

Baudynamische FEM-Simulationen

Bauvorhaben Hirmerei in München Allach

Erschütterungen durch oberirdischen
Schienenverkehr

Bericht Nr. 720-6840

im Auftrag der

München Allach S.à.r.l.

München, im Oktober 2022

Baudynamische FEM-Simulationen

Bauvorhaben Hirmerei in München Allach
Erschütterungen durch oberirdischen Schienenverkehr

Bericht-Nr.: 720-6840

Datum: 13.10.2022

Auftraggeber: München Allach S.à.r.l.
17 Rue de Flaxweiler
6776 Grevenmacher
Luxemburg

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

Bearbeiter:



Inhaltsverzeichnis:

1. Aufgabenstellung	6
2. Örtliche Gegebenheiten	6
3. Prognosegrundlagen	7
4. FEM-Simulationen.....	8
4.1 FE-Modell	8
4.2 Belastung.....	10
4.3 Simulationsergebnisse.....	11
5. Sekundärluftschallimmissionen	11
6. Anlagen	13

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1:	Flussdiagramm Prognoseverfahren.....	7
Abbildung 2:	3D-Boden-Bauwerk-Modell.....	9
Abbildung 3:	Wandaufbau nach [8] und FE-Modell.....	10
Abbildung 4:	Berechnete Übertragungsfunktion der Schwingungen zwischen Erdrich vorm Gebäude und Wandmitte der Brettsperrholzwand (exemplarisch für Wand im 5. OG)	11

Grundlagenverzeichnis:

- [1] DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [2] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998, geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5)
- [3] VDI 3837, Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen – Spektrales Prognoseverfahren, Januar 2013
- [4] VDI 2038 Blatt 3, Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen – Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik – Sekundärer Luftschall – Grundlagen, Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung, November 2013
- [5] SOFiSTiK v. 2022, FEM-Software
- [6] Erschütterungstechnische Untersuchung, Landeshauptstadt München Vorhabenbezogener Bebauungsplan Eversbuschstraße „Hirmerei“, Bericht Nr. 700-6421-ERS vom 29.04.2021, Möhler + Partner Ingenieure AG
- [7] Geotechnisches Gutachten – Voruntersuchung gemäß DIN 4020, 1. Aktualisierung vom 15.12.2021, Grundbaulabor München GmbH
- [8] Angaben zur geplanten Brettsperrholzfassade, Entscheidungsvorlage zum Projekt M-E1385 Hirmerei vom 08.06.2022
- [9] Angaben zur Tragwerksplanung, Bauvorhaben Hirmerei Vorentwurfsplanung (LPH2) Baugrube und Hochbau vom 08.04.2022, Zilch + Müller Ingenieure GmbH
- [10] Grundrisse Wohnbebauung „Hirmerei“ Eversbuschstraße München, Stand 20.07.22
- [11] Schnitte Wohnbebauung „Hirmerei“ Eversbuschstraße München, Stand 25.05.22
- [12] Brettsperrholz Bemessung, Grundlagen für Statik und Konstruktion nach Eurocode, proHolz Austria, Juli 2013
- [13] Parameteridentifikation von Brettsperrholz-Elementen mittels Bayesscher Optimierung, Alexander Paolini et al., DAGA 2016 Aachen

1. Aufgabenstellung

Die München Allach S.à.r.l. plant die Errichtung von Wohnbebauung „Hirmerei“ an der Eversbuschstraße in München. Die derzeitige Planung sieht einen innenhofbildenden bis zu 6-geschossigen Baukörper vor. Das geplante Wohnbaugebiet liegt im Einwirkungsbereich von Schienenverkehrserschütterungen durch die östlich gelegenen Bahnstrecken München-Allach - München-Karlsfeld (Streckenummer 5544 und 5501) und München-Allach - Rbf München Nord (Streckenummer 5563) mit Nah-/ Fern-/ Regional- und Güterverkehr.

