

2. S-Bahn-Stammstrecke München

Unterlage zur 6. Planänderung

6. Planänderung zum

Planfeststellungsbeschluss PFA 1

(Neubau Erkundungs- und Rettungsstollen)

Erläuterungsbericht (nachrichtlich)

Ergänzende Erschütterungstechnische Untersuchung

Planfeststellungsabschnitt 1

Vorhabenträger:



DB Netz AG
Regionalbereich Süd
Richelstraße 3, 80634 München

Martin
Wieser

Digital
unterschieden von
Martin Wieser
Datum: 2021.07.01
06:17:09 +02'00'



DB Station & Service AG
Bahnhofsmanagement München
Bayerstraße 10a, 80335 München

München, den 24.06.2021
Erstellt im Auftrag der Vorhabenträger



DB Energie GmbH
Energieversorgung Süd
Richelstraße 3, 80634 München



DB Netz AG
Großprojekt 2. S-Bahn-Stammstrecke München
Arnulfstr. 27, 80335 München, Tel 089/1308-0

Beteiligte Planer und Gutachter:

INGE 2. S-Bahn Stammstrecke München

atelier 4d / BPR / ILF / Vössing Ingenieure / sweco / SSF Ingenieure

Fachplaner, Gutachter

Möhler + Partner Ingenieure AG

Recht

RAe GSK Stockmann

Möhler + Partner Ingenieure AG Landaubogen 10 D-81373 München

DB Netz AG
Großprojekt 2. S-Bahn-Stammstrecke
Arnulfstraße 25-27
80335 München

Ihr Kontakt: Paul Zobel - 089 / 544 217 - 56 - paul.zobel@mopa.de - 24.06.2021

6. Planänderung zum PFA 1
Ste_710-5666-ER_Bau_Betrieb_PFA1-PAE6_24-06-2021
Bau- und Betriebsbedingte Erschütterungsimmissionen

1. Aufgabenstellung

Für den Planfeststellungsabschnitt PFA 1 der 2. S-Bahn-Stammstrecke wurde am 09.06.2015 die Planfeststellung nach §18 AEG erteilt. Der Planfeststellungsbeschluss [2] ist seit dem 09.06.2015 bestandskräftig. Mit fortschreitender Planung wurden Planänderungen erforderlich. Im Rahmen einer 6. Planänderung sollen durch ein verbessertes Flucht- und Rettungskonzept die Eingriffe in die Oberfläche reduziert werden und der Baubetrieb effizienter gestaltet werden. Damit verbunden sind der Neubau eines Erkundungs- und Rettungstollens sowie eine Trassenanpassung durch eine geänderte Lage der Station am Hauptbahnhof. Zu diesem Zweck sind die erschütterungstechnischen Auswirkungen durch den Bau des Erkundungs- und Rettungsschachtes sowie den Betrieb des unterirdischen Schienenverkehrs zu prognostizieren und zu beurteilen. Mit der Erstellung dieser Stellungnahme wurde Möhler + Partner am 20.02.2019 von der DB Netz AG beauftragt.

2. Beurteilungsgrundlagen

Nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [1] wird vom Betreiber beim Bau sowie dem Betrieb von Anlagen gefordert, dass schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind und dass unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Es existieren zurzeit keine gesetzlichen Regelungen zur Beurteilung von

BERATUNG
PLANUNG
MESSUNG
GUTACHTEN

Immissionsschutz
Verkehrslärmschutz
Bau- und Raumakustik
Thermische Bauphysik
Erschütterungsschutz
Psychoakustik
Luftthygiene

Landaubogen 10
D-81373 München
T + 49 89 544 217 - 0
F + 49 89 544 217 - 99
www.mopa.de
info@mopa.de

