

**ABS/NBS Nürnberg-Erfurt
Ausbaustrecke Nürnberg-Ebensfeld**

Planfeststellung Abschnitt 18/19 Forchheim – Eggolsheim

**Streckennummer 5900
Strecke Nürnberg - Bamberg, km 32,402 – km 46,000**

Planänderung zum Planfeststellungsbeschluss

**Erläuterungsbericht zur
erschütterungstechnischen Untersuchung**



geändert:
DB ProjektBau GmbH
Regionalbereich Südost (I.BV-SO-G(5))

Nürnberg, den 26.06.2015

Nürnberg, den ~~26.06.2015~~ **13.10.2017**

DB ProjektBau GmbH
Regionalbereich Südost
Großprojekt VDE 8
Äußere-Cramer-Klett-Straße 3

90489 Nürnberg

Im Namen und für Rechnung
der Vorhabenträger

Bearbeitung:
DB ProjektBau GmbH
Pöyry Deutschland GmbH
Planungsbüro Laukhuf
Möhler + Partner Ingenieure AG
AQUASOIL Ingenieure & Geologen GmbH
Dr. Spang Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH

geändert:
DB E & C GmbH
Region Süd (I.TP-S-P-MÜ(V))

München, den 13.10.2017 I.A.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Hauel', is written over the date and initials in the previous block.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung.....	9
1.1 Vorbemerkung und Kurzbeschreibung des Projektes.....	9
1.2 Aufgabenstellung	10
1.3 Örtliche Gegebenheiten	12
2 Verwendete Unterlagen	15
3 Grundlagen.....	18
3.1 Was sind Erschütterungen und sekundärer Luftschall?.....	18
3.2 Wodurch entstehen Erschütterungen und sekundärer Luftschall?.....	18
3.3 Wie werden Erschütterungen und sekundärer Luftschall gemessen?.....	19
3.4 Wie werden Erschütterungen und sekundärer Luftschall ausgewertet?.....	20
3.5 Wie werden Erschütterungen beurteilt?.....	24
3.6 Wie wird sekundärer Luftschall beurteilt?	30
3.7 Zusammenfassendes Beurteilungsschema	34
3.8 Wie können die Immissionen vermindert werden?	35
4 Durchgeführte Schwingungsmessungen	40
4.1 Ausgewählte Gebäude	40
4.2 Messgeräte	41
4.3 Dokumentation der Messdaten.....	41
5 Ergebnisse der Prognose.....	42
5.1 Zugrundegelegtes Betriebsprogramm	42
5.2 Ergebnisse der untersuchten Gebäude.....	44
5.3 Ermittlung der Betroffenen	49
6 Berücksichtigung weitergehender erschütterungsmindernder Maßnahmen	51
6.1 Ergebnisse der Prognose mit weitergehenden erschütterungsmindernden Maßnahmen.....	51
6.2 Schutzkonzept und Kosten der grundsätzlich erforderlichen Schutzmaßnahmen.....	59
6.3 Schutzfall-bezogene Kostenabwägung.....	62
6.4 Schutzmaßnahmenkonzept mit Berücksichtigung der schutzfall-bezogenen Kostenabwägung.....	65
7 Zusammenfassung.....	68
8 Beilagen	70

Tabellenverzeichnis	Seite
Tab. 1: Zuordnung der Schwingstärke zur Wahrnehmung, VDI 2057 Blatt 3 (nur informativ)	25
Tab. 2: Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2 für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbaren Räumen (für Neubaustrecken ohne Vorbelastung)	26
Tab. 3: Korrektursummanden D gemäß 24. BImSchV (Ausgabe 1997)	32
Tab. 4: Erschütterungsreduzierende Maßnahmen und Kostenschätzung	37
Tab. 5: Einfügedämmwerte erschütterungsreduzierender Maßnahmen (Pegelminderung in dB)	38
Tab. 6: Übersicht der ausgewählten Messorte	41
Tab. 7: Übersicht des Betriebsprogramms im Prognose-Nullfall und Prognose-Fall im Streckenabschnitt Erlangen - Forchheim	42
Tab. 8: Übersicht des Betriebsprogramms im Prognose-Nullfall und Prognose-Fall im Streckenabschnitt Forchheim - Bamberg	43
Tab. 9: Übersicht Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen im PFA 18/19 ohne Baugrundverbesserung und ohne Einbau von hoch verdichteten Tragschichten ..	45
Tab. 10: Übersicht Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen im PFA 18/19 mit Baugrundverbesserung und Einbau von hoch verdichteten Tragschichten	48
Tab. 11: Übersicht mit Darstellung der spezifischen bzw. möglichen spezifischen Betroffenheiten	50
Tab. 12: Übersicht Erschütterungsimmissionen PFA 18/19 mit Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 1“	52
Tab. 13: Übersicht Erschütterungsimmissionen PFA 18/19 mit Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 2“	54
Tab. 14: Übersicht Erschütterungsimmissionen PFA 18/19 mit Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 3“	57
Tab. 15: Übersicht Erschütterungsimmissionen PFA 18/19 mit Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 4“	58
Tab. 16: Übersicht der grundsätzlich erforderlichen erschütterungsmindernden Maßnahmen im PFA 18/19	61

Tab. 17:	Darstellung der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für den Teilbereich 1	63
Tab. 18:	Darstellung der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für den Teilbereich 2	63
Tab. 19:	Darstellung der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für den Teilbereich 3	64
Tab. 20:	Darstellung der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für den Teilbereich 4	64
Tab. 21:	Darstellung der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für den Teilbereich 5	65
Tab. 22:	Übersicht der erschütterungsmindernden Maßnahmen im PFA 18/19 unter Berücksichtigung der schutzfallbezogenen Kostenabwägung.....	66
Tab. 23:	Übersicht der Gebäude mit verbleibenden spezifischen Betroffenheiten	66

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abb. 1:	Darstellung des PFA 18/19 Forchheim - Eggolsheim.....	11
Abb. 2:	Schematische Darstellung der drei Teilbereiche	18
Abb. 3:	Schematische Darstellung eines Messaufbaus	19
Abb. 4:	Flussdiagramm zur Beurteilung der Erschütterungen und des Sekundärschalls..	34

Abkürzungsverzeichnis

A

A :	äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m ²
A, A _u , A _r , A _o	Anhaltswert nach DIN 4150-2
ABS	Ausbaustrecke

B

BauNVO	Baunutzungsverordnung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
16. BImSchV	16. Bundes-Immissionsschutzverordnung
24. BImSchV	24. Bundes-Immissionsschutzverordnung

C

c _m	Faktor zur Ermittlung des KB _{Fmax} – Wertes aus dem KB _{FTm} - Wert
----------------	--

D

D	Korrektursummand in dB (zur Berücksichtigung der Raumnutzung)
dB	Dezibel (Schwingschnellepegel in dB re5E-8 m/s)
dB (A)	Dezibel (A bewerteter Schallpegel)
DB AG	Deutsche Bahn AG
DG	Dachgeschoss
dL	Weichenkorrekturspektrum

E

E	Korrektursummand in dB (der sich aus dem Spektrum des Außengeräusches und der Frequenzabhängigkeit der Schalldämmmaße von Fenstern ergibt)
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EG	Erdgeschoss
EÜ	Eisenbahnüberführung

F

f	Frequenz
f ₀	Grenzfrequenz des Hochpasses (5,6 Hz)
f ₀	Abstimmfrequenz der jeweiligen Schutzmaßnahme
FSS	Frostschuttschicht
FNP	Flächennutzungsplan

G

g	Erdbeschleunigung (g = 9,81 m/s ²)
G	Gewerbliche Nutzung (Nutzungsart) gemäß Flächennutzungsplan
GE	Gewerbegebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
GOK	Geländeoberkante
GZ	Güterzug

H

Hbf	Hauptbahnhof
Hp	Haltepunkt
Hz	Hertz (Einheit der Frequenz)

I

ICE	InterCityExpress
IOE	Messort für Erschütterungen

K

KB _F (t)	bewertete Schwingstärke
KB _{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke
KB _{FTm}	Taktmaximal-Effektivwert
KB _{FTr}	Beurteilungs-Schwingstärke
KG	Kellergeschoss
km	Kilometer

L

l	Länge der Züge
lg	Dekadischer Logarithmus (Basis 10)
$L_E(f)$	Terzschnellespektrum der Erschütterungen am Emissionsort
$L_{i,Tag}$	Innengeräuschpegel Tag
$L_{i,Nacht}$	Innengeräuschpegel Nacht
$L_{r,N}$	Beurteilungspegel für die Nacht in dB(A)
$L_{v-Raum}(f)$	Terzschnellespektrum am betrachteten Immissionsort
$\Delta L_B(f)$	baugrund- und abstandsbedingte Erschütterungsabnahme (Transmissionsweg)
$\Delta L_G(f)$	Gebäudespezifische Übertragungsfunktion am Immissionsort
$\Delta L_M(f)$	Summe der Einfügedämmung schwingungsmindernder Maßnahmen

