

## **Erschütterungstechnische Untersuchung**

**Stadt Nürnberg**  
**Bebauungsplan Nr. 4445 B**  
**„Tiefes Feld“**

Bericht Nr. 090-6405

im Auftrag von

Stadt Nürnberg  
Stadtplanungsamt

Bamberg, im Juli 2020

## Erschütterungstechnische Untersuchung

**Stadt Nürnberg**

**Bebauungsplan Nr. 4445 B „Tiefes Feld“**

Bericht-Nr.: 090-6405

Datum: 09.07.2020

Auftraggeber: Stadt Nürnberg  
Stadtplanungsamt  
Lorenzer Straße 30  
90402 Nürnberg

Auftragnehmer: Möhler + Partner Ingenieure AG  
Mußstraße 18  
D - 96047 Bamberg  
T +49 951 160 952 - 0  
F +49 951 160 952 - 99  
www.mopa.de  
info@mopa.de

Bearbeiter: Dipl.-Ing. H. Högg  
M.Sc. D. Littwin

**Inhaltsverzeichnis:**

1. Aufgabenstellung.....	8
2. Örtliche Gegebenheiten.....	8
3. Belegungsprogramm.....	10
4. Grundlagen.....	10
4.1 Erschütterungen.....	10
4.2 Sekundärluftschall.....	14
5. Messungen.....	15
5.1 Messzeit, Messort, Messprogramm.....	15
5.2 Messgeräte.....	19
5.3 Ankopplung der Messaufnehmer.....	20
5.4 Messunsicherheit.....	20
6. Auswertung der messtechnischen Untersuchungen.....	21
7. Beurteilung der Erschütterungen und des Sekundärluftschalls.....	25
7.1 Erschütterungen.....	25
7.2 Sekundärluftschall.....	26
7.3 Bewertung nach der geplanten Art der baulichen Nutzungen.....	26
8. Mögliche Maßnahmen.....	27
8.1 Emissionsort.....	27
8.2 Transmissionsbereich.....	27
8.3 Immissionsort.....	27
9. Vorschlag für die Satzung und Begründung des Bebauungsplans.....	28
10. Anlagen.....	30

**Abbildungsverzeichnis:**

<b>Abbildung 1:</b>	Vorabzug zum Bebauungsplan (Quelle: Planungsbüro Vogelsang) .....	9
<b>Abbildung 2:</b>	Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren nach DIN 4150-2 für häufige Einwirkungen.....	12
<b>Abbildung 3:</b>	Übersichtslageplan mit Darstellung der Messpunkte im Bereich des Referenz-Messquerschnitts an der U-Bahnlinie U2 (Quelle: Lageplan zur Planfeststellung) .....	16
<b>Abbildung 4:</b>	Übersichtslageplan mit Darstellung der Messpunkte im Bereich des Referenz-Messquerschnitts an der U-Bahnlinie U3 (Quelle: Lageplan zur Ausschreibung) .....	18
<b>Abbildung 5:</b>	Mittlere Max-Hold-Spektren an den jeweiligen Messpunkten für die U-Bahnlinie U2 (Fahrtrichtung stadteinwärts).....	21
<b>Abbildung 6:</b>	Mittlere Max-Hold-Spektren an den jeweiligen Messpunkten für die U-Bahnlinie U3 (Richtungsgleis stadteinwärts).....	22

**Tabellenverzeichnis:**

<b>Tabelle 1:</b>	Belegungsprogramm auf der geplanten U-Bahnlinie U3.....	10
<b>Tabelle 2:</b>	Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach Tab. 1 der DIN 4150-2.....	13
<b>Tabelle 3:</b>	Immissionsrichtwerte „Innen“ nach TA Lärm [dB(A)].....	14
<b>Tabelle 4:</b>	Dokumentation der Messpunkte am Referenz-Messquerschnitt der U-Bahnlinie U2.....	16
<b>Tabelle 5:</b>	Anzahl der verwertbaren Zugvorbeifahrten während der Messzeit am Referenz-Messquerschnitt der U-Bahnlinie U2 .....	17
<b>Tabelle 6:</b>	Dokumentation der Messpunkte am Referenz-Messquerschnitt der U-Bahnlinie U3.....	17
<b>Tabelle 7:</b>	Anzahl der verwertbaren Zugvorbeifahrten während der Messzeit am Referenz-Messquerschnitt der U-Bahnlinie U3 .....	18
<b>Tabelle 8:</b>	Gegenüberstellung relevanter Parameter zwischen Plangebiet und Referenz-Messquerschnitte .....	19
<b>Tabelle 9:</b>	Prognostizierte mittlere $\overline{KB_{FTm,j}}$ - Werte bzw. $KB_{FT}$ - Werte tags / nachts auf den Geschossdecken eines fiktiven Gebäudes anhand der messtechnischen Untersuchungen .....	24
<b>Tabelle 10:</b>	Prognostizierte mittlere Geräuschspitzen $\overline{L_{A,max}}$ und Mittelungspegel $\overline{L_{A,m}}$ tags / nachts des sekundären Luftschalls [dB(A)] in Räumen eines fiktiven Gebäudes anhand der messtechnischen Untersuchungen .....	24
<b>Tabelle 11:</b>	Bewertung der Immissionssituation anhand der geplanten Art der baulichen Nutzung entsprechend des Vorabzugs zum Bebauungsplan.....	26

**Grundlagenverzeichnis:**

- [1] Vorabzug zum Bebauungsplan Nr. 4445 B „Tiefes Feld der Stadt Nürnberg, Planungsbüro Vogelsang, Stand: 30.06.2020
- [2] DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- [3] DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [4] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum BImSchG, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm), vom August 1998, geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (BAAnz AT 08.06.2017 B5)
- [5] Beiblatt 1 zu DIN 45680, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft – Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen, März 1997
- [6] Melke, 1995, Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs, Prognose und Schutzmaßnahmen, Materialien Nr. 22, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
- [7] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren, Juni 2005
- [8] Körperschall: Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, L. Cremer und M. Heckl, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996
- [9] Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786)
- [10] Planfeststellungsbeschluss für den Neubau der U-Bahnlinie 3 Südwest, Bauabschnitt 2.2, km 14+261,000 bis km 16+285,635, (Gebersdorf - Kleinreuth bei Schweinau), Regierung von Mittelfranken, 30.11.2016
- [11] Stadt Nürnberg, U-Bahnlinie U3 Südwest – BA 2.2, Schall- und erschütterungstechnische Untersuchungen, Bericht Nr. M107619/01, Müller BBM GmbH, 18. Juli 2014
- [12] Lage- und Höhenpläne der Referenzquerschnitte an der U2 bzw. U3 sowie im Bereich des Plangebiets, zur Verfügung gestellt über Stadtplanungsamt Nürnberg vom 05.06. – 06.07.2020

**Zusammenfassung:**

Die Stadt Nürnberg plant die Aufstellung des B-Plans Nr. 4445 B „Tiefes Feld“, deren Art der baulichen Nutzung als allgemeines Wohngebiet (WA), urbanes Gebiet (MU) bzw. eingeschränktes Gewerbegebiet (GEe) festgesetzt werden soll.

Für die Beurteilung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen wurden messtechnische Untersuchungen an Referenz-Messquerschnitten im U-Bahnnetz der Stadt Nürnberg durchgeführt und die Ergebnisse auf das Plangebiet übertragen.

Anhand des vorliegenden Vorabzugs zum Bebauungsplan mit der geplanten Art der baulichen Nutzungen werden die entsprechenden Anforderungen an den Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall eingehalten.

Im Fall einer baulichen Entwicklung des nordwestlichen bzw. nordöstlichen Plangebiets mit einer höherwertigeren Schutzwürdigkeit im Beurteilungszeitraum nachts (z. B. Wohngebäude, Betriebe des Beherbergungsgewerbes in einem WA/MU) gegenüber dem bisher vorgesehenen eingeschränkten Gewerbegebiet (GEe) können die entsprechenden Anforderungen an den Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall in der Bauleitplanung insbesondere in Bereichen, bei welchen die Tunnelbauwerke überbaut werden sollen, nicht mehr verlässlich eingehalten werden. Insofern werden hier anhand der durchgeführten messtechnischen Untersuchungen Maßnahmen zum Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall erforderlich. Für die Einhaltung der entsprechenden Anforderungen an den Erschütterungsschutz wurden geeignete konstruktive und bauliche Maßnahmen vorgeschlagen, die im Baugenehmigungsverfahren weitergehend zu konkretisieren sind.

Für die Begründung und Satzung des vorhabenbezogenen Bebauungsplans wurden entsprechende Textbausteine erarbeitet.

## 1. Aufgabenstellung

Die Stadt Nürnberg plant die Aufstellung des B-Plans Nr. 4445 B „Tiefes Feld“, deren Art der baulichen Nutzung als allgemeines Wohngebiet (WA), urbanes Gebiet (MU) bzw. eingeschränktes Gewerbegebiet (GEe) festgesetzt werden soll.

Das Plangebiet grenzt dabei nördlich an die planfestgestellte, jedoch noch nicht in Bau befindliche U-Bahnlinie 3 Südwest zwischen Gebersdorf und Kleinreuth bei Schweinau [10].

Etwaige Maßnahmen zum Erschütterungsschutz sind im Bereich des Plangebiets entsprechend des Planfeststellungsbeschlusses [10] in Form eines Schienenoberbaus mit dem System „optimierte Schienenstützpunkte (Nbg 1α-23, Sylodyn)“ auszuführen. Weitergehend wird in den Planfeststellungsunterlagen ([10], [11]) ausgeführt, dass bei einem Ansatz des Oberbaus mit optimierten Schienenstützpunkten (Nbg 1α-23) der Anhaltswert für eine Wohnnutzung erst ab Abständen von 18 m eingehalten wird.

