

Vorhaben: Erschütterungstechnische Prognosen
Stadtwerke München GmbH
Neubaustrecke Tram Münchner Norden
Tektur A

Auftraggeber: Stadtwerke München GmbH
Ressort Mobilität
Fahrweg – Planung
Emmy-Noether-Straße 2
80992 München

Bearbeitungsstand: 05/2023

Projekt-Nr.: 2021 1294

Auftrag vom: 07.04.2020

Anzahl Seiten: 29

Anzahl Anlagen: 5, s. Anlagenverzeichnis

fachlich verantwortlich: Dipl.-Ing. (FH) Manfred Ertl

Durchwahl: 0821 / 455 179 10

E-Mail: ertl@em-plan.com

Mitarbeiter: Andreas Schartner

Dokument: [1294_SWM_TMN_Erschütterungen_Tektur A](#)

Das vorliegende Gutachten ist geistiges Eigentum von em plan. Das Gutachten ist ausschließlich zur Durchführung des behandelten Vorhabens zu verwenden. Die Weitergabe des Gutachtens oder dessen Vervielfältigung außerhalb des gegenständlichen Vorhabens, auch auszugsweise, ist nur mit unserer ausdrücklichen und schriftlichen Gestattung zulässig.

Inhaltsverzeichnis

1.	Gegenstand der Untersuchung.....	4
2.	Örtlichkeiten	6
3.	Bebauungspläne	9
4.	Baumaßnahmen.....	10
5.	Prognoseverfahren – VDI 3837	11
6.	Beurteilungsgrundlagen.....	14
6.1	Erschütterungen - DIN 4150-2.....	14
6.2	Sekundärer Luftschall.....	16
7.	Messdurchführung und Messgeräte	17
7.1	Messorte und Messdatum	17
7.2	Messgeräte	17
8.	Auswertung und Messergebnisse.....	18
8.1	Eingangsspektren	18
8.2	Übertragungsfunktionen nach VDI 3837.....	20
8.3	KB_{Fmax} - Werte nach DIN 4150-2	20
8.4	Sekundärer Luftschall.....	21
9.	Zugzahlen	22
10.	Prognose und Ergebnisbewertung	24
10.1	Prognoseergebnisse	24
10.2	Erschütterungsmindernde Maßnahmen	25
11.	Zusammenfassung.....	26
A)	häufig verwendete Abkürzungen	28
B)	Grundlagenverzeichnis.....	28
C)	Regelwerke	28
D)	Anlagenverzeichnis	29
E)	Tabellen	29

1. Gegenstand der Untersuchung

Die vorliegende Untersuchung ersetzt im Rahmen der Tektur A die schalltechnische Untersuchung zum Bauvorhaben TMN vom August 2021.

Bezüglich der erschütterungstechnischen Prognosen und Ergebnisse sind keine Änderungen gegeben. Es werden im Rahmen dieser Anpassung lediglich die Lagepläne in den Anlagen 1 und 2 mit der geänderten Planung der Tektur A aktualisiert.

Die Stadtwerke München planen die Umsetzung der Tram Münchener Norden (TMN). Konkret sieht die Planung den zweigleisigen Neubau der Tram Münchener Norden zwischen der Wendeschleife in Schwabing Nord und dem U-Bahnhaltepunkt in der Kieferngartenstraße vor.

Die beiden Richtungsgleise der Tram-Neubaustrecke verlaufen auf der Ostseite des Grundstücks der bestehenden Wendeschleife Schwabing Nord. Das neue stadteinwärtige Gleis schließt südlich der Wendeschleife an das bestehende Tramnetz an. Um einen zukünftigen Einsatz von längeren bis zu 6-teiligen Tramfahrzeugen zu ermöglichen und den Anforderungen der Barrierefreiheit mit höheren Bahnsteigen zu entsprechen, wird die Wendeschleife umfänglich umgebaut. Die grundsätzliche Ausbildung der Wendeschleife mit Haupt- und Nebengleis für zukünftig hier endende Tramlinien bzw. als Wendemöglichkeit bei temporären Betriebsstörungen im weiter nördlich liegenden Streckenverlauf bleibt unverändert. Durch die Haltestellenverlängerung auf 56 m für den Einsatz längerer Fahrzeuge verschiebt sich das Wendegleis im Vergleich zum Bestand weiter Richtung Frankfurter Ring.

Die Tram-Neubaustrecke Tram Münchner Norden gliedert sich räumlich in drei Streckenabschnitte.

- Südlicher Streckenabschnitt: Schwabing Nord bis Bayernkaserne
- Westlicher Streckenabschnitt: Bayernkaserne bis Am Hart
- Östlicher Streckenabschnitt: Bayernkaserne bis Kieferngarten

Die für die Untersuchung gegenständlichen Abschnitte sind der südliche und der östliche Abschnitt. Der westliche Abschnitt, Bayernkaserne bis Am Hart, wird in einem gesonderten Verfahren geplant und untersucht und ist nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Die Strecke ist über die gesamte Länge beiderseits gesäumt von Wohn- und Geschäftsnutzungen.

Im Vorfeld der Umsetzung der Tram Münchner Norden wurde die Schwingungsdämpfung auf dem Ausbreitungsweg im Bereich der Wendeschleife Schwabing Nord und in der Kieferngartenstraße ermittelt. Zur Ermittlung der Erschütterungsemissionen wurden in der Romanstraße im Kreuzungsbereich mit der Döllingerstraße Erschütterungsmessungen in 8 m Entfernung zum Gleis durchgeführt.

Für die untersuchten Bereiche ist eine Erschütterungsprognose für den künftigen Straßenbahnbetrieb nach der VDI 3837, Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen – Spektrales Prognoseverfahren, zu erstellen und anhand der dafür einschlägigen

Norm, der DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, zu beurteilen.

Zudem ist der durch Erschütterungen verursachte Schall – der sekundäre Luftschall – in den Gebäuden zu ermitteln und auf der Grundlage der 24. BImSchV zu beurteilen.

Die Randbedingungen und Ergebnisse der Untersuchung werden im vorliegenden Bericht dokumentiert.

2. Örtlichkeiten

Nachstehend sind eine Luftbildaufnahme des Untersuchungsgebiets abgebildet und darin der Verlauf der geplanten TMN von Schwabing Nord bis zur Kieferngartenstraße skizziert.



Abbildung 1: Übersichtsskizze Verlauf der Tram Münchner Norden, Luftbild Quelle: Bayerische Vermessungsverwaltung

Am Bauanfang im Umfeld der Wendeschleife Schwabing Nord befinden sich im Westen gewerbliche Nutzungen sowie im Osten angrenzend eine Kleingartenanlage, ein Schulgelände und ein Mischgebiet. Dahinter befinden sich weitere Nutzungen in Wohngebieten.

Nach der Querung des Frankfurter Rings und der Gleisanlage der Deutsche Bahn AG befinden sich beiderseits der geplanten Tramstrecke weitere Gewerbegebiete und Sondergebietsflächen für Ver- und Entsorgung.

Zwischen km 1,45 und 2,05 führt die geplante TMN durch das Gelände der ehemaligen Bayernkaserne. Gemäß dem Bebauungsplan 1989 der Landeshauptstadt München ist dort im Bereich der geplanten Tram-Strecke beiderseits urbanes Gebiet als Flächennutzung zu berücksichtigen. Darüber hinaus ist etwa von Bau-km 1,45 bis 1,70 westlich der Gleisanlage und von Bau-km 1,90 bis 2,10 westlich der Gleisanlage jeweils eine Gemeinbedarfsfläche für Erziehung ge-

plant. Die in den Planunterlagen nachrichtlich dargestellte Planung sieht eine Nutzung als Schulgelände vor.

An der Heidemannstraße verschwenkt die geplante Gleisstrecke in Richtung Osten und verläuft in einem eigenen Gleiskörper bis zur Kiefernartenstraße. Dort befinden sich bis Bau-km 2,55, südlich der Heidemannstraße Nutzungen der o. g. Bayernkaserne und danach bis zur Kiefernartenstraße Gewerbeflächen. Nördlich der Heidemannstraße sind vorwiegend Wohngebiete, von Bau-km 2,45 bis 2,65 das Gelände der Realschule Freimann sowie das Kinder- und Jugendzentrum LOK Freimann vorhanden.

An der Kiefernartenstraße sind gemäß der vorliegenden Bauleitplanung beiderseits der geplanten Gleisstrecke Wohngebiete und im Bereich der Wendeschleife am Bauende eine Gemeinbedarfsfläche, ebenfalls mit Wohnnutzungen, berücksichtigt.

