ , wobei als Zeitkonstante  $\tau$  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  $KB_{FT\tau}$  kleiner oder gleich dem Anhaltswert  $A_r$  ist. Ist der  $KB_{FT\tau}$  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.

### 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 [11] gebietsunabhängig zu bewerten (siehe Tabelle 1).

**Tabelle 1:** Anhaltswerte  $A$  für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außerhalb Sprengungen nach DIN 4150-2, Tabelle 2

Dauer	$D \leq 1$ Tag			6 Tage $< D \leq 26$ Tage			26 Tage $< D \leq 78$ Tage		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spalte	$A_U$	$A_{0^*}$	$A_R$	$A_U$	$A_{0^*}$	$A_R$	$A_U$	$A_{0^*}$	$A_R$
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 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 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 [11] 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 <sub>u</sub>	A <sub>o</sub>	A <sub>r</sub>	A <sub>u</sub>	A <sub>o</sub>	A <sub>r</sub>
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

Erschütterungseinwirkungen 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 [12]. 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 [12] (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.



### 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 [12] 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 <sup>a</sup>	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 <sup>b</sup>	2,5	10 <sup>b</sup>

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

<sup>a</sup> Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.

<sup>b</sup> 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 Einwirkungen auf Menschen und bauliche Anlagen (Bauwerke). Für Erschütterungseinwirkungen auf hochschwingungssensible Geräte und Anlagen (z. B. im Forschungsbereich) gibt es weitergehende 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 üblichen 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.

Ein konkreter Immissionswert für die Baumaßnahme für Sekundärluftschall kann auf Grund der fehlenden gesetzlichen Regelungen nicht genannt werden. Eine Prognose des Sekundärluftschalls ist ohne Kenntnis der Gebäude (gebäudetechnische Objektbeurteilungen) nicht zuverlässig möglich.

#### 4. Erschütterungsemissionen

##### 4.1 Baubetrieb

Die derzeitige Planung sieht für die Integrierte Gesamtlösung (IGL) 16 Bauphasen und eine Bauzeit von insgesamt ca. 7 Jahren vor, wobei der Rückbau des Interimsbahnhofs als letzte Bauphase der IGL erst ca. 2 Jahre nach Übergabe der Baustelle an das Vorhaben NEG stattfinden soll. Die Bauphasen der IGL können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 5: Bauphasen gemäß [25]		
Bauphase	Bezeichnung der Bauphase	beurteilungsrelevant
0.1	Abbruch Schalterhalle	Ja
1a	Schlitzwand und Primärpfähle Zentraler Aufgang	Ja
1b	Deckelherstellung Zentraler Aufgang	Nein
1c	Abbruch EG Mitte-West und EG Süd-Ost, Deckelherstellung, Anschluss an den Bestand U4/U5	Ja
1d	Schlitzwand und Primärpfähle Westliche Erweiterung, Bau Interimsbahnhof	Ja
1e	Deckelherstellung Westliche Erweiterung, Bau Interimsbahnhof	Nein
2a	Abbruch EG Nord-Ost, Bau Interimsbahnhof	Ja
2b	Deckelherstellung Nord-Ost, Bau Interimsbahnhof	Nein
2c	Abbruch EG Süd-West	Ja
2d	Schlitzwand und Primärpfähle Süd	Ja
2e / 3	Deckelherstellung Süd, Tunnelvortrieb unter Gleishalle	Nein
4a / 4b	Anschluss 1.SBSS, Arbeiten unter Deckel, Tunnelvortrieb unter Gleishalle	Ja
4c	Abbruch EG Nord-West, Tunnelvortrieb unter Gleishalle	Ja
5a	Schlitzwand und Primärpfähle Nord	Ja
5b	Deckelherstellung Nord	Nein
8	Rückbau Interimsbahnhof	Nein

Da die Prognose von baubedingten Erschütterungen maßgebend durch die Art der Bautätigkeit in Verbindung mit dem jeweiligen Abstand zwischen Bautätigkeit und Immissionsort bestimmt wird, ist es zweckmäßig die Bauphasen zusammenzufassen oder aufzuteilen. Während der Durchführung der Baumaßnahmen ist mit folgenden erschütterungsrelevanten Bautätigkeiten bzw. -zeiten zu rechnen (vgl. [25], [26]):