Im Rahmen einer erschütterungstechnischen Untersuchung zur Bauleitplanung sind die Belange aus der planfestgestellten U-Bahnlinie für das Plangebiet zu verifizieren. Auf der Grundlage von messtechnischen Untersuchungen an Referenzquerschnitten werden die zukünftig zu erwartenden Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen prognostiziert und beurteilt, um daraus Erkenntnisse für die weitere Planung und die Behandlung der beschriebenen Thematik zu gewinnen. Ggf. werden mögliche Schutzmaßnahmen aufgezeigt.

Für die Satzung und Begründung des Bebauungsplans werden entsprechende Vorschläge ausgearbeitet.

Mit der Durchführung der Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure AG mit Vertrag vom 07.05.2020 vom Stadtplanungsamt der Stadt Nürnberg beauftragt.

## 2. Örtliche Gegebenheiten

Das Plangebiet liegt im Stadtteil Großreuth bei Schweinau in der Stadt Nürnberg.

Das Plangebiet grenzt dabei nördlich an die planfestgestellte, jedoch noch nicht in Bau befindliche U-Bahnlinie 3 Südwest zwischen Gebersdorf und Kleinreuth bei Schweinau an. Der horizontale Abstand der Plankörper zur Außenwand der Tunnelröhre beträgt dabei in der Regel mind. 18 m. Im nordwestlichen bzw. nordöstlichen Bereich unterfährt die geplante U-Bahnlinie Bereiche des Plangebiets, die gegenwärtig als eingeschränktes Gewerbegebiet (GEe) festgesetzt werden sollen.

Zudem ist unmittelbar nördlich des Plangebiets der U-Bahnhof „Kleinreuth“ geplant.

Die Schienenoberkante im Bereich des Plangebiets ist in einer Höhe von ca. 291 – 300 m ü. NN geplant. Die geplante Geländeoberfläche liegt im Bereich der U-bahnnahen Bebauung im Bereich von ca. 303 – 307 m ü. NN.

Maßnahmen zum Erschütterungsschutz sind im Bereich der Richtungsgleise in Form von optimierten Schienenstützpunkten (Nbg 1a-23) geplant [11].

Als Art der baulichen Nutzung sollen vorrangig allgemeine Wohngebiete (WA) sowie im U-Bahn nahen nördlichen Plangebiet urbane Gebiete (MU) bzw. eingeschränkte Gewerbegebiete (GEE) festgesetzt werden.

Der nachfolgende Übersichtslageplan zeigt das Plangebiet sowie die Außenwände der Tunnelbauwerke der geplanten U-Bahnlinie U3.

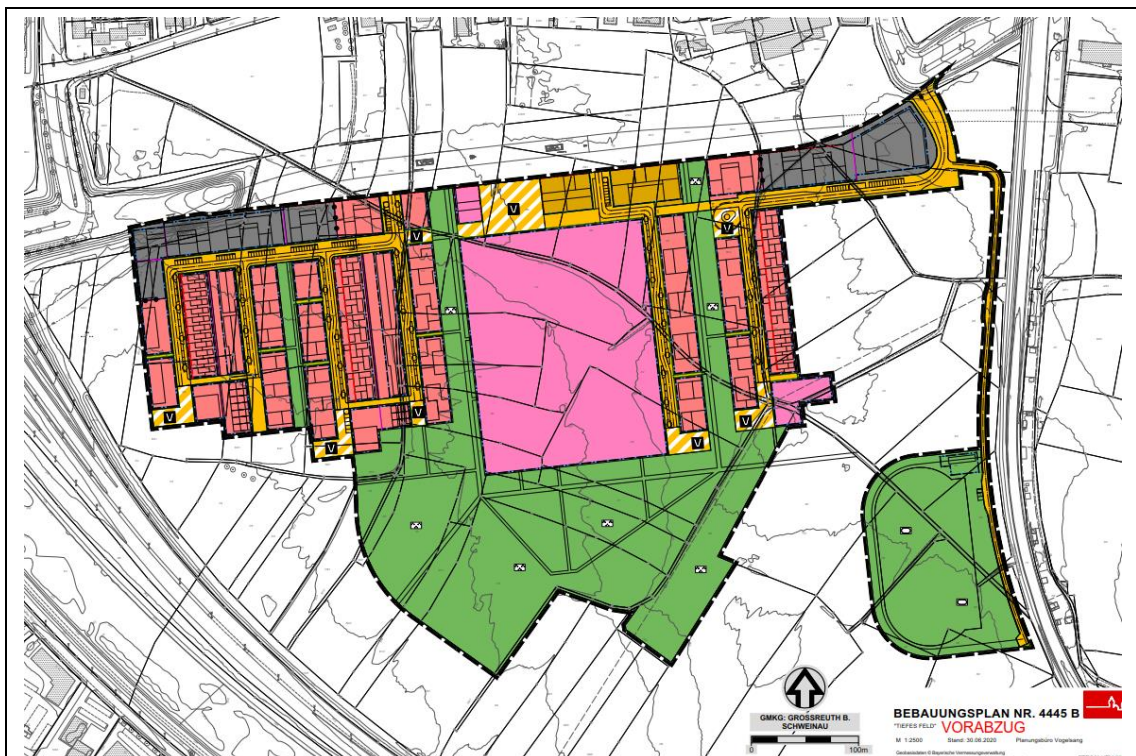


Abbildung 1: Vorabzug zum Bebauungsplan (Quelle: Planungsbüro Vogelsang)

### 3. Belegungsprogramm

Das Belegungsprogramm auf der geplanten U-Bahnlinie U3 im Bereich des Plangebiets wurden den Unterlagen zum Planfeststellungsverfahren [11] entnommen und ist in untenstehender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1: Belegungsprogramm auf der geplanten U-Bahnlinie U3		
Beurteilungszeitraum	stadtauswärts	stadteinwärts
U-Bahnlinie U3		
tags	276	276
nachts	48	48

Auf der U-Bahnlinie U3 und insbesondere auch im Bereich der planfestgestellten Verlängerung verkehrt der U-Bahntyp DT3, der für den Automatikbetrieb konzipiert wurde.

### 4. Grundlagen

#### 4.1 Erschütterungen

Durch die Körperschallübertragung bzw. -anregung der Geschossdecken können in Gebäuden Erschütterungen fühlbar wahrgenommen werden.

Bei der Beurteilung von Erschütterungen existieren im Gegensatz zur Beurteilung von primärem Luftschall zurzeit keine gesetzlichen Regelungen. Art und Grad der individuellen Beeinträchtigung durch Erschütterungen hängen vom Ausmaß der Erschütterungsbelastung und verschiedenster situativer Faktoren ab.

Beispielhaft seien genannt:

- Stärke der Schwingungen (Schwingstärke, KB-Wert),
- Einwirkungsdauer,
- Häufigkeit des Auftretens,
- Art der Erschütterungsquelle (Sichtkontakt, Hörkontakt, ...),
- Wohlbefinden der Personen,
- Grad der Gewöhnung.

Die in der Norm DIN 4150 festgelegten Beurteilungsverfahren haben den Zweck, die oben genannten Einflüsse bestmöglich zu berücksichtigen. Im vorliegenden Fall erfolgt die Beurteilung der Erschütterungen gemäß Teil 2 „Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ dieser Normreihe [3]. Die Beurteilungsgröße für Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden ist dabei die bewertete Schwingstärke  $KB$ .

Bei der bewerteten Schwingstärke  $KB_f(t)$  gemäß DIN 4150 Teil 2 handelt es sich um eine der menschlichen Wahrnehmung angepasste Größe für Erschütterungen. Zur Beurteilung der Erschütterungen wird sowohl die bauliche Nutzung der Umgebung, der so genannte Einwirkungsort, als auch der Tageszeitraum (Tag/Nacht) berücksichtigt. Die Norm trägt damit dem Effekt Rechnung, dass bei gleicher Erschütterungsintensität der Grad der Belästigung z. B. in Wohngebieten höher eingeschätzt wird als in Gewerbe- oder Industriegebieten.