M

M	Maßstab
M	Mischnutzung (Nutzungsart) gemäß Flächennutzungsplan
MFS	Masse-Feder-System
MD	Dorfgebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
MI	Mischgebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
MK	Kerngebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
MP	Messpunkt

N**O**

OG	Obergeschoss
----	--------------

P

PA	Planungsabschnitt
PFA	Planfeststellungsabschnitt
PSS	Planumsschutzschicht

R

$R'_{w, res}$	bewertetes Schalldämm-Maß
RB	RegionalBahn
RE	RegionalExpress

S

s	Abstand
S_g :	vom Raum aus gesehene Gesamtaußenfläche in m^2
SO	Schienenoberkante
SGV	Schienengüterverkehr
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr

T

U

UG	Untergeschoss
USM	Unterschottermatte

V

v	Zuggeschwindigkeit gemäß Betriebsprogramm
v_0	arithmetisch mittlere gemessene Zuggeschwindigkeit
VDI	Verein deutscher Ingenieure
v_{max}	Maximale Geschwindigkeit
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz

W

W	Wohnnutzung (Nutzungsart) gemäß Flächennutzungsplan
WA	Allgemeines Wohngebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
WR	Reines Wohngebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan

Z

1 Einleitung

1.1 Vorbemerkung und Kurzbeschreibung des Projektes

Für die Maßnahme Ausbaustrecke/Neubaustrecke Nürnberg - Ebensfeld - Erfurt wurde am 26.07.1996 durch die Planungsgesellschaft Deutsche Einheit (PBDE) in dem Planfeststellungsabschnitt 18/19 zwischen km 32,402 und km 46,000 das Planfeststellungsverfahren eingeleitet.

Nach ortsüblicher Bekanntmachung wurden die Planunterlagen im Zeitraum vom 10.09.1996 – 10.10.1996 zur öffentlichen Einsichtnahme ausgelegt. Die im Rahmen des Anhörungsverfahrens fristgerecht eingegangenen Stellungnahmen und Einwendungen wurden in dem durch die Anhörungsbehörde in der Zeit vom 25.11.1996 – 27.11.1996 durchgeführten Erörterungstermin behandelt. Das Planvorhaben im PFA 18/19 der Ausbaustrecke wurde nach Abschluss des Anhörungsverfahrens bis auf die Realisierung von Einzelmaßnahmen gestoppt. Ein Planfeststellungsbeschluss für den Streckenausbau im PFA 18/19 wurde nicht erlassen.

Im Jahr 2011 wurde die Streckenausbauplanung wieder aufgenommen. Mit dem 1. Planänderungsverfahren wird das Verfahren zur Planfeststellung des Planvorhabens im PFA 18/19 fortgeführt. Mit der vorliegenden erschütterungstechnischen Unterlage wurde die Planung an die zwischenzeitlich veränderten Randbedingungen hinsichtlich

- veränderter gesetzlicher Randbedingungen und technischer Normen,
- veränderter Aufgabenstellungen
- Veränderung des Zugprogramms und der zugehörigen Erschütterungsemissionen sowie
- veränderter Bestandssituation

angepasst.

Um die Übersichtlichkeit der Unterlagen für die Betroffenen zu wahren und den Verfahrensablauf nachvollziehbar zu gestalten, wird für das 1. Planänderungsverfahren eine vollständig neue Planunterlage aufgestellt. Das Vorhaben ist weiterhin Bestandteil des Bundesverkehrswegeplans (aktuelle Fassung von 2003). Die Planrechtfertigung ist aufgrund der Ausweisung als vordringlicher Bedarf weiterhin gegeben.

Der untersuchte Planfeststellungsabschnitt 18/19 befindet sich bezogen auf die Bestandsstrecke 5900 nördlich von Erlangen und südlich von Bamberg zwischen dem km 32,402 und km 46,000 der derzeitig zweigleisigen elektrifizierten Hauptstrecke Nürnberg – Bamberg (5900). Beim Streckenausbau werden an die bestehende Strecke zwei neue durchgehende Gleise angebaut. Im Wirkungsbereich (im Sinne des BImSchG) der Ausbaustrecke befinden sich die Stadt Forchheim sowie die Gemeinden Kersbach, Markt Eggolsheim und Neuses a. d. Regnitz.

Die Gleise des Streckenausbaus erhalten die Bezeichnung 5919 und verlaufen von Beginn des Planungsabschnitts (km 32,402) bis Ende des Planungsabschnitts (km 46,000) jeweils westlich und östlich der Bestandsstrecke 5900.

Die Trasse liegt auf der gesamten Länge überwiegend in Geländegleiche, lokal auch in Einschnitt- bzw. Dammlage. Als Oberbau kommt ein Schotterbett mit Betonschwellen zum Einsatz.

Zur räumlichen Einordnung von Bauwerken und Gebäuden in den Planungskorridor wird die Bahn-Kilometrierung der Bestandsachse der Strecke 5900 verwendet.

Der Beschluss gem. § 18 AEG für das Vorhaben wurde am 22.01.2016 erlassen. Gemäß Verlangen der BEG soll im Bereich Forchheim Nord ein neuer S-Bahnhaltepunkt entstehen. Die vorliegende Planänderung berücksichtigt die vorgesehenen Maßnahmen zur Herstellung des Haltepunktes.

1.2 Aufgabenstellung

Gegenstand des vorliegenden Berichtes sind die erschütterungstechnischen Detailuntersuchungen im Planfeststellungsabschnitt 18/19 Forchheim - Eggolsheim.

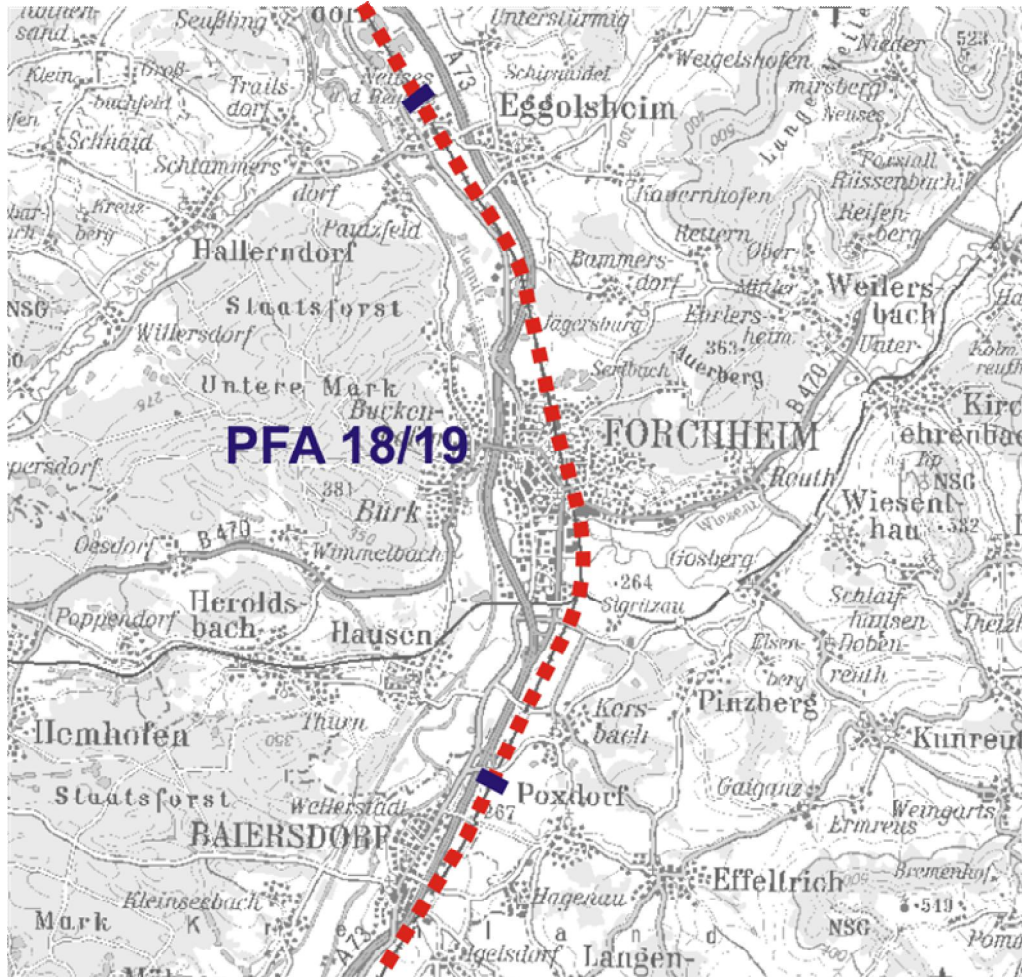


Abb. 1: Darstellung des PFA 18/19 Forchheim - Eggolsheim

Zu der erschütterungstechnischen Detailuntersuchung zählen:

- die Beweissicherungsmessungen in Gebäuden,
- die Ausbreitungsmessungen,
- die Erschütterungsprognose,
- die Prognose für den sekundären Luftschall,
- die Ausarbeitung von Erschütterungsschutzkonzepten,
- die Durchführung einer schutzfall-bezogenen Kostenabwägung.

