

**Projekttitlel:** Erschütterungstechnische Ersteinschätzung  
**Bauvorhaben:** Bebauungsplan Lerchenauerfeld München  
**Auftraggeber:** Wohn Park Lerchenauerfeld GmbH & Co. KG  
Ludwig-Ganghofer-Straße 6  
82031 Grünwald

**Projekt-Nr.:** 700-6252  
**Projektnotiz-Nr.** PN01  
**Datum:** 23.10.2020

### **Inhalt der Projektnotiz**

Nachfolgende Projektnotiz enthält eine Ersteinschätzung zu den Erschütterungseinwirkungen im Falle einer Verkehrsführung der geplanten Trambahn in Variante 2.

Die erschütterungstechnische Untersuchung kann im vorliegenden Fall lediglich als orientierende Informationsquelle dienen, da eine Prognose künftiger Erschütterungseinwirkungen nur mit erheblichem Aufwand und Kenntnis detaillierter Grundlagen (u. a. genaue Lage, verwendete Oberbauformen der Gleislagen etc.) möglich ist, die zum gegenwärtigen Planungsstand nicht vorliegen.

### **Grundlagenverzeichnis:**

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), 14. Mai 1990 in der aktuellen Fassung
- [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] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung, September 2010
- [5] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren, Juni 2005
- [6] DIN EN ISO/IEC 17025 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005), August 2005
- [7] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) vom 28. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503), zuletzt geändert durch die Bekanntmachung des BMUB vom 1. Juni 2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5)

- [8] Beiblatt 1 zu DIN 45680, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft – Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen, März 1997
- [9] Körperschall: Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, L. Cremer und M. Heckl, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996
- [10] Melke, 1995, Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs, Prognose und Schutzmaßnahmen, Materialien Nr. 22, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
- [11] Handbuch Gleis, Unterbau, Oberbau, Instandhaltung, Wirtschaftlichkeit, Bernhard Lichtberger, Tetzlaff Verlag, 2. Auflage, 2004
- [12] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO), Mai 2017
- [13] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes- Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990 (BGBl. I S. 1036), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2269) geändert worden ist
- [14] Anlage 2 zu § 4 der 16. BImSchV Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2014 Teil 1 Seite 2271-2313, ausgegeben zu Bonn am 23. Dezember 2014, seit 01.01.2015 in Kraft getreten
- [15] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV). 05.02.1997
- [16] Erschütterungstechnische Untersuchung Landeshauptstadt München Bebauungsplan mit Grünordnung Nr. 1989 „Bayernkaserne“, Schwabing – Freimann, Bericht Nr. 700-5413 ER, 13.08.2018

## 1. Aufgabenstellung

Im Rahmen der Planungen zum Bebauungsplan „Lerchenauerfeld“, in München Feldmoching, wurden von unserem Büro schalltechnische Voruntersuchungen erstellt und anschließend der städtebauliche Wettbewerb begleitet. Im Zuge der weiteren Planungen ist zur Erschließung des südlichen Plangebietes eine Trambahn geplant. Zur Einschätzung der Auswirkungen durch die Tram soll eine erschütterungstechnische Voruntersuchung / Abschätzung als orientierende Informationsquelle erstellt werden. Dabei ist eine Streckenführung gemäß Planvariante V2 (vgl. Abbildung 4) zu berücksichtigen.

Eine Prognose künftiger Erschütterungseinwirkungen dieser Planung ist nur mit erheblichem Aufwand und Kenntnis detaillierter Grundlagen möglich (u. a. genaue Lage, verwendete Oberbauformen der Gleislagen etc.). Nachfolgend erfolgt hierzu eine orientierende Einschätzung auf Grundlage von Erfahrungswerten.

Mit der Durchführung der erschütterungstechnischen Untersuchung wurde die Möhler + Partner am 13.10.2020 von der Wohn Park Lerchenauerfeld GmbH & Co. KG beauftragt.

## 2. Grundlagen

### 2.1 Allgemein

Mit Änderung der BauNVO [12] wurde die Gebietskategorie des Urbanen Gebietes als schutzwürdige Nutzung eingeführt. Die bisher geltenden Verordnungen, Verwaltungsvorschriften und Normen des Immissionsschutzes müssen daher überarbeitet werden. Die TA Lärm wurde bereits hinsichtlich des Urbanen Gebietes überarbeitet und rechtskräftig eingeführt. Zu einer möglichen Änderung der DIN 4150 ist von Seiten des Normungsausschusses derzeit nichts bekannt, so dass für das Urbane Gebiet keine Anhaltswerte vorliegen. Aus diesem Grund wurde zur Einstufung des Urbanen Gebietes hilfsweise die Einstufung als Misch-, Kerngebiet angewendet.

Für Sondergebiete sowie Gemeinbedarfsflächen benennt die DIN 4150 keine Einstufung der Schutzwürdigkeit, sodass nachfolgend von der Schutzwürdigkeit eines Mischgebietes (MI) ausgegangen wird.

Die Gemeinbedarfsflächen für Schulen, Kinderbetreuungseinrichtungen und Jugendhäuser werden gem. der Schutzwürdigkeit eines allgemeinen Wohngebietes (WA) eingestuft, da sog. Hausmeisterwohnungen und somit nachts schutzbedürftige Aufenthaltsräume nicht ausgeschlossen werden können. Dieses Schutzniveau wird auch für schutzbedürftige Aufenthaltsräume der Schule, Kinderbetreuungseinrichtungen und Jugendhäuser (Klassenräume, Ruheräume, etc.) übernommen. Die gängigen Regelungen zu Erschütterungen und Sekundärluftschall (Normenreihe DIN 4150, 24. BImSchV und TA Lärm [2], [3], [15] und [13]) sehen keine Anforderungen an Schulen vor. Aufgrund des erhöhten Schutzanspruches wird für Schulen üblicherweise im Rahmen der Bauleitplanung, in Anlehnung an die DIN 18005, von einem Schutzanspruch eines allgemeinen Wohngebietes (WA) ausgegangen.

