

Erschütterungstechnische Untersuchung

Vorhabenbezogener Bebauungs- und Grün-
ordnungsplan Nr. 109 N „Hauptbahnhof“ in
Ingolstadt

Bericht Nr. 700-6109-1-ER

im Auftrag der

Bau- und Immobilienverwaltung Fäth

63741 Aschaffenburg

München, im September 2021

Erschütterungstechnische Untersuchung

Vorhabenbezogener Bebauungs- und Grünordnungsplan
Nr. 109 N „Hauptbahnhof“ in Ingolstadt

Bericht-Nr.: 700-6109-1-ER

Datum: 17.09.2021

Dieser Bericht ersetzt den Bericht Nr. 700-6109-ER vom 30.01.2020

Auftraggeber: 63741 Aschaffenburg

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



Von der DAkkS auf den Gebieten Schallschutz, Bauakustik, Erschütterungsschutz und Bahnakustik akkreditierte Prüflaboratorien nach DIN EN ISO/IEC 17025 für den in der Urkunden-anlage D-PL-19432-01-00 festgelegtem Umfang.

Bearbeiter: P. Zobel, M. Sc.
Dipl.-Ing. (FH) C. Eulitz, M. Eng.

Inhaltsverzeichnis:

1. Aufgabenstellung	7
2. Örtliche Gegebenheiten	7
3. Grundlagen.....	8
3.1 Erschütterungen.....	8
3.2 Sekundärluftschall.....	10
4. Belegungsprogramm	12
5. Messungen.....	14
5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung	14
5.2 Messgeräte.....	16
6. Prognose der Erschütterungs- und Sekundärluftschalleinwirkungen.....	17
7. Beurteilung der Erschütterungen und des Sekundärluftschalls	19
7.1 Erschütterungen.....	19
7.2 Sekundärer Luftschall	19
8. Formulierungsvorschlag für den Bebauungsplan.....	20
9. Fazit.....	21
10. Anlagen.....	23

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1:	Lageplan mit maßgebenden Bahnstrecken	12
Abbildung 2:	Gemessene KB-Werte in x-, y- und z-Richtung während der Ein- bzw. Ausfahrt eines RE auf Gl. 1 (MP-1).....	15
Abbildung 3:	Gemessene KB-Werte in x-, y- und z-Richtung während der Vorbeifahrt eines GZ auf Gl. 6 (MP-1).....	15

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1:	Anhaltswerte zur Beurteilung der Immissionen von Erschütterungen nach Tabelle 1 der DIN 4150-2 [3]	9
Tabelle 2:	Immissionsrichtwerte „Innen“ nach TA Lärm [dB(A)].....	10
Tabelle 3:	Belegungsprogramm der Bahnstrecken gem. [10]	13
Tabelle 4:	Dokumentation zur Lage der Messpunkte.....	14
Tabelle 5:	Messtechnisch erfasste verwertbare Vorbeifahrten während der Messzeit	14
Tabelle 6:	Höchster prognostizierter KB_{Ftm} - Wert bzw. KB_{FTr} - Werte tags / nachts auf den Geschosdecken des künftigen Gebäudes an den Messpunkten.....	18
Tabelle 7:	Mittlere prognostizierte Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls in Räumen des zukünftigen Gebäudes an den Messpunkten.....	18

Grundlagenverzeichnis:

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), in der aktuellen Fassung
- [2] DIN 4150-1, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- [3] DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [4] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung, September 2010
- [5] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren, Juni 2005
- [6] Beiblatt 1 zu DIN 45680, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft – Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen, März 1997
- [7] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503), zuletzt geändert durch Bekanntmachung des BMUB vom 1. Juni 2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5), in Kraft getreten am 9. Juni 2017
- [8] Körperschall: Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, L. Cremer und M. Heckl, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996
- [9] DIN EN ISO/IEC 17025 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005), August 2005
- [10] Zugzahlen der Strecken 5382, 5501 und 5851 für das Jahr 2030 für den Bereich Hbf Ingolstadt, Deutsche Bahn AG, übermittelt per E-Mail am 11.12.2019
- [11] Entwurf des vorhabenbezogenen Bebauungs- und Grünordnungsplan Nr. 109 N „Hauptbahnhof“ Stand 23.07.2021
- [12] Vorhaben- und Erschließungspläne zum vorhabenbezogenen Bebauungs- und Grünordnungsplan Nr. 109 N – „Hauptbahnhof“, Architekturbüro Kammerl + Kollegen, Stand 08.07.2021
- [13] Stellungnahme zum Erschütterungsschutz der Stadt Ingolstadt, übermittelt per Email am 18.08.2021 von Herrn Rieder

Zusammenfassung:

Die Bau- und Immobilienverwaltung Fäth überplant im Rahmen eines vorhabenbezogenen Bebauungsplanverfahrens den Hauptbahnhof (Hbf) Ingolstadt. Das Planvorhaben befindet sich im Einwirkungsbereich von den oberirdischen Schienenverkehrswegen der Bahnstrecken 5382, 5501 und 5851. Für das Planvorhaben wurden die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen auf der Grundlage von messtechnischen Untersuchungen prognostiziert. Die Untersuchung kommt zu den folgenden Ergebnissen:

- Die Anforderungen der DIN 4150-2 an Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden werden im Plangebäude eingehalten, sofern die Neubebauung baudynamisch vergleichbar mit der Bestandsbebauung ist (Massivbauweise, vergleichbare Deckenspannweiten und Massen).
- Für das Plangebäude können Überschreitungen der Immissionsrichtwerte für Innenschallpegel der TA Lärm im Tag- und Nachtzeitraum durch sekundären Luftschall nicht ausgeschlossen werden. Im Bestand wurden Überschreitungen der Immissionsrichtwerte „Innen“ der TA Lärm um bis zu 2/12 dB(A) Tag/Nacht durch Sekundärluftschalls des Schienenverkehrs ermittelt. Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen durch Zugvorbeifahrten können die Immissionsrichtwerte für Spitzenpegel „Innen“ der TA Lärm um bis zu 7/17 dB(A) Tag/Nacht überschreiten.
- Bei der Errichtung von schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen nach DIN 4109 sind technische bzw. konstruktive Maßnahmen vorzusehen, die eine Einhaltung der Anhalts- und Richtwerte für Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen sicherstellen. Im Untersuchungsbericht werden Formulierungsvorschläge zum Erschütterungsschutz für den Bebauungsplan genannt.
- Für die weitere Vorhabenplanung sind Empfehlungen zur Errichtung der schwingungsmindernden Maßnahmen enthalten.

1. Aufgabenstellung

Die Bau- und Immobilienverwaltung Fäth überplant im Rahmen eines vorhabenbezogenen Bebauungsplanverfahrens den Hauptbahnhof (Hbf) Ingolstadt. Neben den Bahnhofsnutzungen (Empfangsgebäude, Schalterhalle, Büros der DB etc.) im EG und 1. OG sind im Hochhaus bis zum 16. OG Büro- und Verwaltungsnutzungen vorgesehen.

Das Planvorhaben befindet sich unmittelbar westlich der bestehenden Bahnanlagen des Hauptbahnhofs Ingolstadt mit den elektrifizierten Bahnstrecken 5382 (Ingolstadt – Augsburg), 5501 (Ingolstadt – Treuchtlingen) und 5851 (Regensburg – Neuoffingen).