Ziel dieser Untersuchung ist es, die Auswirkungen des Bauvorhabens auf die vom geänderten Betrieb des Schienenverkehrswegs ausgehenden Erschütterungsimmersionen zu untersuchen, zu beurteilen und ggf. durch geeignete Maßnahmen auf ein zumutbares Maß zu begrenzen. Dies erfolgt dadurch, dass die Erschütterungssituation von kritischen Gebäuden in derzeitiger und zukünftiger Gleislage auf Grundlage der ortsspezifischen Messdaten ermittelt bzw. prognostiziert wird. Gegebenenfalls sind zur Einhaltung von Beurteilungskriterien geeignete Maßnahmen vorzuschlagen.

Gegenüber der vorhandenen Strecke sind aus erschütterungstechnischer Sicht im Wesentlichen die folgenden Änderungen relevant:

- die zusätzlichen Gleise,
- die geänderte Trassierung,
- Geschwindigkeitsanpassungen
- sowie das geänderte Betriebsprogramm.

Die Linienführung der Ausbaustrecke orientiert sich im Wesentlichen an der Lage der Bestandsstrecke 5900 Nürnberg - Bamberg und an den räumlichen Zwangspunkten, die sich aus der teilweise dichten Bebauung – insbesondere bei der Durchfahrung der Stadt Forchheim bzw. dem Markt Eggolsheim – sowie kreuzenden und parallel verlaufenden Verkehrswegen ergeben.

1.3 Örtliche Gegebenheiten

Der untersuchte Planfeststellungsabschnitt PFA 18/19 befindet sich nördlich von Erlangen und südlich von Bamberg und umfasst die km 32,402 bis 46,000. Im Wirkungsbereich (im Sinne des BImSchG) der Ausbaustrecke befinden sich die Stadt Forchheim und die Gemeinden Kersbach, Markt Eggolsheim bzw. Neuses a. d. Regnitz.

Der Streckenverlauf ist zukünftig durchgehend viergleisig geplant. Im Bereich des Bahnhofs Forchheim (Oberfr.) sind bis zu acht Gleisen vorgesehen. Das an die Ausbaustrecke angrenzende unmittelbare Gelände ist überwiegend eben.

Wohnbebauung ist in den Gemeinden sowie insbesondere auch in der Stadt Forchheim i. d. R. beidseitig der Trasse vorhanden. Im Bereich von Kersbach ist geschlossene Wohnbebauung nur östlich der Trasse vorhanden.

Die Schutzbedürftigkeit der Bebauung wurde aus vorhandenen rechtskräftigen Bebauungsplänen [21] übernommen. Wenn keine Bebauungspläne vorhanden waren, wurde die Schutzbedürftigkeit der betroffenen Gebiete unter Berücksichtigung des rechtskräftigen Flächennutzungsplans anhand der tatsächlichen Nutzung eingestuft. Die Einstufung wurde im Rahmen von Ortsbesichtigungen vorgenommen.

Die Schutzbedürftigkeit ist dabei größtenteils als Wohn- und Mischgebiet (bzw. Außenbereich) ausgewiesen. Im Bereich der Stadt Forchheim befinden sich westlich und östlich der Bahntrasse auch große Anteile an gewerblich genutzten Flächen. Im nördlichen Stadtgebiet befindet sich zudem westlich der Trasse eine Gemeinbedarfsfläche (Adalbert-Stifter-Volksschule und Georg-Hartmann-Realschule). Im Bereich der Marktgemeinde Eggolsheim befindet sich westlich der Trasse ebenfalls eine gewerblich genutzte Fläche. Die Schutzbedürftigkeit der Bebauung nach BauNVO kann im Einzelnen den Lageplänen zum Erschütterungsschutz (Anlage 13.3, Beilage 2) entnommen werden.

Der Untergrund ist der geologischen Raumeinheit Albrand Nord zwischen der Westgrenze der nördlichen Frankenalb und der Ostgrenze zur Sandsteinkeuper-Region (Fränkisches Schichtstufenland) zuzuordnen. Die Oberflächenverhältnisse im Bereich der bestehenden bzw. der geplanten Bahntrasse sind im vorliegenden Planungsabschnitt überwiegend quartär, hier größtenteils fluviatil bzw. alluviatil, gebietsweise auch äolisch sedimentär geprägt. Unterlagert werden die quartären Überdeckungen im Bereich Forchheim von mächtigen Gesteinsfolgen des mittleren Keupers, hangend den Feuerletten (kmF), roten bis rötlichvioletten Ton/Schluff- bzw. Ton/Schluffmergelsteinen, teilweise mit dolomitischen und sandigen Einschaltungen. Selbige Schichten dienen mitunter als Sohle für regional bedeutende Grundwasserstockwerke.

Im Bereich südlich des Bahnhofs Forchheim (Oberfr.) werden die Keuperschichten überwiegend von jungpleistozäner fluviatiler Auelehmsedimentation, teilweise auch von Niederterrassensanden der ehemals mäandrierenden Regnitz und ihren Zuläufen, im Bereich nördlich des Bahnhofs überwiegend von Gehängeschutt aus Liasmaterial der angrenzenden fränkischen Alb geringmächtig überdeckt.

Für den Bereich um Eggolsheim / Neuses a.d. Regnitz ergibt sich ein ähnliches Bild. Flächig dominierend sind hier allerdings Bereiche der Niederterrassen- bzw. Aulehmsedimentation im Regnitztal.

Zum Ausgleich von Höhendifferenzen beim Bau der bestehenden Trasse wurden zudem vereinzelt anthropogene Auffüllungen geschaffen.

Aufgrund der hohen Anforderungen an die Setzungen und Setzungsdifferenzen der Erd- und Kunstbauwerke (insbesondere an Übergangsbereichen) wird neben dem Regelaufbau nach Ril 836.0501 [23] die Eigensteifigkeit des Unterbaus durch eine zusätzliche Baugrundverbesserung erhöht [24]. Der geplante Gleisaufbau wird demzufolge auch Auswirkungen auf die zukünftige Immissionssituation durch Erschütterungen und Sekundärluftschall haben.

Die Neuplanung eines Mittelbahnsteiges beginnt bei km 40,102 mit einer Regellänge von 140 m für den S-Bahnverkehr. Der geplante Bahnsteig ist mit einer geplanten barrierefrei ausgebildeten Rampe mit dem Ersatzneubau der EBR Geh- und Radweg Herderstraße verbunden. Hierfür wurden die zwei westlichen Gleise verzogen und die geplante Lage der Stütz- und Lärmschutzwände an der Jean-Paul-Straße sowie im Bereich der Realschule angepasst.

2 **Verwendete Unterlagen**

Die Begutachtung der Erschütterungsimmissionen erfolgt unter Verwendung folgender Unterlagen:

- [1] ABS Nürnberg – Ebensfeld, PFA 18 Forchheim Eggolsheim, km 32,402 - 46,000, Anlage 13.1: Schall- und erschütterungstechnische Untersuchung, igi Niedermeyer Institute, Westheim, Mai 1998

- [2] Planung VDE 8.1 ABS Nürnberg – Ebensfeld, PFA 18/19 / Forchheim - Eggolsheim, Planverfasser: Pöyry Deutschlang GmbH: Stand: 06/2015 **bzw. Planänderung zum Hp Forchheim Nord, Planverfasser: DB E+C, Stand: 10/2017**

- [3] DIN 4150 Teil 2: Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999

- [4] Erschütterungen und sekundärer Luftschall. DB AG-Richtlinien ~~800.2501 bis 800.2504, Entwurf vom 10.12.2009~~ **820.2050, Gültig ab 15.09.2017**

- [5] Urteil des Bayerischen Verwaltungsgerichtshofes 20 A 93 40080 vom 21.02.1995

- [6] Urteil des BVerwG 7 A 14.09, 7. Senat, vom 21.10.2010

- [7] Said et al.: „Zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen aus Schienenverkehr“, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 48 (2001) Nr. 6, November 2001

- [8] VDI-Richtlinie 2057, Blatt 3, „Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen“ 05/1987, zurückgezogen 09/2002

- [9] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16.BImSchV), vom Juni 1990

- [10] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 24. BImSchV); Ausfertigungsdatum: 04.02.1997

- [11] VDI-Richtlinie 3837:Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen – Spektrales Prognoseverfahren, NALS/VDI C 15 „Schwingungsminderung in der Umgebung von Schienenverkehrserschütterungen“ . Ausgabedatum: 03/2006

