

2. S-Bahn-Stammstrecke München

geändert

DB ProjektBau GmbH, 14.08.2009

gez.: ppa Scheller

Planfeststellung

Erläuterungsbericht (nachrichtlich)

Erschütterungstechnische Untersuchung

Planfeststellungsabschnitt 2

München, den 01.06.2005

Erstellt im Auftrag der
DB AG

Vorhabenträger:



Die Bahn 

DB ProjektBau GmbH
Niederlassung Süd

Beteiligte Planer und Gutachter:

Planungsgemeinschaft 2. S-Bahn-Stammstrecke München
Gesamtkoordinierung und Generalplanung Los 2 und 4
OBERMEYER Planen+Beraten GmbH / ~~DE-Consult GmbH~~ DB – International / PSP Beratende Ingenieure München

Fachplaner, Gutachter

OBERMEYER Planen+Beraten GmbH
Institut für Umweltschutz und Bauphysik

ARGE-RA
~~Meidert und Kollegen, Rechtsanwälte~~
RAE Hartmut Heinrich und Doerner

Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Allgemeines.....	2
1.1	Projektbeschreibung	2
1.2	Aufgabenstellung	2
2	Grundlagen der erschütterungstechnischen Untersuchung	4
2.1	Allgemeines.....	4
2.2	Einflüsse auf die Erschütterungsimmission	4
2.3	Vorgehensweise	5
3	Beurteilung von Erschütterungen.....	7
3.1	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	7
3.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen.....	9
3.3	Einwirkungen auf empfindliche technische Geräte.....	9
3.4	Sekundärer Luftschall	10
3.5	Zusammenfassung der erschütterungstechnischen Anforderungen.....	11
4	Ablauf und Umfang der Untersuchung	12
5	Berechnung der zu erwartenden Erschütterungs-Immissionen.....	13
5.1	Emissions-Spektren	13
5.1.1	Einfluss der Geschwindigkeit	14
5.1.2	Einfluss des Fahrzeuges.....	14
5.2	Übertragungsfunktionen.....	15
5.2.1	Ausbreitung im Erdboden	15
5.2.2	Gebäudespezifische Übertragungsfaktoren	16
5.2.3	Messtechnisch untersuchte Gebäude	17
5.3	Berechnung der KB-Werte.....	18
5.4	Berechnung des sekundären Luftschalls.....	19
5.5	Ergebnisse und Beurteilung für die einzelnen Bereiche.....	20
5.5.1	Karlsplatz/Stachus bis Haltepunkt Marienhof	20
5.5.2	Haltepunkt Marienhof bis Einschwenken in die Maximilianstraße.....	21
5.5.3	Maximilianstraße bis Isar-Unterquerung, Ende PFA 2	22
6	Erschütterungsschutzmaßnahmen	24
6.1	Maßnahmen am Oberbau.....	24
6.1.1	Unterschottermatten	24
6.1.2	Masse-Feder-Systeme.....	25
6.1.3	Elastische Schienenlagerung.....	25
6.1.4	Elastische Schwellenlagerung	26
6.2	Erschütterungsschutzmaßnahmen an Gebäuden (passive Maßnahmen)	26
6.3	Auswahl der geeigneten Maßnahmen	26
6.4	Notwendige Erschütterungsschutzmaßnahmen	27
7	Erschütterungen während der Bauzeit	29
8	Zusammenfassung	31
Anhang : Grundlagenverzeichnis		33
Anhang : Emissionsspektren		34
Anhang : Gebäude-Übertragungsfaktoren		35

Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 1:	Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung	7
Tab. 2:	Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 2, Tabelle 1 für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen.....	8
Tab. 3:	Korrektursummanden D gemäß 24.BImSchV	11
Tab. 4:	Abschnittsunterteilung für die Erschütterungsprognose	13
Tab. 5:	Messergebnisse MP1 und MP2	21
Tab. 6:	Messergebnisse MP3 und MP4	21
Tab. 7:	Messergebnisse MP5 und MP6	22
Tab. 8:	Abschnitte mit erforderlichen Maßnahmen	28
Tab. 9:	Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 2 für die Beurteilung von Erschütterungen durch Baumaßnahmen.....	30

Abkürzungsverzeichnis

A

ABS Ausbaustrecke

B

BauNVO Baunutzungsverordnung

Bf München Ost München Ostbahnhof Personenbahnhof

Bf Bahnhof

Bft Bahnhofsteil

BImSchG Bundesimmissionsschutzgesetz

BImSchV Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes

C

D

dB (A) Dezibel A (bewerteter Schallpegel)

DB AG Deutsche Bahn AG

DIN® Verbandzeichen des Deutschen Instituts für Normung e.V.