Für das Planvorhaben sind die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen ausgehend vom oberirdischen Schienenverkehr auf der Grundlage von messtechnischen Untersuchungen zu prognostizieren und nach den einschlägigen Regelwerken zu beurteilen.

Aufgrund von zwischenzeitlichen Planänderungen in der Gebäudehöhe und Gebäudenutzung ist eine Überarbeitung der Untersuchung erforderlich.

Mit der Durchführung der Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure AG am 19.08.2019 von der Bau- und Immobilienverwaltung Fäth beauftragt.

2. Örtliche Gegebenheiten

Der Geltungsbereich des künftigen B-Plans Nr. 109 N [11] umfasst die Baufläche des gegenwärtigen Bahnhofgebäudes des Hbf Ingolstadt. Als Art der baulichen Nutzung wird ein „Bahnhofsgebäude mit Büro- und Verwaltungsnutzung“ festgesetzt.

Östlich des bestehenden bzw. geplanten Bahnhofgebäudes verlaufen die Bahnanlagen des Hbf Ingolstadt mit den elektrifizierten Bahnstrecken 5382 (Ingolstadt – Augsburg), 5501 (Ingolstadt – Treuchtlingen) und 5851 (Regensburg – Neuoffingen). Ein Lageplan mit dem Planvorhaben und den Bahnstrecken ist in Anlage 1 enthalten.

Das Plangebiet und der weitere Umgriff sind im Wesentlichen eben.

3. Grundlagen

3.1 Erschütterungen

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 Schnellessignals entstandene Signal. Nach DIN 45669-2 [5] 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 [3] werden zwei Beurteilungsgrößen gebildet:

- 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.
- 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} wird nach folgender Gleichung gebildet:

$$KB_{fTr} = KB_{fTm} \sqrt{T_e/T_r}$$

Dabei ist:

T_r	Beurteilungszeit (tags 16 h, nachts 8 h)
T_e	Summe aller Taktzeiten, während derer Erschütterungen einwirken
KB_{fTm}	Taktmaximal-Effektivwert

Der Taktmaximal-Effektivwert KB_{fTm} ist die Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte KB_{fTi} nach Gleichung (3) der DIN 4150-2¹[3]:

$$KB_{fTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N KB_{fTi}^2}$$

¹ 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.

Die Beurteilung erfolgt nach folgender Vorgehensweise:

- Ist KB_{Fmax} kleiner als der untere Anhaltswert A_u , dann sind die Anforderungen der Norm 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_{Ftr} kleiner als der Anhaltswert A_r ist.
- Ist der KB_{Fmax} größer als der obere Anhaltswert A_o bzw. der KB_{Ftr} größer als der Anhaltswert A_r , dann sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten.

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen gelten abhängig vom Einwirkungsort folgende Anhaltswerte A nach Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 [3].

Tabelle 1: Anhaltswerte zur Beurteilung der Immissionen von Erschütterungen nach Tabelle 1 der DIN 4150-2 [3]							
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	0,10	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

Bei der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen aus unterirdischem Schienenverkehr gelten folgende Besonderheiten:

- Bei der Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{Ftr} wird der Faktor 2 zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten nicht angewendet.
- Für den Schienenverkehr hat der (obere) Anhaltswert nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten.

Einen Hinweis auf die Fühlbarkeit der Erschütterungseinwirkung gibt nach DIN 4150-2 [3] die Größe KB_{Fmax} :

„... Die Fühlschwelle liegt bei den meisten Menschen im Bereich zwischen $KB = 0,1$ und $KB = 0,2$. In der Umgebungssituation „Wohnung“ werden auch bereits gerade spürbare Erschütterungen als störend empfunden. Erschütterungseinwirkungen um $KB = 0,3$ werden beim ruhigen Aufenthalt in Wohnungen überwiegend bereits als gut spürbar und entsprechend stark störend wahrgenommen...“

3.2 Sekundärluftschall

Der innerhalb eines Gebäudes auf Körperschallimmissionen zurückzuführende Luftschall durch Bauwerksschwingungen von Raumbegrenzungsflächen (Wände und vor allem Geschossdecken) wird als sekundärer Luftschall bezeichnet und als tieffrequenter Luftschall wahrgenommen.

Bei der Beurteilung der sekundären Luftschallabstrahlung durch verkehrsbedingte Einwirkungen (z.B. Straßen- und Schienenverkehr) existieren keine spezifischen Regelungen mit einer Festlegung von Richtwerten. Es muss demnach auf Richtlinien aus anderen schalltechnischen Bereichen zurückgegriffen werden, die für die Körperschallübertragung innerhalb von Gebäuden oder tieffrequente Schallimmissionen Aussagen treffen.

Im Rahmen der Bauleitplanung sowie bei zivilrechtlichen Auseinandersetzungen ist es in Bayern gängige Praxis, die Beurteilung der Einwirkungen durch sekundären Luftschall nach der TA Lärm [7] bzw. der DIN 45680 [6] durchzuführen (diese Richtlinien regeln generell die Geräuschübertragung innerhalb von Gebäuden bzw. tieffrequente Geräusche durch gewerbliche Anlagen). Im vorliegenden Fall werden für das geplante Bauvorhaben ebenfalls diese Werte angesetzt. Die genannten Immissionsrichtwerte gelten gebietsunabhängig für schutzbedürftige Räume:

Tabelle 2: Immissionsrichtwerte „Innen“ nach TA Lärm [dB(A)]		
Beurteilungszeitraum	Mittelungspegel L_m	Maximalpegel L_{max}
Tags (06.00 – 22.00 Uhr)	35	45
Nachts (22.00 – 06.00 Uhr)	25	35

Die Anforderungen der Richtlinie gelten demnach als erfüllt, wenn der Mittelungspegel des sekundären Luftschalls im Zeitraum Tag (06.00 – 22.00 Uhr) 35 dB(A) und im Zeitraum Nacht (22.00 – 06.00 Uhr) 25 dB(A) nicht überschreitet. Es soll zudem vermieden werden, dass kurzzeitige Geräuschspitzen (hier der mittlere Maximalpegel bei der Zugvorbeifahrt) den Richtwert um mehr als 10 dB(A) überschreiten.

Durch die Schwingungsanregung der Wände und vor allem der Geschossdecken wird sekundärer Luftschall durch die Raumbegrenzungsflächen abgestrahlt. Zwischen der Schwingschnelle in den Raumbegrenzungsflächen, den jeweiligen Abstrahl- und Absorptionsverhältnissen im Raum und den daraus resultierenden Schalldruckpegeln im Raum besteht ein direkter Zusammenhang.

Ein allgemein gültiges Berechnungsverfahren kann jedoch aufgrund des sehr komplexen Wirkungsgefüges der o.g. Zusammenhänge im hier bestimmenden Frequenzbereich unter 100 Hz nicht angegeben werden.