Die vorhandenen Nutzungen sind dem Grunde nach dem nachstehenden Auszug aus dem zuletzt veröffentlichten Flächennutzungsplan zu entnehmen. Maßgeblich für die Einstufung der Schutzbedürftigkeiten sind die bestehenden rechtsverbindlichen bzw. planerisch hinreichend konkretisierten Bebauungspläne. Liegen keine Festsetzungen zur Gebietsnutzung vor ist die tatsächlich ausgeübte Nutzung maßgeblich.



Abbildung 2: Auszug Flächennutzungsplan der LHM, genordet, Stand 2021

Flächennutzungsplan mit integrierter Landschaftsplanung

Legende

W	Wohnbauflächen	SG	Sonstige Grünflächen
WS	Kleinsiedlungsgebiete	OEKO	Ökologische Vorrangflächen
WR	Reine Wohngebiete	WALD	Waldflächen
WA	Allgemeine Wohngebiete	LW	Flächen für die Landwirtschaft
WB	Besondere Wohngebiete	GAR	Flächen für den Gartenbau
M	Gemischte Bauflächen	Wasserflächen	
MD	Dorfgebiete	Überschwemmungsgebiete	
MI	Mischgebiete	Maßnahmen zur Verbesserung der Grünausstattung	
MK	Kerngebiete	Vorrangige Maßnahmen zur Verbesserung der Grünausstattung	
G	Gewerbliche Bauflächen	Flächen mit Nutzungsbeschränkungen zum Schutz, zur Pflege und Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft	
GE	Gewerbegebiete	Flächen auf denen auch Maßnahmen zur Aktivierung von Grün erforderlich sind	
GI	Industriegebiete	Flächen für Maßnahmen zum Schutz gegen schädliche Umwelteinwirkungen	
SO	Sondergebiete	Übergeordnete Grünbeziehung	
SOGE	SO Gewerblicher Gemeinbedarf	Örtliche Grünverbindung	
SOGI	SO Industrieller Gemeinbedarf		
SOEZ	SO Einzelhandel		
SOFM	SO Fachmarkt		
SOGH	SO Großhandel		
SOM	SO Messe		
SOH	SO Hochschule		
SOLV	SO Landesverteidigung		
SOF	SO Forschung		
SOBV	SO Brauereiverlagerung oder nach Beschriftung im Plan		
GB	Gemeinbedarfsflächen		
E	GB Erziehung		
F	GB Fürsorge		
GS	GB Gesundheit		
K	GB Kultur		
R	GB Religion		
SP	GB Sport		
S	GB Sicherheit		
V	GB Verwaltung		
WISS	GB Wissenschaft		
VE	Ver- und Entsorgungsflächen		
Überörtliche Hauptverkehrsstraßen			
Örtliche Hauptverkehrsstraßen, die auch dem Durchgangsverkehr dienen			
P	Öffentliche Parkplätze		
Fußgängerbereiche (begrünt)			
BAHN	Bahnanlagen		
AG	Allgemeine Grünflächen		
SPOR	Sportanlagen		
FRIE	Friedhöfe		
KG	Kleingärten		
CAMP	Campingplätze		
SOGR	Sondergrünflächen		
J	Intensiv nutzbarer Bereich für Jugendliche		
		Nachrichtliche Übernahmen und Kennzeichnungen	
		Regionaler Grünzug	
		FFH-Gebiet	
		KIES	Vorrangfläche für Kiesabbau
		Vorbehaltsgebiet Kies und Sand	
		Naturschutzgebiet	
		Landschaftsschutzgebiet	
		Landschaftsbestandteil	
		Wasserschutzgebiet	
		Bannwald	
		Hangkante	
		Alleen	
		ND	Naturdenkmal
		B	Gesetzlich geschützte Biotope
		Ermittelte Überschwemmungsgebiete	
		Festgesetzte Überschwemmungsgebiete	
		Ensemblebereich	
		Flächen mit Bodenbelastungen	
		Aufschüttung	
		Flughafen-Bauschutzbereich	
		Hochspannungsleitung	
		U- und S-Bahn	
		Stadt- und Teilbereichsgrenze	
		Stadtteilzentrum (gemäß Zentrenkonzept der LHM)	
		Quartierszentrum (gemäß Zentrenkonzept der LHM)	

Abbildung 3: Legende zum Flächennutzungsplan der LHM

3. Bebauungspläne

Entlang der Strecke sind folgende Bebauungspläne existent:

Tab. 3-1 rechtsverbindliche Bebauungspläne

Nr.	Bezeichnung	Nutzung	Rechtsverbindlichkeit
244a	Kieferngartenstraße -ostwärts-	WA, GB, GE, Sportanlage	23.08.1967
689	Burmesterstraße (westlich), Bauernfeindstraße (östlich)	WA	30.10.1970
885a	Kieferngartenstraße, Zirbelweg, Schlößlanger, Obere Hausbreite, Untere Hausbreite, Am Kiefernwald	WR, WA	31.01.1979
977	Grusonstraße, Schmidbartlanger, Rößwiesenberg und Heidemannstraße -Schießplatzsiedlung Freimann-	WR, WA, GB	25.03.1980
1067	Kieferngarten-, Burmester- und Bauernfeindstraße	WA, EGB	31.07.1981
1338	Frankfurter Ring (nördlich), Stuttgarter Straße (beiderseits)	GE	08.07.1981
1404a	Heidemannstraße, Kieferngartenstraße, Burmesterstraße, Lützelsteiner Straße, Frankplatz, Völckerstraße, Edisonstraße, Bundesbahn-nordring, Frankfurter Ring und Euro-Park	GE, Sportanlage, Bahnanlagen	11.08.1987
1451	Heidemannstraße (nördlich) zwischen den Schießplatzsiedlungen	WR, WA	27.06.1984
1505a	Bundesbahn-Nordring (nördlich)	GE, SO	14.06.1996
1893	Frankfurter Ring (nördlich), DB-Nordring (südlich), Stuttgarter Straße (östlich), Heizkraftwerk Freimann (westlich), -ehemaliges Shell – Tanklager-	GE	25.08.2004
1943b	Frankfurter Ring (südlich), A9 Berlin-München (westlich) und Domagkstraße (nördlich) - ehemalige Funkkaserne-	WA, MK, GB	30.07.2011
1967a	Domagkstraße (nördlich), Tramlinie 23 (westlich), Frankfurter Ring (südlich)	Nutzung nicht festgesetzt. Wurde anhand tatsächlicher Nutzung als GE berücksichtigt.	16.08.2012
1989	Heidemannstraße (südlich), Maria-Probst-Straße (westlich), Helene-Wessel-Bogen (nördlich), Spitzer-, Kollwitz- und Paracelsusstraße (östlich) -ehemalige Bayernkaserne und Bereich östlich der Bayernkaserne-	WA, MU, GB	27.03.2019
2066	Frankfurter Ring (südlich)	WA	15.02.2012

4. Baumaßnahmen

Die beiden Richtungsgleise der Tram-Neubaustrecke verlaufen auf der Ostseite des Grundstücks der bestehenden Wendeschleife Schwabing Nord. Das neue stadteinwärtige Gleis schließt südlich der Wendeschleife an das bestehende Tramnetz an. Um einen zukünftigen Einsatz von längeren bis zu 6-teiligen Tramfahrzeugen zu ermöglichen und den Anforderungen der Barrierefreiheit mit höheren Bahnsteigen zu entsprechen, wird die Wendeschleife umfangreich umgebaut. Die grundsätzliche Ausbildung der Wendeschleife mit Haupt- und Nebengleis bleibt unverändert. Durch die Haltestellenverlängerung auf 56m für den Einsatz längerer Fahrzeuge verschiebt sich das Wendegleis im Vergleich zum Bestand weiter Richtung Frankfurter Ring.

Zur Überquerung der Gleisanlagen des DB-Nordrings ist ein Brückenbauwerk geplant, welches auch eine neue Geh- und Radwegverbindung ermöglicht. Die Konstruktion ist eine Stahl-Beton-Verbundbrücke als Balkentragwerk.

Im Helene-Wessel-Bogen wird die Tramtrasse auf einem besonderen Bahnkörper in westlicher Seitenlage zur zukünftigen Fahrbahn mit einer geradlinigen Trassierung geführt.

Mit den Festsetzungen des Bebauungsplans mit Grünordnung Nr. 1989 "Bayernkaserne" sind bereits Flächen für die zukünftige Tramstrecke im Geltungsbereich für Teile der Heidemannstraße sowie innerhalb des zukünftigen Stadtquartiers berücksichtigt.

Die Tram-Neubaustrecke wird im südlichen Bereich des neuen Stadtquartiers bis zur südlichen Ringstraße analog zum Helene-Wessel-Bogen auf einem besonderen Bahnkörper in westlicher Seitenlage zur zukünftigen Fahrbahn geführt und als Rasengleis ausgebildet. Ab der südlichen Ringstraße verläuft die Tramtrasse in Mittellage zwischen den Gebäuden auf dem, als Verkehrsfläche besonderer Zweckbestimmung für Fuß- und Radverkehr, ausgewiesenen Bereich. Die Tramhaltestelle befindet sich auf der östlichen Seite des zentralen Stadtplatzes. Die Gleistrasse wird in diesem Abschnitt als feste Fahrbahn ausgebildet.