- **BP 0.1:** Abbruch Schalterhalle mit Vordach, Bagger mit Abbruchzange oder Abbruchmeißel (ca. 1,5 Monate)
- **BP 1a:** Verbauarbeiten Schlitzwand und Primärpfähle Zentraler Ausgang, Bohrpfahlgerät/Schlitzwandfräse (ca. 8,5 Monate)
- **BP 1c:** Abbruch der Bauwerke Mitte-West und Süd-Ost, Bagger mit Abbruchzange oder Abbruchmeißel und Verbauarbeiten Anschluss an den Bestand U4/U5 (ca. 3,0 Monate)
- **BP 1d:** Verbauarbeiten Schlitzwand und Primärpfähle Westliche Erweiterung, Bohrpfahlgerät/Schlitzwandfräse (ca. 4,0 Monate)
- **BP 2a:** Abbruch der Bauwerke Nord-Ost, Bagger mit Abbruchzange oder Abbruchmeißel (ca. 3,0 Monate)
- **BP 2c:** Abbruch der Bauwerke Süd-West, Bagger mit Abbruchzange oder Abbruchmeißel (ca. 3,5 Monate)
- **BP 2d:** Verbauarbeiten Schlitzwand und Primärpfähle Süd, Bohrpfahlgerät/Schlitzwandfräse (ca. 4,0 Monate)
- **BP 4a:** Verbauarbeiten Anschluss an 1.SBSS (ca. 3,0 Monate<sup>2</sup>)
- **BP 4c:** Abbruch der Bauwerke Nord-West, Bagger mit Abbruchzange oder Abbruchmeißel (ca. 3,0 Monate)
- **BP 5a:** Verbauarbeiten Schlitzwand und Primärpfähle Nord, Bohrpfahlgerät/Schlitzwandfräse (ca. 5,0 Monate)

Die Maschineneinsatzzeiten wurden anhand des Bauzeitenablaufplans [26] unter der Annahme von 20 Werktagen je Monat abgeschätzt und sind für die relevanten Baumaßnahmen bzw. den Baufeldern (in Richtung der maßgebenden Immissionsorte) zusammengestellt. Die Bereiche sind aus Abbildung 1 ersichtlich.

---

<sup>2</sup> Bei der Bauphase 4a sind insgesamt ca. 7 Monate geplant.

**Tabelle 6:** Maschineneinsatzzeiten der relevanten Baumaßnahmen, Dauer in Tagen [d]

Baumaßnahme	Kurzzeichen	Einsatzort			
		Hbf Mitte-Ost	Hbf Mitte-West	Hbf Nord (Ost / West)	Hbf Süd (Ost / West)
		BP 0.1 / 1a	BP 1c / 1d	BP 2a / 4c / 5a mit 4a Anschl. 1.SBSS	BP 2c / 2d / mit 1c Anschl. U4/U5
Abbrucharbeiten	E1	30	60	120	70
Verbauarbeiten	E2	170	80	160	140

Im Rahmen einer „worst-case“ Abschätzung betragen die beurteilungsrelevanten Gesamtzeiten der Abbrucharbeiten bis zu 280 Arbeitstage und für Verbauarbeiten bis zu 550 Arbeitstage.