#### *Beurteilungsgrößen*

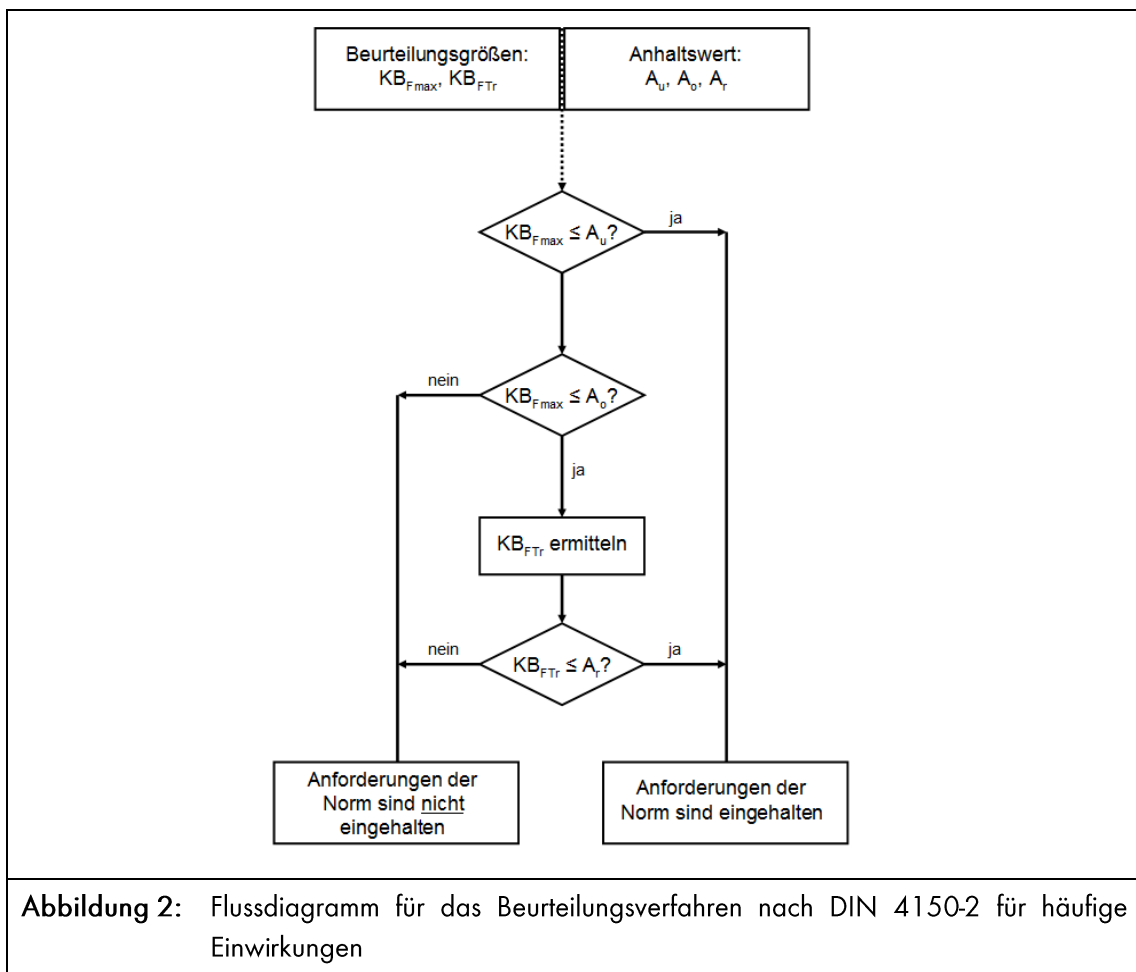
Hinsichtlich der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden nach DIN 4150, Teil 2 [3] werden zwei Beurteilungsgrößen gebildet:

- maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{Fmax}$   
Die maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{Fmax}$  ist der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke  $KB_f(t)$ , der während der jeweiligen Beurteilungszeit (einmalig oder wiederholt) auftritt und der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist.
- Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTr}$   
Die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTr}$  berücksichtigt die Dauer und die Häufigkeit des Auftretens von Erschütterungen. Hinsichtlich der Dauer der Erschütterungsereignisse werden jeweils 30-s-Takte (Taktmaximalwertverfahren) gebildet.

#### *Beurteilungsverfahren*

Das Beurteilungsverfahren unterscheidet zwischen selten auftretenden, kurzzeitigen bzw. häufigen Einwirkungen, wobei beim Schienenverkehr grundsätzlich von häufigen Einwirkungen auszugehen ist.

Die Beurteilung nach DIN 4150-2 [3] erfolgt für häufige Einwirkungen nach dem im nachfolgenden Flussdiagramm dargestellten Beurteilungsschema:



Demnach ergeben sich folgende Beurteilungsgrundsätze:

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

### Anhaltswerte zur Beurteilung

Entsprechend des Vorabzug zum Bebauungsplan der Stadt Nürnberg [1] ist vorgesehen, die Art der baulichen Nutzung als allgemeines Wohngebiet (WA), urbanes Gebiet (MU) bzw. eingeschränktes Gewerbegebiet (GEe) nach BauNVO [9] festzusetzen. Für das urbane Gebiet (MU) werden dabei die Anhaltswerte nach Zeile 3 (vergleichbar u. a. Kern-/Mischgebiet) herangezogen.

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

Tabelle 2: Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach Tab. 1 der DIN 4150-2							
Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		$A_v$	$A_o$	$A_r$	$A_v$	$A_o$	$A_r$
2	vergleichbar Gewerbegebiet	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	vergleichbar u. a. Kern-/Mischgebiet	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	vergleichbar allgemeines Wohngebiet	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05

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

- Für den unterirdischen Schienenverkehr jeder Art gelten die Anhaltswerte  $A_v$  und  $A_r$  nach Tabelle 1 der DIN 4150-2.
- Bei der Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{\text{FTR}}$  wird der Faktor 2 zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten nicht angewendet.

Einen Hinweis auf die Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen gibt die DIN 4150-2 [3]:

- 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.

## 4.2 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 tief frequenter 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 Aussagen treffen.

Im Rahmen von Bauleit- oder Genehmigungsplanungen ist es in Bayern gängige Praxis, die Beurteilung der Einwirkungen durch sekundären Luftschall nach der TA Lärm [4] bzw. des Beiblatts 1 zur DIN 45680 [5] durchzuführen (diese Richtlinien regeln generell die Geräuschübertragung innerhalb von Gebäuden durch gewerbliche Anlagen). Im vorliegenden Fall werden für das Plangebiet ebenfalls diese Werte angesetzt.

Die genannten Immissionsrichtwerte gelten gebietsunabhängig für schutzbedürftige Räume:

<b>Tabelle 3:</b> Immissionsrichtwerte „Innen“ nach TA Lärm [dB(A)]		
<b>Beurteilungszeitraum</b>	<b>Mittelungspegel <math>L_m</math></b>	<b>Maximalpegel <math>L_{max}</math></b>
<b>Tags (6:00 – 22:00 Uhr)</b>	35	45
<b>Nachts (22:00 – 6:00 Uhr)</b>	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.

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

Ein allgemein gültiges Berechnungsverfahren kann aufgrund des sehr komplexen Wirkungsgefüges der o. g. Zusammenhänge im hier bestimmenden Frequenzbereich unter 100 Hz nicht angegeben werden. Die Erfahrung zeigt, dass der sekundäre Luftschall in guter Näherung nach folgender Formel abgeschätzt werden kann [8]:

$$L_{pA}(f_r) = L_{vA}(f_r) + 10 \log 4 S/A(f_r) + 10 \log \sigma(f_r)$$

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 (z. B. Büroräume) können zur Abschätzung folgende Werte für  $S$ ,  $A$  und  $\sigma$  angesetzt werden.

$$S \approx 2 \times \text{Grundrissfläche } G$$

$$A \approx 0,8 \times \text{Grundrissfläche } G$$

$$\sigma(f_T) = 1 \text{ für Frequenzen } > f_g \text{ (für tiefere Frequenzen als die Grenzfrequenz } f_g \text{ erfolgt eine Absenkung)}$$

Die so ermittelten sekundären Luftschallpegel stellen mittlere Maximalpegel  $\overline{L_{A,max}}$  während der Zugvorbeifahrten dar. Die Berechnung erfolgt im Frequenzbereich von 16 Hz bis 315 Hz. Durch den Ansatz der oben genannten Parameter ergeben sich in der Regel etwas zu hohe Pegel, die somit aber zugunsten von Personen im Gebäude auf der „sicheren Seite“ liegen.

## 5. Messungen

### 5.1 Messzeit, Messort, Messprogramm

Zur Ermittlung der Beurteilungsgrößen durch Erschütterungen und Sekundärluftschall aufgrund des unterirdischen Schienenverkehrs für das Plangebiet wurden Referenzmessungen an U-Bahnlinien der VAG Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg im Stadtgebiet von Nürnberg durchgeführt. Die Referenzmessungen wurden an der U-Bahnlinie U2 bzw. U3 durchgeführt und sind nachfolgend beschrieben.

#### 5.1.1 Referenz-Messquerschnitt U2

Messpersonal: Dipl.-Ing. H. Högg, Möhler + Partner Ingenieure AG  
M.Sc. D. Littwin, Möhler + Partner Ingenieure AG

Witterung: trocken und sonnig, windstill



In der nachfolgenden Tabelle ist die Anzahl der verwertbaren Vorbeifahrten während der Messzeit dokumentiert.

<b>Tabelle 5:</b> Anzahl der verwertbaren Zugvorbeifahrten während der Messzeit am Referenz-Messquerschnitt der U-Bahnlinie U2		
<b>Zuggattung</b>	<b>Anzahl der erfassten Zugvorbeifahrten</b>	
	<b>stadteinwärts</b>	<b>stadtauswärts</b>
<b>U-Bahn</b>	11	10

Der Messquerschnitt befand sich an der freien Strecke und somit außerhalb des Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsbereichs der U-Bahnhöfe „Ziegelstein“ bzw. „Flughafen“, so dass demzufolge die Fahrgeschwindigkeit der U-Bahnen im Bereich bis ca.  $v = 80$  km/h zu erwarten war.

Die Höhenkote des Messpunkte an der Geländeoberfläche befand sich in einer Höhe von  $h \approx 312$  m ü. NN. Die Höhenkote der Schienenoberkante befand sich bei ca. Station 28,16 in einer Höhe von  $h \approx 305,7$  m ü. NN.