USt-IDNr.: DE 272461848
Steuer-Nr.: 143/101/22689

Stadtparkasse München
IBAN:
DE50 7015 0000 0902 2049 99
BIC: SSKMDEM3333

HypoVereinsbank München
IBAN:
DE09 7002 0270 6890 2270 72
BIC: HYVEDE33333

Aktiengesellschaft, Sitz München.
Amtsgericht München. HRB 188105
Vorstand: Rudolf Liegl, Christian Eulitz
Aufsichtsrat: Wolf-Dieter Ehrl (Vors.),
Prof. Dr.-Ing. Hugo Fastl, Nicole Mössner

Messstelle nach §§ 28, 29b BImSchG auf dem
Gebiet der Geräusche und Erschütterungen
VWA Schallschutzprüfstelle für Güterprüfungen
nach DIN 4109 Schallschutz im Hochbau
Öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige
für Schallschutz im Verkehrs- und Städtebau
für Schallschutz und auf dem Gebiet
der Bauakustik.

Von der DAkkS auf den Gebieten Schallschutz
Bauakustik, Erschütterungsschutz und Bauakustik
akkreditierte Prüflaboratorien nach
DIN EN ISO/IEC 17025 für den in der Urkunden
anlage D-PL-19432-01-00 festgelegtem Umfang

Erschütterungsimmissionen auf Menschen bzw. auf bauliche Anlagen. In einschlägigen Sachverständigenäußerungen werden jedoch Beurteilungsmaßstäbe zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Erschütterungen beschrieben. Die Bewertung der Erheblichkeit von Belästigungen bzw. Nachteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne des BImSchG [1] ist daher anhand von Regelwerken sachverständiger Organisationen oder von einzelfallbezogenen Gutachten vorzunehmen, wobei die Normenreihen der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ ([3], [4], [5]) als antizipierte Sachverständigengutachten zur Konkretisierung des Begriffs der schädlichen Umwelteinwirkung herangezogen werden können.

Der Teil 1 der DIN 4150 [3] gibt eine Anleitung für die Vorermittlung von Erschütterungen und enthält Verfahren, Angaben und Hinweise, auf deren Grundlage die Werte von Erschütterungsgrößen vorausgesagt und beurteilt werden können. Zweck der DIN 4150 Teil 2 [4] ist es insbesondere, Anforderungen und Anhaltswerte aufzuzeigen, bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden vermieden werden können. Die DIN 4150 Teil 3 [5] legt ein Verfahren für die Ermittlung und Beurteilung der durch Erschütterungen verursachten Einwirkungen auf bauliche Anlagen fest. Sie gilt für Bauwerke, die nicht nach spezifischen Normen und Richtlinien für dynamische Einwirkungen auszulegen sind. Insbesondere finden sich hierin Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Bauwerken nicht zu erwarten sind. In der Regel sind die strengeren Anforderungen an den Erschütterungsschutz in der DIN 4150-2 (Einwirkung auf Menschen) [4] festgelegt, so dass bei Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150-2 [4] auch die Einhaltung der Anforderungen der DIN 4150-3 [5] gegeben ist.

Durch die baubedingten Erschütterungen kann es in der Nachbarschaft von Baumaßnahmen zusätzlich zu Bauwerksschwingungen und Körperschallübertragungen kommen, so dass Luftschall von Raumbegrenzungsflächen (Wände und vor allem Geschossdecken) innerhalb von Gebäuden abgestrahlt wird. Diese erschütterungsinduzierten tieffrequenten Schallimmissionen werden als sekundärer Luftschall bezeichnet. Für die Beurteilung dieser sekundären Luftschallabstrahlung durch baubedingte Erschütterungen existieren keine Regelungen oder Festlegungen von Richt- oder Grenzwerten. Der Sekundärluftschall kann jedoch zu Lärmimmissionen innerhalb von Gebäuden führen und sich in Zusammenhang mit dem Primärluftschall, der direkt über die Außenbauteile in Gebäude dringt, als erheblich belästigend in den betroffenen Nachbargebäuden auswirken. Die Ermittlung und Beurteilung von baubedingten Lärmimmissionen erfolgt nach der AVV Baulärm in der Fassung vom 19. August 1970 (Beil. zum BAnz. Nr. 160). In Ziffer 6.3.1 der AVV Baulärm ist der Ort der Messung und Beurteilung des Baulärms für die Einwirkung auf ein zum Aufenthalt von Menschen bestimmtes Gebäude 0,5 m vor dem geöffneten Fenster, das vom Geräusch am stärksten betroffen ist. Insofern existieren von Seiten des Gesetzgebers keine Regelungen, welche baubedingten Innenpegel in der Nachbarschaft noch zu tolerieren sind. In der Praxis finden in diesem Fall häufig die oberen Anhaltswerte aus Tabelle 6 der VDI 2719 [7] Anwendung.