## 2.2 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 [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:

$$KB_{fTr} = KB_{fTm} * (T_e/T_r)^{0,5}$$

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 4150-2<sup>1</sup> [3]:

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

Die Beurteilung erfolgt nach folgender Vorgehensweise:

- Ist  $KB_{fmax}$  kleiner als der untere Anhaltswert  $A_{ur}$ , dann sind die Anforderungen der Norm eingehalten.

---

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

- 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]. Für oberirdisch geführten Schienenverkehr des ÖPNV nennt die DIN 4150-2 eine Sonderregelung. Gemäß Ziffer 6.5.3.3 dürfen die die  $A_u$ - und  $A_r$ -Werte nach DIN 4150-2 um den Faktor 1,5 angehoben werden. Dieser Faktor ist bei den in nachfolgender Tabelle angegebenen Anhaltswerten bereits berücksichtigt.

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	0,6	6	0,3	0,45	0,6	0,225
2	Gewerbegebiete	0,45	6	0,225	0,3	0,4	0,15
3	Misch-, Kerngebiete	0,3	5	0,15	0,225	0,3	0,105
4	Allgemeine bzw. Reine Wohngebiete (Schulen)	0,225	3	0,105	0,15	0,2	0,075
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte	0,15	3	0,075	0,15	0,15	0,075

Bei der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen aus oberirdischen 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. Liegen jedoch nachts einzelne  $KB_{FTr}$  – Werte bei oberirdischen Strecken gebietsunabhängig über  $A_o = 0,6$ , so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z.B. Flachstellen an Rädern) und diese möglichst rasch zu beheben. Diese hohen Werte sind bei der Berechnung von  $KB_{FTr}$  zu berücksichtigen.

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

„... Die Föhlschwelle 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...“

## 2.3 Sekundärluftschall

Der innerhalb eines Gebäudes auf Körperschallimmissionen zurückzuföhrende 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. Zur Bewertung muss demnach auf Richtlinien aus anderen schalltechnischen Bereichen zurückgegriffen werden, die für die Körperschallübertragung innerhalb von Gebäuden oder tieffrequente Schallimmissionen Aussagen treffen.

Da es keine gesetzlichen Regelungen zur Beurteilung des Sekundärluftschalls von Schienenverkehr gibt, haben sich aus einschlägigen Empfehlungen und der Rechtsprechung zwei unterschiedliche Beurteilungen ergeben, je nachdem ob es sich um das Heranrücken von Wohngebäuden an einen bestehenden Verkehrsweg im Rahmen eines Bebauungsplans oder um den Neubau oder die wesentliche Änderung eines Verkehrsweges im Rahmen eines Plangenehmigungs- oder Planfeststellungsverfahrens handelt.

### 2.3.1 Heranrücken von Wohngebäuden im Rahmen der Bauleitplanung

Im Rahmen der Bauleitplanung ist es in Bayern gängige Praxis, die Beurteilung der Einwirkungen durch sekundären Luftschall nach der TA Lärm [7] bzw. der DIN 45680 [7] durchzuführen (diese Richtlinien regeln generell die Geräuschübertragung innerhalb von Gebäuden/ Körperschallübertragungen bzw. tieffrequente Geräusche durch gewerbliche Anlagen). Im vorliegenden Fall werden für das geplante Bauvorhaben ebenfalls diese Werte angesetzt (vgl. auch die Beurteilung der Bebauungspläne Nr. 1954 und Nr. 2096a der LHM).

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.

### 2.3.2 Neubau oder wesentliche Änderung von Verkehrsweg im Rahmen einer Planfeststellung

Bis zur Festlegung gesetzlich verbindlicher Grenzwerte kommen als Zumutbarkeitsschwellen für die Beurteilung des sekundären Luftschalls die aus den Vorgaben der 24. BImSchV [15] vom Februar 1997 ableitbaren Richtwerte in Betracht, da sie ein für die Beurteilung von Verkehrslärm in Innenräumen geschaffenes Regelwerk ist.

Auch für den sekundären Luftschall gilt: Bei Überschreitung der aus den Richtwerten dieser Regelwerke abgeleiteten Zumutbarkeitsschwellen darf durch die Ausbaumaßnahmen bedingt keine wesentliche Zunahme stattfinden - in Anlehnung an die Rechtsprechung vor Inkrafttreten der 16. BImSchV (Verkehrslärmschutzverordnung) [13]. Bei Luftschall-Immissionen ist allgemein üblich, Pegelerhöhungen ab 3 dB(A) als wesentlich anzusehen. Die Bezugszeiträume sind: Tag 6 bis 22 Uhr und Nacht 22 bis 6 Uhr.