- [12] DIN 45669: Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1, Schwingungsmesser; Anforderungen und Prüfungen, Sept. 2008

- [13] DIN 45669: Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2, Messverfahren, Juni 2005
- [14] Erschütterungsreduzierende Maßnahmen und Kostenschätzung, Deutsche Bahn AG, Akustik und Erschütterungen (VTZ 112), 16. Juli 2009
- [15] Einfügungsdämmung von Schutzmaßnahmen, Deutsche Bahn AG, Akustik und Erschütterungen (VTZ 112), 10. Juli 2009
- [16] Betriebsprogramm Zugzahlen für den Planungsabschnitt 18, DB Netz AG, Stand: 11.03.2012
- [17] VDE 8 ABS/NBS Nürnberg – Ebensfeld – Erfurt, Betriebliche Aufgabenstellung für den viergleisigen Endzustand im Streckenabschnitt Erlangen (Nordkopf) – Forchheim, DB Netz AG, Stand: 18.05.2010
- [18] VDE 8, ABS/NBS Nürnberg – Ebensfeld – Erfurt: Betriebliche Aufgabenstellung für den viergleisigen Endzustand im Streckenabschnitt Forchheim (a) – Bamberg (a), DB Netz AG, Stand: 11.10.2010
- [19] VDE 8.1 ABS Nürnberg –Ebensfeld, PFA 18 Forchheim: Betriebsprogramm für den IST-Zustand (Prognose-Nullfall), Schreiben der DB ProjektBau GmbH vom 06.11.2012
- [20] Bundeshaushaltsordnung vom 19. August 1969, zuletzt geändert am 9. Dezember 2010, Bundesministerium der Justiz
- [21] Rechtskräftige Flächennutzungs- und Bebauungspläne der Stadt Forchheim sowie der Gemeinden Eggolsheim und Neuses a. d. Regnitz
- [22] Taschenbuch der Technischen Akustik, 3., erweiterte und überarbeitete Auflage, G. Müller et. al., Springer Berlin 2004
- [23] Ril 836, Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instandhalten, DB AG, 1. Aktualisierung 01.10.2008
- [24] VDE 8.1, ABS Nürnberg – Ebensfeld, Planungsabschnitt 18, km 32,402 – km 46,013, Aussagen zu den geplanten Unterbaumaßnahmen, Pöryr Deutschland GmbH, Stand: 20.06.2012

- [25] Ril 820, Grundlagen des Oberbaus, 820.2010: Ausrüstungsstandard Schotteroberbau für Gleise und Weichen, DB AG
- [26] Besprechungsnotiz mit Vertretern der DB Systemtechnik und DB Netz AG bei Möhler + Partner Ingenieure AG, München, März 2011
- [27] Verfügung zum Umgang mit betriebsbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall in der Planfeststellung, Eisenbahn-Bundesamt Zentrale, 30.01.2017

3 Grundlagen

3.1 Was sind Erschütterungen und sekundärer Luftschall?

Erschütterungsimmissionen bestehen aus - fühlbaren - mechanischen Schwingungen (Vibrationen, Erschütterungen) und - hörbarem - sekundärem Luftschall, der durch die Schallabstrahlung schwingender Raumbegrenzungsflächen entsteht. Die physikalische Größe, die zur Beschreibung der Erschütterungseinwirkungen überwiegend verwendet wird, ist die Schwinggeschwindigkeit (oder Körperschall-Schnelle), die i. d. R. als Pegel (Einheit: 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.

3.2 Wodurch entstehen Erschütterungen und sekundärer Luftschall?

Bei einer Zugvorbeifahrt entstehen dynamische Kräfte, die über das Gleis auf den Untergrund einwirken. Hiervon gehen Erschütterungen aus, die sich über den Baugrund ausbreiten und sich mit zunehmendem Abstand vermindern. Benachbarte Bauwerke werden von den Erschütterungen am Fundament erfasst und zu Schwingungen angeregt, die sich innerhalb der Gebäude aufgrund der Gebäudeeigendynamik verstärken oder abschwächen können. Diese Erschütterungen werden von Menschen wahrgenommen, wenn sie eine bestimmte „Fühlbarkeitsschwelle“ überschreiten. Man unterscheidet die drei folgenden Teilbereiche, die in Abbildung 2 dargestellt sind:

1. Emission
2. Transmission
3. Immission

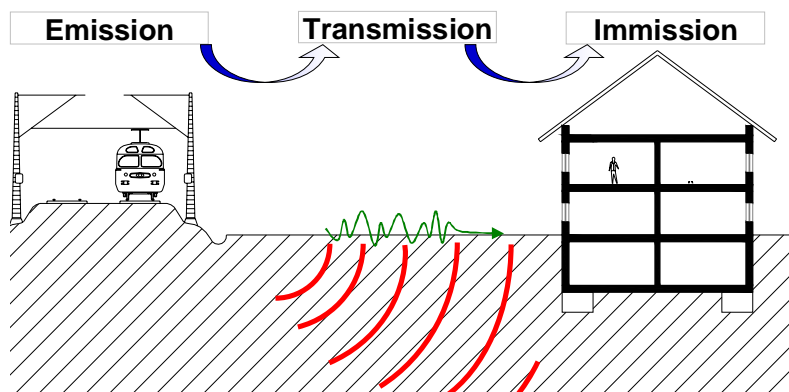


Abb. 2: Schematische Darstellung der drei Teilbereiche

Neben Erschütterungseinwirkungen können die über den Baugrund in die Gebäude eingetragenen Schwingungen auch als „sekundärer Luftschall“ bezeichnete Immissionen hervorrufen. Hierunter versteht man den durch die Schwingungsanregung von Umfassungsbauteilen (Wände, Wohnungsdecken) abgestrahlten Schallanteil innerhalb von Räumen. Dieser kann u. U. als tief frequentes Geräusch in den Räumen wahrgenommen werden. Sekundärer Luftschall ist vor allem in Räumen wahrzunehmen, die gegenüber dem von außen einwirkenden Luftschall (Primärschall) abgeschirmt sind.

3.3 Wie werden Erschütterungen und sekundärer Luftschall gemessen?

Schwingungsmessungen werden generell auf der Grundlage der DIN 45669 „Messungen von Schwingungsimmissionen“ ([12], [13]) durchgeführt. Die Schwingungsaufnehmer werden dazu geeignet aufgestellt, um die Schwingungen wirklichkeitsgetreu zu erfassen. Im Erdreich werden dazu Messspieße eingesetzt; auf Gebäudedecken werden lagesichere Aufstellplatten benutzt; im Bereich des Kellers wird i.d.R. ein triaxialer Messpunkt installiert.

Als Messgeräte werden Geräte der Genauigkeitsklasse 1 oder 2 nach DIN 45669-1 [12] verwendet, mit denen der Schwingungs-Zeitverlauf in ausreichender Auflösung erfasst werden kann. Die Messkette jeder Messung wird detailliert dokumentiert.

Abbildung 3 zeigt einen typischen Messaufbau mit geeigneten Messpunkten.

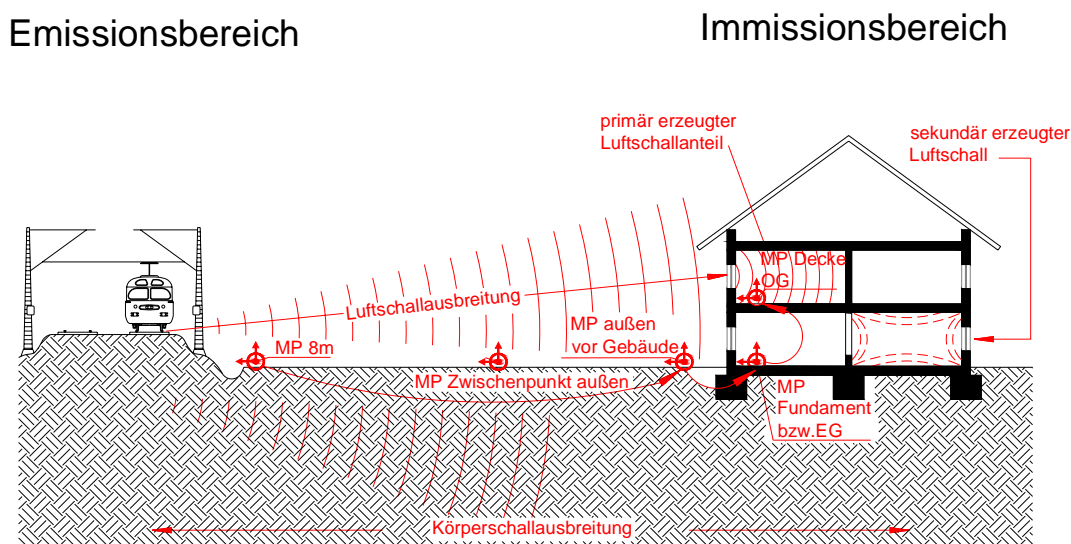


Abb. 3: Schematische Darstellung eines Messaufbaus

Die Qualitätssicherung der Messung ist gewährleistet durch:

- Geräte mit gültiger Kalibrierung
- Sensoren mit gültiger Kalibrierung
- Funktionsprüfung vor Ort vor jeder Messung durch „Abklopfen“ der Sensoren
- Onlinebeobachtung des Zeitverlaufes
- Plausibilitätskontrollen in der Dokumentation und der Auswertung

Der sekundäre Luftschall kann nicht auf direktem Wege über Schallmessungen gemessen werden, da bei oberirdischem Verkehr das Umgebungsgeräusch meist dominant ist. Als geeignetes und abgesichertes Verfahren wird der sekundäre Luftschall über die gemessenen Erschütterungspegel am Immissionsort rechnerisch ermittelt ([4], [7]).