Im Rahmen der Bauleitplanung wurde durch unser Büro bereits eine erschütterungstechnische Untersuchung (Bericht Nr. 700-6421-ERS vom 29.04.2021 [6]) durchgeführt. Die Prognose der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen erfolgte auf Grundlage von Erschütterungsmessungen im Plangebiet unter Berücksichtigung der damaligen Gebäudeplanung in Stahlbetonbauweise. Da die aktuelle Planung nunmehr Teilbereiche mit Brettsperrholzwänden mit anderen baodynamischen Eigenschaften anstelle von Massivbauwänden vorsieht, ist eine Neubewertung der erschütterungstechnischen Immissionssituation im Hinblick auf den sekundären Luftschall erforderlich. Die Ermittlung der Schwingungsübertragung auf die geplanten Brettsperrholzwände soll mithilfe von FEM-Simulationen erfolgen.

Mit der Durchführung der Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure AG am 03.08.2022 von München Allach S.à.r.l. beauftragt.

2. Örtliche Gegebenheiten

Das Planvorhaben liegt in München Allach östlich der Eversbuschstraße und nördlich der Otto-Warburg-Straße. Das Plangebiet grenzt im Osten an die Bahnstrecken München-Allach - München-Karlsfeld (Streckenummer 5544 und 5501) und München-Allach - Rbf München Nord (Streckenummer 5563). Derzeit befindet sich auf dem Plangebiet eine landwirtschaftlich genutzte Fläche. Im Flächennutzungsplan der LHM wird das Gebiet als Allgemeines Wohngebiet (WA) bzw. als Sondergrünfläche dargestellt. Derzeit wird für das Plangebiet der Bebauungsplan Nr. 2164 von der LHM aufgestellt.

Die Bahnstrecken verlaufen östlich parallel zum Plangebiet mit insgesamt 6 Streckengleisen. Beim Gleisoberbau handelt es sich um einen herkömmlichen Schotteroberbau mit Betonschwellen. Etwaige Maßnahmen zum Erschütterungsschutz im Bereich der Gleisanlagen sind gegenwärtig nicht vorhanden.

Das Plangebiet sowie die nähere Umgebung sind im Wesentlichen ebenerdig. Ein Übersichtslageplan mit dem Planvorhaben ist in Anlage 1 dargestellt.

3. Prognosegrundlagen

Die Prognose der Schwingungsimmissionen im Gebäude erfolgt auf Grundlage von Schwingschnellepegeln der Raumbegrenzungsflächen. Die Schwingschnellepegel im Raum werden unter Berücksichtigung der jeweiligen Teilsysteme im Ausbreitungsweg (Emission, Transmission und Immission) in Anlehnung an VDI 3837 wie folgt bestimmt:

$$L_{v,Raum}(f_{Tn}) = L_{v,E}(f_{Tn}) + \Delta L_{v,B}(f_{Tn}) + \Delta L_{v,G}(f_{Tn}) + \Delta L_{v,M}(f_{Tn})$$

mit:

$L_{v,Raum}(f_{Tn})$: Terzchnellepegel der Raumbegrenzungsfläche

$L_{v,E}(f_{Tn})$: Terzchnellepegel der Erschütterungen am Emissionsort

$\Delta L_{v,B}(f_{Tn})$: Übertragungsfunktion Boden

$\Delta L_{v,G}(f_{Tn})$: Übertragungsfunktion Gebäude

$\Delta L_{v,M}(f_{Tn})$: Einfügungsdämmung einer schwingungsmindernden Maßnahme

Die Erschütterungen aus dem Schienenverkehr sowie die Schwingungsübertragung im Boden wurden im vorliegenden Fall bereits durch Erschütterungsmessungen im Plangebiet im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens (vgl. Bericht Nr. 700-6421-ERS vom 29.04.2021 [6]) ermittelt.

Die Gebäude-Übertragungsfunktionen $\Delta L_{v,G}(f_{Tn})$ werden mittels Finite-Elemente-Methode (FEM) rechnerisch für den Frequenzbereich 4 Hz bis 100 Hz ermittelt. Die Schwingschnellepegel der jeweiligen Raumbegrenzungsflächen ergeben sich durch Summation der gemessenen Schwingungen im Erdreich und der anhand der FEM-Simulationen berechneten Übertragungsfunktionen im Gebäude (vgl. folgende Abbildung).