E

EBA Eisenbahn-Bundesamt

F

G

GI Gleis

GOK Geländeoberkante

H

Hbf Hauptbahnhof

Hz Hertz, Einheit der Frequenz

I

K

KB-Wert Maß für Schwingstärke

L

M

MFS	Masse-Feder-System
ML	Bf München Laim
MAMP	München Abzw. Max-Weber-Platz
m	Meter (Einheit)
N	
O	
OK	Oberkante
OL	Oberleitung
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
P	
Pbf	Personenbahnhof
PFA	Planfeststellungsabschnitt
R	
S	
SBSS	S-Bahn-Stammstrecke
SO	Schienenoberkante
T	
U	
USM	Unterschottermatte
V	
V	Volt, Einheit der Spannung
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VersA	Versuchsanstalt der Deutschen Bahn, Abteilung für Elektrophysik bzw. Zentralbereich Forschung und Versuche, Versuchszentrum 3
v_e, v	(Entwurfs-) Geschwindigkeit
v_{max}	Maximale Geschwindigkeit
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz
W	
Z	

Begriffsdefinitionen

2. S-Bahn-Stammstrecke

Bezeichnet wird hiermit die geplante zweigleisige S-Bahn-Stammstrecke, beginnend im Bf Laim und endend im Bf Ostbahnhof bzw. Bf Leuchtenbergring mit den dazwischen liegenden Stationen Hauptbahnhof und Marienhof.

Hauptast / Nebenast

Beide Äste sind Bestandteil 2. S-Bahn-Stammstrecke München. Als Hauptast wird die Anlage vom Bf Laim bis Bf Ostbahnhof, als Nebenast die Anlage vom Abzweig Max-Weber-Platz bis zum Bf Leuchtenbergring bezeichnet.

Hochlage / Tieflage

Mit „Hochlage“ wird eine oberflächennahe Trasse des 2. S-Bahntunnels bezeichnet (rd. 16 m unter GOK), während die „Tieflage“ bis zu 42 m unter GOK reicht.

1 Allgemeines

1.1 Projektbeschreibung

Die heutige S-Bahn-Stammstrecke zwischen Laim und Ostbahnhof ist mit rd. 1000 Fahrten täglich das Herzstück und gleichzeitig eine Engstelle im gesamten Münchener S-Bahnnetz. Durch die Bündelung der S-Bahnlinien auf der Stammstrecke können sich Störungen im Betrieb auf das gesamte S-Bahnnetz auswirken.

Da auf den bestehenden zwei Gleisen der S-Bahn-Stammstrecke technisch keine weitere Steigerung der Zugzahlen möglich ist und um eine nachhaltige Verbesserung der Situation bei Betriebsstörungen zu erreichen, ist der Neubau einer 2. S-Bahn-Stammstrecke (2.SBSS) von Laim bis Ostbahnhof/Leuchtenbergring vorgesehen.

Gemäß einer Vereinbarung zwischen dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie und der Deutschen Bahn AG wurde die DB ProjektBau GmbH beauftragt, die Planungen zu vertiefen und das Planfeststellungsverfahren mit integrierter Umweltverträglichkeitsprüfung vorzubereiten und durchzuführen.

1.2 Aufgabenstellung

Der gegenständliche Bericht enthält die erschütterungstechnische Untersuchung für den Planfeststellungsabschnitt PFA 2.

Der Planfeststellungsabschnitt erstreckt sich in den Sektionen 1 und 2 innerhalb derer Gemarkungsgrenzen. Er schließt im Westen an den Planfeststellungsabschnitt PFA 1 und im Osten an den Planfeststellungsabschnitt PFA 3 an.

Im Wesentlichen sind dabei folgende Baumaßnahmen vorgesehen:

- Erstellung der unterirdischen Bahnanlagen (Hauptast) innerhalb der Abschnittsgrenzen
- Haltepunkt Marienhof

Inhalt der Untersuchung ist die Prognose der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen aus dem S-Bahn-Verkehr der 2.SBSS in den Gebäuden entlang der Strecke, ihre Beurteilung nach anerkannten Regelwerken sowie ggf. die Ermittlung der erforderlichen Schutzmaßnahmen.

Auch die zu erwartende Erschütterungsimmissions-Situation während der Bauphase und deren Beurteilung wird beschrieben.

2 Grundlagen der erschütterungstechnischen Untersuchung

2.1 Allgemeines

Erschütterungsimmissionen bestehen aus - fühlbaren - mechanischen Schwingungen (Vibrationen, Erschütterungen) und - hörbarem - sekundärem Luftschall, welcher durch die Schallabstrahlung schwingender Raumbegrenzungsflächen entsteht.