Aufgrund von Erfahrungen kann der sekundäre Luftschall in guter Näherung nach folgender Formel abgeschätzt werden [8]:

$$L_{pA}(f_T) = L_{vA}(f_T) + 10 \log\left(\frac{4S}{A(f_T)}\right) + 10 \log(\sigma(f_T))$$

Dabei bedeuten:

$L_{pA}(f_T)$	Terzpegel des A-bewerteten Schalldrucks im Raum
$L_{vA}(f_T)$	Terzpegel der A-bewerteten Schwingschnelle der Raumbegrenzungsflächen, bezogen auf $5 \cdot 10^8$ m/s
S	Größe der schwingerregten Fläche in m^2
$A(f_T)$	äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m^2
$\sigma(f_T)$	Abstrahlgrad
f_T	Terzmittenfrequenz

Für eine genauere Betrachtung des sekundären Luftschalls müsste die mittlere Schnellepegelverteilung aller abstrahlenden Flächen mit den zugehörigen Abstrahlgraden und den äquivalenten Absorptionsgraden bekannt sein. Aufgrund von Erfahrungswerten für raumakustische Verhältnisse in Wohnräumen und mit Wohnräumen vergleichbar ausgestatteten Räumen können zur Abschätzung folgende Werte für S , A und σ angesetzt werden.

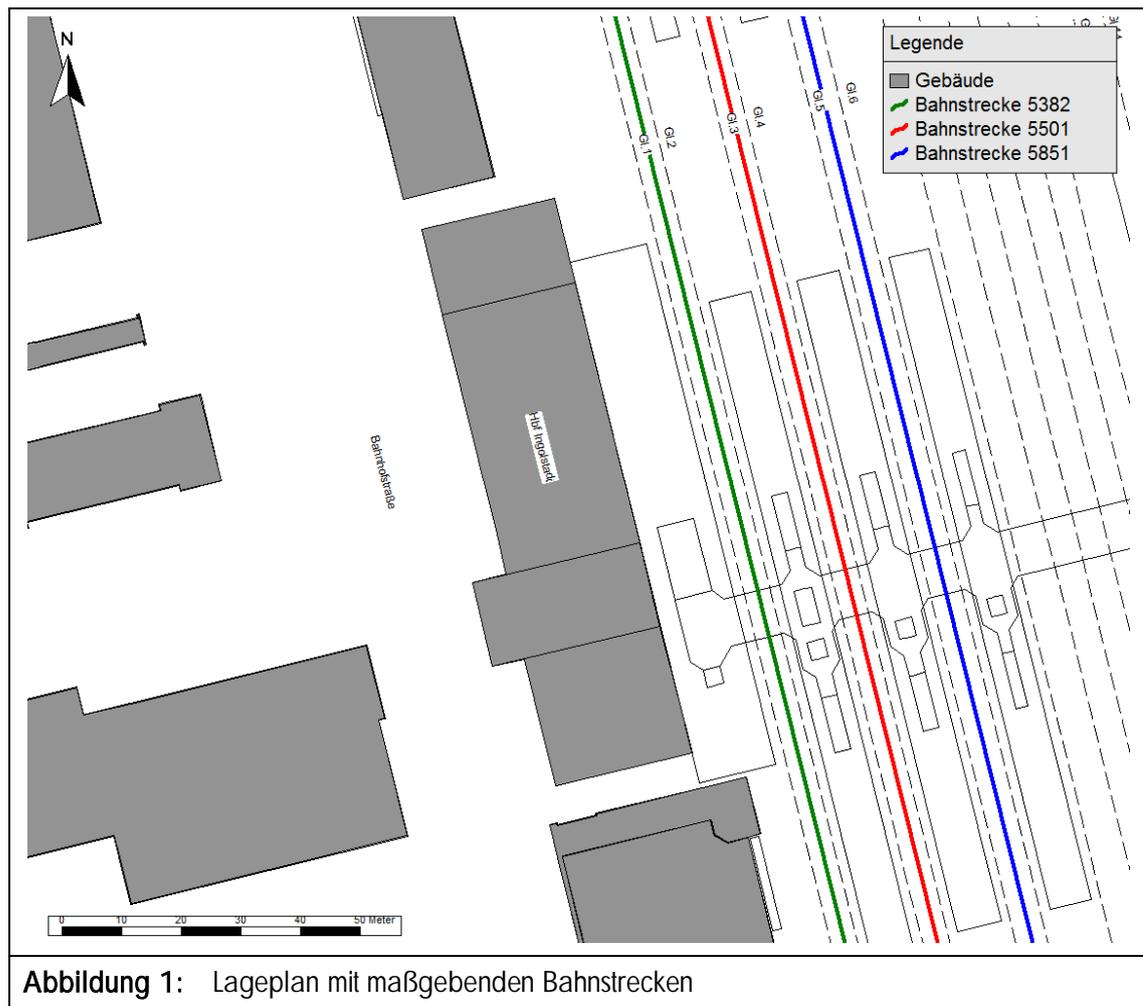
S	$\approx 2 \times$ Grundrissfläche G
A	$\approx 0,8 \times$ Grundrissfläche G
$\sigma(f_T)$	= 1 für Frequenzen $> f_g$. Für tiefere Frequenzen als die Grenzfrequenz f_g erfolgt eine Absenkung

Diese Korrektur wird terzweise zu den Prognosespektren der Erschütterungsimmissionen addiert. Die so ermittelten sekundären Luftschallpegel stellen mittlere Maximalpegel L_{max} während der Zugvorbeifahrten dar. Die Berechnung erfolgt im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz.

4. Belegungsprogramm

Für die Bahnstrecken 5382 (Ingolstadt – Augsburg), 5501 (Ingolstadt – Treuchtlingen) und 5851 (Regensburg – Neuoffingen) wurde eine aktuelle Prognose für das Jahr 2030 zugrunde gelegt. Das darin enthaltene Betriebsprogramm geht deutlich über das vor Ort gemessene Zugaufkommen hinaus. Deshalb müssen die Messwerte auf das künftige Zugaufkommen hochgerechnet werden.

Die Lage der maßgebenden Bahnstrecken ist in folgender Abbildung dargestellt.



Die Aufteilung der Zugmengenangaben auf die Durchgangsgleise wurde entsprechend der Prognoseangaben für das Jahr 2030 berücksichtigt.

Die angesetzten Zugmengen für die maßgebenden Strecken sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 3: Belegungsprogramm der Bahnstrecken gem. [10]		
Bahnstrecke/ Zuggattung	Anzahl Vorbeifahrten im Beurteilungszeitraum	
	Tag	Nacht
Bahnstrecke Ingolstadt – Augsburg (5382)		
RV	80	16
GZ	9	5
Bahnstrecke Ingolstadt – Treuchtlingen (5501)		
RV	80	10
IC	3	0
ICE	80	8
GZ	57	47
Bahnstrecke Regensburg – Neuoffingen (5851)		
RV	40	12
GZ	42	28