Die 24. BImSchV macht Angaben über das erforderliche Schalldämmmaß der Außenbauteile in Abhängigkeit vom Außenpegel (Direktschall). Sie ist als einzige der Luftschall-Regelwerke für Schienenverkehr einschlägig. In der 24. BImSchV werden zur Bestimmung von Fenster-Schallschutzklassen (aus dem Fenster-Schalldämm-Maß  $R'_{w, res}$ ) zum Schutz vor Außenlärm (Direktschall) Korrektursummanden  $D$  angegeben. Gleichung (1) aus der 24. BImSchV gibt für das erforderliche bewertete Schalldämm-Maß  $R'_{w, res}$  für Schlafräume an:

$$R'_{w, RES} = L_{RN} + 10 \lg \left( \frac{S_G}{A} \right) - D + E$$

mit:

- $L_{r,N}$ : Beurteilungspegel für die Nacht in dB(A) nach Anlage 1 und 2 der 16. BImSchV
- $S_g$ : vom Raum aus gesehene Gesamtaußenfläche in  $m^2$
- $A$ : äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in  $m^2$
- $D$ : Korrektursummand in dB (zur Berücksichtigung der Raumnutzung)
- $E$ : Korrektursummand in dB (der sich aus dem Spektrum des Außengeräusches und der Frequenzabhängigkeit der Schalldämmmaße von Fenstern ergibt)

Der Korrektursummand  $D$  ist der um 3 dB(A) reduzierte, höchstzulässige Innengeräuschpegel (A-bewertete Mittelungspegel) gemäß den angegebenen Raumnutzungen für schutzbedürftige Aufenthaltsräume.

<b>Tabelle 3: Korrektursummanden D gemäß 24. BImSchV (Ausgabe 1997)</b>	
<b>Raumnutzung</b>	<b>Korrektursummand D</b>
Räume, die überwiegend zum Schlafen benutzt werden	27
Wohnräume	37
Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftliche Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume	37
Konferenz- und Vortragsräume, allgemeine Laborräume Büroräume,	42
Großraumbüros, Schalterräume, Druckerräume von DV-Anlagen, soweit dort ständig Arbeitsplätze vorhanden sind	47
Sonstige Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind	entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen

Demnach betragen die höchstzulässigen Innengeräuschpegel  $L_i$  über die Beurteilungszeiten Tag: 6 - 22 Uhr, Nacht: 22 – 6 Uhr:

<b>Tabelle 4: Zumutbarkeitsschwellen (Mittelungspegel) sekundärer Luftschall</b>	
<b>Raumnutzung</b>	<b><math>L_i</math></b>
Wohnräume	40 dB(A) am Tag
Räume, die überwiegend zum Schlafen benutzt werden	30 dB(A) in der Nacht

Zu berücksichtigen ist, dass primärer und sekundärer Luftschall sich ggf. überlagern. Dies ist aber erst dann näher zu untersuchen, wenn sich der sekundäre Schallpegel den angegebenen Grenzwerten bis auf 3 dB(A) annähert.

Die aus der 24. BImSchV zumutbaren Innenraumpegel gelten für alle Arten von Verkehrslärm. Dieser wird jedoch von den Betroffenen je nach Emissionsart als unterschiedlich belästigend wahrgenommen. Eine Berücksichtigung von kurzzeitigen Geräuschspitzen, wie bei der Beurteilung nach TA Lärm, existiert in der Systematik der 24. BImSchV bis heute nicht.

### 2.3.3 Ermittlung des Sekundärluftschalls

Durch die Schwingungsanregung der Wände und vor allem der Geschosdecken 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 [9]:

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

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  $\sigma$  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 16 Hz bis 315 Hz.

Durch den Ansatz der oben genannten Parameter ergeben sich in der Regel etwas zu hohe Pegel, die somit aber auf der „sicheren Seite“ liegen. Für die Detailschärfe eines Bebauungsplans stellt dieser Ansatz erfahrungsgemäß eine praktikable Voreinschätzung dar.

### 3. Betriebsprogramm

Relevante Erschütterungseinwirkungen aus dem Straßenbahnverkehr werden im vorliegenden Fall durch die Neubaustrecke im Süden des Plangebietes erzeugt. Die geplante Straßenbahntrasse verläuft in Variante 2 entlang der südwestlichen Erschließungsstraße, biegt im Bereich der geplanten Schule in Richtung Süden ab und verläuft entlang der südlichen Plangebietsgrenze in Richtung der östlich gelegenen Bahnstrecke.

Die Planungen zur Trambahn befinden sich derzeit in einem frühen Stadium, sodass konkrete Planungen zur letztendlichen Streckenverlauf bzw. dem Oberbau nicht vorliegen. Im Rahmen der schalltechnischen Ersteinschätzung zur Trambahn wurde von einer Verkehrsmenge von bis zu 200/30 Fahrten tags/nachts und einer Fahrgeschwindigkeit von bis zu 60 km/h ausgegangen. Dies entspricht in etwa der Hälfte der Verkehrsmenge, die im Rahmen eines vorangegangenen Projektes berücksichtigt wurde (vgl. [16]).

### 4. Vorhandene Messdaten

Das Straßenbahnnetz im Bereich des Plangebietes bzw. in Feldmoching ist derzeit nicht vorhanden, sodass keine messtechnische Erfassung der zu erwartenden Erschütterungen durchgeführt werden kann. Es wird daher in Anlehnung an bereits durchgeführte Projekte (vgl. [16]) auf vorhandene Erschütterungsmessungen innerhalb des Stadtgebietes der LHM zurückgegriffen, um die zu erwartenden Erschütterungseinwirkungen orientierend einschätzen zu können.

Die Prognose künftiger Erschütterungseinwirkungen ist im Rahmen von Planungen nur mit erheblichem Aufwand und der Kenntnis detaillierter Grundlagen (u. a. genaue Lage, verwendete Oberbauformen der Gleislagen etc.) möglich. Da diese Informationen zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht vorliegen, kann die nachfolgende erschütterungstechnische Untersuchung auf Grundlage von Erfahrungswerten, ausschließlich als orientierende Informationsquelle dienen.