### 5.1.2 Referenz-Messquerschnitt U3

Messpersonal: Dipl.-Ing. H. Högg, Möhler + Partner Ingenieure AG  
M.Sc. D. Littwin, Möhler + Partner Ingenieure AG

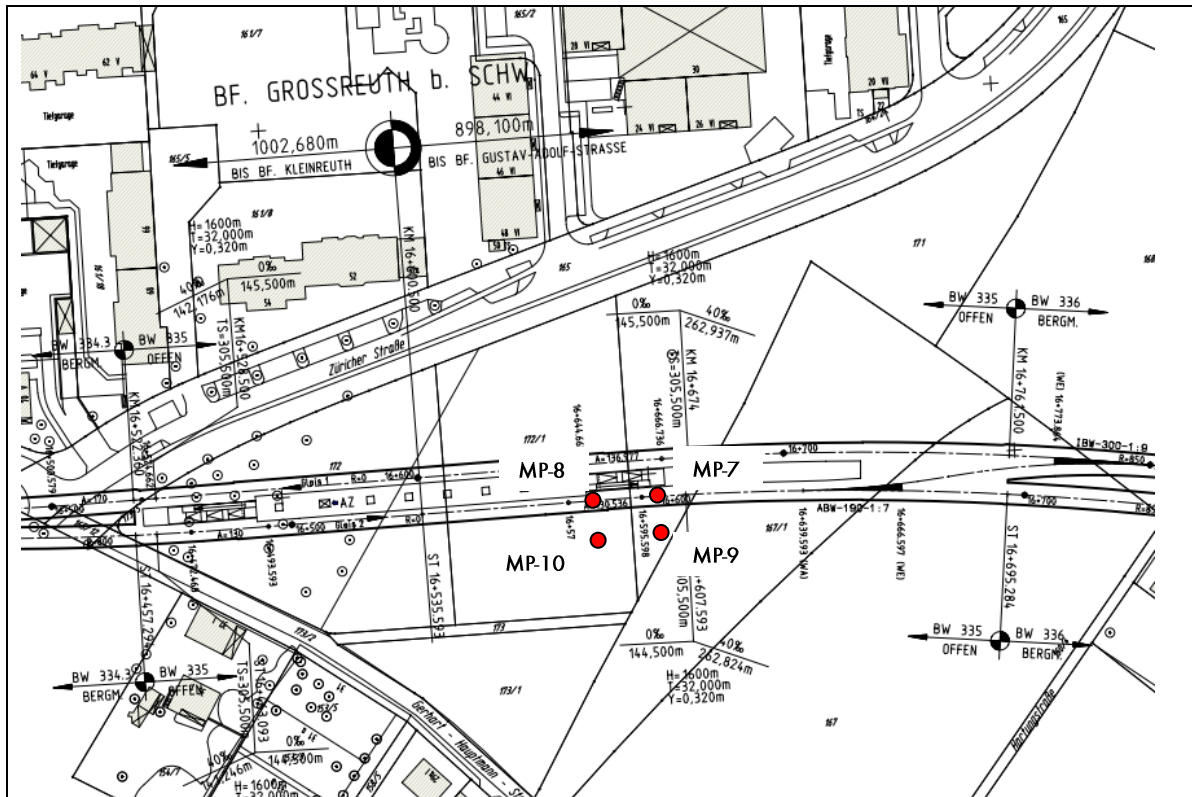
Witterung: trocken und sonnig, windstill

Die Messung wurde am 25.06.2020 in der Zeit von ca. 20:00 Uhr bis 22:30 Uhr durchgeführt. Dabei wurden insgesamt vier Messpunkte im Freifeld an der Geländeoberfläche installiert.

Die Lage und der horizontale Abstand der Messpunkte zur nächstgelegenen Gleisachse sind in nachfolgender Tabelle beschrieben:

<b>Tabelle 6:</b> Dokumentation der Messpunkte am Referenz-Messquerschnitt der U-Bahnlinie U3		
<b>Messpunkt</b>	<b>Lage des Messpunkts</b>	<b>Horizontaler Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]</b>
<b>MP-6</b>	Freifeld	auf Gleisachse
<b>MP-7</b>	Freifeld	auf Gleisachse
<b>MP-8</b>	Freifeld	ca. 8
<b>MP-9</b>	Freifeld	ca. 8

Die Lage der installierten Messpunkte ist in der nachfolgenden Abbildung schematisch dokumentiert.



**Abbildung 4:** Übersichtslageplan mit Darstellung der Messpunkte im Bereich des Referenz-Messquerschnitts an der U-Bahnlinie U3 (Quelle: Lageplan zur Ausschreibung)

In der nachfolgenden Tabelle ist die Anzahl der verwertbaren Vorbeifahrten während der Messzeit aufgelistet.

<b>Tabelle 7:</b> Anzahl der verwertbaren Zugvorbeifahrten während der Messzeit am Referenz-Messquerschnitt der U-Bahnlinie U3		
<b>Zuggattung</b>	<b>Anzahl der erfassten Zugvorbeifahrten</b>	
	<b>stadteinwärts</b>	<b>stadtauswärts</b>
<b>U-Bahn</b>	8	4

Der Messquerschnitt befand sich innerhalb des Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsbereichs des U-Bahnhofs „Großreuth“, so dass demzufolge die Fahrgeschwindigkeit der U-Bahnen im Bereich bis ca.  $v \approx 40$  km/h abgeschätzt wurde und somit deutlich unterhalb der zu erwartenden Geschwindigkeit bis ca.  $v = 80$  km/h lag.

Die Höhenkote des Messpunkte befand sich in einer Höhe von  $h \approx 312$  m ü. NN. Die Höhenkote der Schienenoberkante befand sich bei ca. Station 16,60 in einer Höhe von  $h \approx 305,4$  ü. NN.

In nachfolgender Tabelle sind relevante planfestgestellte Parameter für das Plangebiet bzw. die Parameter der jeweiligen Referenz-Messquerschnitte gegenüber gestellt:

<b>Tabelle 8:</b> Gegenüberstellung relevanter Parameter zwischen Plangebiet und Referenz-Messquerschnitte			
Parameter	Plangebiet	Referenz-Messquerschnitt	
		U2	U3
Fahrzeugtyp	DT 3		
Geologie	vergleichbar nach Aussagen U-Bahnbauamt der Stadt Nürnberg (Fels)		
Station	ca. km 15,2 bis 16,0	28,16	16,60
Oberbausystem	optimierte Schienenstützpunkte (Nbg. 1α-23, Sylodyn)	optimierte Schienenstützpunkte (Nbg. 1α-23, Sylodyn)	Masse-Feder-System
Bauweise	offene/bergmännische Bauweise	offene Bauweise	offene Bauweise
Schienenoberkante [m ü. NN]	ca. 291 - 300	ca. 305,7	ca. 305,4
Geländeoberkante [m ü. NN]	ca. 303 - 307	ca. 312	ca. 312

## 5.2 Messgeräte

Für die Messungen und Auswertungen wurden folgende Geräte verwendet:

- Seismometer der Fa. SINUS, Model 902102.6, Empfindlichkeit 28,8 mV/(mm/s), Arbeitsfrequenzbereich 0,5 Hz - 315 Hz, untere Bestimmungsgrenze 0,35 µm/s
- Messdatenerfassung und -konditionierung X-500 der Fa. Getac, 8-Kanaliges Messsystem
- Signalanalyse Software MEDA der Fa. Wölfel, Version 2018

Die verwendeten Messgeräte wurden vor der Messung auf ihre einwandfreie Funktion überprüft. Die Messgeräte sind Bestandteil des unter D-PL-19432-01-00 nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 von der DAkkS akkreditierten Prüflaboratoriums der Möhler + Partner Ingenieure AG. In diesem Rahmen werden die Messgeräte regelmäßig überwacht und auf nationale Normale zurückgeführt.

Vor der Messung wurden die Messkanäle abgeglichen und die Messkette durch Abklopfen der Messaufnehmer für den Messeinsatz auf eine Funktionskontrolle überprüft. Das Einlesen der Kanäle erfolgte simultan. Zu Beginn und nach der Messreihe wurden Nullmessungen zur Betrachtung des Störeinflusses durchgeführt.

Die Erschütterungssignale wurden über die beschriebene Messkette synchron aufgenommen und auf Datenträger gespeichert. Parallel zur Messwert-Aufzeichnung wurden die Zuggattung, das Gleis und weitere Besonderheiten (z. B. Flachstellen, wechselnde Fahrgeschwindigkeiten, Überschneidungen usw.) notiert.

### 5.3 Ankopplung der Messaufnehmer

Die Ankopplung des Messaufnehmers im Freifeld erfolgte entsprechend den Anforderungen der DIN 45669-2 [7] mittels eines Erdspießes mit einer Länge von 0,5 m und X-förmigen Querschnitt. Der Erdspieß wurde in ebenen Untergrund geschlagen. Ein Verprellen des Spießes beim Einschlagen wurde weitestgehend vermieden und dessen fester Sitz überprüft. Zudem wurde auf eine zur Ebene möglichst lotrechte Erdspieß-Achse geachtet. Zur Vermeidung von störenden niederfrequenten Windanregungen wurde der Schwingungsaufnehmer an der Geländeoberfläche abgedeckt.

Die Messaufnehmer MP-6 bzw. MP-7 befanden sich auf dem eigentlichen Bauwerk des Bahnhofs „Großreuth“ und wurden entsprechend den Anforderungen der DIN 45669-2 [7] an das Messobjekt angekoppelt.

### 5.4 Messunsicherheit

Messunsicherheiten bei den Erschütterungsmessungen können durch mögliche Störeinflüsse auftreten, z. B.