5. Messungen

5.1 Messzeit, Messort und Messdurchführung

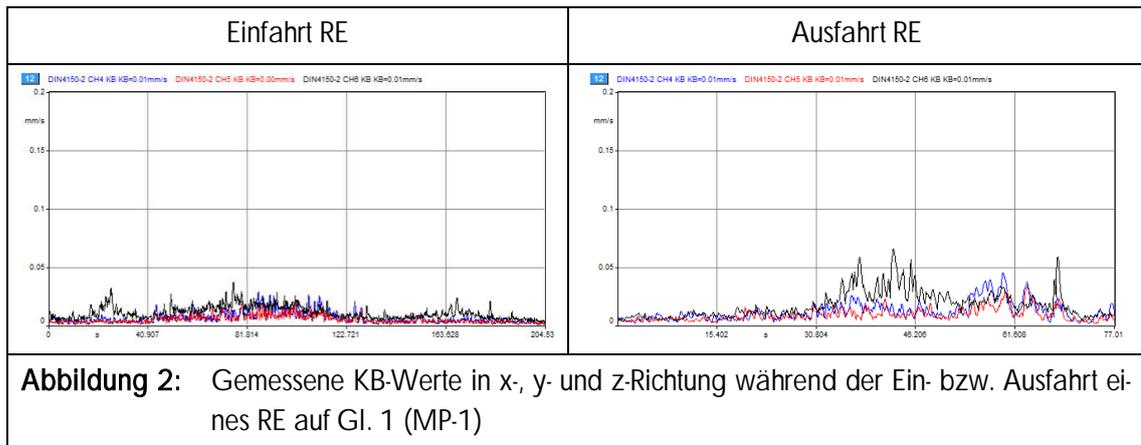
Als Grundlage zur Beurteilung der Erschütterungs- und Sekundärluftschalleinwirkungen für das Planvorhaben Hbf Ingolstadt wurden Messungen im bestehenden Bahnhofsgebäude durchgeführt. Die Messungen fanden am 07.11.2019 in der Zeit von 10:00 und 17:00 Uhr statt. Die Dokumentation zur Lage der Messpunkte ist in folgender Tabelle und in Anlage 1 dargestellt. Die Auswertung der Messungen erfolgt bezüglich der jeweiligen Gleisachsen, die Abstandsangaben beziehen sich auf das nächstgelegene Durchgangsgleis (Horizontaler Abstand zu Gl. 1 von Bahnstrecke 5382).

Tabelle 4: Dokumentation zur Lage der Messpunkte			
Messpunkt	Lage des Messpunktes	Messrichtung	Horizontaler Abstand zum nächstgelegenen Gleis (Gl. 1)
MP-1	2. OG Deckenfeldmitte	x-,y-,z-Richtung	17 m
MP-2	Fundament	x-,y-,z-Richtung	15 m

In der nachfolgenden Tabelle sind die Anzahl der messtechnisch erfassten verwertbaren Vorbeifahrten während der Messzeit aufgelistet. Zum Messzeitpunkt war das Plangebiet weitestgehend frei von Störeinträgen (Fremdbelastung, kein Bodenfrost etc.).

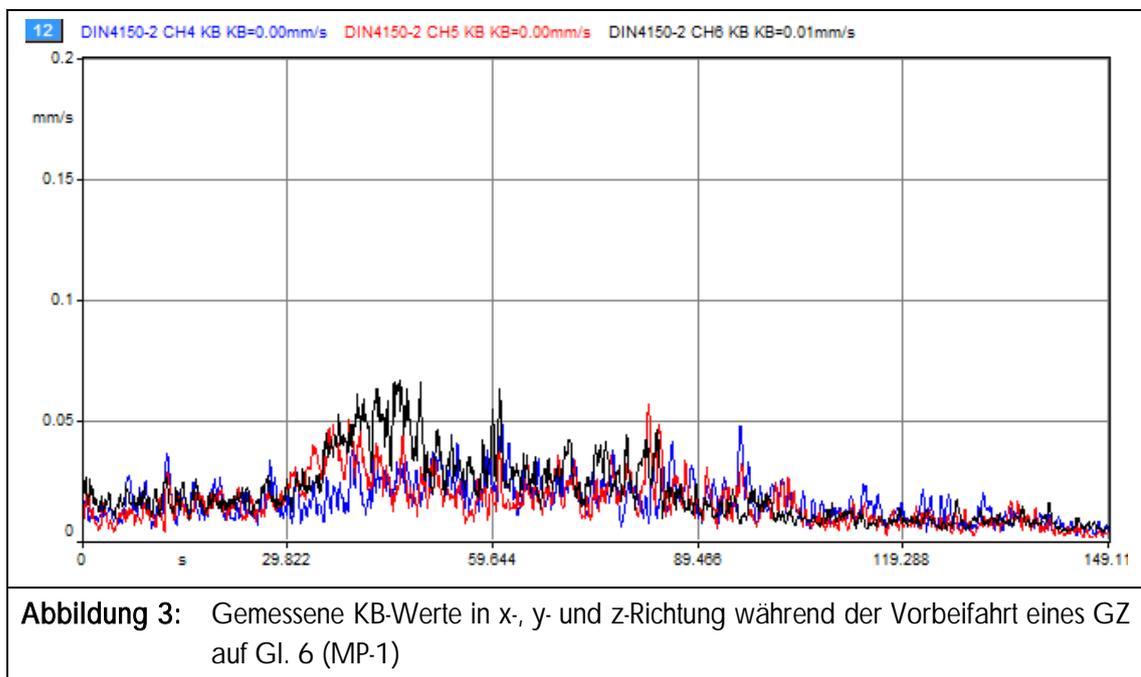
Tabelle 5: Messtechnisch erfasste verwertbare Vorbeifahrten während der Messzeit			
Zuggattung	Gleis	Mittlere gemessene Geschwindigkeit [km/h]	Anzahl der gemessenen Vorbeifahrten
ICE	Gl. 3/ 4	90 - 100	6
GZ	Gl. 3/ 4	75 - 85	6
RV	Gl. 1/ 2	Ein-/Ausfahrt	6
GZ	Gl. 5/ 6	20 -35	4

Auf den Gleisen 1 und 2 kam es während der Messzeit lediglich zu Ein- und Ausfahrten; durchfahrende Züge wurden nicht erfasst. Die beiden Gleise sollen auch gem. [10] zukünftig nicht als Durchgangsgleise genutzt werden. In der folgenden Abbildung sind die am MP-1 (2. OG) gemessenen KB-Werte während der Ein- und Ausfahrt eines RE auf Gl. 1 dargestellt.



Es ist ersichtlich, dass die gemessenen KB-Werte unterhalb der Fühlbarkeitsschwelle von $KB = 0,1$ liegen. In der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden nach [3] werden KB-Werte $\leq 0,1$ zu 0 gesetzt. Die Erschütterungen ausgehend von den ein- und ausfahrenden Zügen auf Gl.1 und 2 sind in der vorliegenden Untersuchung somit vernachlässigbar.

Auf den Gleisen 5 und 6 konnten während der Messzeit zwei Güterzüge mit geringen Vorbeifahrtsgeschwindigkeiten von bis zu 35 km/h erfasst werden. In der folgenden Abbildung sind die am MP-1 (2. OG) gemessenen KB-Werte während der Vorbeifahrt eines GZ auf Gl. 6 dargestellt.



Es ist ersichtlich, dass die gemessenen KB-Werte unterhalb der Fühlbarkeitsschwelle von $KB = 0,1$ liegen. Die Vorbeifahrten der Gl.5 und 6 können in der Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen ebenfalls vernachlässigt werden.

Die gemessenen Zugvorbeifahrten auf den Gl. 3 und 4 (ICE und GZ) mit Geschwindigkeiten von bis zu 100 km/h sind somit für die vorliegende Untersuchung maßgebend.

Die Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Züge wurde unter Verwendung einer Radarpistole der Fa. Bushnell erfasst und protokolliert.