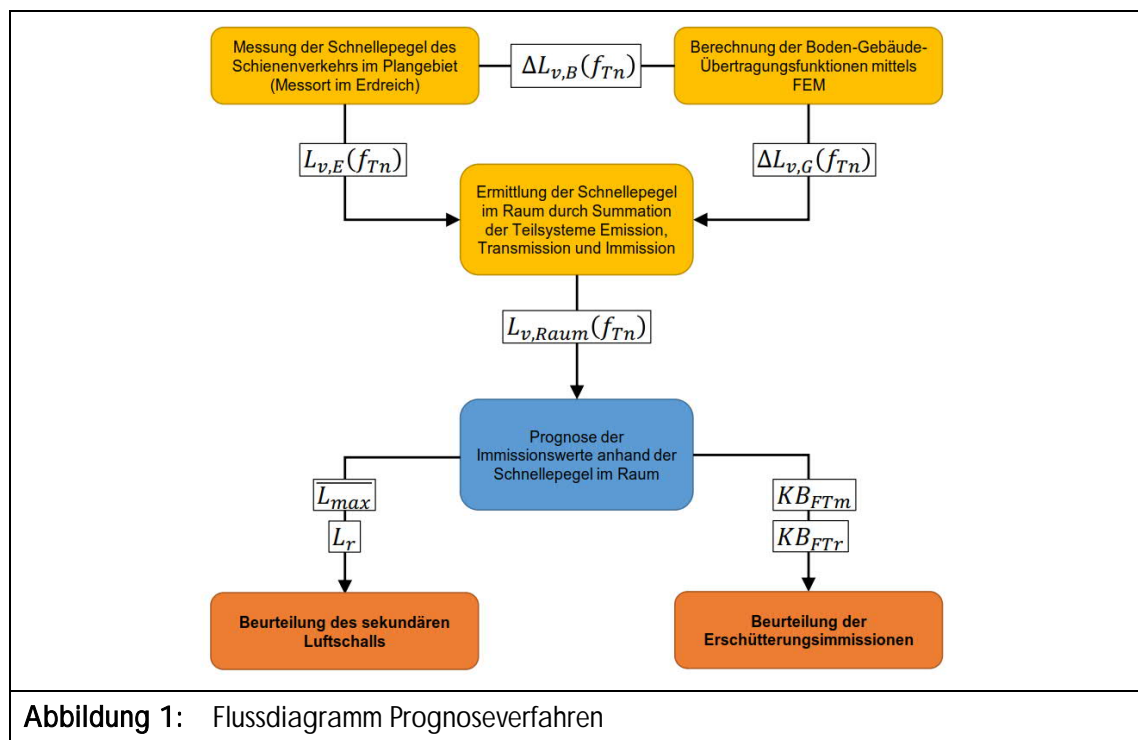


Abbildung 1: Flussdiagramm Prognoseverfahren

Die Prognose der Sekundärluftschallabstrahlung durch die Raumbegrenzungsflächen erfolgt näherungsweise mittels statistischer Energieanalyse (SEA) nach den Empfehlungen der VDI 2038 Blatt 3:

$$L_p = L_v + 10 \lg \left(\frac{4S}{\bar{A}} \right) + 10 \lg(\sigma_S)$$

mit:

L_p :	Schalldruckpegel im Raum
L_v :	Schwingschnellepegel der Raumbegrenzungsfläche
S :	Größe der schwingungserregten Fläche
\bar{A} :	äquivalente Absorptionsfläche des Raumes
σ_S :	Abstrahlgrad

Aufgrund von Erfahrungswerten für raumakustische Verhältnisse in Wohnräumen kann für die Ermittlung der Absorptionsfläche in guter Näherung das 0,8-fache der Grundrissfläche angenommen werden. Der Abstrahlgrad zur Beschreibung der abgestrahlten Schallleistung wird mit 1 für Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz berücksichtigt. Darunter erfolgt eine Absenkung entsprechend [4].

Bei den nach dem o.g. Verfahren prognostizierten Sekundärluftschallpegeln handelt es sich um mittlere Maximalpegel während der Zugvorbeifahrten. Die Mittelungspegel des sekundären Luftschalls ergeben sich entsprechend unter Berücksichtigung des Belegungsprogramms, der Vorbeifahrdauer und des jeweiligen Beurteilungszeitraumes (vgl. hierzu [6]).