Ab der nördlichen Ringstraße verläuft die Tramtrasse innerhalb der sogenannten Magistrale bis zur Einmündung in die Heidemannstraße auf einem besonderen Bahnkörper in Mittellage. Der Gleisoberbau wird als Rasengleis ausgeführt. Am neuen Knotenpunkt auf Höhe des Werner-Egk-Bogens biegt die Tramtrasse beim ersten Planfeststellungsabschnitt nach Osten in die Heidemannstraße ab. Die Tramtrasse wird in der Heidemannstraße auf einem besonderen Bahnkörper in Mittellage geführt. Der Gleisoberbau wird mit Ausnahme der Haltestellenbereiche und der Gleisquerungen als Rasengleis ausgeführt. Am Knoten Heidemann-/ Kieferngartenstraße / Lilienthalallee biegt die Tramtrasse nach Norden in die Kieferngartenstraße ab und wird als besonderer Bahnkörper in Mittellage ausgebildet. Die Tramtrasse wird im weiteren Verlauf in der Kieferngartenstraße ab der Einmündung Arvenweg als straßenbündiger Bahnkörper geführt.

Der bestehende Busbahnhof wird überplant und mit zusätzlichen Kapazitäten in die geplante Tramwendeschleife integriert. Die P+R-Anlage Kieferngarten wird rückgebaut. Die dadurch freiwerdenden Flächen stehen für die geplante Tram- und Businfrastruktur zur Verfügung.

5. Prognoseverfahren – VDI 3837

In der VDI 3837 werden grundlegende Abhängigkeiten für die Emission, Transmission und Immission von Erschütterungen aufgezeigt und darauf aufbauend ein spektrales Prognoseverfahren für die Erschütterungen im Frequenzbereich von 4 Hz bis 80 Hz beschrieben, die von oberirdisch geführten Schienenbahnen ausgehen. Das Verfahren kann bei bestehenden oder neu zu errichtenden Strecken angewendet werden.

Die nachstehende Abbildung zeigt schematisch die Vorgehensweise einer Prognose nach VDI 3837.

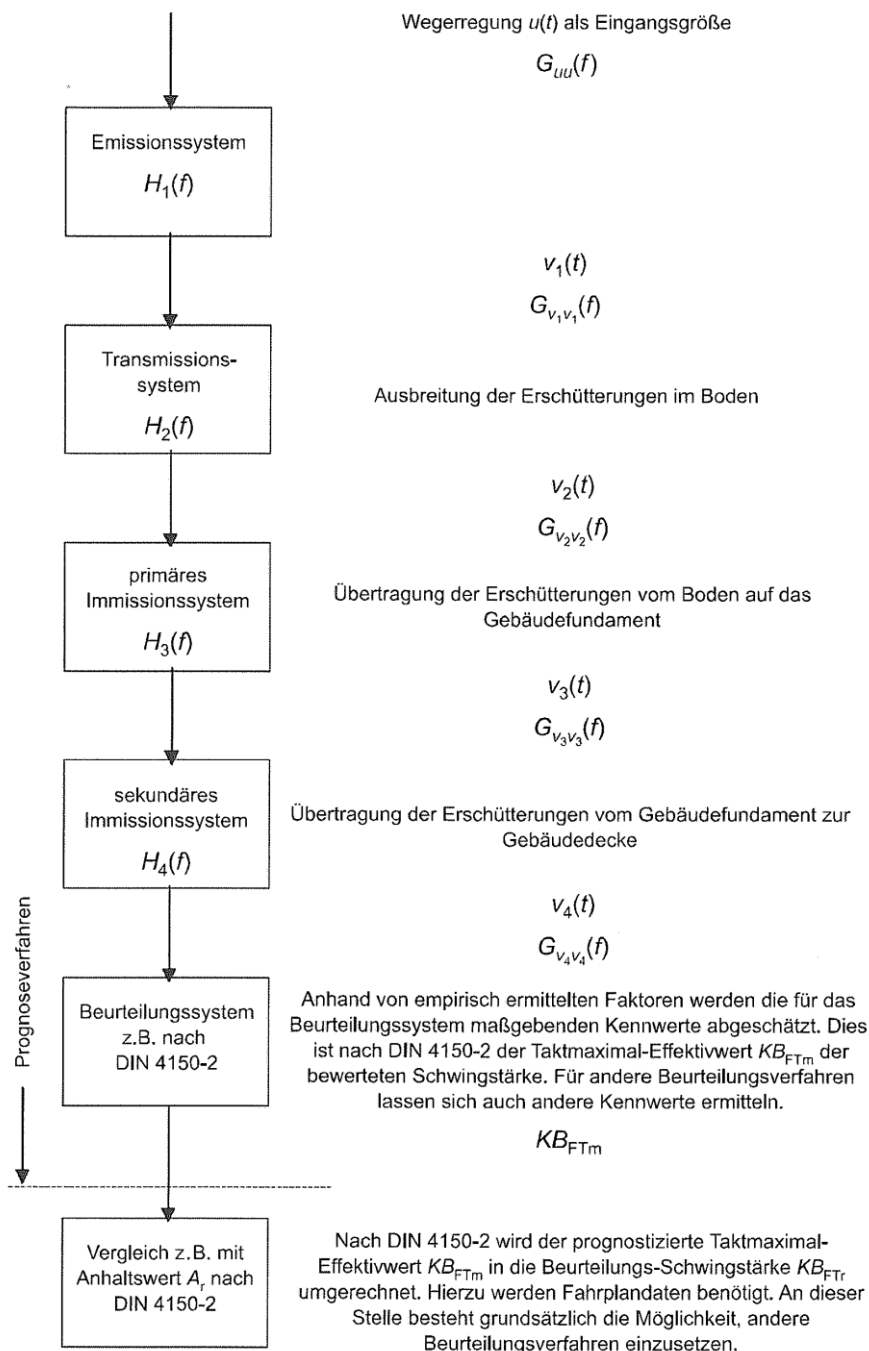


Abbildung 2: Blockschaltbild für das spektrale Prognoseverfahren der VDI 3837

In der vorliegenden Prognose wurde das Emissions- und Transmissionssystem

$$H_1(f) \rightarrow H_2(f)$$

messtechnisch bestimmt. Die Emissionen der Tram wurden in 8 m Entfernung in der Romanstraße im Kreuzungsbereich mit der Döllingerstraße anhand von Vorbeifahrten gemessen und auf die geplanten Geschwindigkeiten linear umgerechnet. In derselben Situation wurde mittels Ersatzanregung ebenfalls die Ausbreitungsdämpfung bestimmt und ein Relativspektrum zu den gemittelten Vorbeifahrten gebildet.

Das resultierende Emissionsspektrum gibt hierbei unter Verwendung einer Ersatzanregung die Schwingantwort aus dem Straßenbahnbetrieb in 8 m seitlich zur Trasse wieder.

Die Ausbreitungsdämpfung von der geplanten Gleisstrecke aus zu repräsentativen Gebäuden hin wurde durch Ersatzanregung bei gleichzeitiger Messung der Erschütterungsimmissionen vor dem jeweiligen Gebäude ermittelt. Unter Anwendung der o. a. Relativspektren auf die Messergebnisse vor den Gebäuden, werden die resultierenden Erschütterungsimmissionen aus den vorbeifahrenden Straßenbahnen bestimmt.

Die Übertragungsfunktion vom Boden in die Geschoßdecken

$$H_2(f) \rightarrow H_4(f)$$

erfolgt anhand von Erfahrungswerten aus der TWT und anderen früheren Messungen. Eine Messung der Übertragungsfunktion vor Ort war derzeit nicht möglich.

Die Auswertung ergibt eine spektrale Übertragungsfunktion in Terzen im Frequenzbereich von 4 bis 80 Hz.

Über die spektrale Einleitung der Erschütterungen und die spektralen Übertragungsfunktionen sind in der Folge die zu erwartenden maximalen Schwingschnellen $KB_{F_{max}}$ ermittelt worden. Aus diesen errechnen sich über die Zugfrequenz die Beurteilungsschwingschnellen $KB_{F_{Tr}}$ und der zu erwartende sekundäre Luftschall.

In der Regel kann die Prognose anhand der gewonnenen Übertragungsfunktionen und der verwendeten Emissionsspektren direkt abgebildet werden. Dies ist die Grundlage zur Bestimmung der Bereiche, in denen Überschreitungen der Anhaltswerte wahrscheinlich und erschütterungsmindernde Maßnahmen als erforderlich anzusehen sind.