5.2 Messgeräte

Für die Messungen wurden die folgenden Geräte verwendet:

- 3D ICP Seismometer (KG 103 und KG 104) der Fa. SINUS Messtechnik
- Messdatenerfassung und –konditionierung mit dem Messsystem Soundbook Mk II der Fa. SINUS Messtechnik
- Kalibrator VC21 der Fa. Metra
- Signalanalyse Software SAMURAI Version 2.8 der Fa. SINUS Messtechnik GmbH

Die verwendeten Messgeräte wurden vor und nach der Messung kalibriert und auf ihre einwandfreie Funktion überprüft. Die Messgeräte sind Bestandteil des unter D-PL-19432-01-00 nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 [9] von der DAkkS akkreditierten Prüflaboratoriums der Möhler + Partner Ingenieure AG. In diesem Rahmen werden die Messgeräte regelmäßig überwacht und auf nationale Normale zurückgeführt.

Messunsicherheit

Bei der Ermittlung der Schwingungskenngrößen treten nach Nr. 5.4 Absatz 3 der DIN 4150-2 [3] Messunsicherheiten von bis zu 15 % auf. Die gerätebedingten Fehlergrenzen der Komponenten der Messunsicherheit können DIN 45669-1 [4] entnommen werden.

Zusätzliche Messunsicherheiten können allgemein durch Übersteuerung der Messgeräte, Störsignale, meteorologische Einflüsse oder Fremdeinwirkungen, schwankende Betriebszustände entstehen. Übersteuerungen, Störsignal und ungünstige meteorologische Bedingungen sind im vorliegenden Fall ohne Bedeutung.

6. Prognose der Erschütterungs- und Sekundärluftschalleinwirkungen

Folgende Annahmen werden für eine Abschätzung der zu erwartenden Deckenschwingungen und der daraus resultierenden KB-Werte sowie dem prognostizierten Sekundärluftschall getroffen:

Anregung

An den Messpunkten wurde für jede Zugvorbeifahrt das sog. Max-Hold-Terzspektrum mit der Zeitbewertung „FAST“ im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz ausgewertet. In einem weiteren Schritt wurden die Spektren an den beiden Messpunkten energetisch gemittelt. Anlage 3 zeigt die maßgebenden mittleren Terzpegelschnellespektren an den Messpunkten, jeweils unterschieden nach Zuggattung und Gleis.

Schwingungsausbreitung innerhalb des Gebäudes

Die Anregung des Gebäudefundaments wird i. d. R. mit überhöhten Schwingschnellen in den Geschossdecken beantwortet. Die durch Resonanz bei den Eigenfrequenzen der Decken auftretenden Vergrößerungsfaktoren erreichen erfahrungsgemäß Werte von 3 bis 8, entsprechend einer Erhöhung der Schnellepegel um 10 bis 18 dB. Die Eigenfrequenzen von Beton-Rohdecken können i.d.R. im Bereich von 15 bis 40 Hz liegen.

Die jeweiligen Berechnungen wurden für Rohdecken-Eigenfrequenzen bis ca. 40 Hz durchgeführt, wobei jeweils die Decken-Eigenfrequenz auf die Bodenresonanz gelegt wurde. Es ergeben sich somit über den oben dargestellten Frequenzbereich die höchsten Immissionen. Als Verstärkungsfaktor wurde 8 (= 18 dB) gewählt. Die Vergrößerungs-Faktoren für die anderen Frequenzen können aus dem Zusammenhang für die Vergrößerungsfunktion eines Ein-Massen-Schwingers

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

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

ermittelt werden. Als Dämpfungsmaß wurde ein Erfahrungswert von $D = 0,065$ für Stahlbetondecken angesetzt.

Die Schwingungen des schwimmenden Estrichs bzw. des Gesamtdeckenaufbaus werden ebenfalls durch ein Massen-Schwinger-Modell angenähert. Typische Estrich-Eigenfrequenzen liegen im Bereich von 50 bis 80 Hz. Die resultierenden Deckenschwingungen werden einer Frequenzbewertung (KB-Filterung) unterzogen und energetisch summiert. Die ermittelten KB-Werte sind aufgrund der Auswertung von Max-Hold-Spektren in Näherung als je Richtung gemittelte KB_{fmax} -Werte (KB_{f1m} -Werte je Fahrtrichtung nach DIN 4150, Teil 2) anzusehen.

Die Auswertung der gemessenen Schnellespektren führt für Rohdecken mit Eigenfrequenzen bis 40 Hz bzw. unter der Annahme des Einbaus eines schwimmenden Estrichs für Rohdecken mit Estrich und Estrich-Eigenfrequenzen von $f_0 = 50$ Hz zu den unten aufgelisteten höchsten $KB_{F_{Tm}}$ - Werten für ein zwei stöckiges Gebäude. Ausgehend von den Terzschnellespektren (Anlage 3) ergeben sich bei den Prognoseabschätzungen folgende Beurteilungsgrößen:

Tabelle 6: Höchster prognostizierter $KB_{F_{Tm}}$ - Wert bzw. $KB_{F_{Tr}}$ - Werte tags / nachts auf den Geschossdecken des künftigen Gebäudes an den Messpunkten			
Messpunkt	$KB_{F_{Tmax}}$ – Wert	$KB_{F_{Tr}}$ – Wert	
		tags	nachts
MP 1	0,13	0,03	0,03
MP 2	0,13	0,03	0,03

Anm.: Die Tabellenwerte gelten für Rohdecken mit schwimmendem Estrich, ohne schwimmenden Estrich sind ca. 20 % geringere Werte zu erwarten.

Tabelle 7: Mittlere prognostizierte Geräuschspitzen und Mittelungspegel des Sekundärluftschalls in Räumen des zukünftigen Gebäudes an den Messpunkten			
Messpunkt	Mittlere Geräuschspitzen des sekundären Luftschalls $\overline{L_{A,max}}$ [dB(A)]	Mittelungspegel $L_{A,m}$ [dB(A)]	
		tags	nachts
MP 1	51,9	36,7	36,7
MP 2	35,6	19,3	20,9

Fett: Überschreitungen der Immissionsrichtwerte für Innenschallpegel der TA Lärm

7. Beurteilung der Erschütterungen und des Sekundärluftschalls

Die Beurteilung der auf Erschütterungen und Sekundärluftschall zurückzuführenden Immissionsituation erfolgte auf Grundlage der aus den Messdaten berechneten Mittelwerte. Die Immissionen einzelner Zugvorbeifahrten können jedoch deutlich (z. B. bei schadhaftem Zugmaterial) von diesen Mittelwerten abweichen. Die Aussagen beziehen sich auf die vorliegenden Unterlagen, die im Lageplan angegebene Lage des geplanten Baukörpers zu den oberirdischen Schienenwegen, die vorliegenden Zugzahlen und –gattungen, Geschwindigkeiten und pauschale Ansätze für die Reaktion eines Gebäudes in konventioneller Bauweise (Massivbau mit Stahlbetondecken) auf eine Schwingungsanregung. Die Messungen enthalten erhöhte Prognoseunsicherheiten durch die gebäudespezifischen Schwingungseigenschaften des Bestandsgebäudes, sodass im Einzelfall auch deutlich günstigere Erschütterungswerte nicht auszuschließen sind. Beim vorhandenen Bestandsgebäude ist nicht auszuschließen, dass im Vergleich zum Plangebäude eine geringere Gebäudemasse des Bestandsgebäudes höhere Erschütterungswerte nach sich ziehen.