4. FEM-Simulationen

4.1 FE-Modell

Für die vorliegende Untersuchung wurden der bahnzugewandte Gebäudeteil mit 6 Vollgeschossen und UG bzw. TG im Südosten des Plangebiets sowie das umgebende Erdreich als FE-Modell abgebildet. Das Tragwerk wurde auf Grundlage der übermittelten Grundriss- und Schnittansichten [10], [11] in Stahlbetonbauweise modelliert. Die Gebäudestruktur wurde mit Schalenelementen (Wände und Decken) und Stabelementen (Stützen) abgebildet. Die Bodenmodellierung erfolgte mittels Volumelementen. Die Diskretisierungslängen wurden entsprechend der erforderlichen Frequenzauflösung gewählt. In der folgenden Abbildung ist das 3D-Boden-Bauwerk-Modell dargestellt.

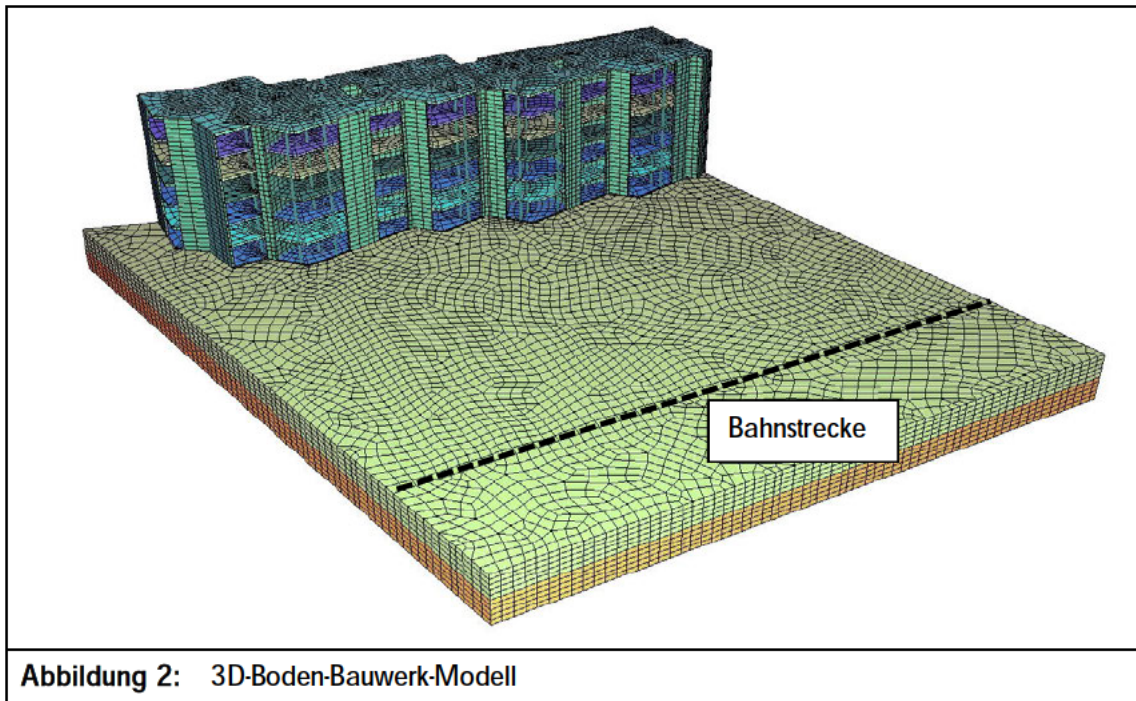


Abbildung 2: 3D-Boden-Bauwerk-Modell

Für das Stahlbetontragwerk wurden die folgenden Materialparameter gemäß Materialdatenbank in [5] angesetzt:

Beton C25/30: $E = 31.500 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0,2$ $\rho = 2.400 \text{ kg/m}^3$

Bewehrungsstahl B 500 B: $E = 200.000 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0,3$ $\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$

Die Wand- und Deckenstärken wurden entsprechend [9] mit $d = 0,25 \text{ m}$ modelliert. Für die Bodenplatte wurde eine Dicke von $d = 0,80 \text{ m}$ berücksichtigt.