Die physikalische Größe, die zur Beschreibung der Erschütterungseinwirkungen am meisten verwendet wird, ist die Schwinggeschwindigkeit (oder Körperschallschnelle), die i.d.R. als Pegel (in dB, bezogen auf $5 \cdot 10^{-8}$ m/s) angegeben wird. Sie ist in Festkörpern (Erdboden, Bausubstanz) stark frequenzabhängig und muss daher spektral betrachtet werden. Zur Beurteilung der Einwirkungen von Erschütterungen auf den Menschen wird nach DIN 4150, "Erschütterungen im Bauwesen": Teil 2 „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ [4] eine Frequenzbewertung auf die Körperschallschnelle am Immissionsort angewendet und daraus die bewertete Schwingstärke KB ermittelt. Die Immissionen des sekundären Luftschalls werden aus der Körperschallschnelle abgeleitet und anhand der an das Gehör angepassten Frequenzbewertung (A-Bewertung) in ihrer Wirkung auf den Menschen bewertet.

2.2 Einflüsse auf die Erschütterungsimmission

Die Entstehung und Ausbreitung der durch die Vorbeifahrten der S-Bahn erzeugten mechanischen Schwingungen wird u.A. beeinflusst durch:

- Streckenführung
- Tunnelbauart
- Einfluss der Geschwindigkeit
- technisches und betriebliches Verhalten der eingesetzten Fahrzeuge
- Ausbreitung im Erdboden (Beschaffenheit des umgebenden Erdbodens, z.B. Art des Bodens, Inhomogenitäten, Grundwasser)
- Übertragungseigenschaften der Gebäude

Detailliert beschrieben sind diese Einflussparameter unter Ziffer 5.1.1- 5.2.2. Aufgrund der Vielzahl von Einflüssen sind die Zusammenhänge bei der Erschütterungsentstehung und -übertragung sehr schwierig zu erfassen. Die Körperschalleinleitung in den Erdboden, die Ausbreitung im Erdboden und die Körperschalleinleitung in das Bauwerk unter Berücksichtigung der Bodeneigenschaften, von Brechung und Reflexion der Wellen an Grenzschichten und Übergängen (z.B. Bodenschichtungen, Oberfläche, Gebäudefundament), sind über Rechenmodelle mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nur näherungsweise zu bestimmen.

Im Bereich der Einleitung der Schwingungen vom Erdboden in die Gebäude ist die dynamische Anregbarkeit des Bauwerks für die Fortleitung der Schwingungen bestimmend. Die Anregung des Gebäudefundaments wird bei normaler Bauausführung in der Regel mit überhöhten Intensitätswerten an den Decken und Wänden der übrigen Stockwerksbereiche beantwortet.

Zur Erstellung der Erschütterungsprognose sind Messungen zur Ermittlung der fahrzeug-, fahrweg-, orts- und gebäudespezifischen Ausgangsdaten erforderlich. Aus diesen lassen sich statistische Mittelwerte finden und damit unter Berücksichtigung der entsprechenden Streuung Prognosen erstellen.

2.3 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise bei Erschütterungsprognosen basiert auf Messergebnissen und theoretischen Überlegungen, wobei das gesamte System in folgende, voneinander entkoppelte Teilsysteme unterteilt wird:

- Erschütterungsemission (Einleitung in den Erdboden im Nahbereich der Erschütterungsquelle)
- Ausbreitung der Schwingungen im Boden bis zu den Gebäuden (entfernungsbedingte Pegelabnahme im Erdboden)
- Änderung der Schwingungen beim Übergang vom Erdboden (vor dem Gebäude) in die zu betrachtenden Räume innerhalb der Gebäude (gebäudespezifische Übertragungsfaktoren)

Zur Durchführung von erschütterungstechnischen Untersuchungen müssen alle o. g. Größen spektral, d.h. getrennt für jedes Frequenzband, bekannt sein und

betrachtet werden. Mit Hilfe dieser Ausgangsdaten können die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen als Körperschallschnelle spektral ermittelt werden. Daraus können die Einzahl-Beurteilungswerte (KB-Werte und sekundäre Luftschallpegel) bestimmt und gemäß den festgelegten Kriterien beurteilt werden.

Von entscheidender Bedeutung ist die Abhängigkeit der Immissionen von individuellen Eigenschaften der Gebäude bzw. deren Bauart und Bausubstanz. Die Streuung der Gebäude-Eigenschaften (Übertragungsfaktoren) wurde in Untersuchungen messtechnisch ermittelt und in Abhängigkeit der Bausubstanz und Resonanzfrequenzlage statistisch ausgewertet.

Für die Prognose der Erschütterungen in Gebäuden wird ein Rechenmodell angewendet. Die Ergebnisse sind jedoch von vielen Parametern abhängig, deren Erfassung für Rechenmodelle einen großen Aufwand darstellt. Die Prognosen sind daher mit großen Unsicherheiten behaftet.

Es ist möglich, in der Bauphase die Übertragungsverhältnisse mit einer Ersatzanregung messtechnisch zu erfassen und somit die Prognose zu verfeinern.