7.1 Erschütterungen

Im Entwurf des vorhabenbezogenen Bebauungsplans [11] ist für die Festsetzung der Art der Nutzung ein „Bahnhofsgebäude mit Büro- und Verwaltungsnutzung“ vorgesehen. In den oberen Stockwerken sind u.a. auch Einrichtungen für soziale, gesundheitliche, kulturelle und sportliche Zwecke zulässig. Für die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen werden hilfsweise die Anhaltswerte der DIN 4150-2 [3] für Kerngebiete (Tabelle 1 Zeile 3) herangezogen. Dies entspricht ebenfalls der Einschätzung der Stadt Ingolstadt [13].

Die prognostizierten $KB_{F_{Tm}}$ -Werte liegen an beiden Messpunkten ($KB_{F_{Tm}} = 0,13$) unterhalb der unteren Anhaltswerte für Kerngebiete ($A_u = 0,2 / 0,15$ Tag/ Nacht) im Tag- und Nachtzeitraum. Die Anforderungen der DIN 4150-2 werden somit eingehalten, sofern die Neubebauung baulastdynamisch vergleichbar mit der Bestandsbebauung ist (Massivbauweise, vergleichbare Deckenspannweiten und Massen). Die Fühlbarkeitsschwelle von $KB \geq 0,1$ kann durch Erschütterungsspitzen einzelner Zugvorbeifahrten überschritten werden.

7.2 Sekundärer Luftschall

Die Beurteilung des Sekundärluftschalls erfolgt anhand der gebietsunabhängigen Immissionsrichtwerte „Innen“ der TA Lärm bzw. den Anhaltswerten für die Beurteilung von tieffrequenten Geräuschen nach Beiblatt 1 der DIN 45680.

Die mittleren Maximalpegel betragen am MP-1 bis zu $L_{A_{max}} = 52$ dB(A). Die Mittelungspegel des Sekundärluftschalls betragen am MP-1 bis zu $L_{A_m} = 37/37$ dB(A) Tag/Nacht. Die prognostizierten Sekundärluftschallimmissionen überschreiten somit die Immissionsrichtwerte „Innen“ um bis zu 2/12 dB(A) Tag/Nacht. Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen durch Zugvorbeifahrten liegen um bis zu 7/17 dB(A) Tag/Nacht oberhalb der Immissionsrichtwerte für Spitzenpegel „Innen“ der TA Lärm. Die Überschreitungen der TA Lärm ergeben sich für die im Bestand gemessenen Erschütterungssignale. Durch höhere Gebäudemassen sind tendenziell geringe Schwingungsimmisionen im Vergleich

zur gemessenen Bestandsbebauung zu erwarten; die Prognosewerte liegen somit tendenziell auf der sicheren Seite.

8. Formulierungsvorschlag für den Bebauungsplan

Satzung (Festsetzungen)

Erschütterungsschutz

- (1) Bei der Errichtung schutzwürdiger Räumen nach DIN 4109 ist durch geeignete Schutzmaßnahmen (zum Beispiel durch eine elastische Gebäudelagerung) sicherzustellen, dass dort die Erschütterungsimmissionen die einschlägigen Anforderungen der DIN 4150/2 (Erschütterungen im Bauwesen. Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Juni 1999) nicht überschreiten.
- (2) Es ist sicherzustellen, dass in schutzwürdigen Räumen nach DIN 4109 die energetische Summe aus den Immissionsbeiträgen primären (Schienen- und Straßenverkehrslärm) und sekundären Luftschalls die „Anhaltswerte für Innenpegel“ nach VDI 2719 einhält.

Begründung

Aufgrund der räumlichen Nähe des Baufelds zu den oberirdischen Schienenverkehrswegen der Bahnstrecken 5382 (Ingolstadt – Augsburg), 5501 (Ingolstadt – Treuchtlingen) und 5851 (Regensburg – Neuoffingen) wurden mögliche schwingungsinduzierte Auswirkungen im Rahmen eines erschütterungstechnischen Gutachtens untersucht. Hierbei wurden die zukünftigen Einwirkungen durch Erschütterungen und Sekundärluftschall prognostiziert und nach den einschlägigen Richtlinien und Normen beurteilt.

Die Untersuchungen auf Basis von Erschütterungsmessungen im Bestand kommen zu dem Ergebnis, dass aufgrund des Abstands des Baufeldes sowohl die Anforderungen der DIN 4150-2 hinsichtlich der Erschütterungsimmissionen als auch die Anforderungen der TA Lärm bzw. der DIN 45680 hinsichtlich der Innenraumpegel der Sekundärschallimmissionen bzgl. der Emissionen der Schienenverkehrswege voraussichtlich nicht ohne Maßnahmen zum Erschütterungsschutz eingehalten werden.

Deshalb wird festgesetzt, dass bei der Errichtung von schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen technische bzw. konstruktive Maßnahmen vorzusehen sind, die eine Einhaltung der Anhalts- und Richtwerte für Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen sicherstellen. Für das geplante Gebäude ist voraussichtlich eine seitliche Abschirmung oder eine technisch gleichwertige Maßnahmen zur Schwingungsentkopplung vorzusehen, um den erforderlichen Schutz vor Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen zu erreichen.

9. Fazit

Die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen wurden auf der Grundlage von Messungen für das vorhabenbezogene Bebauungsplanverfahren Hauptbahnhof (Hbf) Ingolstadt prognostiziert. Demnach werden die Anforderungen der DIN 4150-2 an Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden im Plangebäude eingehalten, sofern die Neubebauung baulastdynamisch vergleichbar mit der Bestandsbebauung ist (Massivbauweise, vergleichbare Deckenspannweiten und Massen etc.).

Im Plangebäude können Überschreitungen der Immissionsrichtwerte für Innenschallpegel der TA Lärm im Tag- und Nachtzeitraum durch sekundären Luftschall nicht ausgeschlossen werden. Auf der Grundlage der am Fundament des Bestandsgebäudes gemessenen Erschütterungen und unter Berücksichtigung erfahrungsgemäßer Schwingungsübertragen für massive Stahlbetonkonstruktionen wurden zwar keine Überschreitungen der Immissionsrichtwerte „Innen“ der TA Lärm im Plangebäude prognostiziert, jedoch wurden am Deckenmesspunkt im Bestandsgebäude Überschreitungen der Immissionsrichtwerte „Innen“ der TA Lärm um bis zu 2/12 dB(A) Tag/Nacht durch den Schienenverkehr ermittelt. Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen durch Zugvorbeifahrten können im Bestandsgebäude die Immissionsrichtwerte für Spitzenpegel „Innen“ der TA Lärm um bis zu 7/17 dB(A) Tag/Nacht überschreiten.

Die vorliegende Untersuchung unterliegt einer gewissen Prognoseunsicherheit. Die Überschreitungen der Immissionsrichtwerte der TA Lärm durch sekundären Luftschall wurden am Deckenmesspunkt MP-1 im Bestand ermittelt. An diesem Messpunkt werden die deckenspezifischen Schwingungseigenschaften der bestehen Bausubstanz in der Messung mitberücksichtigt. Im Plangebäude können sich aufgrund des gebäude- und deckenabhängigen Schwingungsverhaltens auch wesentlich geringere Schnellepegel ergeben.

Für den Bebauungsplan wurde ein Formulierungsvorschlag unterbreitet, sodass schutzbedürftige Nutzungen im Plangebiet hinreichend vor Erschütterungen und Sekundärluftschall geschützt sind.