Die Fassadenbereiche mit geplanten Brettspertholzänden sind aus dem Übersichtslageplan in Anlage 1 ersichtlich. Für die Prognose der Sekundärluftschallabstrahlung der Brettspertholzände wurde die Schwingungsübertragung für einen exemplarischen Wandbereich durchgeführt (vgl. Anlage 1). Zur Berücksichtigung einer transversalen Orthotropie aufgrund der verschiedenen Holzfaserrichtungen sowie der orthogonalen Anordnung der einzelnen Brettspertholzschichten wurden diese Fassadenbereiche über ein Detailmodell abgebildet. Der Wandaufbau wurde entsprechend [8] als 3-schichtige Brettspertholzplatte mit kraftschlüssig vorgesetzter Rigipsplatte modelliert. Für eine Prognose auf der sicheren Seite wurden die tendenziell schwingungsmindernden Eigenschaften der Dämmschichten (Glaswolle und Mineralwolle) in der Modellbetrachtung vernachlässigt. Die folgende Abbildung zeigt den Wandaufbau und das FE-Modell

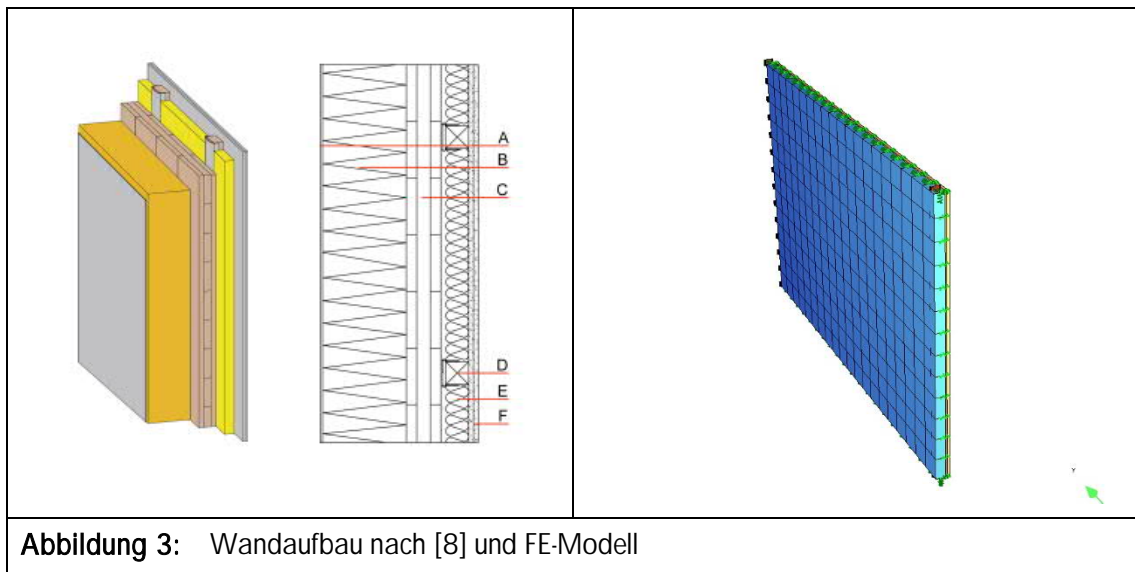


Abbildung 3: Wandaufbau nach [8] und FE-Modell

Für die Materialeigenschaften der Brettsperrholzwand wurden die folgenden Erfahrungswerte in Anlehnung an [12] und [13] angesetzt:

$$\text{Brettsperrholz: } E = 370 \text{ N/mm}^2 \quad E_{90} = 11.000 \text{ N/mm}^2 \quad \nu = 0,2 \quad \rho = 450 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rigips: } E = 2.200 \text{ N/mm}^2 \quad \nu = 0,3 \quad \rho = 800 \text{ kg/m}^3$$

Die einzelnen Brettsperrholzschichten wurden mit einer Dicke von jeweils 30 mm und die Rigipsplatte mit einer Dicke von 25 mm in Ansatz gebracht.