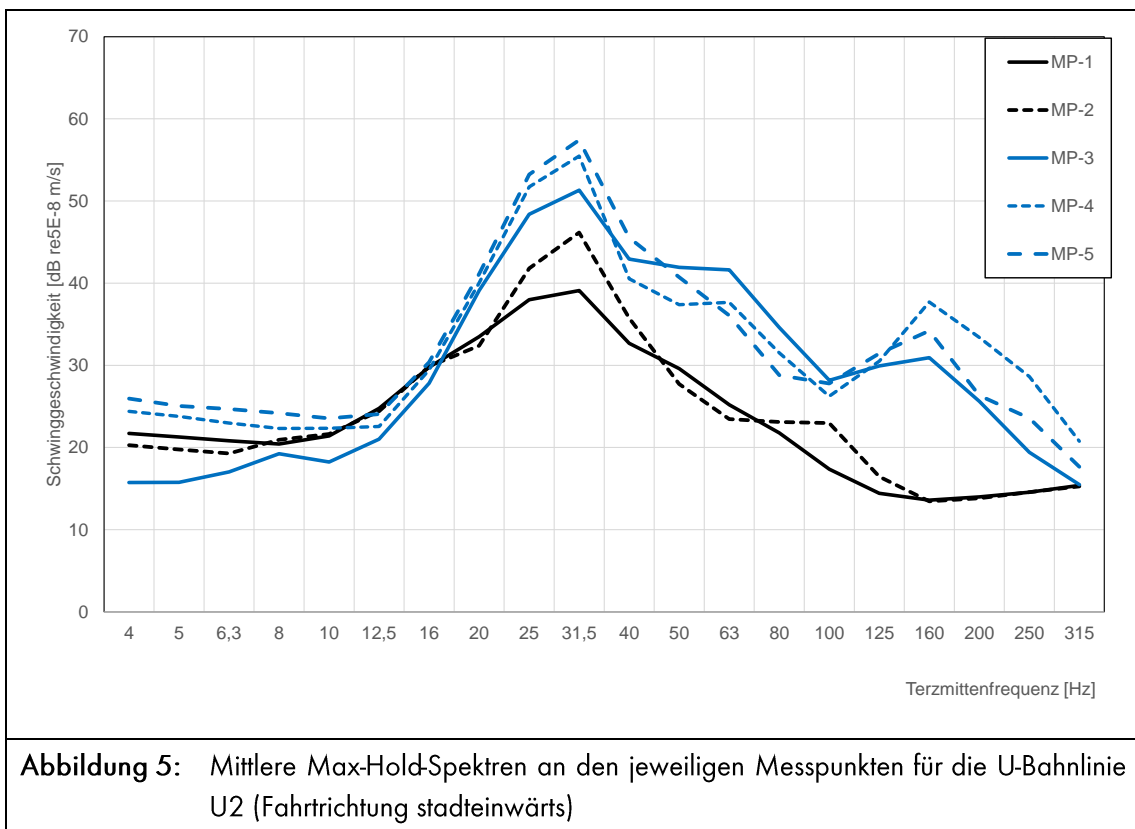
- Zusätzliche Schwingungen, deren Einwirkung auf das Messobjekt nicht oder nur sekundär Gegenstand der Mess- und Beurteilungsaufgabe ist (z. B. hausinterne Vorgänge o. ä.)
- Störsignale, die neben der Eingangsgröße unmittelbar auf den Schwingungsmesser wirken (z. B. elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder)
- Rückwirkungen des Schwingungsmessers auf das Messobjekt

Schwingungen, die nicht Gegenstand der Mess- und Beurteilungsaufgabe waren, wurden anhand des Messprotokolls bei der Auswertung ausgeblendet und somit nicht berücksichtigt. Anhand der durchgeführten Nullmessungen wurde festgestellt, dass etwaige Störeinflüsse durch elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder soweit vermindert werden konnten, dass sie auf das Messergebnis keinen relevanten Einfluss hatten. Rückwirkungen des Schwingungsmessers auf das Messobjekt konnten aufgrund der geringen Masse des Messaufnehmers gegenüber der Masse des Messobjekts ausgeschlossen werden.

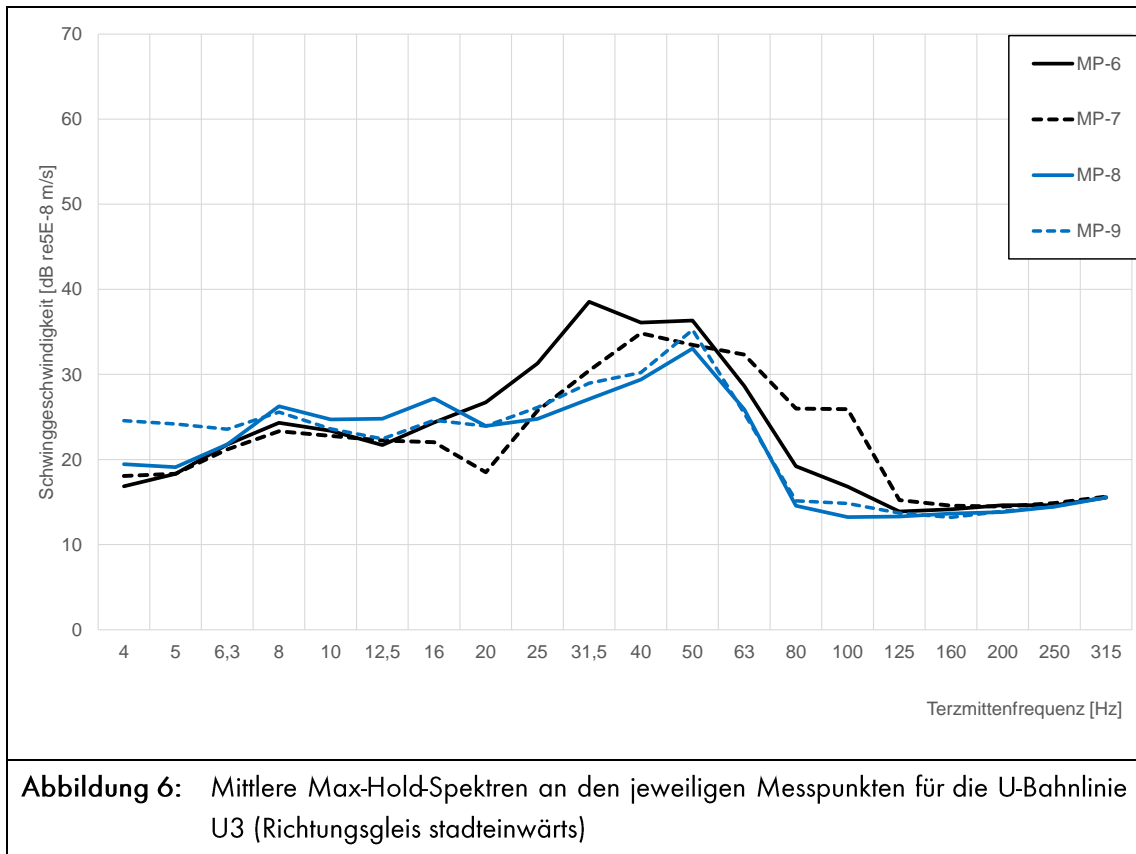
## 6. Auswertung der messtechnischen Untersuchungen

An den jeweiligen Messpunkten wurde für jede Zugvorbeifahrt das sog. Max-Hold-Terzspektrum mit der Zeitbewertung „FAST“ im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz ausgewertet. Anschließend wurde für jede Schicht (z. B. getrennt nach Fahrtrichtung) das Spektrum je Messpunkt energetisch gemittelt.

Nachfolgende Abbildungen zeigen exemplarisch die energetisch gemittelten Terzschnellespektren für die U-Bahnen an den beiden Referenz-Messquerschnitten.



**Abbildung 5:** Mittlere Max-Hold-Spektren an den jeweiligen Messpunkten für die U-Bahnlinie U2 (Fahrtrichtung stadteinwärts)



Die weiteren energetisch gemittelten Terzschnellespektren für den öffentlichen Personennahverkehr sind in der Anlage 1 dokumentiert.

Die Gegenüberstellung relevanter Parameter zwischen Plangebiet und Referenz-Messquerschnitte unter Kapitel 5.1 zeigen grundsätzlich eine gute Vergleichbarkeit, weshalb folgende weitergehende Vorgehensweise gewählt wurde:

- Die in der Abbildung 5 dargestellten Referenzspektren wurden im Weiteren ohne etwaige Korrekturen als Erregerspektren für die Ermittlung der Beurteilungsgrößen für das Plangebiet angesetzt.
- Die in der Abbildung 6 dargestellten Referenzspektren wurden auf der Grundlage der für das Planfeststellungsverfahren verwendeten Emissionsspektren [11] (siehe Anlage 2) oberbau- bzw. geschwindigkeitskorrigiert und ebenfalls im Weiteren als Erregerspektren für die Ermittlung der Beurteilungsgrößen für das Plangebiet verwendet.

Anmerkung: Eine weitergehende entfernungs bzw. querschnittsbedingte Korrektur der Referenzspektren konnte nicht durchgeführt werden.