Auch durch die betriebsbedingten Erschütterungen kann es in der Nachbarschaft von Schienenwegen zu sekundärem Luftschall kommen. Ebenso wie bei baubedingtem Sekundärluftschall existiert derzeit keine

Rechtsgrundlage zur Beurteilung von Sekundärluftschall aus betriebsbedingten Erschütterungen. Im Rahmen von Planverfahren mit an Wohnbebauung heranrückenden Schienenwegen kommen in der Praxis bis zur Festlegung gesetzlich verbindlicher Grenzwerte als Zumutbarkeitsschwellen für die Beurteilung des sekundären Luftschalls die aus den Vorgaben der 24. BImSchV [8] ableitbaren Richtwerte in Betracht, da sie ein für die Beurteilung von Verkehrslärm im Innenräumen geschaffenes Regelwerk sind.

Die Baumaßnahmen der 6. PÄ befinden sich in innerstädtischer Lage, umringt von Gebäuden mit schutzbedürftigen Nutzungen. Angrenzende Bebauungspläne sowie der Flächennutzungsplan der LHM weisen in der Nachbarschaft Kerngebiete bzw. Gemeinbedarfsflächen aus.

3. Grundlagenverzeichnis

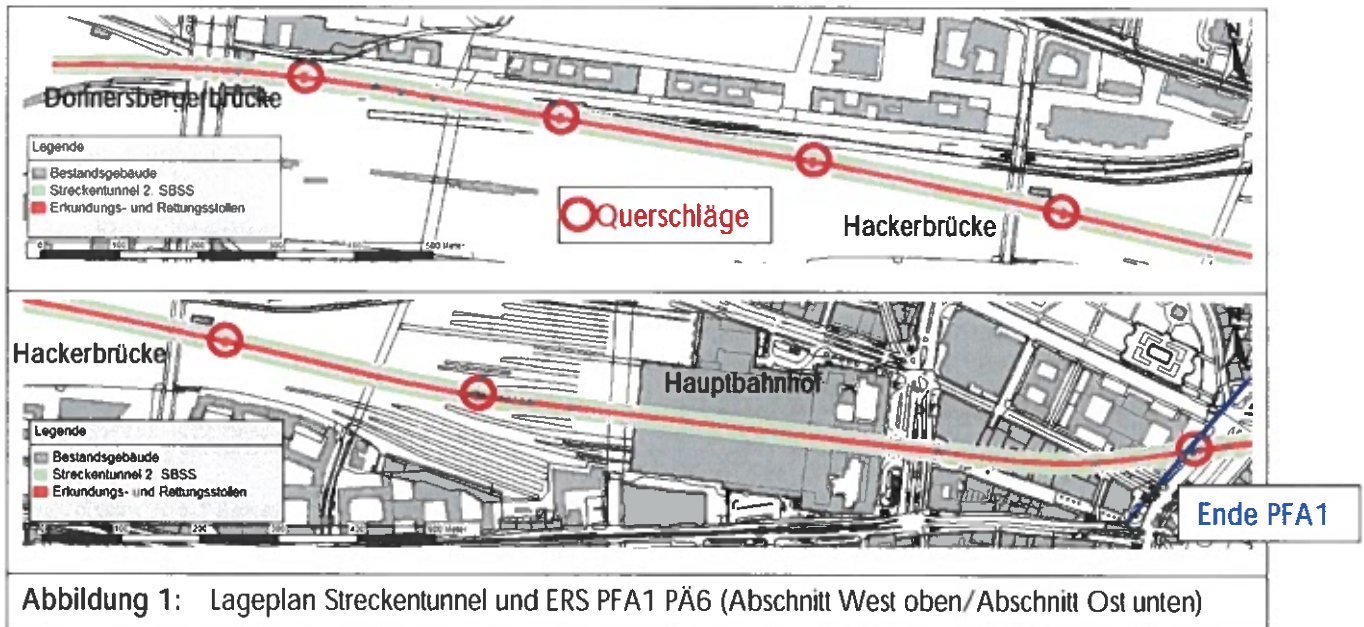
- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), in der aktuellen Fassung
- [2] Planfeststellungsbeschluss gemäß § 18 AEG für das Vorhaben Neubau einer 2. S-Bahn-Stammstrecke München, Planfeststellungsabschnitt (PFA) 1, München West, Bereich Laim bis Karlsplatz mit Haltepunkt Hauptbahnhof, Eisenbahn-Bundesamt, Az.: 61134-611pps/001-2300#003, 09.06.2015
- [3] DIN 4150-1, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- [4] DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [5] DIN 4150-3, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Dezember 2016
- [6] LAI-Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), 06.03.2018
- [7] VDI 2719 „Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen“, August 1987
- [8] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV); vom 4. Februar 1997 (BGBl. I. S. 172, 1253), die durch Artikel 3 der Verordnung vom 23. September 1997 (BGBl. I S. 2329) geändert worden ist
- [9] Unterlage zur 6. Planänderung, Teilentwurfsheft 020, Übersichtshöhenplan, Gleis 100 (ML-MLEU) Bau-km 103,2+17 – 108,0+76 und Gleis 200 (MLEU-ML) Bau-km 203,2+16 – 208,0+95, DB Netz AG, 11.2005, letzte Änderung 28.03.2019