In der weiteren Vorhabenplanung bzw. Planung der schwingungsmindernden Schutzmaßnahmen empfehlen wir die folgende Vorgehensweise:

- a) Detailuntersuchung der Schwingungsübertragungen innerhalb des geplanten Gebäudes unter Berücksichtigung der boden- und baulastdynamischen Randbedingungen mittels strukturdynamischer Simulationen (FEM), um das Konfliktpotential stockwerks- und raumscharf zu ermitteln. Insbesondere in dem geplanten Hochhaus können Deckenüberhöhungen der Schwingungen und somit sekundäre Luftschallimmissionen nicht ohne weiteres ausgeschlossen werden.
- b) Untersuchung verschiedener technischer bzw. konstruktiver Schutzmaßnahmen, wie z.B. (teil-)elastische Gebäudelagerungen oder seitliche Abschirmung, zur Entkopplung der schutzbedürftigen Aufenthaltsräume, sodass eine Einhaltung der Anhalts- und Richtwerte gewährleistet werden kann, auf der Grundlage der Messungen sowie o.g. Detailuntersuchungen mithilfe von FEM-Simulationen.

Ohne zusätzliche Detailuntersuchungen ist bei einer elastischen Lagerung des Baukörpers darauf zu achten, dass schutzbedürftige Aufenthaltsräume komplett von der restlichen baulichen Anlage (nicht-

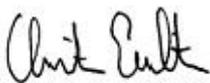
schutzbedürftige Räume, Bahnsteige, Gleisunterbau etc.) bzw. dem Untergrund entkoppelt sind. Neben der schwingungsentkoppelten Lagerung sind zur Vermeidung von Körperschallbrücken grundsätzlich alle Durchdringungen im Bereich der Lagerebene (z.B. Aufzüge, Treppen, Wasser, Abwasser, Heizung, etc.) ebenfalls schwingungsentkoppelt auszuführen. Zusätzlich ist auf eine Entkopplung der Nachbargebäude zu achten.

Als weitere wirksame schwingungsisolierende Maßnahme erscheint im vorliegenden Fall eine seitliche Entkopplung/ Abschirmung des Plangebäudes zum benachbarten Bahnsteig. Durch das Einbringen einer seitlichen Abschirmung an der Kelleraußenwand kann erfahrungsgemäß eine Minderung des Sekundärluftschalls um mindestens 5 dB(A) erreicht werden. Die seitliche Abschirmung sollte bis mindestens OK Fundament in das Erdreich reichen. Die höchste Wirksamkeit erreicht eine Abschirmung mit einer möglichst geringen Steifigkeit.

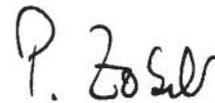
Dieses Gutachten umfasst 23 Seiten und 3 Anlagen. Die auszugsweise Vervielfältigung des Gutachtens ist nur mit Zustimmung der Möhler + Partner Ingenieure AG gestattet.

München, den 17. September 2021

Möhler + Partner
Ingenieure AG



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



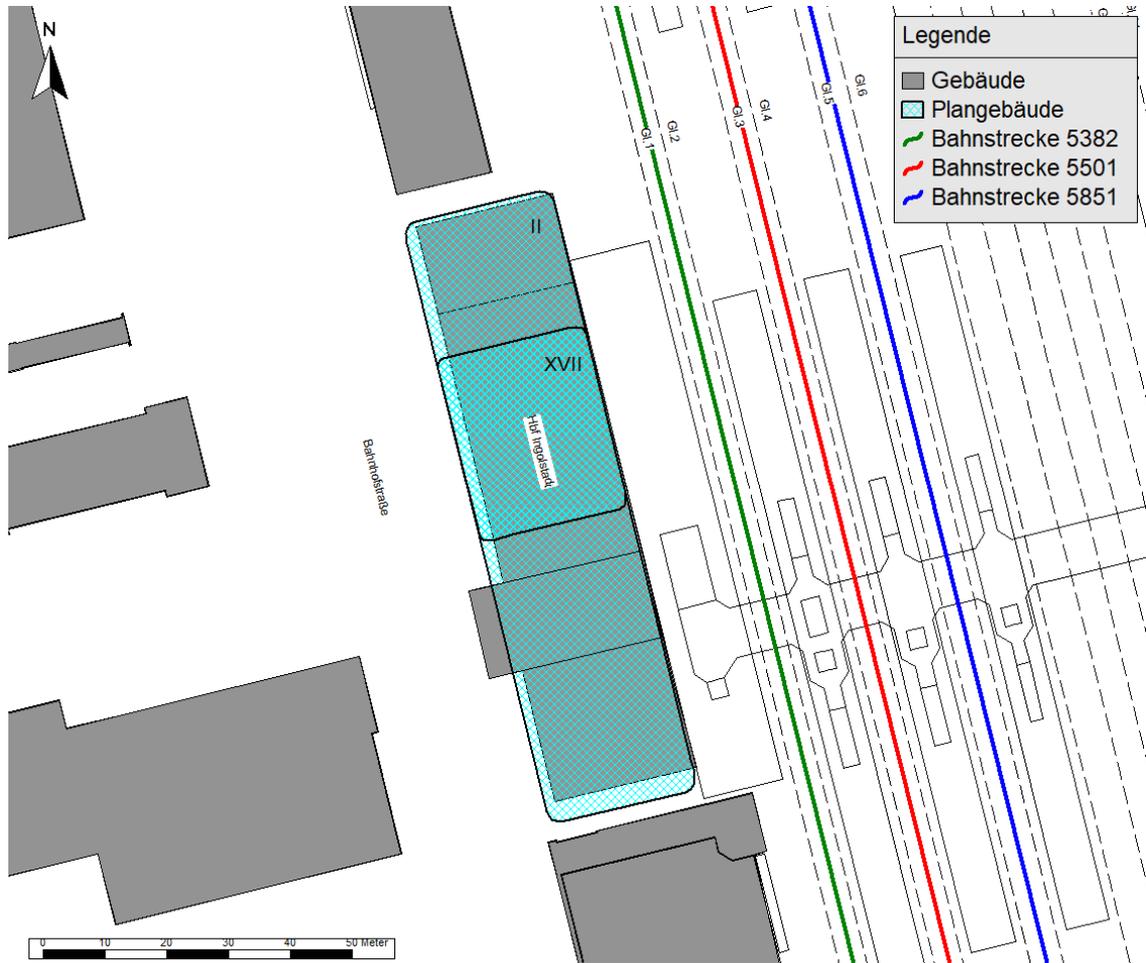
i. V. P. Zobel, M. Sc.