Um eine für das Plangebiet vergleichbare Erschütterungssituation abbilden zu können, wird nachfolgend auf drei Messquerschnitte aus vergangenen Messungen zurückgegriffen (vgl. [16]). Diese gliedern sich wie folgt:

1. Messung: Straßenbahnlinie 16, Bereich Ismaninger Straße, 25.11.2011
2. Messung: Straßenbahnlinie 20, 21 und N20, Bereich Kreativ-Park an der Dachauer Straße, 22.06.2016
3. Messung: Straßenbahnlinie 12, Bereich Kreativ-Feld an der Schwere-Reiter-Straße, 22.06.2016

Die o. g. Messungen wurden jeweils in verschiedenen Abständen zur Erschütterungsquelle (bspw. 9 m, 12 m, ..., 56 m) durchgeführt. Während den Messungen wurden zwischen 13 und 25 Vorbeifahrten bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten (Beschleunigung, Bremsvorgang, konstante Vorbeifahrt etc.) erfasst (vgl. [16]). Es liegt demnach ein breites Spektrum an Betriebszuständen zugrunde.

## 5. Auswertung der messtechnischen Untersuchungen

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

Der geplante Neubau der Trambahn-Linien ist nicht Teil des vorliegenden Bebauungsplanverfahrens und wird im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens gesondert untersucht. Im Rahmen dieser Untersuchung werden auch die Erschütterungseinwirkungen und den damit verbundenen Sekundärluftschall durch den Neubau der Trambahn auf die umliegende Nachbarschaft bewertet und gem. DIN 4150-2 bzw. 24. BImSchV beurteilt und gegebenenfalls Maßnahmen zum Lärmschutz erarbeitet.

Im Rahmen von Bauleitplanungen werden Erschütterungs- sowie Sekundärluftschalleinwirkungen auf die umliegende Nachbarschaft gem. DIN 4150-2 und TA Lärm beurteilt. Wie in Abschnitt 2 beschrieben ergeben sich hinsichtlich der Beurteilung des Sekundärluftschalls teils deutliche Unterschiede zwischen der 24. BImSchV und der TA Lärm. Da im vorliegenden Fall davon auszugehen ist, dass das gegenständliche Planvorhaben vor dem Neubau der Straßenbahntrasse realisiert wird, werden die prognostizierten Sekundärluftschallimmissionen i. S. eines Planfeststellungsverfahrens gem. 24. BImSchV beurteilt. Eine Beurteilung anhand der TA Lärm wird informativ durchgeführt.

### 5.1 Anregung von Erschütterungsschwingungen

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 jedem Messpunkt energetisch gemittelt. Die wesentlichen (gemittelten) Terzpegelschnellespektren an den einzelnen Messpunkten sind [16] zu entnehmen.

### 5.2 Ausbreitung der Erschütterungen im Erdreich

Die Ausbreitung der Erschütterungen des oberirdischen Schienenverkehrs an der Erdoberfläche (Rayleighwelle) ist in Festkörperstrukturen, wie zum Beispiel der gebundenen Asphaltdecke, gegenüber dem natürlichen Baugrund (rollige Böden) deutlich erhöht. Bei Straßenbahntrassen im Stadtgebiet sind die befestigten Untergrundverhältnisse üblich und sind in den Messungen abgebildet. Die Umrechnung der gemessenen Abstände auf interessierende Flächen des Plangebietes erfolgt durch Korrekturwerte je Terzband, die durch Regressionsfunktionen aus dem Abklingverhalten im Messquerschnitt gewonnen wurden.

### 5.3 Einleitung der Erschütterungen vom Erdreich in das Gebäude

Für die Übertragung der Schwingungen vom Erdreich in das Gebäude sind die dynamischen Eigenschaften der Empfängerstruktur und die Rückwirkung des angrenzenden Bodens bestimmend. Für eine Vorabschätzung ist die Überhöhung der Schwingungen beim Übergang vom Erdreich in das Gebäude abhängig von der Gebäudemasse und der Frequenz [10]. Entsprechend wird die Abnahme der Schnellepegel frequenz- und gebäudemasseabhängig angesetzt.