Die Messungen erfolgen getrennt für jede Zugvorbeifahrt; je Zugtyp und Gleis werden in der Regel mindestens fünf Vorbeifahrten gemessen. In Ausnahmefällen und bei nachgewiesenen geringen Streuungen (z.B. ICE) können auch weniger Vorbeifahrten ausreichend sein.

3.4 Wie werden Erschütterungen und sekundärer Luftschall ausgewertet?

Zunächst liegt für jede Zugvorbeifahrt an jedem Messpunkt ein gemäß DIN 45669-1 Bandpass - gefiltertes Zeitsignal der Schwingungen vor. Aus den Zeitsignalen werden Terzschnellespektren nach dem Verfahren „Peak-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 weiter unten erläuterte genaue spektrale Prognoseverfahren für die Erschütterungen und den sekundären Luftschall.

Terzschnellespektren werden in der Einheit [mm/s] oder [dB] ref. $5 \cdot 10^{-5}$ mm/s angegeben. Verstärkungen oder Abminderungen werden entweder als Faktoren dimensionslos [-] oder als Differenzpegel in [dB] angegeben.

3.4.1 Emission

An den ausgewählten Emissionspunkten werden die Terzschnellespektren für jede Zuggattung und jedes Gleis getrennt ermittelt. Die Geschwindigkeiten der Zugvorbeifahrten sind jeweils zu erfassen. Für jede Zuggattung und jedes Gleis wird das energetisch gemittelte Spektrum an den Emissionspunkten berechnet.

3.4.2 Transmission

Das Ausbreitungsverhalten der Schwingungen vom Emissions- zum Immissionspunkt wird auf der Basis der ausgewerteten Terzschnellespektren berechnet. Der Ausbreitungsexponent wird terzweise ermittelt, so dass bei der Prognoseberechnung der sich ggf. ändernde Gleisabstand terzweise präzise berücksichtigt wird.

3.4.3 Immission

Am Immissionsort werden die gebäudespezifischen Übertragungsfunktionen gemessen und arithmetisch gemittelt. Änderungen, die nach der Messung am Immissionsort stattfinden, können naturgemäß nicht berücksichtigt werden.

3.4.4 Prognoseberechnung

Die Prognose der Erschütterungen erfolgt grundsätzlich gemäß folgender Gleichung:

$$L_{v\text{-Raum}}(f) = L_E(f) + \Delta L_B(f) + \Delta L_G(f) + \Delta L_M(f)$$

mit:

$L_{v\text{-Raum}}(f)$: Terzschnellespektrum am betrachteten Immissionsort

$L_E(f)$: Terzschnellespektrum der Erschütterungen am Emissionsort

$\Delta L_B(f)$: baugrund- und abstandsbedingte Erschütterungsabnahme
(Transmissionsweg)

$\Delta L_G(f)$: gebäudespezifische Übertragungsfunktion am Immissionsort

$\Delta L_M(f)$: Summe der Einfügedämmung schwingungsmindernder Maßnahmen
(nicht bei Prognose-Nullfall)

Die Prognoseformel entspricht auch den Empfehlungen der VDI 3837 [11].

Aus den Terzschnellespektren am Immissionsort werden die Beurteilungswerte gemäß DIN 4150 sowie des sekundären Luftschalls berechnet. Die Berechnung wird in Kapitel 3.5 bzw. 3.6 erläutert.

3.4.5 Prognose des Nullfalls

Schwingungsmessungen werden üblicherweise über einen Zeitraum von 6-8 Stunden durchgeführt und erfassen nur einen Teil der über einen ganzen Tag betrieblich gesehenen möglichen Vorbeifahrten. Während die Messungen die absoluten Emissionen des einzelnen Zugtyps beschreiben, wird deren Anzahl im Beurteilungszeitraum rechnerisch berücksichtigt. Die Anzahl der Zugvorbeifahrten wird dem jeweils gültigen Betriebsprogramm für den Prognose-Nullfall (d.h. Prognosefall ohne Ausbau der Strecke) entnommen.

Tagesabhängige geringere Zugzahlen während einzelner Messungen werden so in ihrer Häufigkeit korrigiert und wirken sich nicht immissionsmindernd aus. Das gleiche gilt für eventuell verminderte Zuggeschwindigkeiten während der Messungen. Das energetisch gemittelte Spektrum wird einer Geschwindigkeitskorrektur (für $v/v_0 > 1,33$) gemäß folgender Gleichung unterzogen:

$$\Delta_v = 20 \lg \frac{v}{v_0}$$

mit:

v : Zuggeschwindigkeit gemäß Betriebsprogramm für den Prognose-Nullfall

v_0 : arithmetisch mittlere gemessene Zuggeschwindigkeit

Im Nahbereich von Bahnhöfen wird für haltende Züge von einer Geschwindigkeit von 60 km/h ausgegangen. Lassen es die Randbedingungen zu, können auch direkt die gemessenen Schwing-Schnellepegel der ein- und ausfahrenden Züge der Berechnung zugrunde gelegt werden.

3.4.6 Prognose des Ausbauzustands

Die Prognose für den Ausbauzustand erfolgt nach der gleichen Rechenvorschrift wie für den Prognose-Nullfall. Zusätzlich werden folgende Effekte berücksichtigt:

- Gleisverschiebungen (Abstandsänderungen)
Die Pegelabnahme $\Delta L_B(f)$ wird aufgrund des messtechnisch ermittelten Ausbreitungsverhaltens den neuen Abständen für jedes Gleis getrennt angepasst.
- Zusätzliche Gleise
Zusätzliche Gleise gehen in die Gesamtprognose in vollem Umfang ein. Dazu werden die messtechnisch ermittelten Emissionen, die ebenfalls ermittelten Ausbreitungsbedingungen sowie das Übertragungsverhalten im Gebäude herangezogen.
- Geschwindigkeitsänderungen
Sofern sich im Ausbauzustand Geschwindigkeiten ändern, werden diese nach der Gleichung in Absatz 3.4.5. angepasst.
- Oberbauänderungen
Bei der Prognose wird in Ansatz gebracht, dass sich die Emissionen der neuen Gleise aufgrund der Baugrundverbesserung und des Einbaus von hoch verdichteten Tragschichten nach Ril 836.0501 (vgl. [23] bzw. [24]) ändern (siehe Kapitel 3.8).
- Maßgebliche Veränderungen der Schienenführung
Veränderungen wie z. B. neue Weichen oder ein anderes Oberbausystem werden durch ein geeignetes Korrekturspektrum berücksichtigt.

Die Auswirkungen von Weichen werden über das gesamte Frequenzspektrum nach folgender Formel abgeschätzt:

$$dL = +6 \text{ dB} - 5 * \lg (s/8\text{m})$$

mit: s: Abstand zwischen Weiche und Gebäude

- Änderungen des Zugmaterials
Sofern sich im Ausbauzustand das Zugmaterial ändert, wird dies nach der Gleichung in Absatz 3.4.4 in Ansatz gebracht.

3.5 Wie werden Erschütterungen beurteilt?

Es existieren zurzeit keine gesetzlichen Regelungen zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen aus Schienenverkehrswegen. Art und Grad der individuellen Beeinträchtigung durch Erschütterungen hängen vom Ausmaß der Erschütterungsbelastung und verschiedenster situativer Faktoren ab. Beispielhaft seien genannt:

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

Die in der Norm DIN 4150 festgelegten Beurteilungsverfahren haben den Zweck, die oben genannten Einflüsse bestmöglich zu berücksichtigen. Im vorliegenden Fall erfolgt die Beurteilung der Erschütterungen gemäß dem Teil 2 dieser Norm: „Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, DIN 4150 Teil 2, Ausgabe 1999 [3].