Erschütterungsprognosen sind stets mit einer gewissen Unschärfe behaftet. Dies hängt einerseits mit den im Vorfeld nicht final bekannten baulichen Eingriffen in den Untergrund im Straßenraum zusammen, d. h. den lokalen Einleitungsverhältnissen, und andererseits mit der benachbarten Bausubstanz. Nachdem nicht jedes Gebäude im Hinblick auf seine Übertragungsverhältnisse gemessen werden kann, besteht also die Möglichkeit, dass etwa zwei benachbarte Gebäude auf dieselbe Anregung unterschiedlich reagieren, sei es etwa durch die Spannweite der Decken oder deren Bauart. So ist die Schwingantwort bei Holzbalkendecken bei niederfrequenter Einleitung von Erschütterungen in aller Regel höher als bei Stahlbetondecken, wobei aber die Schwingantwort wiederum vom Spektrum der eingeleiteten Erschütterungen und der Anteile der tieffrequenten Schwingungsanteile im Terzbandspektrum abhängt.

Es wurde daher zur Sicherung der möglichen Abweichungen eine worst-case-Prognose vorgenommen, um eventuelle unterschiedliche bauliche Gegebenheiten und ungünstige Übertra-

gungsverhältnisse zu berücksichtigen. Dafür wurde ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor von 4,0 in der Berechnung hinterlegt und bei der Beurteilung berücksichtigt. Der Zuschlag ist zudem dem Umstand geschuldet, dass während der Messung der Vorbeifahrten zur Verwendung als Emissionsspektrum ausschließlich Avenio-Bahnen verkehrten. Diese verursachen nach einer Sichtung einer von den SWM zur Verfügung gestellten Untersuchung des Ingenieurbüros Müller-BBM rund ein Viertel der Erschütterungseinwirkungen einer Variobahn.

In Bereichen mit Gleisbögen, Weichen und Wendeschleifen wurde aufgrund von potentiell vermehrt auftretenden Störstellen zusätzlich ein Faktor von 2,0 in Ansatz gebracht.

6. Beurteilungsgrundlagen

6.1 Erschütterungen - DIN 4150-2

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen auf Menschen ist die DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, einschlägig. Darin werden Verfahren (im Zusammenhang mit anderen Normen) für die Ermittlung und die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen vorgestellt.

Die DIN 4150-2 nennt Anhaltswerte zur Beurteilung der gemessenen Erschütterungsimmissionen.

Die Wirkung von Erschütterungen auf Menschen wird anhand der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ beurteilt.

Nach DIN 45669 ist die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ der gleitende Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals mit der Zeitbewertung FAST (0,125 s).

Die Beurteilung erfolgt gemäß DIN 4150-2 anhand von zwei Beurteilungsgrößen. Der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} und der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} .

KB_{Fmax} ist der maximale, während der Messung auftretende, oder in anderer Weise ermittelte Wert der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$.

In der Beurteilungsgröße KB_{FTr} wird die Häufigkeit und Dauer der auftretenden Erschütterungsereignisse berücksichtigt. Sie wird durch das Taktmaximalwertverfahren mit einer Taktzeit von 30 s ermittelt und über Fahrplandaten über den Beurteilungszeitraum (Tag/Nacht) gemittelt.

Die Beurteilungsgrößen sind zu ermitteln und mit den Anhaltswerten der DIN 4150-2 in der nachfolgenden Tabelle 1 zu vergleichen.

- Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert A_u , dann ist die Anforderung dieser Norm eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der (obere) Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung dieser Norm nicht eingehalten.
- Für häufige Einwirkungen, bei denen KB_{Fmax} größer als A_u , aber kleiner als A_o ist, ist die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} mit dem Anhaltswert A_r zu vergleichen. Wird dieser unterschritten, sind die Anforderungen der Norm ebenfalls eingehalten.

Tab. 6-1: Anhaltswerte für Erschütterungs-Immissionen gemäß DIN 4150-2

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	A _r
1	Einwirkungsorte in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, § 9).	0,4 (0,6)	6	0,2 (0,3)	0,3 (0,45)	0,6	0,15 (0,225)
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, § 8).	0,3 (0,45)	6	0,15 (0,225)	0,2 (0,3)	0,4 (0,6)	0,1 (0,15)
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5).	0,2 (0,3)	5	0,1 (0,15)	0,15 (0,225)	0,3 (0,6)	0,07 (0,105)
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reine Wohngebiete BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2).	0,15 (0,225)	3	0,07 (0,105)	0,1 (0,15)	0,2 (0,6)	0,05 (0,075)
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1 (0,15)	3	0,05 (0,075)	0,1 (0,15)	0,15 (0,6)	0,05 (0,075)

Für oberirdischen Schienenverkehr gilt gemäß DIN 4150-2 eine Sonderregelung. Der obere Anhaltswert A_o ist unabhängig von der Gebietsausweisung nachts mit 0,6 anzusetzen. Des Weiteren gilt nach DIN 4150-2 für den ÖPNV in der Verkehrswegeplanung ein um den Faktor 1,5 angehobener Wert für A_u und A_r (vgl. Werte in Klammern in Tab. 6-1).

Generell ist zu berücksichtigen, dass die Anhaltswerte indikatorischen Charakter haben und eine Beurteilung jeweils im Einzelfall - auch unter Berücksichtigung der Messunsicherheit - zu erfolgen hat.

In den Erläuterungen zur Norm werden Zusammenhänge zwischen bewerteten Schwingstärken und subjektiver Wahrnehmung angegeben. Die folgende Tabelle beschreibt diesen Zusammenhang:

Tab. 6-2: Wahrnehmung von Erschütterungen

KB-Werte	Beschreibung der Wahrnehmung
< 0,1	nicht spürbar
0,1	Fühlschwelle
0,1 - 0,4	gerade spürbar
0,4 - 1,6	gut spürbar
1,6 - 6,3	stark spürbar

6.2 Sekundärer Luftschall

Der sekundäre Luftschall wird durch Schwingungen der Umfassungsbauteile von Gebäuden bzw. Räumen verursacht. Dieser wird, sofern nicht durch Tunnel oder Lärmschutzanlagen abgeschirmt, durch den Primärluftschall überlagert und ist im Regelfall nicht direkt messbar. Die Gebäude werden wiederum durch vorbeifahrende Züge zum Schwingen angeregt, die Intensität nimmt vom Gleis aus mit zunehmendem Abstand zum Gebäude ab.

Bezüglich sekundären Luftschalls an Schienenwegen existieren keine expliziten Grenzwerte bzw. normative Regelungen. Im Falle der Planung von Schienenverkehrswegen werden in der Regel Innenraumpegel von

40 dB(A) tags in Wohnräumen bzw.

30 dB(A) nachts in Schlafräumen

als Grenzwerte angewandt. Die o. a. Grenzwerte basieren auf der Grundlage der 24. BImSchV und werden auch seitens der Rechtsprechung als Zumutbarkeitsschwelle herangezogen.

7. Messdurchführung und Messgeräte

7.1 Messorte und Messdatum

Die Örtlichkeiten sind dem Lageplan in der Anlage 1 zu entnehmen. Es wurden im Bereich der folgenden Gebäuden Erschütterungsprognosen vorgenommen:

Tab. 7-1: untersuchte Gebäude / Ausbreitungsquerschnitte

Nr.	Gebäude	Messdatum	Messpunkt		Deckenaufbau*
			1	2	
1	Am Nordring 4	08.02.2021	Gelände vor dem Gebäude (Erdspieß) ca. 15 m zum Gleis	-	Beton
2	Max-Bill-Straße 10	08.02.2021	Gelände vor dem Gebäude (Dreifuß-Bodenplatte) ca. 17 m zum Gleis	-	Beton
3	Bauhausplatz 4-6, 9	08.02.2021	Ersatzmesspunkt Haus-Nr. 9 Gelände vor dem Gebäude (Dreifuß-Bodenplatte) ca. 9 m zum Gleis	Haus-Nr. 4-6 Gelände vor dem Gebäude (Dreifuß-Bodenplatte) ca. 18 m zum Gleis	Beton
4	Helene-Wessel-Bogen 39	08.02.2021	Wiese am Gehweg (Erdspieß) ca. 10 m zum Gleis	Gelände vor dem Gebäude (Dreifuß-Bodenplatte) ca. 21 m zum Gleis	Beton
5	Burmesterstraße 4	08.02.2021	Gehweg vor dem Gebäude (Dreifuß-Bodenplatte) ca. 21 m zum Gleis	-	Beton
6	Kieferngartenstraße 12	08.02.2021	Gelände vor dem Gebäude (Erdspieß) ca. 17 m zum Gleis	-	Beton
7	Kieferngartenstraße 3	08.02.2021	Gehweg vor dem Gebäude (Dreifuß-Bodenplatte) ca. 15 m zum Gleis	-	Beton
8	Kieferngartenstraße 5	08.02.2021	Gehweg vor dem Gebäude (Dreifuß-Bodenplatte) ca. 8 m zum Gleis	-	Beton

* Einschätzung anhand der Bausubstanz

7.2 Messgeräte

Für die Messung wurden folgende Geräte bzw. Programme verwendet.