#### 4.2 Emissionsansätze

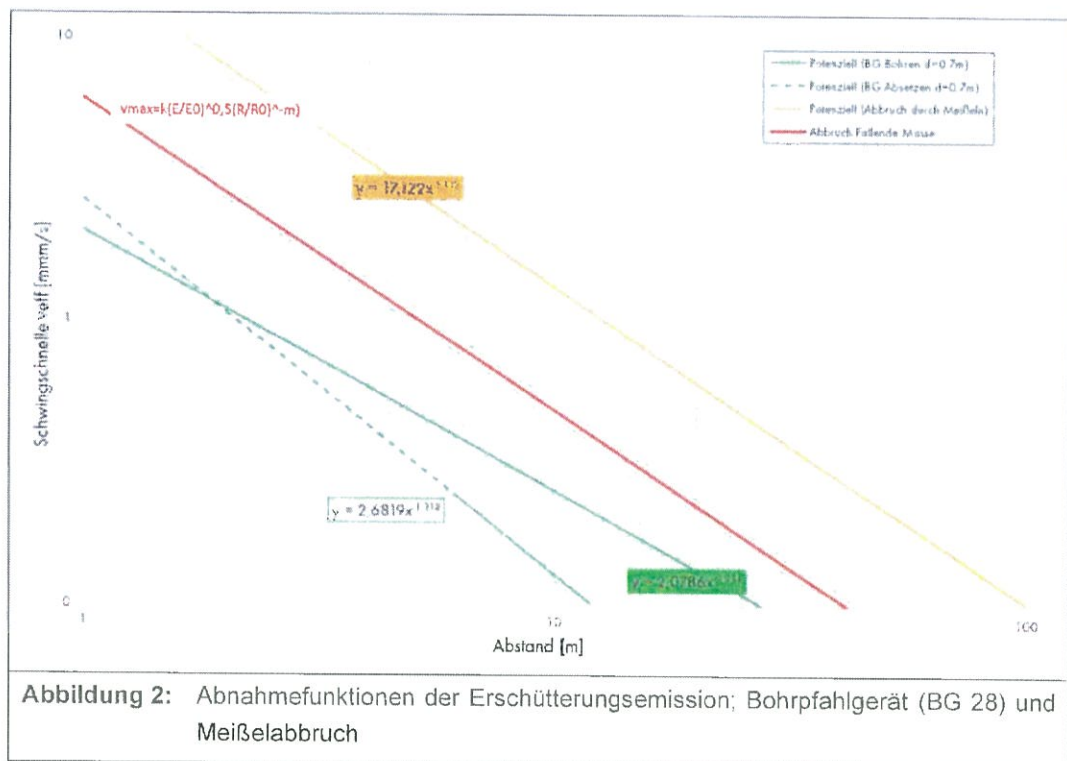
Signifikante Erschütterungen können bei Baumaßnahmen insbesondere z.B. beim Rütteln, Rammen und Ziehen von Spundbohlen, Profilträgern, dem Bohren von Pfahlwänden, Ankern und dergleichen sowie bei Verdichtungen (Walzen, Betonrütteln, usw.) auftreten. Die in das Erdreich übertragenen Erschütterungen hängen 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 Bautätigkeiten werden hauptsächlich tagsüber von 7:00 bis 20:00 Uhr (vgl. [28]) stattfinden, somit ist der Beurteilungszeitraum  $T_r$  (16 h) tags von 6:00 bis 22:00 Uhr für die Beurteilung relevant. Gemäß [28] ist für Abbruch- und Verbauarbeiten werktags von einer Einwirkzeit  $T_{e1}$  bis zu 12 Stunden außerhalb und einer Einwirkzeit  $T_{e2}$  bis zu einer Stunde innerhalb der Ruhezeiten auszugehen. Es liegen derzeit keine Informationen über erschütterungsrelevante nächtliche Bautätigkeiten vor, sodass erschütterungsrelevante Bautätigkeiten in der Nacht nicht angenommen werden.

Für baubedingte Erschütterungsemissionen liegen abstandsabhängige Standardwerte für einen Abbruchmeißel und ein Großbohrgerät bei Bohrpfahlarbeiten (Haupterregfrequenz 63 Hz) aus Messungen an Referenzbaustellen vor (vgl. Abbildung 2). Für Abbrucharbeiten sollen hauptsächlich Longfront und Abrisszange eingesetzt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass – zwar in einem geringeren Umfang – ebenfalls ein erschütterungsrelevanter Abbruchmeißel zum Einsatz kommt, weshalb nachfolgend der gemessene Abbruchmeißel zum Ansatz gebracht wird. Verbauarbeiten und die damit benötigten Bohrpfähle bzw. Schlitzwände werden mittels des gemessenen Großdrehbohrgerätes zum Ansatz gebracht. Die Arbeit von Schlitzwandgreifern hat demgegenüber geringere Erschütterungsemissionen, so dass der Ansatz auf der sicheren Seite liegt.

Die vorherrschenden Erschütterungsemissionen werden insbesondere vom Einsatz des Abbruchmeißels 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.

Informativ wurde in nachfolgender Abbildung für den Abbruch auch der Ansatz aus der DIN 4150-1, Ziff. 5.1.3 „fallende Massen“ dargestellt; dabei wurde von 0,5t Fallmasse und einer Fallhöhe von 10 m ausgegangen.