### Erschütterungsausbreitung innerhalb des Gebäudes:

Die Anregung des Gebäudefundaments wird in der Regel mit überhöhten Schwingschnellen in den Geschossdecken beantwortet. Die durch Resonanz bei den Eigenfrequenzen der Decken auftretenden Vergrößerungsfaktoren erreichen erfahrungsgemäß Werte von 3 bis 8, beziehungsweise 10 bis 18 dB als Zunahme des Schnellepegels. Die Eigenfrequenzen von Beton-Rohdecken können im Bereich von 10 bis 40 Hz (i.d.R. zwischen 20 und 30 Hz) liegen. Die jeweiligen Berechnungen wurden demzufolge für Decken-Eigenfrequenzen von ca. 15 Hz bis 40 Hz durchgeführt, wobei jeweils die Decken-Eigenfrequenz auf die ungünstigste Terzmittenfrequenz gelegt wurde. Es ergeben sich somit über den oben dargestellten Frequenzbereich die höchsten Immissionen. Als Vergrößerungsfaktor wurde 8 (=18dB) gewählt. Die Vergrößerungsfaktoren für die anderen Frequenzen können aus dem Zusammenhang für die Vergrößerungsfunktion eines Ein-Massen-Schwingers mit Weganregung ermittelt werden:

$$V = [(1 + (2D\eta)^2) / ((1 - \eta^2)^2 + (2D\eta)^2)]^{0,5}$$

mit

V = Vergrößerungsfaktor

D = Dämpfungsmaß

$\eta$  = Erregerfrequenz / Eigenfrequenz

Die Schwingungen eines 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 Schichtung gemittelte  $KB_{F_{max}}$ -Werte ( $\overline{KB_{FTm,j}}$ -Werte je Fahrtrichtung nach DIN 4150, Teil 2) anzusehen.

Die Auswertung der gemessenen Schnellespektren kann innerhalb des Plangebiets zu den unten aufgelisteten maximalen  $\overline{KB_{FTm,j}}$ -Werten (entsprechend einem mittleren  $KB_{F_{max}}$ -Wert) bzw.  $KB_{F_{Tr}}$ -Werten im Beurteilungszeitraum tags / nachts für Rohdecken mit Eigenfrequenzen bis 40 Hz bzw. unter der Annahme des Einbaus eines Estrichs für Rohdecken mit Estrich und Estrich Eigenfrequenzen von  $f_0 \approx 50 - 80$  Hz führen.

**Tabelle 9:** Prognostizierte mittlere  $\overline{KB_{FTm,j}}$  - Werte bzw.  $KB_{FTr}$  - Werte tags / nachts auf den Geschossdecken eines fiktiven Gebäudes anhand der messtechnischen Untersuchungen

Messpunkt	$\overline{KB_{FTm,j}}$ - Wert	$KB_{FTr}$ - Wert	
		tags	nachts
MP-1	0,01	≤ 0,01	≤ 0,01
MP-2	0,03	≤ 0,01	≤ 0,01
MP-3	0,05	≤ 0,01	≤ 0,01
MP-4	0,09	≤ 0,01	≤ 0,01
MP-5	<u>0,11</u>	≤ 0,06	≤ 0,03
MP-6	0,09	≤ 0,01	≤ 0,01
MP-7	0,07	≤ 0,01	≤ 0,01
MP-8	0,05	≤ 0,01	≤ 0,01
MP-9	0,06	≤ 0,01	≤ 0,01

**Fettdruck:** Überschreitung des Anhaltswerts für allgemeine Wohngebiete (WA) nachts

Die Berechnungen des sekundären Luftschalls führen zu den unten aufgelisteten mittleren Geräuschspitzen  $\overline{L_{A,max}}$  bzw. Mittelungspegel  $\overline{L_{A,m}}$  tags / nachts an den jeweiligen Messpunkten:

**Tabelle 10:** Prognostizierte mittlere Geräuschspitzen  $\overline{L_{A,max}}$  und Mittelungspegel  $\overline{L_{A,m}}$  tags / nachts des sekundären Luftschalls [dB(A)] in Räumen eines fiktiven Gebäudes anhand der messtechnischen Untersuchungen

Messpunkt	mittlere Geräuschspitzen $\overline{L_{A,max}}$ des sekundären Luftschalls [dB(A)]	Mittelungspegel $\overline{L_{A,m}}$ [dB(A)]	
		tags	nachts
MP-1	19	6	2
MP-2	25	12	7
MP-3	31	18	14
MP-4	34	21	17
MP-5	<u>36</u>	23	19
MP-6	<u>37</u>	24	19
MP-7	35	22	18
MP-8	32	19	14
MP-9	34	21	16

**Fettdruck:** Überschreitung des Immissionsrichtwerts „Innen“ nachts

## 7. Beurteilung der Erschütterungen und des Sekundärluftschalls

Die Beurteilung der auf Erschütterungen zurückzuführenden Immissions-Situation erfolgt auf Grundlage der aus den Messdaten berechneten Mittelwerte. Die Immissionen einzelner Züge können jedoch deutlich (z. B. bei schadhaftem Zugmaterial) von diesen Mittelwerten abweichen.

Die Aussagen beziehen sich auf die durchgeführten messtechnischen Untersuchungen an Referenz-Messquerschnitten im U-Bahnnetz der Stadt Nürnberg und die zu diesem Zeitpunkt vorgelegenen örtlichen Gegebenheiten, die Unterlagen zum Belegungsprogramm und zur geplanten baulichen Nutzung sowie pauschale Ansätze zur Berechnung der Reaktion eines Gebäudes in Massivbauweise auf Schwingungsanregung.

### 7.1 Erschütterungen

Die Beurteilung wird anhand der Anhaltswerte nach Tabelle 1, Zeilen 2 bis 5 der DIN 4150-2 [3] (siehe Tabelle 2 in Kapitel 4.1) durchgeführt.

Ein Vergleich der prognostizierten  $KB_{FTm,j}$  - Werte mit den jeweiligen unteren Anhaltswerten  $A_u$  zeigt, dass das  $A_u$ - Kriterium tags unabhängig von der Art der baulichen Nutzung nach BauNVO eingehalten wird. Nachts würde in einem allgemeinen Wohngebiet (WA) der untere Anhaltswert  $A_u$  überschritten (siehe MP-5) bzw. bei den übrigen Arten der baulichen Nutzung eingehalten werden.

In Folge dessen wird im Weiteren die Beurteilungs-Schwingstärken  $KB_{FT}$  für die Beurteilungszeiträume tags und nachts herangezogen.

Der Vergleich der prognostizierten Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FT}$  zeigt, dass unter Berücksichtigung der Häufigkeit der Einwirkungen die Anhaltswerte  $A_r$  tags und nachts selbst in allgemeinen Wohngebieten (WA) eingehalten werden.

Hinsichtlich der subjektiven Wahrnehmung ist jedoch nicht auszuschließen, dass die jeweiligen Vorbeifahrten bei ruhigem Aufenthalt in Wohnungen teilweise im Bereich der Fühlbarkeitsschwelle liegen und möglicherweise auch störend wirken können.

## 7.2 Sekundärluftschall

Die Beurteilung des Sekundärluftschalls erfolgt anhand der Immissionsrichtwerte „Innen“ der TA Lärm, die in der Tabelle 3 des Kapitels 4.2 dargestellt sind.

Ausgehend von den prognostizierten Beurteilungsgrößen des Sekundärluftschalls werden für das Plangebiet insbesondere nachts die Anforderungen der TA Lärm aufgrund des Maximalpegelkriteriums an einzelnen Messpunkten und hier insbesondere auf der Tunnelröhre nicht eingehalten (siehe MP-5 bzw. MP-6). Tagsüber werden an allen Messpunkten die Anforderungen der TA Lärm eingehalten.

## 7.3 Bewertung nach der geplanten Art der baulichen Nutzungen

Entsprechend des Vorabzugs zum Bebauungsplan [1] sind unterschiedliche Arten der baulichen Nutzung im U-Bahnnahen Bereich geplant, die insbesondere unterschiedliche Schutzniveaus für die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen bedingen. Nachfolgende Tabelle fasst die immissionsschutzrechtliche Bewertung in Abhängigkeit der geplanten Art der Nutzung zusammen.

<b>Tabelle 11:</b> Bewertung der Immissionssituation anhand der geplanten Art der baulichen Nutzung entsprechend des Vorabzugs zum Bebauungsplan		
<b>Nutzung</b>	<b>Bewertung</b>	<b>Anmerkung</b>
<b>GEe</b>	Anforderung eingehalten	keine nächtliche schutzwürdige Nutzung
<b>WA</b>	Anforderung eingehalten	Abstand zur Außenwand des U-Bahntunnels mind. 18 m
<b>MU</b>	Anforderung eingehalten	

Im Fall einer baulichen Entwicklung des nordwestlichen bzw. nordöstlichen Plangebiets mit einer höherwertigeren Schutzwürdigkeit im Beurteilungszeitraum nachts (z. B. Wohngebäude, Betriebe des Beherbergungsgewerbes in einem WA/MU) gegenüber dem bisher vorgesehenen eingeschränkten Gewerbegebiet (GEe) können die entsprechenden Anforderungen an den Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall in der Bauleitplanung insbesondere in Bereichen, bei welchen die Tunnelbauwerke überbaut werden sollen, nicht mehr verlässlich eingehalten werden. Insofern werden hier anhand der durchgeführten messtechnischen Untersuchungen Maßnahmen zum Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall erforderlich.

## 8. Mögliche Maßnahmen

Die Prognoseergebnisse anhand der durchgeführten messtechnischen Untersuchungen ergaben, dass für das nordwestliche bzw. nordöstliche Plangebiet bei der Änderung der Art der baulichen Nutzung von einem eingeschränkten Gewerbegebiet (GEe) in eine höherwertige Art der baulichen Nutzung (z. B. WA oder MU) die entsprechenden Anforderungen an den Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall nicht verlässlich eingehalten werden.

In Folge dessen werden mögliche Schutzmaßnahmen bewertet, um die Erschütterungs- bzw. Sekundärluftschallimmissionen zu reduzieren.

Schutzmaßnahmen sind prinzipiell an drei Stellen möglich:

- im Gleisbereich (Emissionsort)
- im Erdreich (Transmissionsbereich)
- am Gebäude (Immissionsort)

### 8.1 Emissionsort

Wirksame Maßnahmen zum Erschütterungsschutz wurden im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für den Neubau der U-Bahnlinie 3 Südwest ([10], [11]) untersucht und abgewogen.