Der Bodenaufbau im Plangebiet besteht entsprechend dem geotechnischen Gutachten [7] im Wesentlichen aus Kiesboden (sandig bis schluffig). Für sandigen Kiesboden wurden die folgenden Bodenkennwerte angesetzt:

$$\text{Kiesboden: } G = 115 \text{ N/mm}^2 \quad \nu = 0,35 \quad \rho = 2.100 \text{ kg/m}^3$$

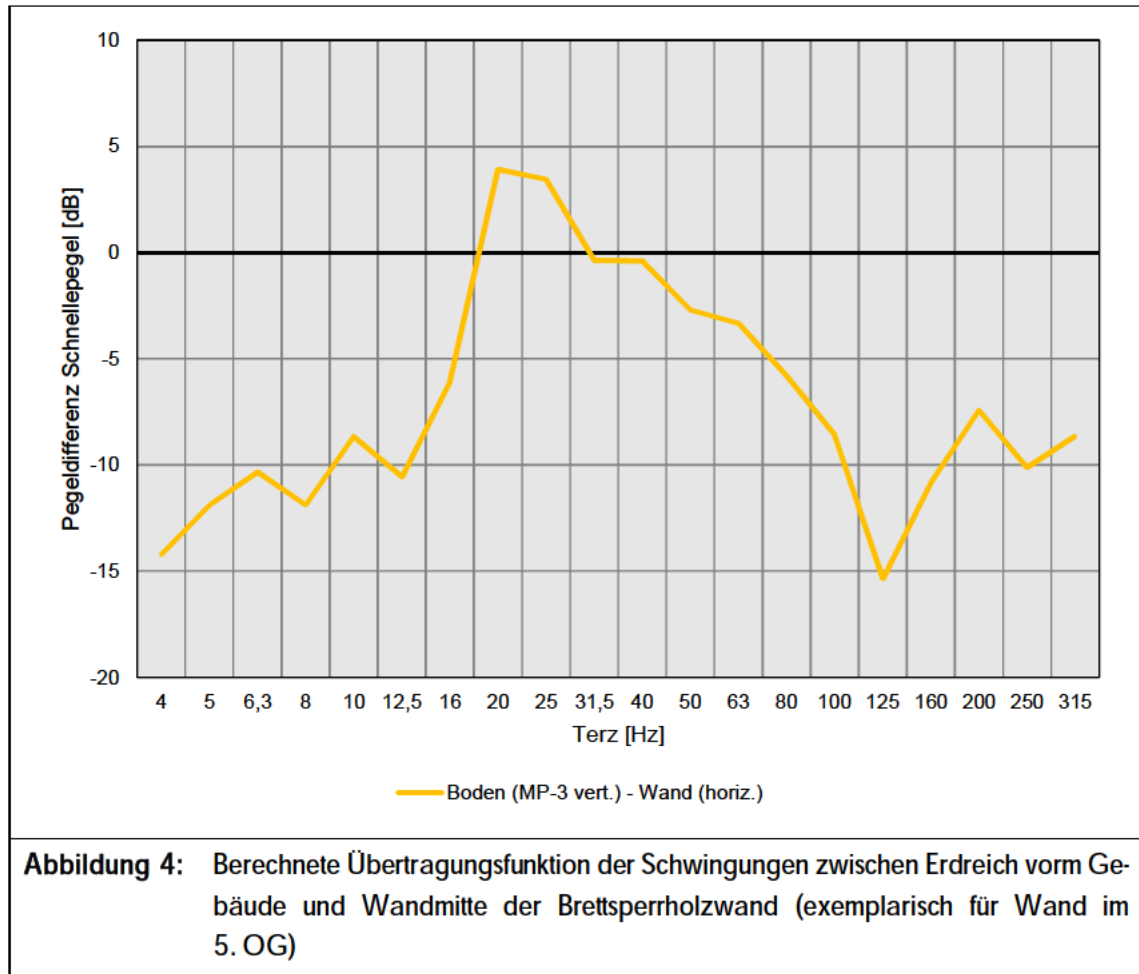
Die Abstrahlungsdämpfung wurde an den Modellrändern über viskose Dämpferelemente abgebildet. Die Feder-Dämpfer-Eigenschaften wurden anhand der o.g. Bodenparameter bestimmt.