Tab. 7-2: eingesetzte Messtechnik

Gerät / Programm	Typ	Hersteller	Seriennummer
2x Beschleunigungsaufnehmer	KS 48C	Metra Mess- u. Frequenztechnik	10174, 12044
Messgerät	SoundBook Quadro	Sinus Messtechnik GmbH	6308
SAMURAI	2.8.3	Sinus Messtechnik GmbH	---

8. Auswertung und Messergebnisse

8.1 Eingangsspektren

Folgende Schwingschnellespektren wurden gemäß den Ausführungen in Punkt 5 in der Romanstraße, 8 m seitlich zur Gleisachse bestimmt.

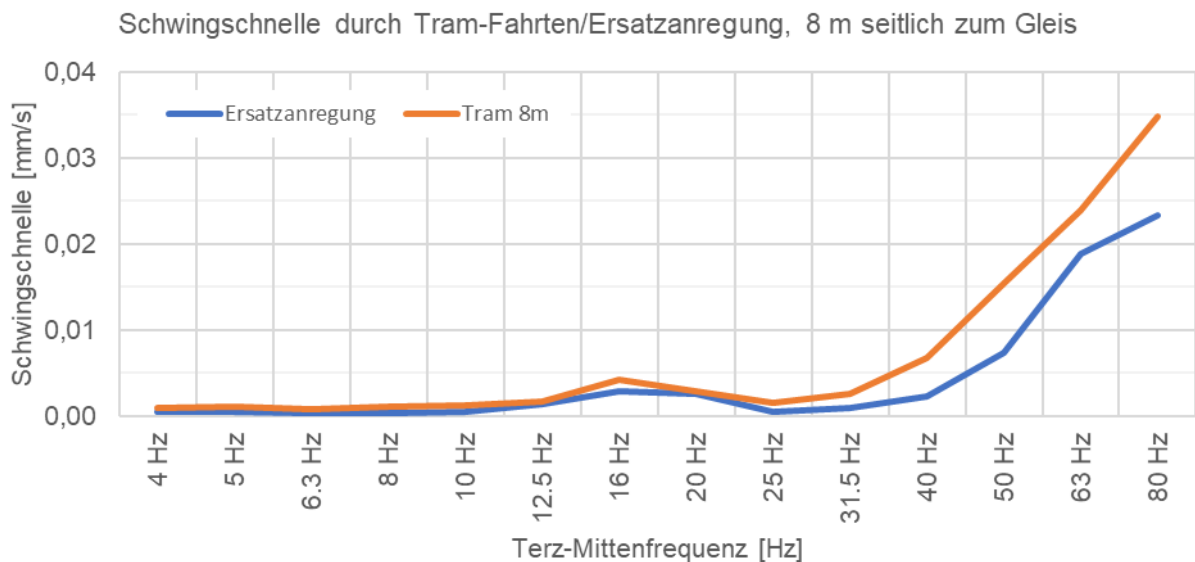


Abbildung 3: Schwingschnellespektren durch Tram-Fahrten/Ersatzanregung (Romanstraße)

Aus den o. a. Spektren ergeben sich für die weitere Berechnung die nachstehenden Verhältnisse.

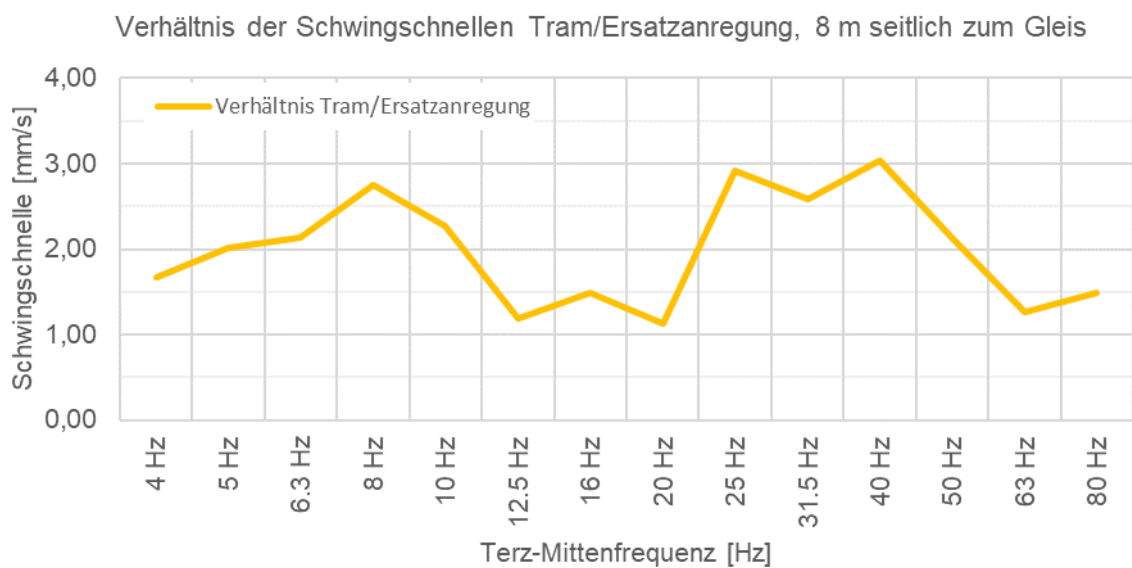


Abbildung 4: Verhältnis der Schwingschnellespektren Tram-Fahrten/Ersatzanregung (Romanstraße)