Die Berechnung der KB-Werte erfolgt aus der prognostizierten Körperschallschnelle in Anlehnung an die DIN 4150, Teil 2 [4]. Der sekundäre Luftschallpegel wird gemäß der Information der Deutschen Bahn AG „Körperschall- und Erschütterungsschutz, Leitfaden Körperschall und Erschütterungen“ [9] ermittelt. Die Vorgehensweise wird unter Ziffer 5.3 und 5.4 erläutert.

3 Beurteilung von Erschütterungen

3.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Zur Bewertung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen werden sogenannte KB-Werte herangezogen, welche die frequenzabhängige Wahrnehmung des Menschen für Erschütterungen beschreiben. Der höchste auftretende KB-Wert eines Erschütterungsereignisses wird dabei als KB_{Fmax} -Wert bezeichnet.

Zur Veranschaulichung der KB_{Fmax} -Werte im Zusammenhang mit der subjektiven Wahrnehmung kann Tabelle 1 der VDI-Richtlinie 2057, Blatt 3 [8], herangezogen werden:

KB_{Fmax} -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

Tab. 1: Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung

Die Erschütterungseinflüsse werden nach den in der DIN 4150, Teil 2 festgelegten Beurteilungsgrößen und Anhaltswerten für die Wahrnehmungsstärke (KB-Werte) beurteilt. DIN 4150, Teil 2 gibt Anhaltswerte an, bei deren Einhaltung eine erhebliche Belästigung von Menschen in Gebäuden vermieden wird. Bei diesen Anhaltswerten handelt es sich nicht um rechtlich verbindliche Grenzwerte, sondern um empfohlene Anhaltswerte, deren Überschreitung nicht grundsätzlich zu einer erheblichen Belästigung von Menschen in Gebäuden führt.

Zur Beurteilung der KB-Werte sind die bewerteten maximalen Schwingstärken KB_{Fmax} mit den Anhaltswerten A_u , (unterer Anhaltswert) und A_o (oberer Anhaltswert) nach Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2, 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.

Nach Absatz 6.5.3.5 der Norm hat für Schienenwege der obere Anhaltswert nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten.

Als weitere Beurteilungsgröße dient der Wert KB_{FT_r} , der sowohl die Stärke als auch die Anzahl der Erschütterungsereignisse für die Beurteilungszeiträume Tag bzw. Nacht berücksichtigt. KB_{FT_r} ist mit den Anhaltswerten A_r nach Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2, zu vergleichen:

- Ist $KB_{F_{max}}$ größer als der untere Anhaltswert A_u , sind die Anforderungen dieser Norm dann eingehalten, wenn die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r} kleiner oder gleich dem Anhaltswert A_r ist.

Zeile	Einwirkungsort	Tag 6–22 Uhr			Nacht 22–6 Uhr		
		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 (vgl. Industriegebiete § 9 BauNVO)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vgl. Gewerbegebiete § 8 BauNVO)	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vgl. Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vgl. Reine Wohngebiete § 3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. Krankenhäuser, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung - BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 - 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkung vorgenommen werden ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Tab. 2: Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 2, Tabelle 1 für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

Für Erschütterungen aus Schienenverkehr enthält die DIN 4150, Teil 2 besondere Regelungen. Damit wird dem Charakter des Schienenverkehrs mit regelmäßi-

gen, weder dauernd noch selten einwirkenden Erschütterungsereignissen Rechnung getragen. Nach Absatz 6.5.3.5 der Norm wird für Schienenwege durch seltene Überschreitung eines oberen Anhaltswertes nachts (oberirdisch: $A_o = 0,6$ und unterirdisch: $A_o = 0,3$, unabhängig von der Gebietsnutzung) vorgegeben, dass die Ursache bei der verursachenden Zugeinheit untersucht und behoben werden soll. Die Werte gehen aber in die Berechnung der Beurteilungsgröße KB_{FT} ein, bei häufigerem Auftreten führen sie somit zur Überschreitung des Anhaltswertes A_r . Nach Absatz 6.5.3.1 sind Einwirkungen in Ruhezeiten nicht zusätzlich zu gewichten.

Die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen aus bestehenden Schienenwegen kann nach DIN 4150, Teil 2, Absatz 6.5.3.4 nicht anhand der Anhaltswerte vorgenommen werden.

3.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Die DIN 4150, Teil 3 „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ [5] nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung keine Gebäudeschäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes zu erwarten sind. Diese Anhaltswerte liegen um ein Vielfaches höher als die Anhaltswerte bei Einwirkung auf Menschen in Gebäuden. Aus dem Betrieb der 2. S-Bahn-Stammstrecke (2.SBSS) sind keine Überschreitungen im Sinne dieser Norm zu erwarten.