10. Anlagen

- Anlage 1: Übersichtslagepläne
- Anlage 2: Fotographische Dokumentation der Messung
- Anlage 3: Mittlere Max-Hold-Terzschnellespektren

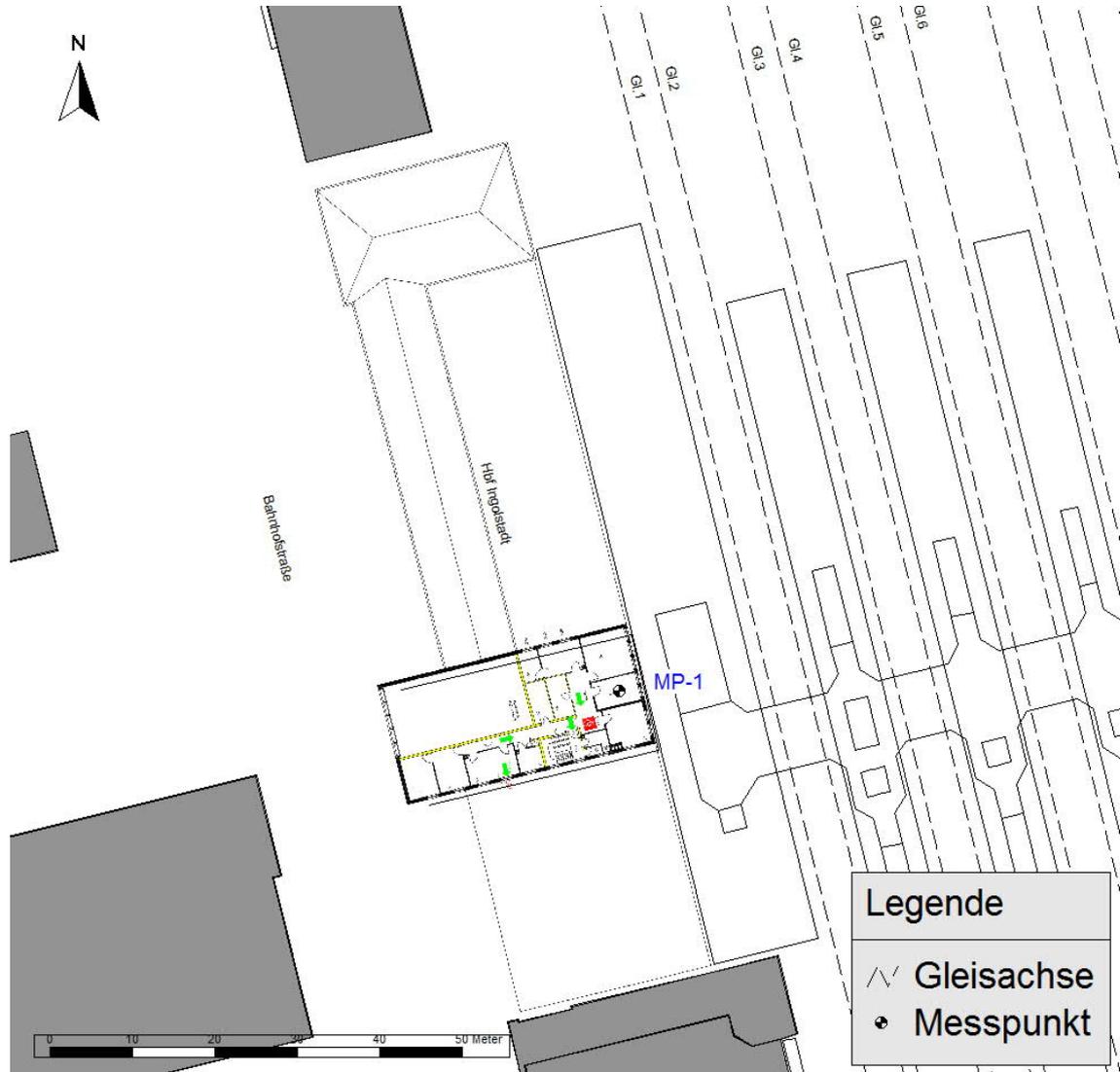
Anlage 1: Übersichtslagepläne

Lageplan mit Planvorhaben



Lagepläne mit Messpunkten

MP-1 im 2. Obergeschoss



MP-2 im Kellergeschoss



Anlage 2: Fotografische Dokumentation der Messung

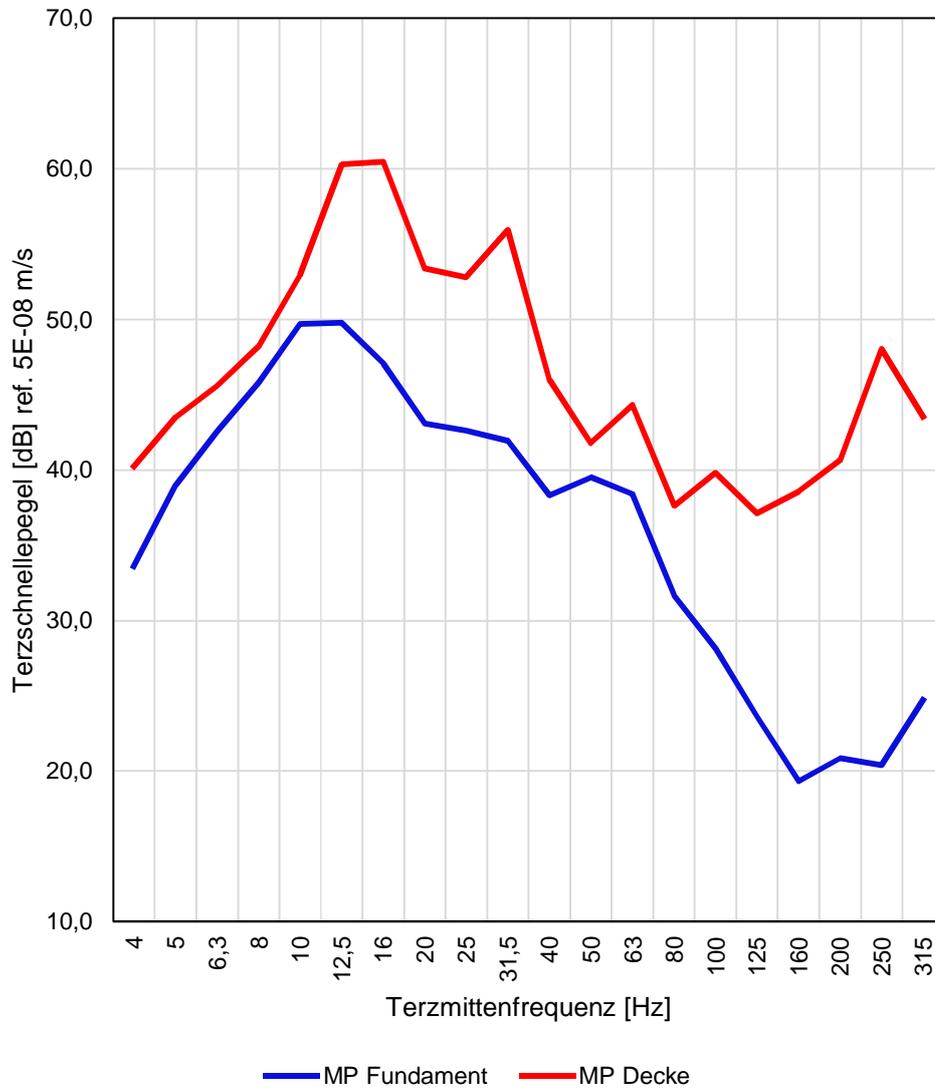


Foto 1: MP-1 im 2. Obergeschoss



Foto 2: MP-2 im Keller

Anlage 3: Mittlere Max-Hold-Terzschnellespektren

Mittlere Max-Hold-Terzschnellespektren
Durchfahrt ICE auf Gl.3 und Gl.4

Mittlere Max-Hold-Terzschnellespektren Durchfahrt Güterzug auf Gl.3 und Gl.4