#### 5.4 Erschütterungsausbreitung 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

$$V = [(1 + (2D\eta)^2) / ((1 - \eta^2)^2 + (2D\eta)^2)]^{0.5}$$

mit  $D$  = Dämpfungsmaß und  $\eta$  = Erregerfrequenz / Eigenfrequenz

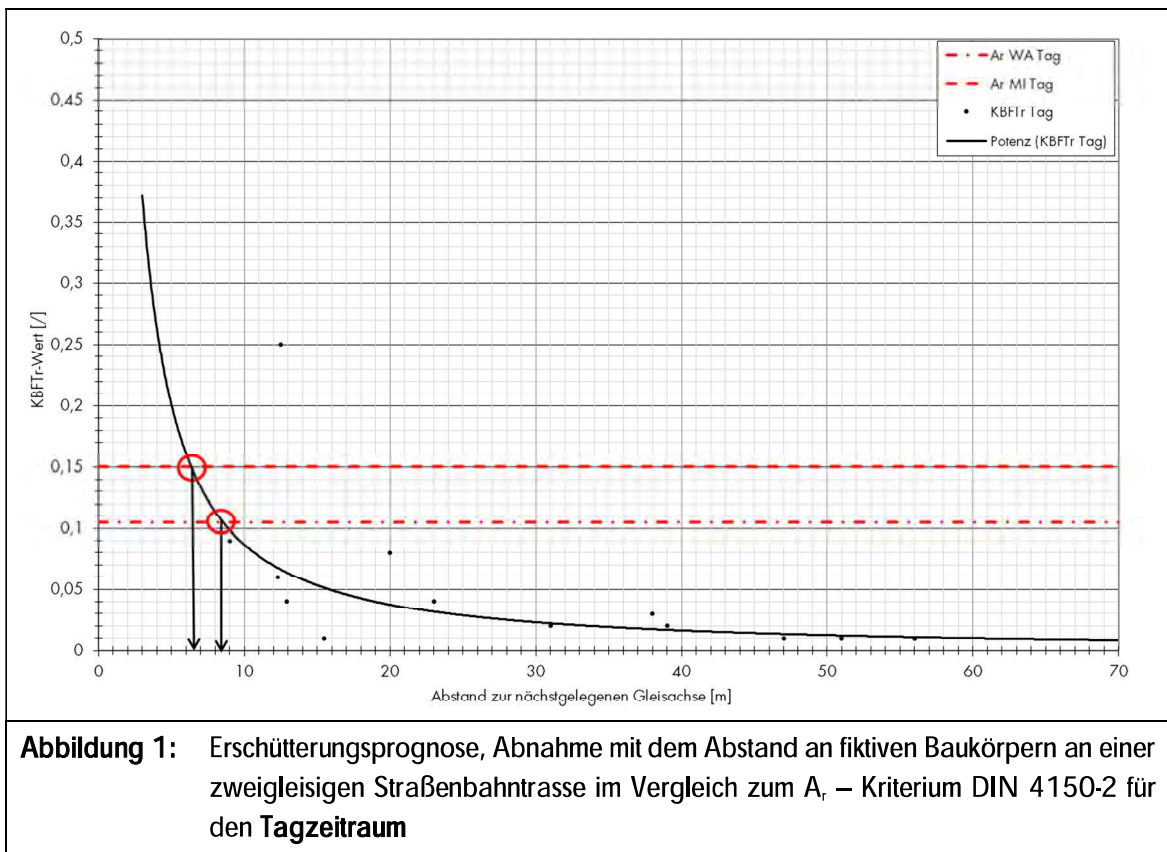
ermittelt werden. Als Dämpfungsmaß wurde ein Erfahrungswert  $D = 0,065$  angesetzt.

Die Schwingungen des schwimmenden Estrichs bzw. des Gesamtdeckenaufbaus werden ebenfalls durch ein Massen-Schwinger-Modell angenähert. Typische Estrich-Eigenfrequenzen liegen im Bereich 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  $KB_{F_{max}}$ -Werte ( $KB_{F_{Tr}}$ -Werte je Fahrtrichtung nach DIN 4150, Teil 2) anzusehen.

Die Auswertung der gemessenen Schnellespektren führt zu den aufgelisteten höchsten  $KB_{F_{Tr}}$ -Werten für Rohdecken mit Eigenfrequenzen bis 40 Hz bzw. unter der Annahme des Einbaus eines schwimmenden Estrichs für Rohdecken mit Estrich und Estrich Eigenfrequenzen von  $f_0 \approx 50 - 80$  Hz für die Plangebäude. Ausgehend von den Terzschnellespektren (vgl. [16]) ergeben sich bei der Prognoseabschätzung als Erschütterungsimmissionen die nachfolgenden Beurteilungswerte. Der Prognose wurden die zu erwartenden Verkehrsmengen der Straßenbahntrasse zugrunde gelegt.