3.3 Einwirkungen auf empfindliche technische Geräte

Bei erschütterungsempfindlichen Geräten und Einrichtungen können u.U. Fehlfunktionen bzw. Störungen auftreten, wenn die Erschütterungsimmissionen am Aufstellungsort der Geräte oder innerhalb der Einrichtungen geforderte Spezifikationen überschreiten. Hinsichtlich einer einwandfreien Funktion solcher Geräte und Einrichtungen können die Erschütterungseinwirkungen jedoch erst bei Vorliegen entsprechender Anforderungen beurteilt werden. Solche Störungen können aber auch durch die Nutzer oder die Haustechnik innerhalb des Gebäudes verursacht werden, weshalb die Geräte i.d.R. körperschallisoliert aufgestellt werden. Somit wären sie auch gegen die Erschütterungsimmissionen aus der 2.SBSS geschützt.

3.4 Sekundärer Luftschall

Durch Körperschallübertragung bzw. -anregung der Raumbegrenzungsflächen kann in Gebäuden sogenannter „sekundärer Luftschall“ entstehen und einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am gesamten Innenraumpegel erreichen. Dieser Effekt kann vor allem dort zu Belästigungen führen, wo der primäre Luftschall, der durch die Außenhaut des Gebäudes nach innen dringt, eine geringe Rolle spielt. Das trifft vor allem bei dem Schienenweg abgewandten oder gut schallgedämmten Räumen sowie bei Tunnelstrecken zu.

Eine Beurteilung des sekundären Luftschalls aus öffentlichen Verkehrsmitteln ist z.Zt. nicht ohne weiteres möglich, da gesetzliche Regeln und Grenzwerte fehlen. Als Anhaltspunkte für die Beurteilung des sekundären Luftschalls aus Schienenverkehr kommen z.Zt. aus der 24.BImSchV [3] abgeleitete Richtwerte in Betracht.

In der 24.BImSchV werden die Mittelungspegel, in den Bezugszeiträumen Tag (6 bis 22 Uhr) und Nacht (22 bis 6 Uhr) bewertet. Die sekundären Luftschall-Immissionen werden errechnet über die Dauer der Geräusche während einer Vorbeifahrt als mittlere Maximalpegel und anhand der Häufigkeit über die Bezugszeiträume Tag und Nacht gemittelt.

Die 24.BImSchV macht Angaben über das erforderliche Schalldämm-Maß der Außenbauteile in Abhängigkeit vom Außenpegel (Direktschall) bei öffentlichen Verkehrswegen. Zur Dimensionierung von passiven Schallschutzmaßnahmen zum Schutz vor Außenlärm (Direktschall) werden Korrektursummanden D angegeben. Die Korrektursummanden D sind um 3 dB(A) reduzierte, einzuhaltende Innengeräuschpegel (A-bewertete Mittelungspegel) gemäß den angegebenen Nutzungen für schutzbedürftige Aufenthaltsräume.

Raumnutzung	Korrektursummand D in dB(A)
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, Büroräume, allgemeine Laborräume	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

Tab. 3: Korrektursummanden D gemäß 24.BImSchV

Demnach betragen die höchstzulässigen Innengeräuschpegel (Mittelungspegel über die Beurteilungszeiten):

- in Wohnräumen 40 dB(A) am Tag
- in Schlafräumen 30 dB(A) in der Nacht
- in Behandlungs- und Unterrichtsräumen 40 dB(A)
- in Konferenz-, Vortrags- und Büroräumen 45 dB(A)

3.5 Zusammenfassung der erschütterungstechnischen Anforderungen

Die Beurteilung der Erschütterungen aus der geplanten S-Bahn-Stammstrecke richtet sich für die fühlbaren Vibrationen nach den Anhaltswerten der DIN 4150, Teil 2 für Wohnungen und vergleichbar genutzte Räume in Abhängigkeit von der Gebietsnutzung nach Bebauungsplänen bzw. tatsächlicher Nutzung. Die sekundären Luftschallimmissionen werden anhand der Richtwerte beurteilt, die aus der 24.BImSchV abgeleitet sind.

4 Ablauf und Umfang der Untersuchung

Die Trassenführung ergibt verschiedene Rahmenbedingungen für die Erschütterungs-Emissionen in den Erdboden. Für die Erschütterungsprognose wird die Strecke in Abschnitte unterteilt, innerhalb derer die für die Erschütterungen maßgeblichen Parameter als konstant betrachtet werden. Grundsätzlich werden oberirdische Streckenabschnitte, sowie Trogbereiche (bei Absenkung in Tunnellage) und unterschiedliche Tunnelquerschnitte getrennt betrachtet. In Tunnelabschnitten wird zusätzlich die unterschiedliche Überdeckung betrachtet. Weiterhin hat die Geschwindigkeit der S-Bahn Einfluss auf die Erschütterungs-Emission.