## 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 [17]:

$$L_{v\text{-Raum}}(f) = L_E(f) + \Delta L_B(f) + \Delta L_G(f) + \Delta L_M(f) \quad (3)$$

mit:

$L_{v\text{-Raum}}(f)$ : 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 im Wesentlichen 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  $v_{\text{eff}}$  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 grobe pauschale Annahmen getroffen werden können. Die Einwirkdauer bzw. die Einwirkzeit von Erschütterungsemissionen ergeben sich aus dem Baubetriebsablauf (vgl. Kapitel 4.1 ). Im vorliegenden Fall werden die Erschütterungsemissionen der Baugeräte anhand von Messungen an Referenzbaustellen angenommen (vgl. Kapitel 4.2 ).

### 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:

$$\bar{v} = \bar{v}_1 \cdot \left(\frac{R}{R_1}\right)^{-n} \cdot \exp[-\alpha \cdot (R - R_1)] \quad (4)$$

mit:

$\bar{v}$	Amplitude der Schwinggeschwindigkeit (in mm/s)
$\bar{v}_1$	Amplitude der Schwinggeschwindigkeit in der Entfernung $R_1$ (in mm/s)
$R_1$	Bezugsabstand (in m)
$R$	Entfernung von der Quelle (in m)
$n$	Exponent in Abhängigkeit von der Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung
$\alpha$	Abklingkoeffizient ( $\alpha = 2\pi \cdot D/\lambda$ )
$D$	Dämpfungsgrad
$\lambda$	Wellenlänge ( $\lambda = c / f$ ) in m
$c$	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, anhand von durchgeführten Messungen an Referenzbaustellen (vgl. Abs. 4.2).

### 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. Die Abnahme wurde aus Messungen in städtischer Lage ermittelt.

### 5.4 Vorgehensweise

Bei den Ausgangsdaten handelt es sich um Ausschwingversuche der Geschossdecken oder um Antwortspektren bei Fremderregung. Dabei wurde ein Geophon in vertikaler Messrichtung in der Deckenfeldmitte des Raumes auf einer schwingfähigen Decke aufgestellt. Nachdem die Messposition festgelegt wurde, wurde ein Kraftimpuls in die Decke eingeleitet, dieser regt die Decke zu einer Schwingung an. Das Ausschwingen der Decke (sog. freie gedämpfte Schwingung)

wurde als Zeitsignal  $v(t)$  [mm/s] erfasst und digital abgespeichert. Anschließend wurden die Messergebnisse ausgewertet, um daraus den Dämpfungsgrad und die (maßgebende) Eigenfrequenz zu ermitteln. Die Parameter lassen Rückschlüsse auf die baulastdynamischen Eigenschaften des Gebäudes zu.

### *Erhebungsmessung*

Im Bereich des von der IGL betroffenen Abschnitts wurden bisher keine Erhebungsmessungen durchgeführt. Deshalb erfolgt im vorliegenden Fall die Prognose auf Grundlage von Erfahrungswerten bzw. eigenen Messungen von vergleichbaren Situationen in München.

### *Berechnung*

Die angesetzten Dämpfungen sind die kritischen Dämpfungen der jeweiligen Decken in den angenommenen Gebäuden und sind in Tabelle 6 aufgelistet. Durch die Ermittlung der Eigenfrequenz und der Dämpfung konnte die Schwinggeschwindigkeit die am Fundament des Gebäudes ankommt und die Deckenüberhöhung bei der obersten Geschossdecke berechnet werden.

- Die Gebäude-Fundamentdämpfung wird mit dem Faktor 0,5 angesetzt; die tatsächliche frequenzabhängige Gebäudedämpfung ist eigentlich im Verhältnis der Impedanzen zu ermitteln und tatsächlich deutlich höher.
- Die Deckenüberhöhung wird mit nachfolgender Übertragungsfunktion berechnet.

$$V(f) = \frac{\sqrt{1+4 \cdot D^2 \cdot \eta^2}}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + 4 \cdot D^2 \cdot \eta^2}} \quad (5)$$

mit:

- |        |   |
|--------|---|
| $V(f)$ | Übertragungsfunktion in Abhängigkeit von der Frequenz $f$   |
| $\eta$ | $f_E/f$ Frequenzverhältnis Eigenfrequenz der Decke $f_E$ zur Frequenz $f$ ; hier 1 da die Überhöhung bei der Eigenfrequenz berechnet wird |
| $D$    | Lehrsches Dämpfungsmaß  |