##### 5.4.1 Erschütterungsimmissionen

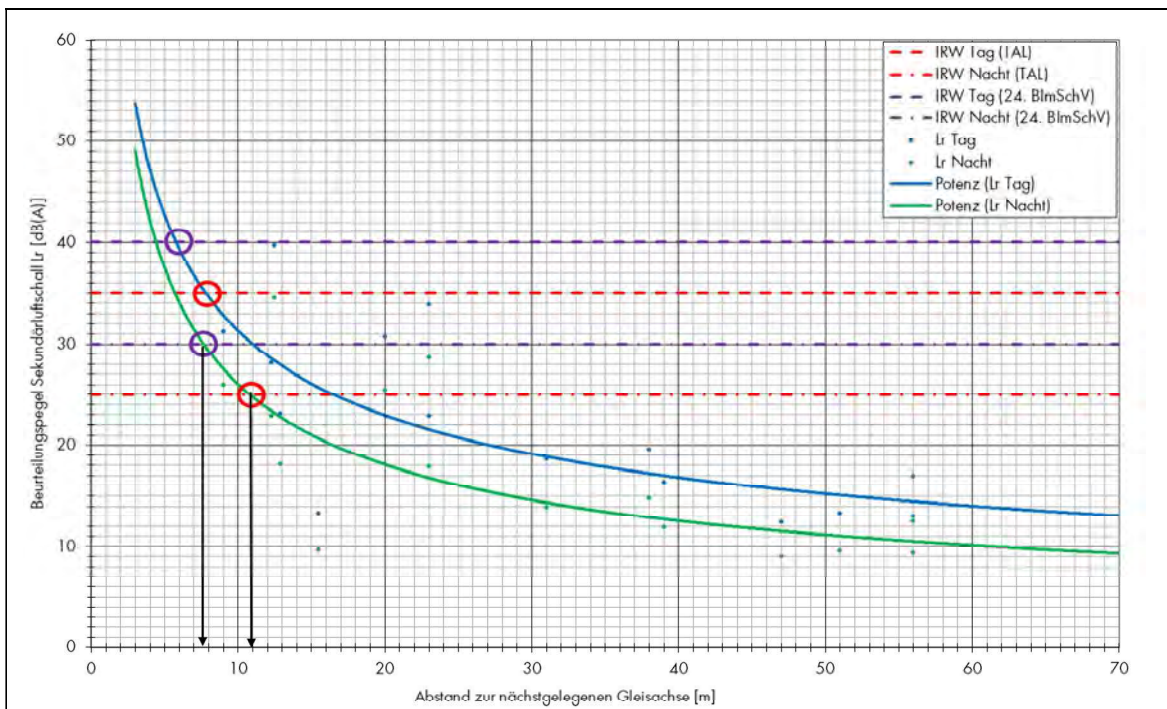
Aus den Datenreihen ergeben sich Abstandsabhängigkeiten für den  $KB_{F_{Tr}}$  sowie den  $KB_{F_{Tr}}$ -Wert tags/nachts. Da das  $A_u$  – Kriterium der DIN 4150-2 durch die  $KB_{F_{Tr}}$  - Werte üblicherweise im Nahbereich von Schienenverkehrswegen überschritten wird, ist die Bewertung der Erschütterungsausbreitung anhand des  $A_r$  – Kriteriums sinnvoll. Im vorliegenden Fall ist das geeignete Maß zur Beurteilung der Erschütterungsimmissionen i. S. der DIN 4150-2 die Beurteilungsschwingstärke  $KB_{F_{Tr}}$  im Tagzeitraum (6-22 Uhr), da hier aufgrund des vielfach höheren Verkehrsaufkommens tags auch überproportional höhere  $KB_{F_{Tr}}$  – Werte auftreten. Nachfolgende Abbildung enthält die anhand der Messdaten ermittelte Ausbreitung der Erschütterungen in Abhängigkeit des Abstandes zur Straßenbahntrasse innerhalb des Plangebietes, im Vergleich zu den Anforderungen der DIN 4150-2 für den Tag. Für die GB-Flächen Schule mit der Schutzbedürftigkeit WA (tags) sowie für die übrigen Flächen mit der Schutzbedürftigkeit MI/MK.



Es zeigt sich, dass die Anforderungen der DIN 4150-2 an den Erschütterungsschutz im Misch- bzw. Kerngebiet (MI/MK) von  $A_r = 0,15$  am Tag ab einer Entfernung von mehr als 6,5 m und im allgemeinen Wohngebiet (WA) von  $A_r = 0,105$  am Tag ab einer Entfernung von mehr als 8,5 m zum nächstgelegenen Gleis eingehalten werden.

#### 5.4.2 Sekundärluftschall

Die Auswertung des resultierenden Sekundärluftschalls führt entlang der Straßenbahntrasse zu folgendem Zusammenhang. Nachfolgende Abbildung zeigt die Auswirkung kurzzeitiger Geräuschspitzen des Sekundärluftschalls bei einzelnen Straßenbahnvorbeifahrten in fiktiven Gebäuden in Abhängigkeit vom Abstand.

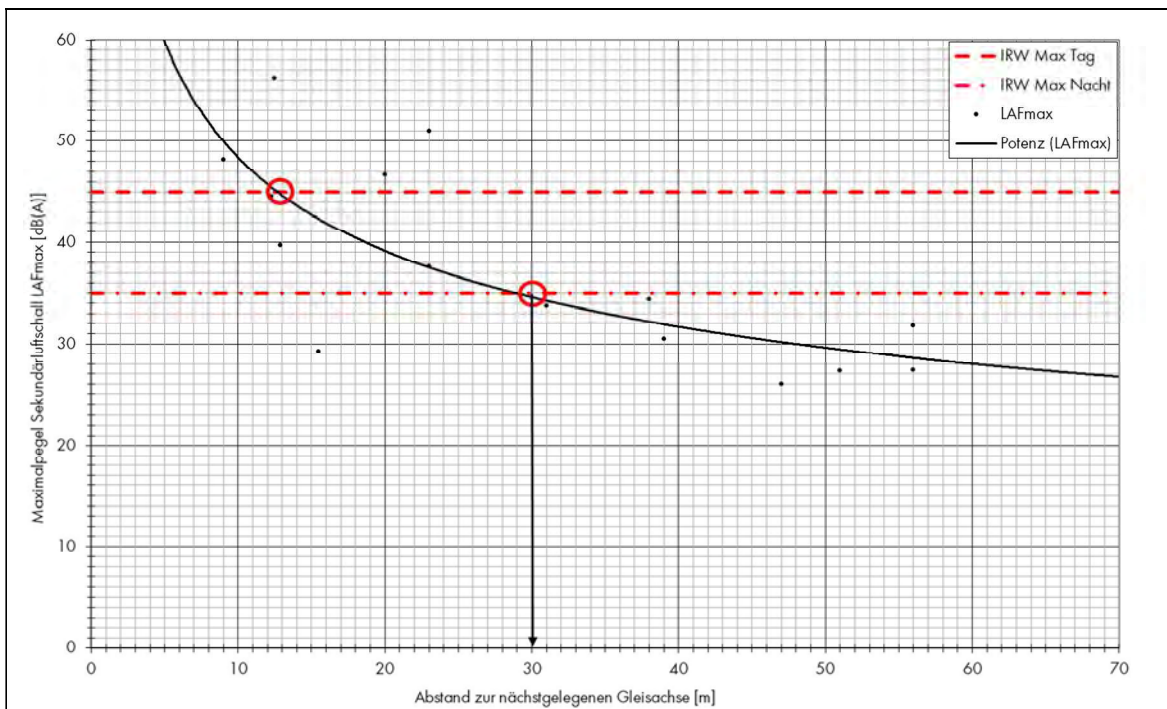


**Abbildung 2:** Sekundärluftschallprognose, Abnahme mit dem Abstand an fiktiven Baukörpern an einer zweigleisigen Straßenbahnstrecke im Vergleich zur Zumutbarkeitsschwelle gem. 24. BImSchV sowie zu den TA Lärm für Tag und Nacht