Die Ausgangsdaten werden messtechnisch ermittelt bzw. aus Literaturdaten entnommen. Die gebäudespezifischen Eigenschaften (Übertragungsfaktoren) werden aus Erfahrungswerten und Literatur [9] entsprechend ihrer statistischen Streuung berücksichtigt. Aus diesen Daten werden Abstände zur Trasse der S-Bahn ermittelt, innerhalb derer mit Überschreitungen der Beurteilungskriterien zu rechnen ist (im Folgenden „Einwirkungsbereiche“ genannt). Die Einwirkungsbereiche werden entsprechend der Gebietsnutzung und Gebäude-Übertragungseigenschaften (Deckenresonanzfrequenzlagen) in 3 Klassen ermittelt (siehe Ziffer 5.2.2), entsprechend der Maxima der jeweiligen Frequenzlage.

Zur Absicherung dieser Ergebnisse wurden Messungen an ausgewählten Objekten innerhalb des Untersuchungsraumes entlang der Trasse vorgenommen. Es handelt sich um 6 Gebäude, die nach Bauart und Abstand zur S-Bahntrasse als typische Beispiele für die jeweiligen Bereiche gelten können. Für diese Objekte wurde auf Grundlage der gemessenen Übertragungsfunktionen eine individuelle Prognose erstellt. Die Lage der untersuchten Gebäude ist aus den Lageplänen, Anlage 20.2.1 und 20.2.2 ersichtlich.

Je nach dem Ausmaß der ermittelten Betroffenheit werden Erschütterungsminde-
rungsmaßnahmen erwogen und anhand deren Wirksamkeit bewertet. Geeignete Schutzmaßnahmen werden in die zur Genehmigung eingereichte technische Planung integriert.

Eine Präzisierung der Prognose ist in der Bauphase möglich, indem in den Tunnelrohbauten mit einer Ersatzquelle Erschütterungen angeregt werden und deren Ausbreitungen in die Umgebung gemessen werden.

5 Berechnung der zu erwartenden Erschütterungs- Immissionen

Der Immissionsberechnung für Erschütterungseinwirkungen aus dem Betrieb der S-Bahn liegt das Betriebsprogramm zum Prognose-Horizont 2015 zu Grunde. In diesem ist festgelegt:

Abschnitt Tag / Nacht

- Hauptast, Gleis Laim – Abzweig Max-Weber-P. (ML - MAMP): 203 / 39
- Hauptast, Gleis Abzweig Max-Weber-P. – Laim (MAMP - ML): 203 / 39

Für die Erschütterungsprognose wurde der Planfeststellungsabschnitt in Bereiche unterteilt, innerhalb derer die maßgeblichen Parameter für die Erschütterungsemission als konstant anzusehen sind. Maßgeblich ist die Streckenführung, die Strecken-Auslastung (Anzahl, Geschwindigkeit) und die Gebietsnutzung.

In folgender Tabelle sind die Abschnitte aufgeführt:

Abschnitts- Nr.	Bau-km von – bis*	Streckenführung	Geschwindigkeit v_s , km/h
1	105,9+96 - 106,7+17	Kreisquerschnitt-Tunnel	80
2	106,7+17 - 106,9+27	Haltepunkt Marienhof	80
3	106,9+27 - 107,2+00	Kreisquerschnitt-Tunnel	80
4	107,2+00 - 107,8+53	Kreisquerschnitt-Tunnel	100

* Die parallel verlaufenden Gleise des Hauptastes werden in der Abschnittunterteilung gemeinsam betrachtet.

Tab. 4: Abschnittunterteilung für die Erschütterungsprognose

Als Ausgangsdaten werden messtechnisch ermittelte Emissionsspektren, der Fachliteratur entnommene Ausbreitungsmodelle und -faktoren sowie gebäude-spezifische Übertragungsfaktoren zugrundegelegt. Die Berechnung erfolgt als Körperschallschnelle im für Erschütterungseinwirkungen aus dem Schienenverkehr relevanten Frequenzbereich 4 Hz bis 100 Hz (für KB-Werte) bzw. max. 160 Hz, spektral in Terz-Bandbreite.

5.1 Emissions-Spektren

Die Prognosen im Bereich des Schienenverkehrs erfolgen auf der Basis von Referenz-Spektren, die an bestehenden, vergleichbaren Strecken mit vergleichba-

ren Zuggattungen und Betriebszuständen im Nahbereich der Strecke, vorzugsweise in 8 m oder 16 m Abstand von der Gleisachse messtechnisch ermittelt werden. Die Emissionen bei Fahrten in einer Tunnelstrecke werden an der Tunnelwand gemessen. Für die Münchner S-Bahn liegen eine Vielzahl von Messdaten vor, so dass bei Prognosen für verschiedenste Rahmenbedingungen von statistisch abgesicherten Daten ausgegangen werden kann.