## 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 derzeitigem Zeitpunkt noch nicht abgesehen werden, welche Geräte, Bauverfahren, Bauabläufe oder Maschineneinsatzzeiten letztendlich in der Ausführungsplanung 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 Höhe der durch die diversen Quellen entstehenden Erschütterungsemissionen sowie deren Weiterleitung im Erdreich stark (1.) von der Bauart und Masse der Maschine und (2.) von den entsprechenden spezifischen geotechnischen Parametern abhängig. In Folge dessen wurden auf Basis der geplanten Bautätigkeiten maßgebende Bautätigkeiten (Abbruch mit Abbruchmeißel und Verbauarbeiten mit Großdrehbohrgerät) angesetzt und deren Erschütterungsemissionen für die Betroffenheitsanalyse abgeschätzt.

### 6.1 Erschütterungsimmissionen

In nachfolgender Tabelle sind die Eigenfrequenzen und Dämpfungen der nächstgelegenen Gebäude zusammen mit dem Abstand zu den relevanten Erschütterungsemissionen aufgelistet.

nächstgelegene Gebäude an: (Deckentyp)	f [Hz]	D [/]	Abstand zur Emission	
			E1 Abbruch [m]	E2 Verbau [m]
Hbf Mitte-Ost Bahnhofplatz 1 (Betondecken)	63,0	0,065	43	43
Hbf Mitte-West, IO Arnulfstraße 2 (Betondecken)	63,0	0,065	102	102
Hbf Mitte-West, IO Bayerstraße 31 (Betondecken)	63,0	0,065	102	102
Hbf Nord, IO Arnulfstraße 2 (Betondecken)	63,0	0,065	42	42
Hbf Süd, IO Bayerstraße 33 (Betondecken)	63,0	0,065	25	25

Fett: Entfernung unter 25 m zu erschütterungsrelevanten Tätigkeiten  
 E1 Abbruch: Abbruchmeißel: Abbrucharbeiten  
 E2 Verbau: Bohrfahlarbeiten: Großdrehbohrgerät

Aus diesen Abständen wurde jeweils die Schwingschnelle ermittelt, die außen im Erdreich vor dem Gebäude ankommt und das Gebäude zum Schwingen anregen könnte. Die Prognosewerte sind somit worst-case-Werte, die bei üblichen Untergrundverhältnissen (ohne Festkörperübertragung) und typische Baumaschinen nicht überschritten werden. Durch die innerstädtische Lage können Festkörper/ Körperschallübertragungen nicht ausgeschlossen werden. Die nachfolgenden Abschätzungen können deshalb nur orientierend verwendet werden.

Im Zuge der Baumaßnahme sind Erschütterungsmessungen zur Feststellung der tatsächlichen Immissionen durchzuführen. Abbrucharbeiten mit Longfront und Zange sowie Schlitzwandgreifer/Schlitzwandfräse sind erfahrungsgemäß wesentlich erschütterungsärmer als das angesetzte Arbeiten mit Abbruchmeißel und Großbohrgeräten. Die Ergebnisse der Erschütterungsprognose sind für die erschütterungsintensivsten Bautätigkeiten aus der nachfolgenden Tabelle ersichtlich.

nächstgelegene Gebäude an: (Deckentyp)	V [f]	v am Fundament [mm/s]		v oberste Geschosshöhe [mm/s]	
		E1 Abbruch	E2 Verbau	E1 Abbruch	E2 Verbau
Hbf Mitte-Ost Bahnhofplatz 1 (Betondecken)	7,8	0,13	0,03	1,01	0,26
Hbf Mitte-West, IO Arnulf- straße 2 (Betondecken)	7,8	0,05	0,02	0,39	0,12
Hbf Mitte-West, IO Bayer- straße 31 (Betondecken)	7,8	0,05	0,02	0,39	0,12
Hbf Nord, IO Arnulfstraße 2 (Betondecken)	7,8	0,13	0,03	1,04	0,27
Hbf Süd, IO Bayerstraße 33 (Betondecken)	7,8	0,24	0,05	1,85	0,43
E1 Abbruch: Abbruchmeißel: Abbrucharbeiten E2 Verbau: Bohrpfahlarbeiten: Großdrehbohrgerät					

#### 6.1.1 Bewertung der Erschütterungsimmissionen

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 zeitlich als auch räumlich begrenzte potenzielle Betroffenheiten auslösen können.