3.5.1 Die Beurteilungswerte KB_{Fmax} und KB_{FTm}

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

KB_{Fmax} : Maximalwert von $KB_F(t)$ während des Beurteilungszeitraumes

KB_{FTm} : Taktmaximal-Effektivwert, ermittelt aus den jeweiligen Taktmaximalwerten KB_{FTi}

KB_{FTF} : Aus den energetisch gemittelten Taktmaximal-Effektivwerten (KB_{FTm}) der einzelnen Zuggattungen und Gleise über den jeweiligen Beurteilungszeitraum (Tag/Nacht) durch energetische Addition berechnete Gesamtbeurteilungs-Schwingstärke.

Der KB_{FTm} - und KB_{FTr} - Wert wird aus den gemessenen bzw. prognostizierten Terzschnellespektren nach folgenden Gleichungen berechnet:

$$KB_F(f) = \frac{v(f)}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_0}{f}\right)^2}}$$

$$KB_{FTm} = \sqrt{\sum_{f=1Hz}^{80Hz} KB_F^2(f)}$$

$$KB_{FTr} = \sqrt{\sum_{n=Zug1}^{Zug,N} KB_{FTm}^2}$$

Der KB_{Fmax} - Wert wird gemäß VDI 3837 [11], Abs. 3.2.6 nach folgender Gleichung für jeden Zugtyp und jedes Gleis ermittelt:

$$KB_{Fmax} = c_m \cdot KB_{FTm}$$

mit

$c_m = 1,5$ bei Betondecken

$c_m = 1,7$ bei Holzbalkendecken

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

Bewertete Schwingstärke KB	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
6,3 – 100	Sehr stark spürbar

Tab. 1: Zuordnung der Schwingstärke zur Wahrnehmung, VDI 2057 Blatt 3 (nur informativ)

Die VDI-Richtlinie 2057, Blatt 3, „Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen“ vom Mai 1987 wurde im September 2002 zurückgezogen. Der darin beschriebene Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und der subjektiven Wahrnehmung von Erschütterungseinwirkungen kann aber weiterhin als allgemein gültig betrachtet werden.

3.5.2 Anhaltswerte

In Absatz 6.5 der DIN 4150, Teil 2 werden Regelungen für unterschiedliche Erschütterungsverursacher getroffen, in Abs. 6.5.3 wird die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen durch Schienenverkehr beschrieben. Die oberen Anhaltswerte A_o haben beim Schienenverkehr keine Bedeutung (siehe Abs. 6.5.3.1 - 6.5.3.4 der DIN 4150-2). Tatsächlich spielt der A_o bei der Beurteilung prognostizierter Erschütterungsimmissionen aus Schienenverkehr keine praktische Rolle: wenn der Wert von 0,6 (Kap. 6.5.3.5 der DIN 4150-2) mehr als nur gelegentlich überschritten wird (z.B. regelmäßig bei einer bestimmten Zuggattung), dann wäre auch A_r überschritten. Daher ist es sachgerecht, die Beurteilung anhand der Anhaltswerte A_u und A_r durchzuführen.

Nach der DIN 4150, Teil 2, gelten demnach folgende Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen durch neu zu errichtende Fern- und S-Bahnstrecken:

Einwirkungsort	tags		nachts	
	A_u	A_r	A_u	A_r
Industriegebiet	0,4	0,2	0,3	0,15
Gewerbegebiet	0,3	0,15	0,2	0,1
Kern-, Misch-, Dorfgebiet	0,2	0,1	0,15	0,07
Wohngebiet	0,15	0,07	0,1	0,05
Sondergebiet	0,1	0,05	0,1	0,05

Tab. 2: Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2 für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbaren Räumen (für Neubaustrecken ohne Vorbelastung)

Nach Absatz 6.5.3.1 der DIN 4150-2 sind Einwirkungen in Ruhezeiten nicht zusätzlich zu gewichten. Nach Absatz 6.5.3.4 a) gelten die Anhaltswerte für neu zu bauende Strecken: „Als neu im Sinne dieser Norm wird eine Strecke dann angesehen, wenn ihre Trasse so weit von bestehenden Trassen entfernt verläuft, dass die Erschütterungseinwirkungen bestehender Trassen für die Beurteilung vernachlässigbar sind.“ Dies ist beim vorliegenden Vorhaben sicher nicht der Fall.

3.5.3 Rechtlicher Rahmen und Berücksichtigung der Vorbelastung

Die Ansprüche betroffener Anwohner auf Schutzvorkehrungen des aktiven oder passiven Erschütterungsschutzes bzw. auf Geldausgleich beurteilen sich in Ermangelung spezialgesetzlicher Vorschriften nach § 74 Abs. 2 Satz 2 und 3 VwVfG. Danach sind Schutzvorkehrungen unter anderem dann anzuordnen, wenn dies zur Vermeidung nachteiliger Wirkungen auf Rechte Anderer erforderlich ist. Wann das der Fall ist, wird in der genannten Vorschrift nicht weiter ausgeführt. Deswegen ist auf allgemeine Grundsätze des Immissionsschutzrechts zurückzugreifen. Erschütterungsimmissionen können je nach Ausmaß eine schädliche Umwelteinwirkung darstellen (§ 3 Abs. 1 und 2 BImSchG), indem sie das rechtlich geschützte Interesse an einer ungestörten Wohnnutzung beeinträchtigen. Diese Einwirkungen sind dann zu vermeiden und gegebenenfalls auszugleichen, wenn sie dem Betroffenen nicht mehr zugemutet werden können. Fehlt es an einer normativen Festlegung, ist die Zumutbarkeitsschwelle im Einzelfall zu bestimmen. Eventuell vorhandene individuelle Befindlichkeiten und Empfindlichkeiten der Betroffenen sind dabei allerdings nach dem differenziert-objektiven Maßstab des Immissionsschutzrechts, das sich am durchschnittlich empfindlichen Menschen einschließlich der Angehörigen überdurchschnittlich empfindlicher Gruppen orientiert, unbeachtlich. Vielmehr kommt es maßgeblich auf die Schutzwürdigkeit und Schutzbedürftigkeit der betroffenen Nutzung am jeweiligen Immissionsort an; diese richtet sich nach der Art des Gebietes, in dem das Grundstück liegt, und den weiteren konkreten tatsächlichen Verhältnissen. Bei dieser Bewertung ist der vorhandene technisch-wissenschaftliche Sachverstand, der insbesondere in technischen Regelwerken zum Ausdruck kommt, heranzuziehen.

Die hier einschlägige DIN 4150 Teil 2 (Erschütterungen im Bauwesen; Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden - Juni 1999) gibt in Tabelle 1 für den Neubau von Eisenbahnstrecken nach Baugebieten und für Tag und Nacht unterschiedliche Anhaltswerte vor (Ziff. 6.5.3.4 a). Diese Werte sind sowohl bezogen auf die nach dem Taktmaximalverfahren gemessene maximal bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} als auch auf die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} . Diese kennzeichnet nach Ziffer 3.8 die in der Beurteilungszeit auftretenden Erschütterungsimmissionen durch einen zeitbezogenen Mittelwert im Sinne einer energetischen Addition über die Beurteilungszeit, der die Zughäufigkeit und die mittlere Dauer einer Zugvorbeifahrt entsprechend berücksichtigt. Die korrelierenden Anhaltswerte A_o und A_r bezeichnen dabei nicht die Schwelle des enteignungsrechtlich nicht Zumutbaren, sondern liegen, da sie auf das billigerweise nicht Zumutbare bezogen sind, deutlich darunter. Auf Ausbaumaßnahmen sind diese Anhaltswerte aber nicht unmittelbar anwendbar (Ziffer 6.5.3.4 c). Denn hier ist die immissionsschutzrechtliche Situation entscheidend durch den vorhandenen Bestand geprägt. Aus dem Gebot der gegenseitigen Rücksichtnahme folgen besondere Duldungspflichten, so dass Erschütterungen, die sich im Rahmen einer plangegebenen oder tatsächlichen Vorbelastung halten, deswegen - jedenfalls in aller Regel - zumutbar sind, auch wenn sie die Anhaltswerte übersteigen. Ein Anspruch auf eine Verbesserung der Erschütterungssituation im Sinne einer Erschütterungssanierung besteht folglich nicht. Ein Erschütterungsschutz kann vielmehr nur dann verlangt werden, wenn die Erschütterungsbelastung sich durch den Ausbau in beachtlicher Weise erhöht und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche, dem Betroffenen billigerweise nicht mehr zumutbare Belastung liegt.