4.2 Belastung

Im Abstand von ca. 38 m zum Gebäude wurde der Untergrund mit einer Linienlast in vertikaler Richtung beaufschlagt. Dies entspricht dem Mindestabstand zwischen Planbebauung Hirmerei und nächstgelegener Gleisachse. Als Lastfall wurde ein Weißes Rauschen, d.h. ein Zeitsignal mit einem konstanten Leistungsdichtespektrum zwischen 1 Hz und 100 Hz, angewendet. Hierbei werden alle Frequenzen gleichermaßen angeregt. In der Ermittlung der spektralen Übertragungsfunktionen werden somit Übertragungseffekte für alle Frequenzbereiche gleichermaßen berücksichtigt.

4.3 Simulationsergebnisse

Die berechnete Übertragungsfunktion der Schwingungen zwischen Erdreich vorm Gebäude (vertikale Schwingungsrichtung) und Wandmitte der Brettspertholzfassade (horizontale Schwingungsrichtung senkrecht zur Wand) ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Als Bezugspunkt im Erdreich vor dem Gebäude wurde Messpunkt MP-3 aus der Erschütterungsmessung (vgl. [6]) herangezogen. Die Lage des Messpunktes ist aus dem Übersichtslageplan in Anlage 1 ersichtlich.



Es zeigt sich, dass die maßgebende Schwingungsantwort des Wandaufbaus mit Überhöhungen von bis zu 5 dB in den Frequenzbereichen der Terzen 20 und 25 Hz erfolgt. Bei der Berechnung der Übertragungsfunktionen wurde von einer flächigen Wand ausgegangen. Aussteifende Elemente wie Öffnungen, Rahmen oder Stürze bspw. bei Fenstern wurden im Wandaufbau nicht berücksichtigt.

5. Beurteilung der Sekundärluftschallabstrahlung

Die Anforderungen an den Immissionsschutz gegen sekundären Luftschall ergeben sich gemäß erschütterungstechnischer Untersuchung [6] im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens nach TA Lärm. In Kapitel 3.2 der Untersuchung heißt es auszugsweise:

Im Rahmen der Bauleitplanung ist es in Bayern gängige Praxis, die Beurteilung der Einwirkungen durch sekundären Luftschall nach der TA Lärm [6] bzw. der DIN 45680 [7] 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:

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 (6.00 - 22.00 Uhr) 35 dB(A) und im Zeitraum Nacht (22.00 - 6.00 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.

Unter Berücksichtigung der im Plangebiet gemessenen Erschütterungen des Schienenverkehrs und den anhand der FEM-Simulationen berechneten Übertragungsfunktionen ergeben sich mittlere Maximalpegel des Sekundärluftschalls von $L_{max,Wand} = 29,7$ dB(A) ausgehend von der geplanten BSP-Wand. Die Schallabstrahlung der Holzwand wirkt in Summe mit denen der schwingenden Stb.-Decken, sodass unter Berücksichtigung der Prognoseergebnisse aus [6] Summeninnenpegel des sekundären Luftschalls von bis zu $L_{max,ges} \leq 35$ dB(A) resultieren. Die Immissionsrichtwerte für maximale Innenpegel nach Nr. 6.2 Abs. 2 der TA Lärm [2] von 35 dB(A) nachts (s. o.) werden dementsprechend auch mit den Holzwänden im Bereich der bahnabgewandten Gebäudefassade noch eingehalten.

Aus schallschutzfachlicher Sicht wäre es dennoch empfehlenswert, die Vorsatzschale nicht kraftschlüssig mit der dahinterliegenden Brettsperrholzwand zu errichten. Bei einer kraftschlüssigen Verbindung mittels Konterlattung können hörbare Geräuschabstrahlungen in den oberen Frequenzbereichen nicht ausgeschlossen werden.

Dieser Bericht umfasst 13 Seiten und 1 Anlage.