##### *Einwirkungen auf bauliche Anlagen*

Die höchsten Schwingschnellen wurden mit  $v = 0,24$  mm/s am Fundament und mit  $v = 1,85$  mm/s an der obersten Geschossdecke ermittelt. Damit werden die Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 (siehe Tabelle 3) am Fundament und an der obersten Geschossdecke zuverlässig eingehalten. Zur Dokumentation vorhandener Vorschädigungen und zur späteren Abwehr von Schadensersatzansprüchen empfehlen wir gebäudetechnische Beweissicherungen an Gebäuden mit einem Abstand von weniger als 25 m vom Rand der Baumaßnahme.

##### *Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden*

Aus dem ermittelten  $v_{\text{eff}}$  wurden die relevanten Werte zur Beurteilung der erschütterungsbedingten Einwirkung auf Menschen in den Gebäuden abgeschätzt. Es wurde bei der Ermittlung der Beurteilungsschwingschnelle  $KB_{\text{FTR}}$  eine tägliche Arbeitszeit von 10 Std außerhalb der Ruhezeit angenommen. Der KB-Wert wurde aus  $v_{i,\text{max}}$  nach der Abschätzformel der DIN 4150-2 ermittelt. Dabei wurde  $v_{i,\text{max}} = \sqrt{2} \cdot v_{\text{eff}}$  angesetzt. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle angegeben.

Zur Beurteilung wurde die Tabelle 1 aus der DIN 4150-2 herangezogen (Tabelle 2), da die Gesamtzeiten der Baumaßnahmen (Abbruch und Verbau) jeweils mehr als 78 Tage in Anspruch nehmen (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 9: Erschütterungsprognose zur Beurteilung nach DIN 4150-2, Tag						
nächstgelegene Gebäude an: (Deckentyp)	$KB_{Fmax, CF=0,8}$		$KB_{FTr}$ mit $T_{e1}=12$ Std und $T_{e2}=1$ Std		Überschreitung Anhaltswerte der 4150- 2 Tabelle 1 für Kernge- biete	
	E1 Ab- bruch	E2 Verbau	E1 Ab- bruch	E2 Verbau	E1 Ab- bruch	E2 Verbau
Hbf Mitte-Ost Bahnhof- platz 1 (Betondecken)	0,80	0,21	<b>0,50</b>	<b>0,13</b>	Ja	Ja
Hbf Mitte-West, IO Arnulfstraße 2 (Beton- decken)	0,31	0,09	<b>0,19</b>	0,06	Ja	Nein
Hbf Mitte-West, IO Bayerstraße 31 (Beton- decken)	0,31	0,09	<b>0,19</b>	0,06	Ja	Nein
Hbf Nord, IO Arnulf- straße 2 (Betondecken)	0,83	0,21	<b>0,52</b>	<b>0,13</b>	Ja	Ja
Hbf Süd, IO Bayer- straße 33 (Betonde- cken)	1,47	0,34	<b>0,92</b>	<b>0,21</b>	Ja	Ja
<b>Fett:</b> Überschreitung des Anhaltswertes für MK, Bautätigkeit > 78 Tage E1 Abbruch: Abbruchmeißel; Abbrucharbeiten E2 Verbau: Bohrpfahlarbeiten; Großdrehbohrgerät						

Die Prognoseabschätzung zeigt, dass die höchsten Erschütterungen mit  $KB_{Fmax} = 1,47$  und  $KB_{FTr} = 0,92$  am Tag bei Abbrucharbeiten am Hbf Süd im Bereich der Bayerstraße zu erwarten sind. In diesem Bereich werden auch die höchsten Erschütterungen während der Verbauarbeiten mit  $KB_{Fmax} = 0,34$  und  $KB_{FTr} = 0,21$  am Tag erreicht. Die Anhaltswerte für Kerngebiete ( $A_u = 0,2$  und  $A_r = 0,1$  gem. Tabelle 1 der DIN 4150-2) werden damit beim Abbruch und beim Verbau nicht eingehalten. Es zeigt sich, dass unter der Berücksichtigung der Gesamtdauer der Abbruch- und Verbauarbeiten mit Überschreitungen der Anforderungen der DIN 4150-2 (Einwirkung auf Menschen) zu rechnen ist. Gebäude ab einem Abstand von 90 m von den Abbrucharbeiten bzw. von 60 m von den Verbauarbeiten befinden sich außerhalb des Einwirkbereichs der baubedingten Erschütterungen.