Die verwendeten Emissions-Spektren sind im Anhang angegeben. Sie wurden entsprechenden Untersuchungen entnommen bzw. daraus abgeleitet.

- Kreisquerschnitt-Tunnel: Münchner S-Bahn Bereich „Am Gasteig“. Messquerschnitt ohne Erschütterungsschutzmaßnahmen (Vergleichs-Messpunkte) [12]
- Für den Haltepunkt Marienhof wurden Daten aus Tunnelabschnitten mit Rechteck-Querschnitt [13] verwendet

5.1.1 Einfluss der Geschwindigkeit

Bei Abweichung der Messgeschwindigkeit zur Geschwindigkeit im Prognosefall in den einzelnen Abschnitten wurden die Messergebnisse korrigiert. Erfahrungsgemäß und nach einschlägiger Literatur kann für geringfügige Geschwindigkeitsänderungen folgende (nicht spektrale) Annahme getroffen werden, um die Körperschallschnelle-Emissionspegel L_v für andere Geschwindigkeiten zu korrigieren:

$$L_{v,\text{gesucht}} = L_{v,\text{gemessen}} + 20 \log (v_{\text{gesucht}} / v_{\text{gemessen}})$$

5.1.2 Einfluss des Fahrzeuges

Im Jahre 2002 wurden in Tunneln mit Rechteckquerschnitt Vergleichsmessungen der beiden damals gleichzeitig verkehrenden Zugtypen (ET 420 und ET 423) durchgeführt (siehe z.B. [13]). Danach zeigen sich Tendenzen, dass der neue Typ ET 423 z.T. geringere Erschütterungs-Emissionen aufweist als der Typ ET 420. Zugunsten der Betroffenen wurden die Ergebnisse für den Typ ET 420 als Erschütterungs-Emissionen verwendet.

5.2 Übertragungsfunktionen

Die Übertragung der Erschütterungen (Körperschallschnelle) in unterschiedlichen Festkörpern (Erdboden, Gebäude) ist, wie bereits angesprochen, frequenzabhängig (spektral) zu betrachten und ist von vielen Einflüssen abhängig.

Zur Ermittlung der Einwirkungsbereiche der Erschütterungsimmissionen und des sekundären Luftschalls sind Annahmen über die Übertragungsfunktionen der Ausbreitung der Erschütterungen im Boden und der Übertragung in die Gebäude bzw. innerhalb der Gebäude zu treffen.

5.2.1 Ausbreitung im Erdboden

Die Ausbreitung im Boden ist abhängig von der geometrischen Entfernung zwischen Erschütterungsquelle und Immissionsort, der Quellenart und von der Bodenart, die im wesentlichen durch die Ausbreitungsgeschwindigkeit der für die Ausbreitung maßgeblichen Wellenart beschrieben wird. Bodenschichtungen, Grundwasser und im Nahbereich zwischen Erschütterungsquelle und Immissionsort liegende massive Gegenstände wie Kanäle, Injektionskörper, Versorgungsleitungen etc., beeinflussen zusätzlich die Ausbreitung der Erschütterungen.

Die Strecke verläuft im gesamten Abschnitt unterirdisch in Tunnelbauwerken. An der Tunnelaußenwand entsteht eine Körperschall-Raumwelle, deren Amplitude aufgrund geometrischer Bedingungen mit zunehmender Entfernung abnimmt. Zusätzlich treten Dämpfungen durch Absorption der Schwingungsenergie im Erdboden aufgrund von Viskosität, Haftreibung und Materialdämpfung auf. Ein Berechnungsmodell der abstands- und frequenzabhängigen Ausbreitungsabnahme der Körperschallschnelle wurde aus einem Forschungsbericht der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung [11] abgeleitet.

Im Sinne eines Sicherheitszuschlages wurde dieser Ansatz erst ab 16 m Abstand von der Tunnelwand verwendet, da Beugung und Reflexion an Grenzschichten und Inhomogenitäten im Ausbreitungsweg über Rechenmodelle nicht eindeutig erfassbar sind. Daher wird empfohlen, nach Fertigstellung des Tunnel-Rohbaus in bestimmten Abschnitten durch Fremdanregung die Übertragung der Schwingungen in benachbarte Häuser messtechnisch zu überprüfen.

5.2.2 Gebäudespezifische Übertragungsfaktoren

Im Bereich der Einleitung der Schwingungen vom Erdboden in die Gebäude ist die dynamische Anregbarkeit des Bauwerks (Eingangsimpedanz / mechanischer Schwingwiderstand) für die Fortleitung der Schwingungen bestimmend. Im allgemeinen erfolgt hier eine Reduzierung der Schwingungsamplituden (wegen Brechung und Reflexion von Wellen an Grenzschichten und Übergängen) im Frequenzbereich ab 16 Hz um 5 bis 10 dB (entspricht einer Minderung etwa um einen Faktor 2 bis 3).