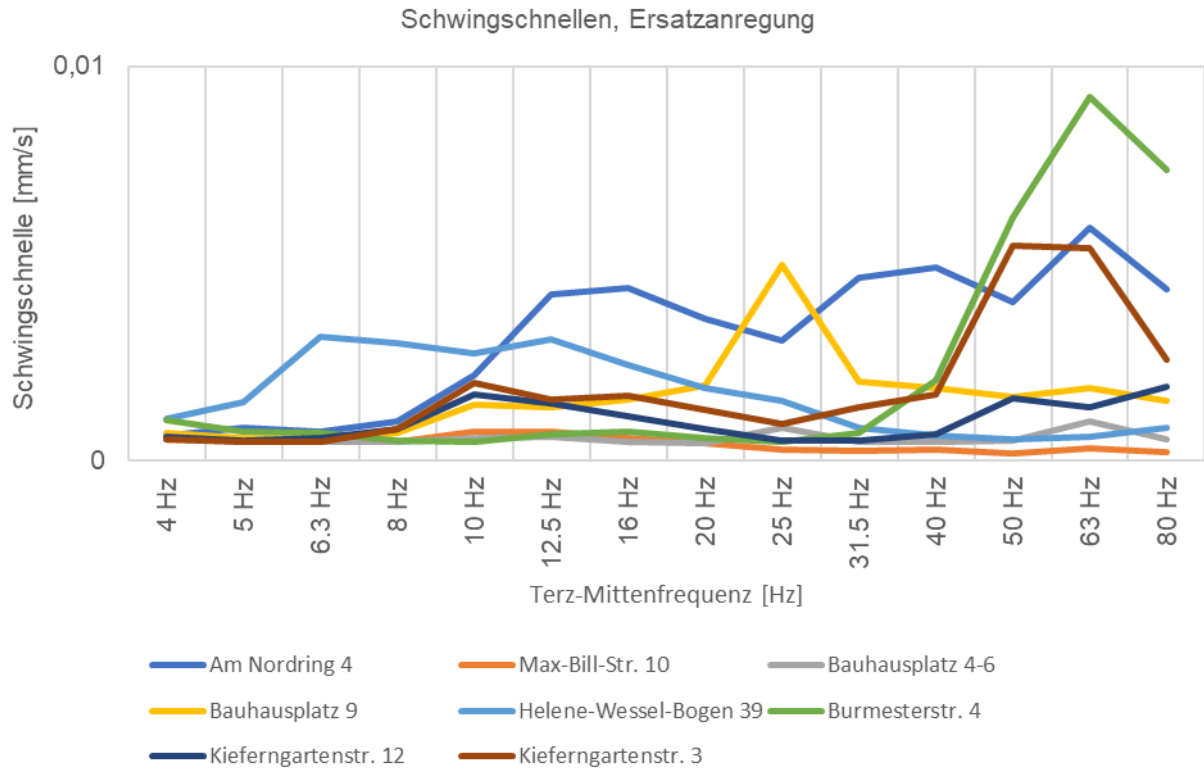


Abbildung 5: gemessene Schwingschnellen durch Ersatzanregung

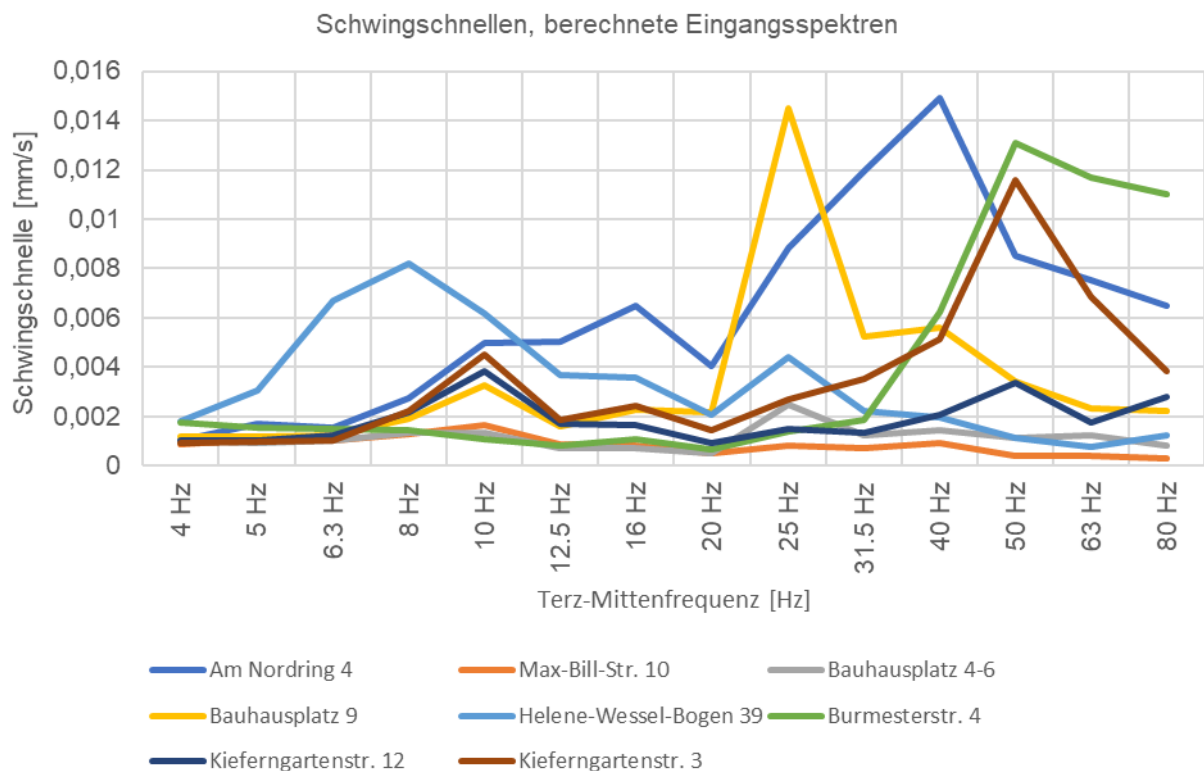


Abbildung 6: berechnete Schwingschnellen durch Ersatzanregung

Die o. a. Emissionsspektren wurden bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von etwa 40 km/h gemessen und stellen Mittelungsspektren über eine größere Anzahl von Vorbeifahrten dar. Die Höchstgeschwindigkeit auf der Strecke der TMN liegt bei 60 km/h. Die Emissionsspektren werden daher linear auf die Höchstgeschwindigkeit der TMN hochgerechnet.

8.2 Übertragungsfunktionen nach VDI 3837

Eine Messung der Übertragungsfunktionen der einzelnen Gebäude ist aktuell nicht möglich, die Berechnung erfolgt daher anhand von Erfahrungswerten. Hierzu werden Übertragungsfunktionen bereits untersuchter Gebäude, u. a. für die Tram Westtangente, gemittelt. I. S. der Prognosesicherheit wird die jeweils spektral ermittelte Standardabweichung zum terzweise berechneten Mittelwert addiert.

Die Übertragungsfunktionen wurden vom Boden in die Geschoßdecken

$$H_2(f) \rightarrow H_4(f)$$

ermittelt.

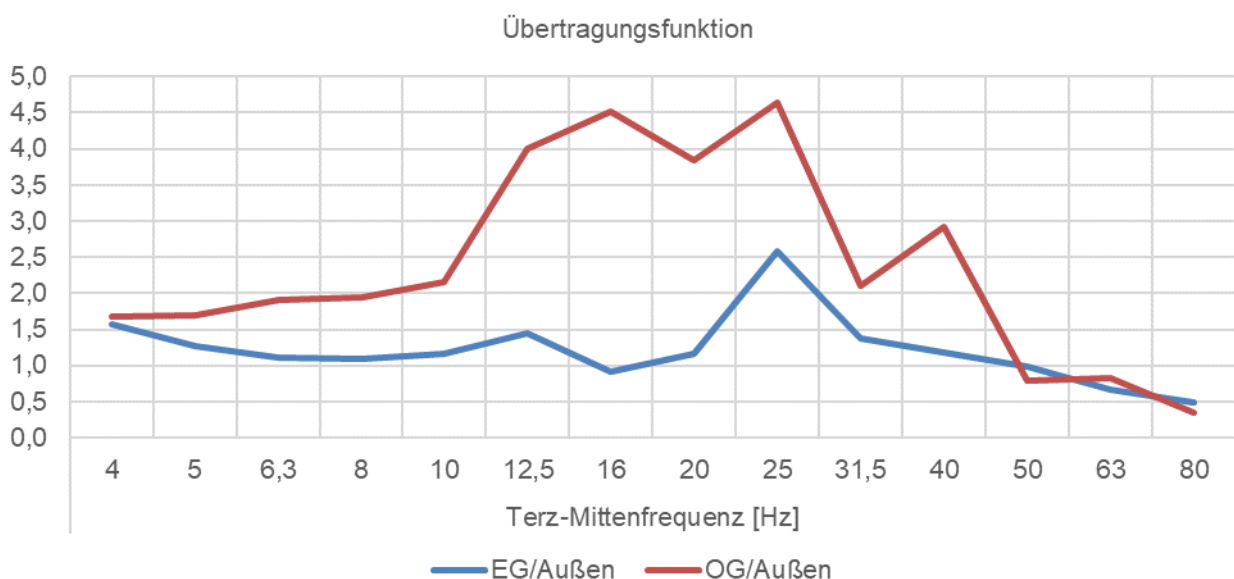


Abbildung 7: berechnete Schwingschnellen durch Ersatzanregung

In der Anlage 4 werden die Ergebnisse der Untersuchung für jedes untersuchte Gebäude dargestellt.

8.3 KB_{Fmax} - Werte nach DIN 4150-2

Messtechnisch erfolgt die Bestimmung der Erschütterungs-Immissionen nach DIN 4150-2 durch die Messung der Schwingbeschleunigung mit Hilfe von Beschleunigungssensoren während der Zugvorbeifahrten an den jeweils erforderlichen Messpunkten (vgl. Pkt. 6.1).

Aus der gemessenen Schwingbeschleunigung wird durch Integration das unbewertete Erschütterungssignal (Schnellesignal) nach DIN 45669 im Frequenzbereich von 1 bis 315 Hz ermittelt (siehe auch DIN 4150-2). Aus dem weiter von 4 bis 80 Hz bandpassgefilterten und KB -bewerteten Schnellesignal ist nach der Bildung des gleitenden Effektivwerts mit der Zeitkonstan-

te 0,125 s der Maximalwert in der Taktzeit von 30 s zu ermitteln. Das Ergebnis entspricht dem $KB_{F_{max}}$ einer Zugvorbeifahrt.

8.4 Sekundärer Luftschall

Zunächst liegt für jede Zugvorbeifahrt an jedem Messpunkt ein gemäß DIN 45669-1 Bandpassgefiltertes Zeitsignal der Schwingungen vor (vorliegend durch Ersatzanregung). Aus den Zeitsignalen werden Terzschnellespektren nach dem Verfahren „Max-Hold, FAST“ ausgewertet. Das bedeutet, dass für jede Zugvorbeifahrt der Maximalwert des „FAST“-bewerteten gleitenden Effektivwertes in jeder Terz berechnet wird. Das so ermittelte Terzschnellespektrum ist die Grundlage für das spektrale Prognoseverfahren für die Erschütterungen und den sekundären Luftschall.

Die entstehenden Schallpegel werden anhand der an den Decken berechneten Schwingschnellen im Frequenzband von 25 bis 80 Hz berechnet. Hierbei wird zwischen Beton- und Holzbalkendecken unterschieden.