- [10] Unterlage zur 6. Planänderung, Planfeststellung PFA 1 Lagepläne Bau-km 103,0+21 – 105,9+96
- [11] 2. S-Bahn-Stammstrecke München, Anlage 20.1 A, Planfeststellung Erläuterungsbericht (nachrichtlich) Erschütterungstechnische Untersuchung Planfeststellungsabschnitt 1, DB Netz AG, 30.07.2012
- [12] Informationen zur Geschwindigkeitserhöhung 6. Planänderung im PFA 1, Vössing Ingenieurgesellschaft mbH, E-Mail vom 21.05.2019
- [13] DB Richtlinie 820.2050 und Anhänge 820.2050A01 bis 820.2050A06, Bautechnik, Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik, Erschütterungen und sekundärer Luftschall, gültig ab 15.09.2017

4. Erschütterungsimmissionen und Beurteilung

4.1. Baubedingte Erschütterungen

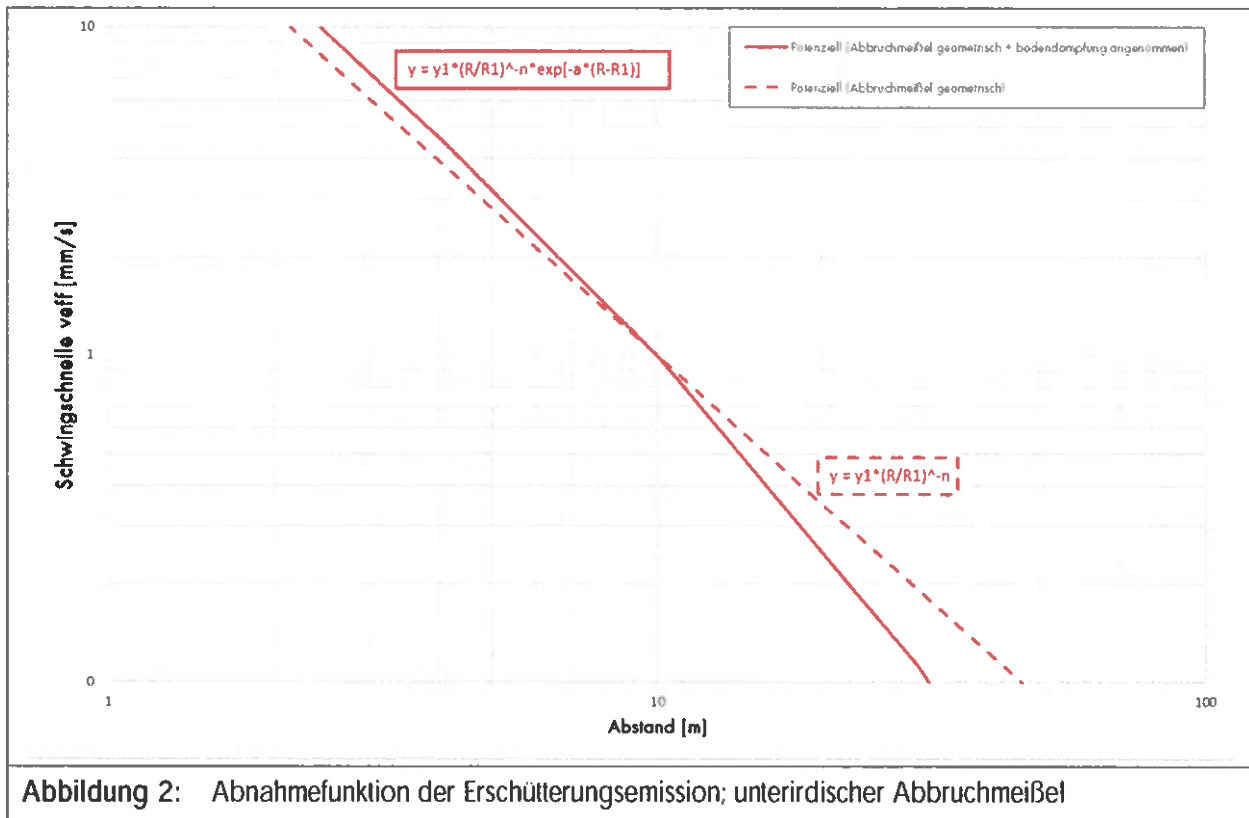
Die Prognose von baubedingten Erschütterungsimmissionen im innerstädtischen Bereich ist mit Unsicherheiten behaftet, da die Emission der Baumaschinen und -verfahren, die Übertragung im befestigten Untergrund und die Empfängerstruktur (bauwerksdynamische Eigenschaften) nicht abschließend bekannt sind. Bei der gegenständlichen Baumaßnahme der 6. PÄ handelt