Für die Bewältigung des Belanges der Erschütterungsimmissionen in der Planfeststellung bei Ausbaustrecken ist die Erschütterungsbelastung der vorhandenen Schienenwege zu ermitteln, um im Vergleich mit der Prognose im ausgebauten Zustand die Veränderung feststellen zu können. Reale und geldwerte Abwendungs- bzw. Ausgleichsansprüche bestehen folglich nur insoweit, als das Auftreten höherer Erschütterungseinwirkungen als die Belastung aus den vorhandenen Anlagen eine zusätzliche unzumutbare Beeinträchtigung darstellt. Zur Klärung des Begriffes „spürbare Erhöhung“ oder „wesentliche Änderung“ der Erschütterungsimmissionen wurde eine Laborstudie an Probanden durchgeführt [7]. Ein Ziel dieser Laborstudie war zu ermitteln, welcher Minimalbetrag an Erschütterungsenergieänderung benötigt wird, um wahrgenommen zu werden. Die im Labor untersuchte Erschütterungsdifferenz von 25% KB_{Fmax} - Erhöhung wurde als gerade noch

erkennbarer Unterschied festgestellt. Diese Laborunterschiedsschwelle ist als untere Grenze zu verstehen und liegt auf der sicheren Seite. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen die in der Richtlinie ~~800-2504~~ **820-2050** „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ der Deutschen Bahn AG [4] bzw. dem Gerichtsurteil [5] getroffenen Annahmen. Entsprechend dem Vorstehenden **sowie der Verfügung zum Umgang mit betriebsbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall in der Planfeststellung [27]** werden in der vorliegenden Untersuchung folgende Beurteilungskriterien angewendet:

- *Ist $KB_{Fmax} \leq A_u$, sind keine weiteren Betrachtungen erforderlich. Die Anforderungen der DIN 4150 Teil 2 sind eingehalten.*
- *Ist $KB_{Fmax} > A_u$ und $KB_{FTr} \leq A_r$, dann sind die erschütterungstechnischen Anforderungen ebenfalls eingehalten.*
- *Ist $KB_{FTr} > A_r$, dann erfolgt die Beurteilung auf Basis der wesentlichen Änderung (spürbare Erhöhung), wie folgt: Ist die Erhöhung der Erschütterungsimmissionen der KB_{FTr} - Werte im Ausbaufall ≤ 25 % gegenüber der Belastung ohne Ausbau, dann liegt keine wesentliche Erhöhung vor und die Anforderungen sind eingehalten.*
- *Wenn der KB_{FTr} sich im Ausbaufall um mehr als 25 % der Belastung gegenüber dem Bestandsfall erhöht, dann liegt eine wesentliche Änderung (spürbare Erhöhung) vor und es müssen Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungsimmissionen in Betracht gezogen werden.*
- ***Abschnitte mit Beurteilungsschwingstärken von KB_{FTr} ab einem Bereich von 1,1 tags und 0,7 nachts als Vorbelastung, die vorhabenbedingt gering (ab dritte Nachkommastelle) ansteigen, sind gutachterlich besonders zu untersuchen und unter Berücksichtigung des Einzelfalls im Hinblick auf den Eigentums- und Gesundheitsschutz in der Abwägung über zu treffende Schutzmaßnahmen zu betrachten.***

3.5.4 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Die DIN 4150, „Erschütterungen im Bauwesen“, Teil 3, vom ~~Feb. 1999~~ **Dez. 2016** 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 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Im Allgemeinen sind aus dem Schienenverkehr keine Überschreitungen im Sinne dieser Norm zu erwarten.

3.6 Wie wird sekundärer Luftschall beurteilt?

Durch Körperschallübertragung bzw. -anregung der Raumbegrenzungsflächen kann in Gebäuden sogenannter „sekundärer Luftschall“ entstehen und einen u. U. nicht zu vernachlässigenden Anteil am gesamten Innenraumpegel hervorrufen. Dieser Effekt kann vor allem dort zu Belästigungen führen, wo der primäre Luftschall (Direktschall), der durch die Außenhaut des Gebäudes nach innen dringt, eine geringe Rolle spielt. Das kann vor allem zutreffen bei von der Bahntrasse abgewandten, gut schallgedämmten Räumen, bei Tunnelstrecken und dort, wo umfangreiche Lärmvorsorge getroffen wird.

Die messtechnische Ermittlung des sekundären Luftschalls ist derzeit nicht eindeutig geregelt und nur bei unterirdischen Strecken mit vertretbarem Aufwand durchführbar. Die Prognostizierung beruht auf den (spektralen) Körperschallschnelle-Immissionsberechnungen, welche physikalisch mit dem Abstrahlgrad der Raumbegrenzungsflächen verbunden sind.

Die Ermittlung des Abstrahlverhaltens Körperschall - Luftschall in den betroffenen Gebäuden (von der Bausubstanz abhängig) ist nur mit hohem Aufwand möglich. Es hat sich eine Vorgehensweise entwickelt und bewährt, den Zusammenhang zwischen dem Körperschall - Schnellepegel in Fußbodenmitte und dem im Raum entstehenden sekundären Luftschallpegel bzw. Gesamtinnenschallpegel durch Korrelationsbetrachtungen aus messtechnisch ermittelten und statistisch verwerteten Beziehungen zu bestimmen.

Die Vorgehensweise ist in der Richtlinie 800.2501 „Körperschall und Erschütterungsschutz“; DB AG [4] beschrieben. In Abhängigkeit von Gebäude-Bauweise (Beton-decken oder Holzbalkendecken) werden für alle Zugattungen aus den prognostizierten oder gemessenen spektralen Körperschallschnelle-Pegeln am Fußboden die dazugehörigen sekundären Luftschall-Pegel (entsprechend mittleren Maximalpegel über die Vorbeifahrzeit) ermittelt. Die Beurteilungspegel L_i werden daraus über die Einwirkungsdauer (Vorbeifahrzeiten) im Beurteilungszeitraum bestimmt. Dabei werden auch die im Betriebsprogramm angegebenen unterschiedlichen Zuglängen berücksichtigt.

Zur Beurteilung des sekundären Luftschalls aus Schienenverkehr fehlen gesetzliche Regeln und Grenzwerte. Im Vergleich zum üblichen Verkehrslärm handelt es sich bei dem sekundären Luftschall um ein Geräusch, das von allen Raumbegrenzungsflächen abgestrahlt wird, nicht richtungsorientiert hörbar ist und sich mit dem vorhandenen Grundgeräusch (Ruhegeräuschpegel) überdeckt, d.h. nur in den tiefen Frequenzen z. T. dazu beiträgt.

Bis zur Festlegung gesetzlich verbindlicher Grenzwerte kommen als Zumutbarkeitsschwellen für die Beurteilung des sekundären Luftschalls die aus den Vorgaben der 24. BImSchV [10] vom Februar 1997 ableitbaren Richtwerte in Betracht, da sie ein für die Beurteilung von Verkehrslärm in Innenräumen geschaffenes Regelwerk sind.

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

- Tag: 6 – 22 Uhr
- Nacht: 22 – 6 Uhr

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

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

In o. g. Gleichung bedeuten:

$L_{r,N}$: Beurteilungspegel für die Nacht in dB(A) nach Anlage 1 und 2 der 16.BImSchV

S_g : vom Raum aus gesehene Gesamtaußenfläche in m^2

A : äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m^2

D : Korrektursummand in dB (zur Berücksichtigung der Raumnutzung)

E : Korrektursummand in dB (der sich aus dem Spektrum des Außengeräusches und der Frequenzabhängigkeit der Schalldämmmaße von Fenstern ergibt)

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

Raumnutzung	Korrektursummand D
Räume, die überwiegend zum Schlafen benutzt werden	27
Wohnräume	37
Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftliche Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume	37
Konferenz- und Vortragsräume, allgemeine Laborräume, Büroräume	42
Großraumbüros, Schalterräume, Druckerräume von DV-Anlagen, soweit dort ständig Arbeitsplätze vorhanden sind	47
Sonstige Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind	entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen

Tab. 3: Korrektursummanden D gemäß 24. BImSchV (Ausgabe 1997)

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

in Wohnräumen	$L_{i,Tag} = 40 \text{ dB(A)}$ am Tag
in Schlafräumen	$L_{i,Nacht} = 30 \text{ dB(A)}$ in der Nacht

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

Die aus der 24. BImSchV zumutbaren Innenraumpegel gelten für alle Arten von Verkehrslärm. Dieser wird jedoch von den Betroffenen je nach Emissionsart als unterschiedlich belästigend wahrgenommen. Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Belästigung zwischen verschiedenen Verkehrsträgern ist ein Belästigungsunterschied, ähnlich dem Schienenbonus bei der Ermittlung des Primärschalls, in Höhe von 5 dB(A) zu berücksichtigen [9]. Dieser Wert ist vom berechneten Beurteilungspegel abzuziehen.

3.7 Zusammenfassendes Beurteilungsschema

Entsprechend den vorhergehenden Unterkapiteln wird in der nachfolgenden Abbildung die Beurteilung der Erschütterung und des Sekundärschalls in Form eines Flussdiagramms zusammenfassend dargestellt.