Die Terz-Schnelle-Spektren werden in Dezibel umgerechnet und A-bewertet (L_{vA}). Aus dem energetisch aufsummierten Terzspektrum ist nach folgender Beziehung der resultierende sekundäre Luftschallpegel (L_{sek}) zu berechnen:

Betondecke:

$$L_{sek} = 15,8 \text{ dB(A)} + 0,60 L_{vA}$$

Holzbalkendecke:

$$L_{sek} = 19,9 \text{ dB(A)} + 0,47 L_{vA}$$

Aus der Vorbeifahrtzeit und der Häufigkeit der Vorbeifahrten der jeweiligen Zuggattungen werden getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum die Beurteilungspegel in den Gebäuden gebildet.

Die nach den o. a. Gleichungen ermittelten Sekundärschallpegel sind in den Anlagen zusammengestellt.

9. Zugzahlen

Für die Berechnung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} und des sekundären Luftschallpegels L_{sek} im Ausbauzustand wurden vom Auftraggeber folgende Verkehrsmengengerüste zur Verfügung gestellt.

Die jeweils angegebenen Zahlen geben die Anzahl der Fahrten je Streckenabschnitt und Fahrtrichtung getrennt nach Tag- und Nachtzeitraum an.

Bezugsfall Wendeschleife SWN							
	12	13	23	28	N12	N23	
Linien- typ	Voll	Tag	Voll	Tag	Nacht	Nacht	Summe
Teile/ Zug	1	1	1	1	1	1	
Fahrten je Richtung	12		12				24
	6		6				12
					16	16	32
	6		6				12
Summe Nacht	24		24		16	16	80
Fahrten je Richtung	6	6	6	6			24
	15	15	15	15			60
	36	36	36	36			144
	21	21	21	21			84
	6	6	6	6			24
	12	12	12	12			48
Summe Tag	96	96	96	96			384
Gesamt	120	96	120	96	16	16	464

Abbildung 8: Tram-Verkehre auf der Wendeschleife, Prognose-Nullfall 2035 (Quelle: SWM)

PA 1 Schwabing Nord - Bayernkaserne							PA 3 Kieferngarten - Bayernkaserne							
Fahrten je Richtung (Fahrzeugeinsatz offen)							Fahrten je Richtung (Fahrzeugeinsatz offen)							
	13	23	28		N13	N23			13	24/27			N24/N27 oder N13	
Linien- typ	Voll	Voll	Tag		Nacht	Nacht	Summe		Voll	Voll			Nacht	Summe
	1	1	1		1	1			1	1	1		1	
Fahrten je Richtung	12	12					24		12	12				24
	6	6					12		6	6				12
					16	16	32						16	16
	6	6					12		6	6				12
Summe Nacht	24	24			16	16	80		24	24			16	64
Fahrten je Richtung	6	6	6				18		6	6				12
	15	15	15				45		15	15				30
	36	36	36				108		36	36				72
	21	21	21				63		21	21				42
	6	6	6				18		6	6				12
	12	12	12				36		12	12				24
Summe Tag	96	96	96				288		96	96				192
Gesamt	120	120	96		16	16	368		120	120			16	256

Abbildung 9: Tram-Verkehre auf der Neubaustrecke, Prognose-Planfall 2035 (Quelle: SWM)

Ausgehend von den obigen Abbildungen werden bei der Berechnung der Beurteilungsschwingstärken und dem sekundären Luftschall folgende Zahlen in Ansatz gebracht:

Prognose-Planfall 2035

- Bereich 1, Wendeschleife Schwabing Nord
 - Richtungsgleise der Neubaustrecke jeweils 288/80 Fahrten tags/nachts
 - Wendeschleife, Linie 13 96/40 Fahrten tags/nachts
 - In der Summe entspricht das 672/200 Fahrten tags/nachts
- Bereich 2, Schwabing Nord bis Bayernkaserne
 - Richtungsgleise der Neubaustrecke jeweils 288/80 Fahrten tags/nachts
 - In der Summe entspricht das 576/160 Fahrten tags/nachts
- Bereich 3, Bayernkaserne bis Wendeschleife Kieferngartenstraße
 - Richtungsgleis der Neubaustrecke mit 192/64 Fahrten tags/nachts
 - In der Summe entspricht das 384/128 Fahrten tags/nachts

Hinsichtlich der Fahrzeuge wurden 6-teilige Züge mit 12 Achsen und einer Länge von 56 m in Ansatz gebracht.

10. Prognose und Ergebnisbewertung

10.1 Prognoseergebnisse

In der nachstehenden Tabelle sind die Ergebnisse der Erschütterungsprognose und der Prognose des sekundären Luftschalls für alle untersuchten Gebäude zusammengefasst.

Tab. 10-1: Prognose Erschütterungseinwirkungen und sekundärer Luftschall

Nr.	Gebäude/Nutzung	SW	Anhaltswerte Erschütterungen						Erschütterungseinwirkung			GW L _{sek}		L _{sek}	
			A _u		A _o		A _r		KB _{Fmax}	KB _{FTr}		in dB(A)			
			T	N	T	N	T	N		T	N	T	N	T	N
1	Am Nordring 4	EG	0,45	0,3	6	0,6	0,225	0,15	0,214	0,117	0,087	40	30	23,2	20,7
	GE	OG	0,45	0,3	6	0,6	0,225	0,15	0,440	0,241	0,180	40	30	25,9	23,4
2	Max-Bill-Str. 10	EG	0,3	0,225	5	0,6	0,15	0,105	0,047	0,028	0,021	40	30	12,6	10,3
	M	OG	0,3	0,225	5	0,6	0,15	0,105	0,099	0,059	0,045	40	30	15,7	13,4
3	Bauhausplatz 4-6	EG	0,3	0,225	5	0,6	0,15	0,105	0,088	0,052	0,040	40	30	17,2	14,9
	M	OG	0,3	0,225	5	0,6	0,15	0,105	0,163	0,097	0,075	40	30	19,4	17,2
4	Bauhausplatz 9	EG	0,3	0,225	5	0,6	0,15	0,105	0,091	0,054	0,042	40	30	17,4	15,1
	M	OG	0,3	0,225	5	0,6	0,15	0,105	0,170	0,101	0,078	40	30	19,6	17,4
5	Helene-Wessel-Bogen 39	EG	0,45	0,3	6	0,6	0,225	0,15	0,141	0,077	0,058	40	30	15,8	13,3
	GE														
6	Burmesterstr. 4	EG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,110	0,049	0,040	40	30	22,4	20,6
	W	OG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,154	0,069	0,056	40	30	22,6	20,9
7	Kieferngartenstr. 12	EG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,099	0,044	0,036	40	30	18,5	16,7
	W	OG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,198	0,089	0,072	40	30	19,0	17,2
8	Kieferngartenstr. 3	EG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,104	0,046	0,038	40	30	23,2	21,5
	W	OG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,171	0,077	0,063	40	30	23,7	22,0
9	Kieferngartenstr. 5	EG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,292	0,131	0,107	40	30	31,9	30,1
	W	OG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,360	0,161	0,131	40	30	31,3	29,6
10	Heidemannstr.	EG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,147	0,066	0,054	40	30	25,6	23,9
	W	OG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,200	0,090	0,073	40	30	24,8	23,0
11	Werner-Egk.-Bogen 2	EG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,097	0,044	0,036	40	30	13,9	12,1
	W	OG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,202	0,090	0,074	40	30	16,5	14,8
12	Hartweg 2	EG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,077	0,035	0,028	40	30	12,7	10,9
	W	OG	0,225	0,15	3	0,6	0,105	0,075	0,161	0,072	0,059	40	30	15,3	13,6

In Rot hinterlegt sind in der Spalte KB_{Fmax} die Immissionsorte gekennzeichnet, in denen ohne Schutzmaßnahmen Überschreitungen der unteren Anhaltswerte zu erwarten sind. In der Spalte KB_{FTr} sind in der Folge jene Prognosepunkte aus dem Kollektiv farbig dargestellt, bei denen auch die Anforderungen an den A_r nicht eingehalten sind.

Aus der o. a. Tabelle geht mithin hervor, dass an den folgenden Gebäuden unter Beachtung aller Beurteilungskriterien Überschreitungen der Anhaltswerte nicht auszuschließen sind.

- Am Nordring 4
- Kieferngartenstr. 5

Am Nordring 4 ist zwar formal eine Überschreitung nachts gegeben, es handelt sich jedoch um einen Bürokomplex, womit sich eine Nutzung zu Schlafzwecken nachts zumindest nicht aufdrängt. Insofern wird davon ausgegangen, dass hier keine faktische Schutzbedürftigkeit gegeben ist.

Für die ehemalige Bayernkaserne ist die Erfordernis von erschütterungsmindernden Maßnahmen bauseits für die geplanten Gebäude bereits in der Satzung des Bebauungsplans Nr. 1989 festgesetzt. Daher wurde auf eine Untersuchung in diesem Bereich verzichtet.