es sich im Wesentlichen um den Neubau eines Erkundungs- und Rettungstollens (ERS) zwischen den geplanten Tunnelröhren der neuen Trasse der 2. S-Bahn-Stammstrecke München (siehe Abbildung 1). Der Bau des ERS ist wie der Bau der Streckentunnel in bergmännischer Bauweise geplant. Zusätzlich sollen der ERS sowie die Streckentunnel durch Querschläge etwa alle 330 m verbunden werden. In nachfolgender Abbildung ist der Verlauf der zwei Streckentunnel der 2. S-Bahn-Stammstrecke München sowie des ERS dargestellt.



Aus dem Tunnelbau sind aufgrund des geringeren Durchmessers des ERS und der Mittellage zwischen den Streckentunneln keine höheren Belastungen für die Nachbarschaft zu erwarten, als bereits durch den Bau der Streckentunnel. Die Anforderungen der DIN 4150-2 werden demnach im Zuge des Tunnelbaus des ERS eingehalten (vgl. Kapitel 7 Anlage 20.1 A [11]). Eine wesentliche Verlängerung der Dauer der Erschütterungseinwirkungen im Sinne der Nr. 6.5.4.2 der DIN 4150-2 bzw. den LAI-Hinweisen [6] ist im vorliegenden Fall aufgrund der Herstellung des ERS mit Tunnelvortriebsmaschine nicht zu erwarten.