Für nachts schutzbedürftige Räume gilt: Die Anforderungen an den Sekundärluftschall nach 24. BImSchV werden ab einem Abstand von 7,5 m zur nächstgelegenen Gleisachse entlang der Trambahnlinie eingehalten. Bei einer Beurteilung auf Basis der Immissionsrichtwerte der TA Lärm bzw. der DIN 45680 beträgt der erforderliche Mindestabstand gegenüber dem Mittelungspegel innen 11 m zur nächstgelegenen Gleisachse.

Bei der Beurteilung des Sekundärluftschalls nach TA Lärm sind neben dem Mittelungspegel auch kurzzeitige Geräuschspitzen relevant. Kurzzeitige Geräuschspitzen i. S. der TA Lärm werden auch innerhalb von Gebäuden durch den  $L_{A\text{Fmax}}$  beschrieben. Dieser ist aus folgender Abbildung ersichtlich. Demnach steigt der erforderliche Mindestabstand zum Schutz vor Sekundärluftschall bei der Beurteilung nach TA Lärm auf 30 m (siehe folgende Abbildung).





**Abbildung 3:** Sekundärluftschallprognose, Abnahme mit dem Abstand an fiktiven Baukörpern an einer zweigleisigen Straßenbahnstrecke im Vergleich zu den IRW für kurzzeitige Geräuschspitzen gem. TA Lärm

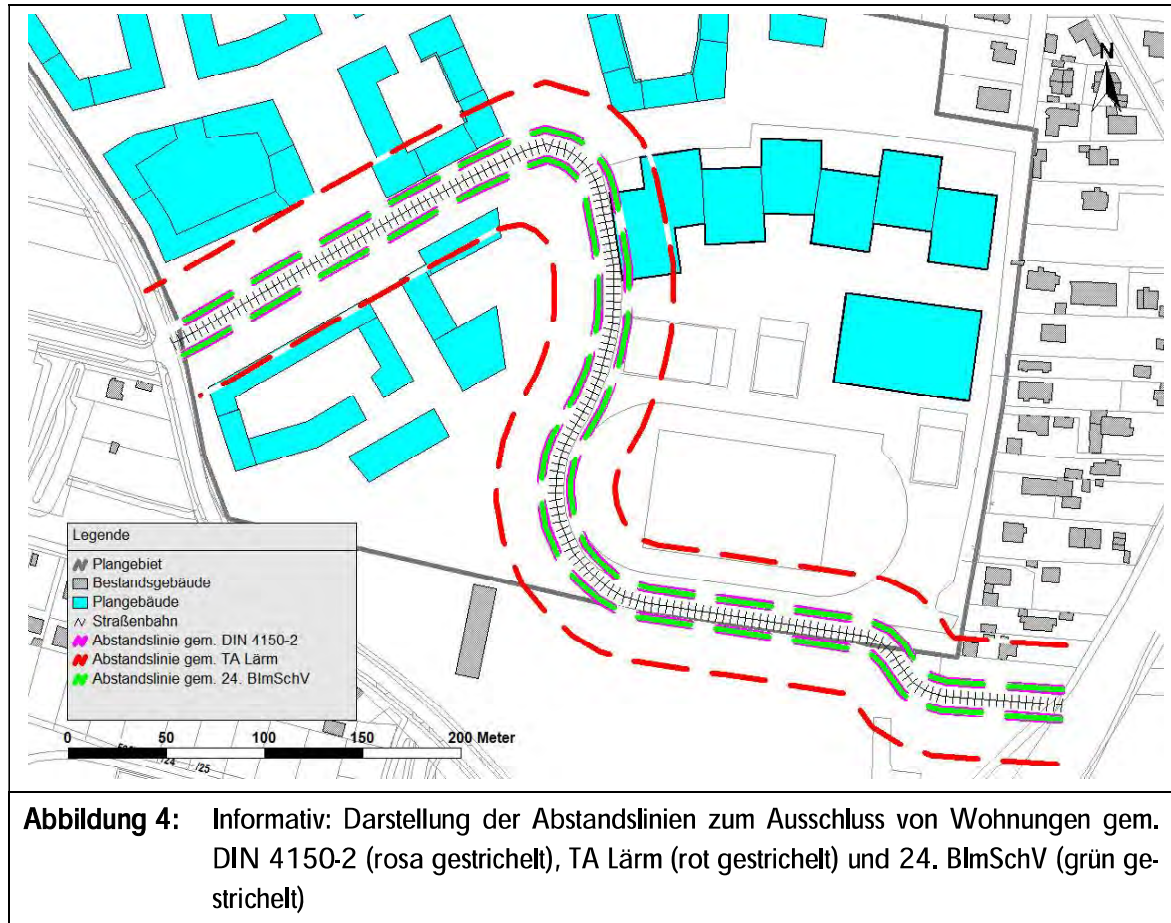
Zusammenfassend ergeben sich für die Baugebiete entlang der geplanten Trambahntrasse folgende Abstände, bei deren Einhaltung bzw. Überschreitung nicht mit schädlichen Umwelteinwirkungen oder erheblichen Belästigungen für Gebäude in konventioneller Bauweise zu rechnen ist:

- Erschütterungen nach DIN 4105-2 ab 6,5 m im Misch- bzw. Kerngebiet (MI/MK/MU) und 8,5 m im allgemeinen Wohngebiet (WA)
- Sekundärluftschall nach 24. BImSchV ab 7,5 m
- Sekundärluftschall nach TA Lärm ab 30 m für nachts schutzbedürftige Aufenthaltsbereiche (Schlaf-/Kinderzimmer etc.). Für ausschließlich tags schutzbedürftige Aufenthaltsbereiche (Unterrichtsräume, Büros, etc.) beträgt der Mindestabstand ca. 13 m.

Zur Ermittlung eines Mindestabstandes im Bereich enger Kurven (Radius < 200 m), existieren keine belastbaren Erkenntnisse zu möglicherweise erhöhten Erschütterungseinwirkungen, ähnlich zur erhöhten Primärschallabstrahlung, ausgedrückt durch einen pauschalen Zuschlag gem. Schall 03 [14]. Tendenziell erhöhte Erschütterungseinwirkungen im Bereich von sehr engen Kurvenradien können nachfolgend jedoch nicht ausgeschlossen werden. Allerdings führt in der Regel die verringerte Fahrgeschwindigkeit zu einer Kompensation der Erschütterungen.

## 6. Beurteilung

Die Mindestabstände aus vorherigem Abschnitt sind aus folgender Abbildung ersichtlich.



Die den Straßenbahntrassen nächstgelegenen Baufelder befinden sich beidseits der Trambahntrasse. Dies betrifft die gemischten Baufelder nördlich und südlich der Trambahn sowie die Kinderbetreuungseinrichtung südlich und die Schule östlich der Trambahn. Der Abstand der Baufelder von der nächstgelegenen Gleisachse beträgt nach den Planungen ca. 4 bis 30 m.

Da die Straßenbahn als Neubau entsprechend einer Planfeststellung beurteilt wird, gelten die DIN 4150-2 sowie die 24. BImSchV, die ab einem Abstand (gerundet) von mehr als 6 bis 9 m eingehalten werden. Die gesetzlichen Mindestanforderungen an den Erschütterungsschutz werden größtenteils auf Grund der tatsächlich vorhandenen Abstände bei üblichen Bauwerken in konventioneller Bauweise eingehalten, sodass keine Maßnahmen zum Erschütterungsschutz nötig werden. Der geplante Baukörper der Schule, östlich der Trambahn, befindet sich sehr nah an der Trasse (Abstand ca. 4 m), sodass im Falle von schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen (Klassenräume, Büros, Hausmeisterwohnung etc.) entlang der Westfassade Maßnahmen zum Erschütterungsschutz nicht ausgeschlossen werden können.

Für das spätere Planverfahren zum Neubau der Straßenbahntrasse ist gemäß den vorgenannten Regelungen (DIN 4150-2, 24. BImSchV) keine besondere Maßnahme für die Vorhabenträgerin der



Straßenbahn (SWM) absehbar erforderlich. Aufgrund des frühen Planungsstadiums können sich die zu erwartenden Verkehrsmengen der Trambahn ändern, sodass sich auch die Mindestabstände ändern. Im Rahmen der Planungen kann durch eine Abstandserhöhung zwischen Trambahn und geplantem Schulbaukörper reagiert werden, sodass die notwendigen Mindestabstände (in Abhängigkeit der Verkehrsmenge) eingehalten werden können. Gemäß Verursacherprinzip ist es in jedem Fall möglich, emissionsseitige Maßnahmen zur Einhaltung der Anforderungen der TA Lärm vorzusehen (Unterschottermatte, Masse-Feder-System o. Ä.).

**Fazit:**

Für eine etwaige Wohnnutzung innerhalb der Schule (Hausmeister o. Ä.) könnte eine Entkopplung vom übrigen Gebäude (z. B. durch eine Fuge wird eine kraftschlüssige Anbindung verhindert) vorgesehen werden bzw. (sofern ohne Kopplung zu Schulbaukörpern geplant) ein Mindestabstand zur nächstgelegenen Gleisachse der künftigen Tram von 30 m beachtet werden.

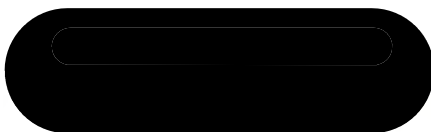
Bei besonderen Baukonstruktionen (beispielsweise Holzbauten) können bauliche Maßnahmen an den Gebäuden zum Schutz vor Erschütterungen notwendig sein, damit im Nachhinein beim Neubau der Straßenbahntrasse keine erhöhten Anforderungen zu Lasten des Straßenbahnbaulastträgers entstehen.

Die vorliegende Projektnotiz umfasst 17 Seiten. Eine auszugsweise Vervielfältigung ist nur mit Zustimmung der Möhler + Partner Ingenieure AG gestattet.

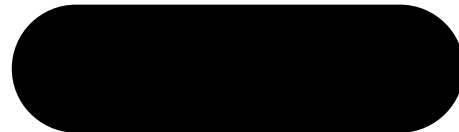
München, 23. Oktober 2020

Möhler + Partner

Ingenieure AG



i.V. B. Eng. M. Mühlbacher



i.V. Dipl.-Ing. S. Müller