München, den 13. Oktober 2022

Möhler + Partner
Ingenieure AG

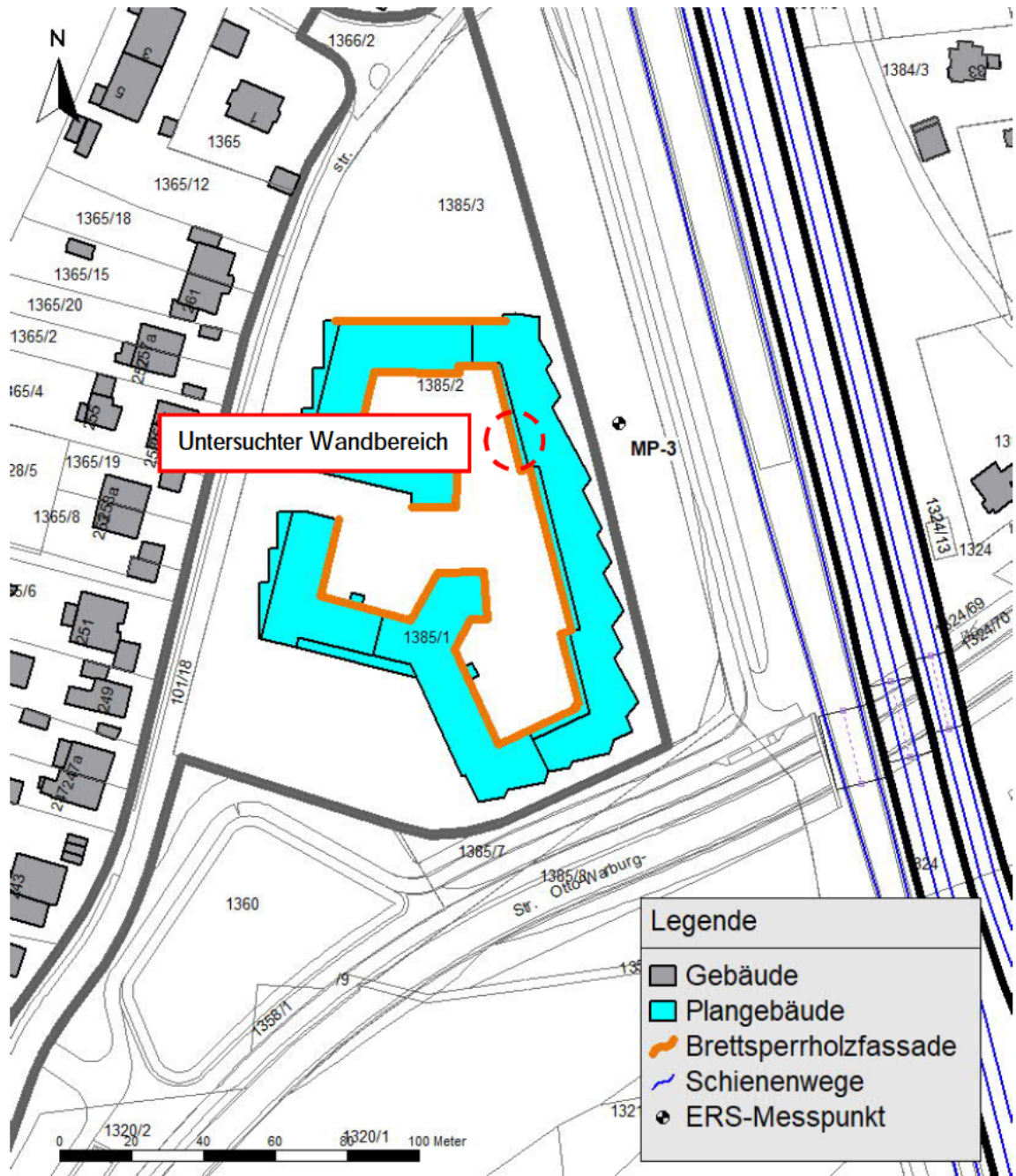
Dipl.-Ing. (FH)

i.V.

6. Anlagen

Anlage 1: Übersichtslageplan

Anlage 1: Übersichtslageplan



Quelle: eigene Darstellung mit Geobasisdaten, Bayerische Vermessungsverwaltung