Durch den Bau des ERS sind aufgrund der geplanten Querschläge zusätzliche Erschütterungsimmissionen zu prüfen. Der ERS wird aus Gründen der Standsicherheit während der Herstellung im Bereich der zu öffnenden Abschnitte mit Magerbeton gefüllt. Nach Einbringen der Querschläge wird der Magerbeton mit einem Abbruchmeißel entfernt. Deshalb wurden die unterirdisch stattfindenden Erschütterungsemissionen durch den Einsatz des Abbruchmeißels prognostiziert und beurteilt.

Die Ausbreitung der Erschütterungen durch den unterirdischen Betrieb des Abbruchmeißels zur Entfernung des Magerbetons wurde anhand der Zusammenhänge der DIN 4150-1 [3] unter Annahme einer Punktquelle mit impulsförmiger Anregung sowie einer Raumwelle ermittelt. Es wurde dabei zwischen rein geometrischer sowie geometrischer und zusätzlicher bodenspezifischer Abnahme im Erdreich unterschieden. Nachfolgende Abbildung zeigt die damit ermittelte Abnahmefunktion im Erdreich während der unterirdischen Abbrucharbeiten zur Herstellung der Querschläge.



Es zeigt sich, dass in einem Abstand ab 25 m zum Arbeitsbereich der Querschläge die Erschütterungsimmissionen im Erdreich vor dem Gebäude unterhalb von 0,1 mm/s (Fühlbarkeitsschwelle) liegen.

Der kürzeste horizontale Abstand von bestehenden, schutzbedürftigen Baukörpern (MK 2 des Bebauungsplans Nr. 1873 der LHM) zu den geplanten Querschlägen beträgt ca. 35 m (Bereich Donnersbergerbrücke nördlich des ERS vgl. [10]). Nachfolgende Abbildung stellt den Bereich des kürzesten horizontalen Abstandes zur 2. S-Bahn-Stammstrecke München dar.