10.2 Erschütterungsmindernde Maßnahmen

Es werden erschütterungsmindernde Maßnahmen im Bereich der Wendeschleife Kieferngarten auf dem westlichen Gleisast beginnend am Anwesen Kieferngarten 3 und endend am Anwesen Kieferngarten 5 angeraten. Die Längenentwicklung beträgt incl. der notwendigen Überstandslängen 160 m von Bau-km 3+320 bis Bau-km 3+480.

Eine Möglichkeit besteht im Einbau einer Unterschottermatte. Eine vergleichsweise hohe Wirksamkeit ist zu erwarten, da die dominierenden Erschütterungseinträge dort oberhalb von 30 Hz zu erwarten sind. Um das Potential der USM auszuschöpfen empfiehlt es sich, diese auf hoch verdichtetem Planum, vorzugsweise auf einer Betontragplatte einzubauen. Bei der Produktauswahl kann auf Standardmaterialien bzw. Lösungen wie z. B. abgestimmte Elastomermatten der Fa. Getzner (Produktreihen Sylomer, Sylodyn) zurückgegriffen werden.

Kommt eine Ausführung als Rasengleis zum Tragen ist zu erwägen, eine kostengünstigere Bauweise in Form von besohnten Schwellen in Betracht zu ziehen. Die fahrdynamische Produktberatung wird im Regelfall durch die Anbieter der Systemlösungen mit übernommen.

Von einer elastischen Schienenlagerung als Maßnahmenansatz wird hingegen abgeraten, da dies bei den vergleichsweise leichten ÖPNV-Fahrzeugen zu erhöhten Schallemissionen der Gleise führen kann., und zugleich mangels Masse keine hohe Minderung der Erschütterungseinträge zu erwarten ist.

11. Zusammenfassung

Die Stadtwerke München planen die Umsetzung der Tram Münchener Norden (TMN). Konkret sieht die Planung den zweigleisigen Neubau der Tram Münchener Norden zwischen der Wendeschleife in Schwabing Nord und dem U-Bahnhaltepunkt in der Kieferngartenstraße vor.

Im Rahmen dieser Unterlage zur Tektur A wird das Planwerk an die geänderte Planung der Tektur A angepasst. Inhaltlich ergeben sich keine Änderungen.

Die Maßnahme war im Hinblick auf Erschütterungseinwirkungen aus dem Trambahnbetrieb hinsichtlich der zu erwartenden Beurteilungsschwingungsschnellen und des absehbaren sekundären Luftschalls zu beurteilen.

Die beiden Richtungsgleise der Tram-Neubaustrecke verlaufen auf der Ostseite des Grundstücks der bestehenden Wendeschleife Schwabing Nord. Das neue stadteinwärtige Gleis schließt südlich der Wendeschleife an das bestehende Tramnetz an. Um einen zukünftigen Einsatz von längeren bis zu 6-teiligen Tramfahrzeugen zu ermöglichen und den Anforderungen der Barrierefreiheit mit höheren Bahnsteigen zu entsprechen, wird die Wendeschleife umfänglich umgebaut. Die grundsätzliche Ausbildung der Wendeschleife mit Haupt- und Nebengleis für zukünftig hier endende Tramlinien bzw. als Wendemöglichkeit bei temporären Betriebsstörungen im weiter nördlich liegenden Streckenverlauf bleibt unverändert. Durch die Haltestellenverlängerung auf 56 m für den Einsatz längerer Fahrzeuge verschiebt sich das Wendegleis im Vergleich zum Bestand weiter Richtung Frankfurter Ring.

Die Strecke ist über die gesamte Länge beiderseits gesäumt von Wohn- und Geschäftsnutzungen.

Im Vorfeld der Umsetzung der Tram Münchener Norden wurde die Schwingungsdämpfung auf dem Ausbreitungsweg im Bereich der Wendeschleife Schwabing Nord und in der Kieferngartenstraße ermittelt. Zur Ermittlung der Erschütterungsemissionen wurden in der Romanstraße im Kreuzungsbereich mit der Döllingerstraße Erschütterungsmessungen in 8 m Entfernung zum Gleis durchgeführt.

Für die untersuchten Bereiche ist anhand der ermittelten Übertragungsfunktionen und Emissionsspektren eine Erschütterungsprognose für den künftigen Straßenbahnbetrieb nach der VDI 3837, Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen – Spektrales Prognoseverfahren, zu erstellen und anhand der dafür einschlägigen Norm, der DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, zu beurteilen.

Zudem war der durch Erschütterungen verursachte sekundäre Luftschall – in den Gebäuden zu berechnen und auf der Grundlage der 24. BImSchV zu beurteilen.

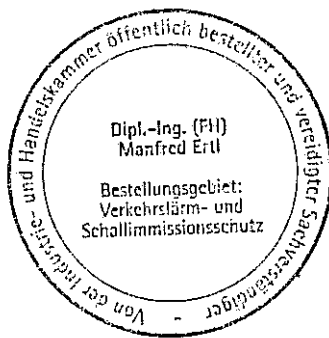
Die Untersuchung kommt zu folgenden Ergebnissen:

1. Bauwerksschäden sind anhand der prognostizierten Schwingschnellen aus dem geplanten Straßenbahnbetrieb nicht zu erwarten.
2. Die Erschütterungsprognose lässt jedoch erwarten, dass partiell die Anhaltswerte der heranzuziehenden DIN 4150 -2 bezüglich der Erschütterungseinwirkungen für Menschen in Gebäuden nicht eingehalten werden.
3. Dies führt zu der Empfehlung, dass in Teilen der Wendeschleife Kieferngarten eine elastische Lagerung des Gleiskörpers erfolgen sollte. Zu Art und Ausbildung sind Möglichkeiten unter Punkt 10.2 dieser Untersuchung genannt.
4. Bei Berücksichtigung der empfohlenen Maßnahmen sind Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 4150-2 nicht mehr zu erwarten.
5. Die Anhaltswerte für sekundären Luftschall werden nach der vorliegenden Prognose mit großer Sicherheit eingehalten.

Augsburg, 14.05.2023

M. Ull

Dipl.-Ing. (FH) M. Ertl



A) häufig verwendete Abkürzungen

G	Gebietsnutzung: Gewerbegebiet
L _{sek}	Sekundärer Luftschallpegel in dB(A)
M	Gebietsnutzung: Mischgebiet
KB _{Fmax}	Maximale KB-bewertete Schwingschnelle (30 s Taktmaximalverfahren)
KB _{Ftr}	Beurteilungsschwingstärke
W	Gebietsnutzung: Wohngebiet
x / y / z	Messrichtung, x / y = horizontal, z = vertikal

B) Grundlagenverzeichnis

- (1) SWM, Entwurfsplanung, Januar 2021
- (2) SWM, Trassierung/Gradiente, Februar 2021
- (3) SWM, Auszug aus der digitalen Flurkarte im Untersuchungsgebiet, Januar 2021
- (4) SWM, Zugzahlen der TMN, Prognose-Nullfall, Prognose-Planfall 2035, 08.03.2021
- (5) Stadt München, Online-Informationssystem für Bebauungspläne
- (6) Stadt München, Online-Informationssystem zum Flächennutzungsplan
- (7) Bayerische Vermessungsverwaltung, Luftbildauszüge des Untersuchungsraum
- (8) Stadtwerke München, Tram Münchner Norden, Tekturplanung Stand März 2023

C) Regelwerke

Für die Untersuchung wurden folgende Grundlagen herangezogen:

- [1] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen
- [2] DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [3] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – 16. BImSchV, 1974, in der aktuellen Fassung
- [4] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – 24. BImSchV, 04.02.1997
- [5] DB AG, Leitfaden für den Planer, Körperschall und Erschütterungsschutz, August 1996
- [6] Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr, Januar 2006
- [7] VDI 3837, Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen – Spektrales Prognoseverfahren, März 2006

D) Anlagenverzeichnis

Anlage Nr.	Art	Inhalt
1 A	Lageplan	Übersichtslageplan, gemessene Gebäude
2 A	Lagepläne	erschütterungsmindernde Maßnahmen
3	Abbildungen	Fotodokumentation der Messungen
4	Tabellen/Grafiken	Berechnungsergebnisse der Prognose
5	Tabellen	Eingangsdaten der Prognose

E) Tabellen

Tab. 3-1 rechtsverbindliche Bebauungspläne	9
Tab. 6-1: Anhaltswerte für Erschütterungs-Immissionen gemäß DIN 4150-2	15
Tab. 6-2: Wahrnehmung von Erschütterungen	15
Tab. 7-1: untersuchte Gebäude / Ausbreitungsquerschnitte	17
Tab. 7-2: eingesetzte Messtechnik	17
Tab. 10-1: Prognose Erschütterungseinwirkungen und sekundärer Luftschall	24