Insgesamt beträgt die Bauzeit zwar ca. 280 Arbeitstagen für den Abbruch und 550 Arbeitstagen für den Verbau, allerdings werden in diesem Zeitraum nur wenige Tage auf einen Immissionsort mit der prognostizierten Intensität einwirken. Eine genauere Bauablaufplanung liegt in diesem Planungsstand nicht vor. Es wurde deshalb geprüft, wie viele Tage mit den prognostizierten Bauerschütterungen rechnerisch durchgeführt werden könnten, ohne die Anhaltswerte der DIN 4150-2 zu überschreiten. Im Ergebnis ist für Stufe II bis zu 26 Arbeitstage mit 6 Stunden erschütterungsintensiver Einwirkzeit möglich, ohne die Anhaltswerte auch am maßgebenden Immissionsort zu überschreiten. Ein Umfang von 6 Stunden erschütterungsrelevanter Bautätigkeit pro Ar-

beitstag ist zunächst einmal aus Sicht des Erschütterungsschutzes unbedenklich möglich. Allerdings würde sich durch diese baubetriebliche Einschränkung insgesamt die Bauzeit von Abbruch und Verbau (und auch die Betroffenheit) verlängern, was vor dem Hintergrund des Umfangs und der zeitlichen Abhängigkeiten der IGL technisch nicht zweckmäßig und wirtschaftlich unverhältnismäßig aufwändig ist.

Bei der Bewertung der baubedingten Erschütterungen ist auch zu berücksichtigen, dass die Nachbarschaft bereits von Erschütterungen durch den ober- und unterirdischen Bahnverkehr (S-Bahn, U-Bahn, Straßenbahn, Fernbahn) betroffen ist und daher eine geringere Belästigungswirkung und eine höhere Akzeptanz / oder bereits bauliche Vorkehrungen vorhanden sind, als beispielsweise bei einer Baumaßnahme auf der „grünen Wiese“. Die Anhaltswerte der DIN 4150-2 (Einwirkung auf Menschen) definieren die Schwelle, bei deren Einhaltung sicher nicht mit schädlichen Umweltauswirkungen gerechnet werden muss. Dies heißt jedoch im Umkehrschluss nicht, dass bei Überschreitung der Anhaltswerte unmittelbar unzumutbare Erschütterungseinwirkungen oder schädliche Umwelteinwirkungen gegeben sind. Die Anhaltswerte für Gebäudeschäden (DIN 4150-3) werden eingehalten. Daher kommen wir zusammenfassend zu dem Schluss, während der erschütterungsintensiven Bauphasen (Abbruch und Verbau) Erschütterungsmessungen durchzuführen, um die tatsächlichen Auswirkungen der Erschütterungen auf Menschen festzustellen. Der Umfang der Messungen richtet sich nach dem Bauablauf und den tatsächlich festzustellenden Erschütterungsimmissionen.

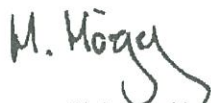
Zum Schutz der Anwohner und Nutzer der betroffenen Gebäude werden zuzüglich zu den bereits planfestgestellten Schutz- und Kompensationsmaßnahmen (vgl. erschütterungsrelevante Nebenbestimmungen in A.4.2.1.1 sowie A.4.2.1.3 des Planfeststellungsbeschlusses PFA 1 vom 09.06.2015 i.V.m. A.4.2.1.2 des Planfeststellungsbeschlusses zur 2. Planänderung des PFA 1 vom 06.11.2019) die folgenden Maßnahmen umgesetzt:

- Durchführung von gebäudetechnischen Beweissicherungen an Gebäuden in einem Abstand von weniger als 25 m zum Rand der gegenständlichen Baumaßnahme


Die vorliegende Untersuchung enthält 38 Seiten und keine Beilagen.

München, den 20. Mai 2021

Möhler + Partner  
Ingenieure AG



ppa. Dipl.-Ing. H. Högg



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