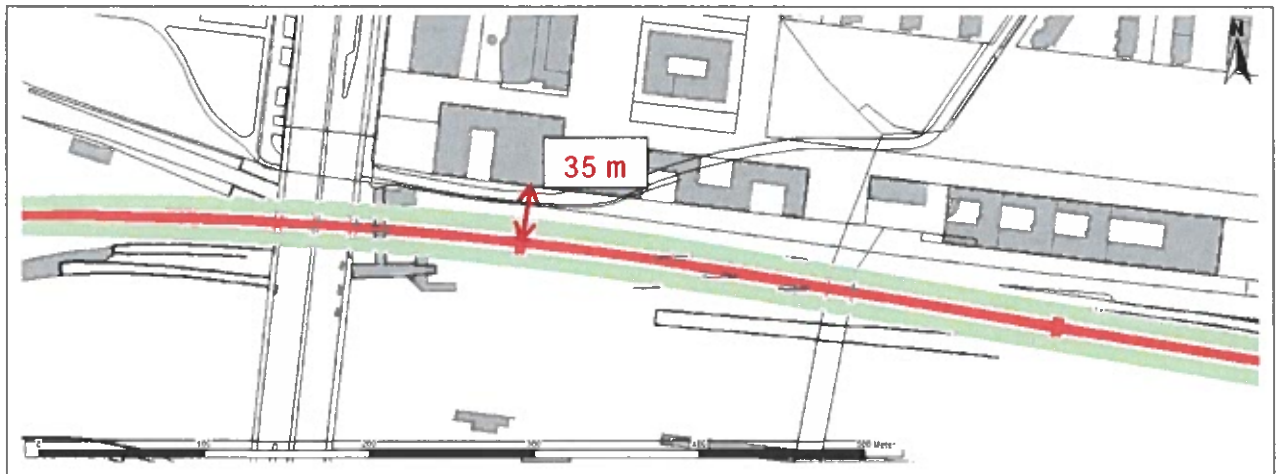


Abbildung 3: Ausschnitt kürzester horizontaler Abstand Bebauung und Querschlag

In diesem Bereich beträgt die minimale Überdeckung zwischen Oberkante ERS und Geländeoberkante ca. 21 m (vgl. [9]). Aus der Geometrie ergibt sich ein Abstand von mindestens 41 m zur nächstgelegenen Nutzung, den die Raumwelle während der Erschütterungsausbreitung zurücklegen muss. Unter Berücksichtigung einer typischen Fundamentbedämpfung für gewerblichen Geschossbau sowie einer Deckenüberhöhung auf die oberste Geschossdecke treten während der Baumaßnahme Erschütterungsimmissionen $< 0,1$ mm/s auf. Relevante Erschütterungsimmissionen können somit und vor dem Hintergrund einer vorherrschenden Vorbelastungssituation aus dem Schienenverkehr ausgeschlossen werden. Die Anforderungen der DIN 4150-2 und DIN 4150-3 werden eingehalten. Zudem ist anzunehmen, dass durch den Entfall der Rettungsschächte 2 und 4 tendenziell mit geringeren Belastungen durch Bauerschütterungen zu rechnen ist.

Fazit:

Die bisher geplanten Auflagen aus der Planfeststellung zum Erschütterungsschutz (insbesondere Benennung eines Immissionsschutzbeauftragten, Überwachungsmessungen etc.) sind geeignet, um auch bei etwaigen Unvorhersehbarkeiten den Belangen des Erschütterungsimmissionsschutzes Rechnung zu tragen. Insofern bestehen aus Sicht des Schutzes vor baubedingten Erschütterungen gegen die 6. PÄ keine Bedenken.

4.2. Betriebsbedingte Erschütterungen

Auch die Prognose von betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen ist mit Unsicherheiten behaftet, da die Emissionen aus Zugvorbeifahrten, die Übertragungseigenschaften des Untergrundes und die bauwerksdynamischen Eigenschaften der Empfängergebäude nicht abschließend bekannt sind.

Bei der gegenständlichen Baumaßnahme der 6. PÄ handelt es sich im Wesentlichen um eine Verschiebung der Gleisachsen im Bereich der Station Hauptbahnhof um ca. 90 cm in Richtung Norden und eine Anpassung der vor- und nachgeordneten Bögen, wodurch eine Erhöhung der Entwurfsgeschwindigkeit ermöglicht wird.

Mit der Verlegung der Gleisachsen in Richtung Norden werden die künftigen Quellen für betriebsbedingte Erschütterungen (Zugverkehre) lediglich in der horizontalen xy-Ebene verschoben. Eine Änderung der Tieflage (z-Ebene) des Tunnelbauwerkes ist nicht vorgesehen, sodass die Verlegung lediglich eine Verschiebung auf horizontaler Ebene im Erdreich betrifft. Im vorliegenden Fall werden die Gleisachsen ca. 90 cm in Richtung Norden verschoben und rücken damit von der Bebauung an der Bayerstraße, dem Bahnhofplatz bzw. der südlichen Schützenstraße ab. Da sich die Tieflage des Bauwerks nicht verändert, bleibt die Gradienten der Strecke gleich.

Gemäß Kapitel 5 S. 15 Tabelle 4 der bisherigen Planfeststellung [11] wurde zur Prognose der betriebsbedingten Erschütterungen mit den nachfolgend dargestellten Entwurfsgeschwindigkeiten gerechnet. In nachfolgender Tabelle sind zusätzlich die im Zuge der gegenständlichen Planänderung geänderten Entwurfsgeschwindigkeiten dargestellt (vgl. [12]).