Weitergehende Maßnahmen als der Einbau eines Oberbausystems mit optimierten Schienenstützpunkten (Nbg 1a-23, Sylodyn) in Form eines Masse-Feder-Systems obliegen demzufolge als Aufgabe der kommunalen Bauleitplanung und werden nach Aussagen des Auftraggebers von Seiten des Infrastrukturunternehmens (VAG Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg) nicht weiter verfolgt.

### 8.2 Transmissionsbereich

Etwaige Maßnahmen im Transmissionsbereich scheiden aufgrund des unterirdischen Schienenverkehrswegs per se aus.

### 8.3 Immissionsort

Am Gebäude sind prinzipiell folgende Maßnahmen denkbar:

- Konstruktive Maßnahmen an den Gebäudedecken

Konstruktive Maßnahmen am Gebäude und hier im Speziellen an den Gebäudedecken (Verstimmung der Rohdecken bzw. der schwimmenden Estriche) lassen - für sich alleine betrachtet - aufgrund der geringen Höhe etwaiger Überschreitungen bereits eine Reduzierung der Erschütterungs- bzw. Sekundärluftschallimmissionen erwarten, um die entsprechenden Anforderungen an die Bauleitplanung einzuhalten.

Mithilfe von baulastdynamischen FEM-Simulationen im Rahmen des Genehmigungsverfahrens und auf der Grundlage der Ergebnisse der bisherigen erschütterungstechnischen Untersuchung kann die Detailschärfe der Beurteilungsgrößen für die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen im Plangebiet erhöht und die letztendliche Notwendigkeit zu Art und Umfang von Schutzmaßnahmen am Gebäude ermittelt werden.

- (Teil-)elastische Lagerung des Gebäudes

Bei der (teil-)elastischen Lagerung ist durch eine horizontale Schnittebene der Baukörper komplett vom Untergrund zu entkoppeln. Grundsätzlich gilt, dass eine ausreichende quantitative Prognosesicherheit bei der Wirksamkeit dieser Maßnahme möglich ist und diese bereits häufig erprobt wurde.

Die Entkopplung der Baukörper vom Untergrund kann grundsätzlich in verschiedenen Ebenen (z. B. Fundamentbereich oder zwischen EG/OG1) erfolgen und lässt eine relevante Reduzierung der Erschütterungsmissionen erwarten.

Neben der schwingungsentkoppelten Lagerung des Gebäudes sind zur Vermeidung von Körperschallbrücken grundsätzlich alle Durchdringungen im Bereich der Lagerebene (z. B. Wasser, Abwasser, Heizung, Fundamente etc.) ebenfalls schwingungsentkoppelt auszuführen. Ebenfalls ist eine vertikale Entkopplung zu nicht schwingungsentkoppelten Gebäudeteilen zu planen.

Aufgrund der bereits vorgesehenen Maßnahmen im Gleisbereich erscheint gegenwärtig eine (teil-)elastische Gebäudelagerung mit einer notwendigen Abstimmfrequenz von  $f_0 \leq 16$  Hz ausreichend, um die entsprechenden Anforderungen an den Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall in der Bauleitplanung einzuhalten.

## 9. Vorschlag für die Satzung und Begründung des Bebauungsplans

### *Begründung - Erschütterungsmissionen und Sekundäreffekte*

Aufgrund der räumlichen Nähe zum planfestgestellten Neubau der U-Bahnlinie U3 Südwest ergeben sich für das Plangebiet bis zu einem Abstand von 18 m zu den Außenwänden der Tunnelbauwerke der U-Bahn relevante Immissionen aus Erschütterungen und Sekundärluftschall im Beurteilungszeitraum nachts. Die Höhe dieser Immissionen hängt dabei neben dem Belegungsprogramm insbesondere auch von den Übertragungseigenschaften des Baugrunds sowie der Erschütterungsempfindlichkeit der jeweiligen Baukörper ab.

Bei der Anordnung von Baukörpern mit schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen sowie baulich daran gekoppelte Gebäudeteile, die eine höhere nächtliche Schutzwürdigkeit bedingen (z. B. Wohngebäude, Betriebe des Beherbergungsgewerbes in einem WA/MU), ist bis zu einem Abstand von 18 m zu den Außenwänden der Tunnelbauwerke durch eine erschütterungstechnische Untersuchung im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens die Einhaltung der Festsetzungen nachzuweisen.

Baukörper oder baulich daran gekoppelte Gebäudeteile von Wohnungen für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen sowie für Betriebsinhaber und Betriebsleiter im eingeschränkten Gewerbegebiet (GEe) sind ebenfalls in einem Abstand von mindestens 18 m zu den Außenwänden der Tunnelbauwerke der U-Bahn anzuordnen.

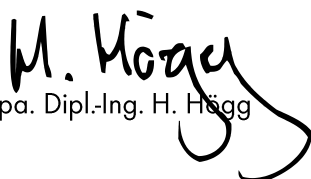
### Satzung

- [1] Im allgemeinen Wohngebiet (WA) und urbanen Gebiet (MU) sind schutzbedürftige Aufenthaltsräume sowie baulich daran gekoppelte Gebäudeteile bis zu einem Abstand von 18 m zu den Außenwänden der Tunnelbauwerke der U-Bahn durch technische bzw. konstruktive Maßnahmen so zu schützen, dass hinsichtlich der Erschütterungswirkungen des unterirdischen Bahnbetriebs die maßgeblichen Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2, Ausgabe Juni 1999 eingehalten werden.
- [2] Im allgemeinen Wohngebiet (WA) und urbanen Gebiet (MU) sind schutzbedürftige Aufenthaltsräume sowie baulich daran gekoppelte Gebäudeteile bis zu einem Abstand von 18 m zu den Außenwänden der Tunnelbauwerke der U-Bahn durch technische bzw. konstruktive Maßnahmen so zu schützen, dass die gemäß TA Lärm, Abschnitt 6.2 i. d. F. vom August 1998 vorgegebenen Anforderungen für Geräuschübertragung innerhalb von Gebäuden aufgrund des unterirdischen Bahnbetriebs eingehalten werden.
- [3] Die Einhaltung der unter Absatz [1] und [2] gestellten Anforderungen ist durch eine erschütterungstechnische Untersuchung im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens nachzuweisen.

Diese erschütterungstechnische Untersuchung umfasst 30 Seiten und zwei Anlagen. Die auszugsweise Vervielfältigung ist nur mit Zustimmung der Möhler + Partner Ingenieure AG gestattet.

Bamberg, den 09.07.2020

Möhler + Partner  
Ingenieure AG

  
ppa. Dipl.-Ing. H. Högg

  
i. A. M.Sc. D. Liffwin

## 10. Anlagen

Anlage 1.1 - 1.4: Max-Hold-Terzschnellespektren der Zugvorbeifahrten an den Referenz-Messquerschnitten

Anlage 2.1: Emissionsspektren an der Tunnelwand aus dem Planfeststellungsverfahren

## Anlage 1: Max-Hold-Terzschnellespektren der Zugvorbeifahrten an den Referenz-Messquerschnitten

Bebauungsplan Nr. 4445 B „Tiefes Feld“ der Stadt Nürnberg

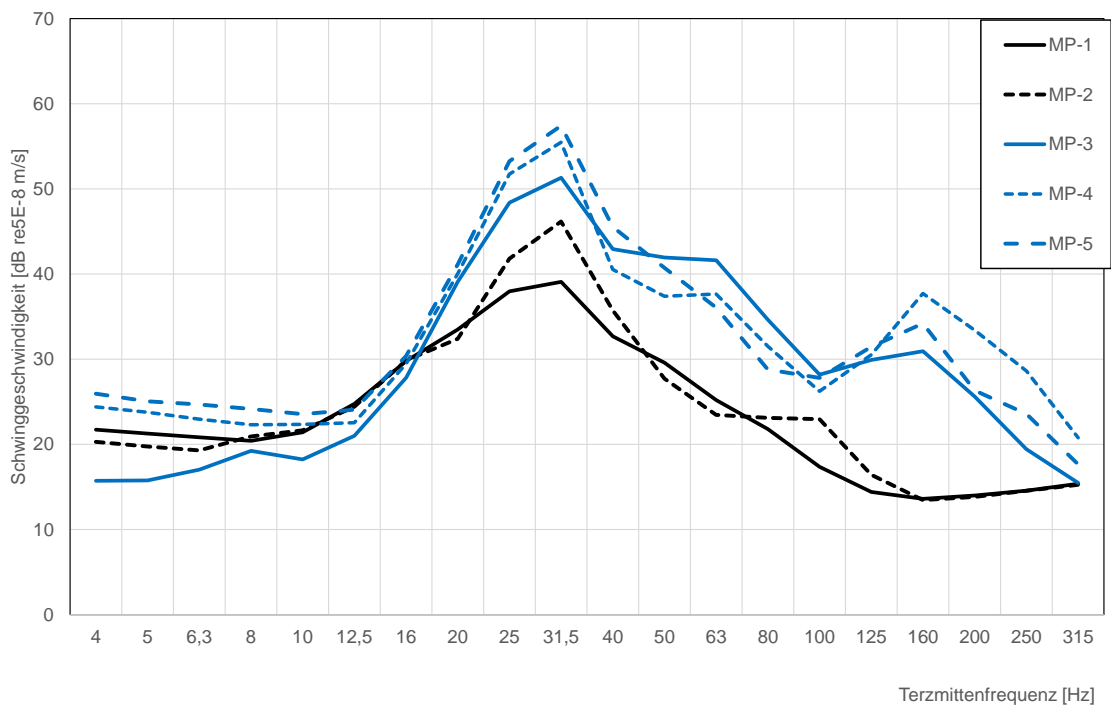
Erschütterungen durch unterirdischen Schienenverkehr

an der U-Bahnlinie U2 (Station 28,16)