Die Anregung des Gebäudefundaments wird in der Regel bei normaler Bauausführung mit überhöhten Intensitätswerten an den Decken und Wänden der übrigen Stockwerksbereiche beantwortet. Erfahrungsgemäß ist bei Frequenzen ab ca. 10 Hz in einigen, bestimmten Bereichen (Eigenfrequenzen der Bauteile) mit einer Vergrößerung der Schwingungsamplituden durch Resonanzerscheinungen zu rechnen. Die durch Resonanz auftretenden Vergrößerungsfaktoren unterliegen großen Streuungen und erreichen erfahrungsgemäß an Fußböden Werte von 3 bis 18 (entspricht 10 dB bis 25 dB). Ebenso ist die Streuung der Frequenzlage zu berücksichtigen.

In der Information der DB AG „Körperschall und Erschütterungsschutz, Leitfaden für den Planer“ [9] wird dieser Zusammenhang angegeben, zusammengefasst für den Übertragungsweg *Erdboden - Fundament - Decke*.

Die gebäudespezifischen Eigenschaften (Übertragungsfaktoren) werden daraus entsprechend ihrer statistischen Streuung berücksichtigt. Aus diesen Daten werden die Einwirkungsbereiche ermittelt. Innerhalb dieser Abstände können bei einer bestimmten, von den spezifischen Eigenschaften der Gebäude abhängigen Empfindlichkeit Überschreitungen der Beurteilungskriterien auftreten.

Die Übertragungsfunktionen wurden in Abhängigkeit von den Eigenfrequenzen der Decken im Frequenzbereich zwischen 10 und 80 Hz in Terz-Bandbreite angesetzt und in drei Gruppen zusammengefasst. Diese Frequenzbereiche sind:

- ca. 10 Hz bis 20 Hz (entspricht etwa Bandbreite der Oktave, Mittenfrequenz 16 Hz)
- ca. 20 Hz bis 40 Hz (Oktav-Mittenfrequenz 31.5 Hz)

- ca. 40 Hz bis 80 Hz (Oktav-Mittenfrequenz 63 Hz)

Für diese Eigenfrequenzgruppen wurde die Deckenverstärkung und Frequenzlage mit dem jeweiligen Maximum innerhalb der in [9] in Terz-Bandbreite ermittelten Frequenzbereiche angesetzt.

Aufgrund der Emissionen aus der S-Bahn mit pegelbestimmenden Anteilen ab 40 Hz ist für die 2. Stammstrecke der Einwirkungsbereich für 40 bis 80 Hz maßgeblich.

5.2.3 Messtechnisch untersuchte Gebäude

An ausgewählten Objekten innerhalb des Untersuchungsraumes entlang der Trasse wurden Messungen zur Ermittlung der Übertragungsfaktoren vorgenommen. Es handelt sich um 6 Gebäude, die nach Bauart und Abstand zur Strecke als Beispiele für die jeweiligen Bereiche gelten. Diese Gebäude sind in den Anlagen 20.2.1 und 20.2.2 mit Objekt-Nr. MP1 bis MP6 dargestellt. Für diese Objekte wurde auf Grundlage der gemessenen Übertragungsfunktionen eine individuelle Prognose zur Veranschaulichung und Absicherung der Einwirkungsbereiche erstellt. Die Übertragungsfunktionen dieser Objekte sind im Anhang angegeben.

Die Ermittlung der Übertragungsfaktoren *Erdboden-Decke* konnte nicht an allen Gebäuden durchgeführt werden. Da in dicht bebauten Bereichen der Erdboden nahezu lückenlos versiegelt ist durch Gehwege, Hofbefestigungen und Straßen, kann keine einwandfreie Ankopplung der Messpunkte an den Erdboden erfolgen. In solchen Fällen wurde die Übertragungsfunktion *Fundament-Decke* herangezogen und die Minderung an der Einleitstelle Erdboden/Gebäude (mit einer Ausnahme) vernachlässigt. Die Übertragungsfaktoren und Immissionen dieser Gebäude sind entsprechend gekennzeichnet.

Die Vorgehensweise der Ermittlung dieser Übertragungsfaktoren erfolgte im Wesentlichen durch Ersatzanregung an der Erdoberfläche, mit einer im Straßen- bzw. Gehwegbau üblichen Vibrationswalze und, wo gegeben, durch Straßenbahn-Vorbeifahrten.

Der maßgebliche Frequenzbereich der Emissionsspektren liegt zwischen 25 Hz und 100 Hz. Dieser Frequenzbereich konnte i.d.R. messtechnisch untersucht werden. An 3 der messtechnisch untersuchten Gebäude (MP3, MP4 und MP5)