Tabelle 1: Gegenüberstellung Abschnitte und Geschwindigkeiten aus Anlage 20.1 A Planfeststellung PFA 1 [11] und 6. Planänderung PFA 1 [12]

Abschnitt	Bau-km von -bis	Streckenführung	Entwurfs- geschwindigkeit Planfeststellung v_{er} km/h	Entwurfs- geschwindigkeit Änderung v_{er} km/h
1	100,6+00 – 103,0+00	Laim – Beginn Trogbauwerk (Freie Strecke)	120	--
2	103,0+00 – 103,2+80	Trogbauwerk	120	--
3	103,2+80 – 103,4+75	Tunnelportal - Beginn Kreisquerschnitt-Tunnel	120	--
4	103,4+75 – 105,2+50	Beginn Kreisquerschnitt-Tunnel – Hauptbahnhof	120	--
5	105,2+50 – 105,7+14	Hauptbahnhof – Schützenstraße	120	--
6	105,7+14 – 105,9+96	Schützenstraße – Beginn PFA 2	80	100

In den Abschnitten 1 bis 5 ist die Prognose zur bisherigen Planfeststellung noch gültig. Die planfestgestellten Erschütterungen werden in diesem Bereich nicht durch die neue Entwurfsgeschwindigkeit erhöht, weil hier schon mit einer höheren Entwurfsgeschwindigkeit prognostiziert wurde. Im Bereich von Haltestellen werden betriebsbedingte Erschütterungen durch die Entwurfsgeschwindigkeit auf freier Strecke abgebildet, sodass die planfestgestellten Erschütterungen im Bereich der Haltestelle Hauptbahnhof auf der sicheren Seite liegend ermittelt wurden.

In Abschnitt 6 wird die Entwurfsgeschwindigkeit von 80 km/h auf 100 km/h erhöht, sodass in diesem Abschnitt mit erhöhten Erschütterungsemissionen zu rechnen ist. Die Erhöhung der Erschütterungsemissionen (im Folgenden als Erschütterungs-Emissionspegel L_E in dB i.S. der DB Ril 820.2050 [13] betrachtet) wird über die sog. Geschwindigkeitskorrektur abgeschätzt. Es gilt nachfolgender Zusammenhang:

$$\Delta L_E = 20 * \log\left(\frac{v_{geändert}}{v_{ursprünglich}}\right) \text{ dB} = 20 * \log\left(\frac{100 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{80 \frac{\text{km}}{\text{h}}}\right) \text{ dB} = 1,94 \text{ dB}$$

Es zeigt sich, dass sich die Erschütterungsemissionen durch die geänderte Entwurfsgeschwindigkeit im Abschnitt 6 um bis zu 2 dB erhöhen. Dies entspricht einer Erhöhung der betriebsbedingten KB-Werte um 25 %. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Erdreichüberdeckung des Tunnelbauwerks und den Gebäude-Übertragungsfunktionen gem. Ril 820.2050 ergeben sich auch für die angepasste Entwurfsgeschwindigkeit von $v_e = 100$ km/h keine Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 4150-2 Tab. 1 für das innerstädtische Gebiet. Die bereits vorgeschlagenen Maßnahmen (messtechnische Überprüfung etwaiger Schutzsysteme nach Fertigstellung des Tunnel-Rohbaus vor Herstellung des Oberbaus) sind somit ausreichend.

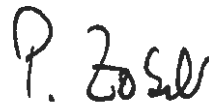
Fazit:

Im Bereich Bau-km 105,7+14 bis Bau-km 105,9+96 ist aufgrund der geänderten Geschwindigkeit mit einer geringfügigen Erhöhung der Erschütterungsemissionen von bis zu 2 dB zu rechnen. In diesem Streckenabschnitt werden auch unter Berücksichtigung der angepassten Entwurfsgeschwindigkeit die Anhaltswerte der DIN 4150-2 beim Betrieb eingehalten. Die bisher geplanten Maßnahmen zum Erschütterungsschutz (messtechnische Überprüfung etwaiger Schutzsysteme nach Fertigstellung des Tunnel-Rohbaus vor Herstellung des Oberbaus) sind weiterhin ausreichend. Insofern bestehen aus Sicht des Schutzes vor betriebsbedingten Erschütterungen gegen die 6. PÄ keine Bedenken.

Möhler + Partner
Ingenieure AG



Dipl.-Ing. (FH) C. Eulitz, M.Eng.



i. V. P. Zobel, M.Sc.