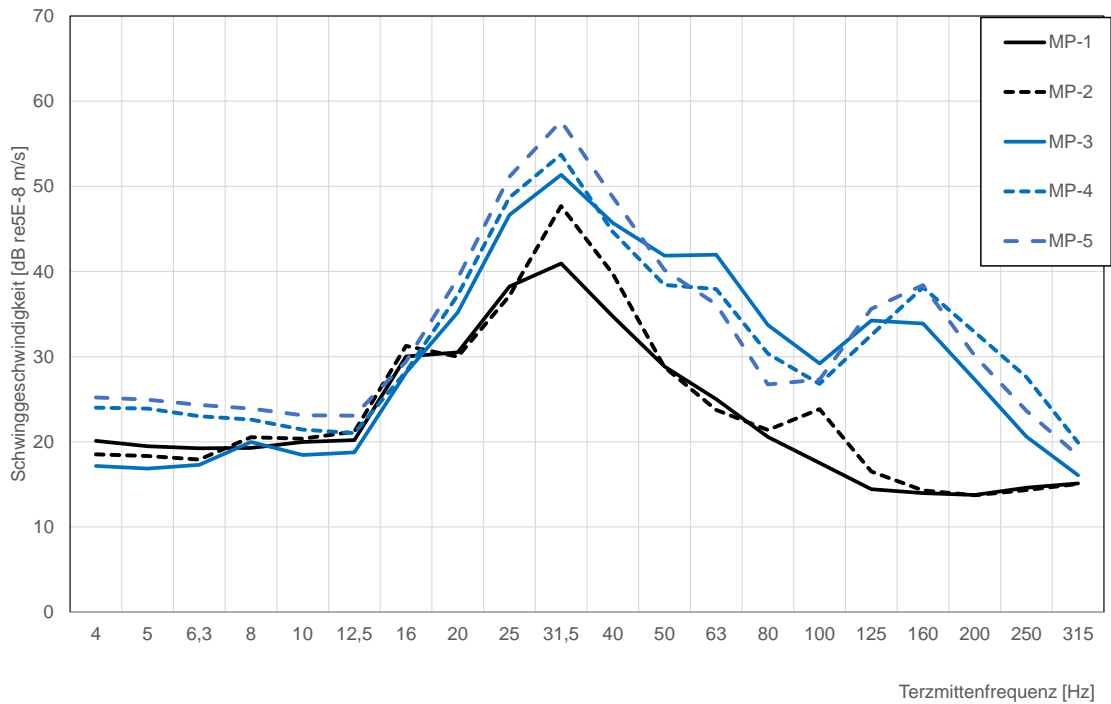
Fahrrichtung: stadteinwärts

Fahrzeugtyp: U-Bahntyp DT 3

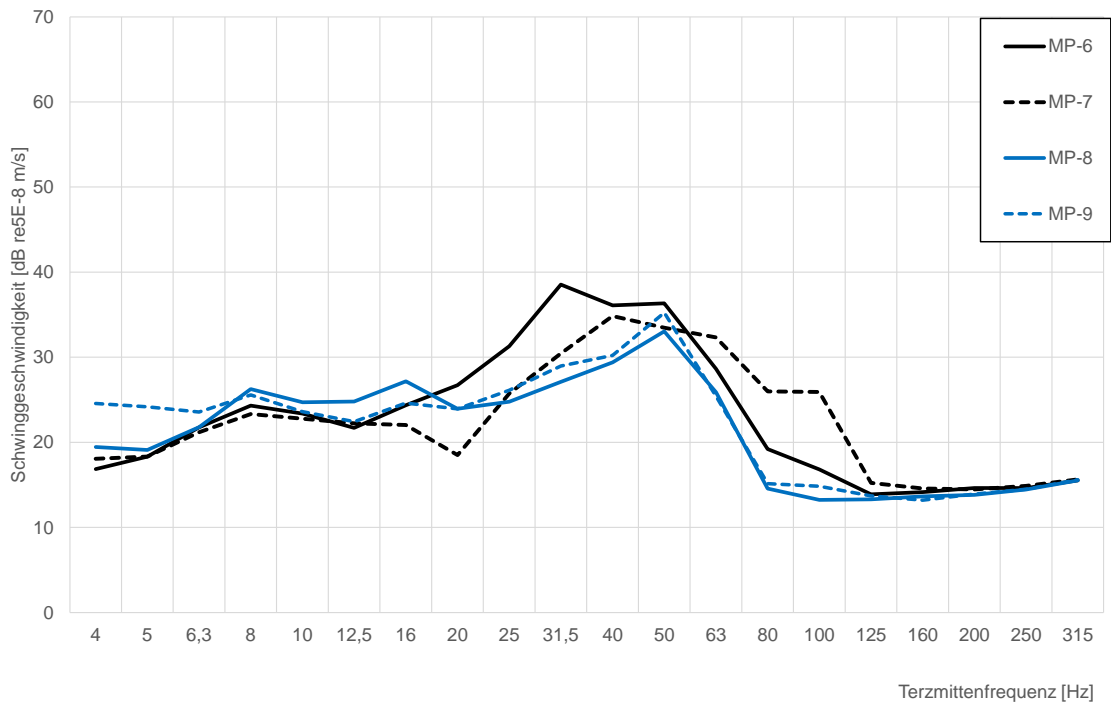
Max-Hold-Auswertung



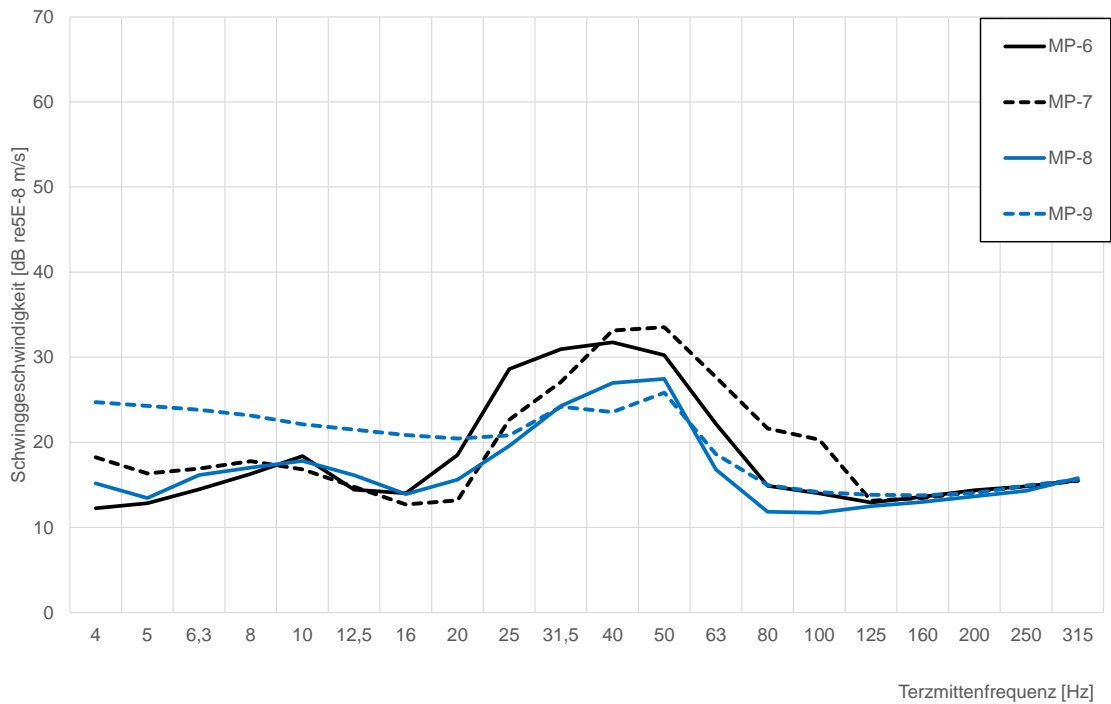
Bebauungsplan Nr. 4445 B „Tiefes Feld“ der Stadt Nürnberg  
Erschütterungen durch unterirdischen Schienenverkehr  
an der U-Bahnlinie U2 (Station 28,16)  
Fahrrichtung: stadtauswärts  
Fahrzeugtyp: U-Bahntyp DT 3  
Max-Hold-Auswertung



Bebauungsplan Nr. 4445 B „Tiefes Feld“ der Stadt Nürnberg  
Erschütterungen durch unterirdischen Schienenverkehr  
an der U-Bahnlinie U3 (Station 16,60)  
Fahrtrichtung: stadteinwärts (Gleis 1)  
Fahrzeugtyp: U-Bahntyp DT 3  
Max-Hold-Auswertung



Bebauungsplan Nr. 4445 B „Tiefes Feld“ der Stadt Nürnberg  
Erschütterungen durch unterirdischen Schienenverkehr  
an der U-Bahnlinie U3 (Station 16,60)  
Fahrtrichtung: stadtauswärts (Gleis 2)  
Fahrzeugtyp: U-Bahntyp DT 3  
Max-Hold-Auswertung



## Anlage 2: Emissionsspektren an der Tunnelwand aus dem Planfeststellungsverfahren

(Auszug aus schall- und erschütterungstechnischen Untersuchung zur Planfeststellung der U-Bahnlinie U3 Südwest - BA 2.2)