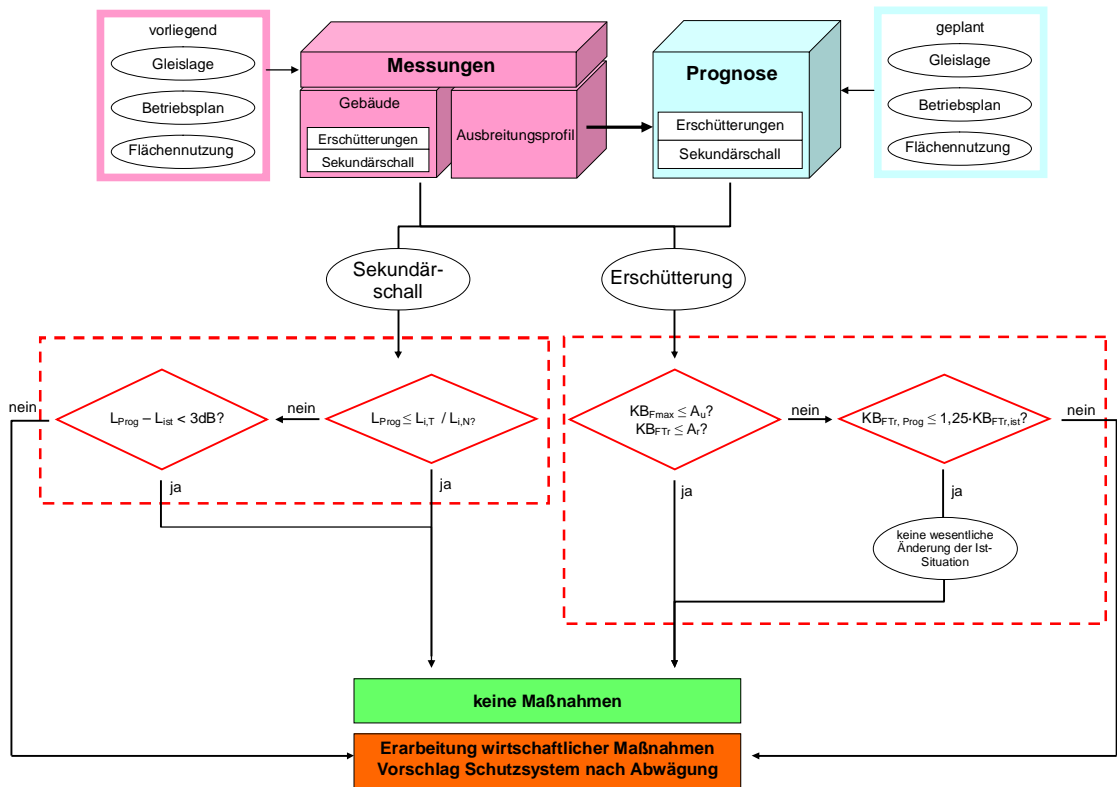


Abb. 4: Flussdiagramm zur Beurteilung der Erschütterungen und des Sekundärschalls

3.8 Wie können die Immissionen vermindert werden?

Die Maßnahmen zur Reduzierung von Erschütterungen sind begrenzt. Es kommen nur in der Praxis erprobte und dauerhaft wirksame Maßnahmen in Frage. Entsprechend dem aktuellen Stand der Technik existieren folgende Möglichkeiten:

3.8.1 Baugrundverbesserung und Einbau von hoch verdichteten Tragschichten

Bei dieser Maßnahme wird die Eigensteifigkeit des Unterbaus durch eine Baugrundverbesserung (z.B. Einwalzen von Grobschlag, Einfräsen von Mischbinder, Bodenaustausch etc.) erhöht sowie hoch verdichtete Tragschichten zwischen Ober- und Unterbau des Gleiskörpers (Planums- bzw. Frostschutzschicht) angeordnet. Durch diese Maßnahme können die Körperschallpegel im Bereich tiefer Frequenzen bis ca. 30 Hz erheblich reduziert werden. Im höherfrequenten Bereich zwischen etwa 50 Hz und 100 Hz sind durch die Untergrundversteifung grundsätzlich höhere Körperschallpegel nicht auszuschließen. Diese Maßnahme erscheint vor allem bei Gebäuden mit niedrigen Deckeneigenfrequenzen (z.B. Holzbalkendecken bzw. leichte Betondecken o. ä.) vorteilhaft.

3.8.2 Schwellenbesohlung

Bei dieser Maßnahme werden Elastomermaterialien unterhalb der Betonschwellen angeordnet und dann im herkömmlichen Schotterbett verlegt. Bei dieser Lösung ist im Einzelfall zu prüfen, ob eine gute körperschalldämmende Wirkung zu erwarten ist. Diese Maßnahme erscheint vor allem bei Gebäuden mit höheren Deckeneigenfrequenzen (z.B. Betondecken mit schwimmendem Estrich o. ä.) vorteilhaft.

3.8.3 Schottertrog mit Unterschottermatte (USM im Trog)

Unterschottermatten werden vollflächig zwischen Schotterbett und einem Trogbauwerk verlegt. Aufgrund der fahrdynamisch erforderlichen Steifigkeiten sind Erschütterungsminderungen erst ab ca. 25 Hz – 30 Hz zu erwarten. Unterhalb dieser Frequenz können Verstärkungen der Erschütterungen auftreten. Die negativen Effekte der Unterschottermatte in den tieferen Frequenzen werden durch den Schottertrog neutralisiert, weshalb diese Maßnahme vor allem bei Gebäuden mit niedrigen Deckeneigenfrequenzen (z.B. Holzbalkendecken bzw. leichte Betondecken o. ä.) vorteilhaft erscheint. Der Schottertrog wird zudem dafür benötigt, um das seitliche Fließen des Schotters auf der Unterschottermatte zu verhindern.

3.8.4 Masse-Feder-System (MFS)

Der Einsatz eines Masse-Feder-Systems führt zu den größten Schwingungsminde-
rungen. Der Oberbau kann als Feste Fahrbahn oder Schotteroberbau ausgeführt
werden. Diese Maßnahme führt zu einer wirksamen Reduzierung der Erschütte-
rungsimmissionen in Gebäuden mit niedrigen und hohen Deckeneigenfrequenzen.
Des Weiteren führen MFS auch zur deutlichen Reduzierung des Sekundären Luft-
schalls. Beim Einsatz dieses Systems ist mit erheblichen technischen Zwängen
und Kosten zu rechnen.

3.8.5 Maßnahmen am Ausbreitungsweg

Maßnahmen zur Erschütterungsreduzierung können am Ausbreitungsweg zwi-
schen den Gleisanlagen und Gebäuden eingesetzt werden, z.B.:

- Isolierschlitz
- Schwere Abschirmwände

Diese Maßnahmen erweisen sich häufig aufgrund ortsspezifischer Zwänge und ei-
gentumsrechtlicher Belange als nicht realisierbar oder unverhältnismäßig aufwän-
dig.

3.8.6 Maßnahmen am Gebäude

Auch an den betroffenen Gebäuden können Maßnahmen zur Erschütterungsre-
duktion eingesetzt werden, z.B.:

- Vollständige elastische Lagerung
- Verstimmung einzelner Decken durch Einbau von Stützen oder Bedämpfung der
Decken durch Einbau von Tilgern
- Seitliche Abschirmung des Gebäudes mit elastischen Matten

Diese Maßnahmen sind jeweils nur an einem Immissionsort wirksam und erweisen
sich häufig als nicht realisierbar oder unverhältnismäßig aufwändig.

3.8.7 Auswahl der Schutzmaßnahmen

Entsprechend dem aktuellen Stand der Technik können am Emissionsort die in der folgenden Tabelle angegebenen Maßnahmen angewendet werden.

Zudem ist nach den Bestimmungen des Verwaltungsverfahrensgesetzes (VwVfG) neben der Prüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen ebenfalls eine grobe Kostenschätzung mit Gegenüberstellung der Anzahl betroffener Objekte erforderlich. Deshalb enthält die nachstehende Tabelle ebenfalls eine Kostenschätzung der Mehrkosten je Gleis.

Maßnahme	Wirksamkeit	Mehrkosten je Gleis [€/Meter]
Einbau von hoch verdichteten und bindemittelstabilisierten Tragschichten	mittel bei tiefen Frequenzen	keine Mehrkosten
Schwellenbesohlung	im Einzelfall zu prüfen	90,--
Schottertrog mit Unterschottermatte	mittel	1.200,--
Masse-Feder-System	groß	4.600,--

Tab. 4: Erschütterungsreduzierende Maßnahmen und Kostenschätzung

Die obenstehende Tabelle enthält Mehrkosten gegenüber dem Bau eines Standardgleises. Sofern die erschütterungsmindernde Maßnahme bei einem eigentlich nicht zu verändernden Bestandsgleis angewendet werden soll, ergeben sich durch den erforderlichen Rückbau des bestehenden Gleises Zusatzkosten. Da im vorliegenden Fall alle Gleiskörper im Endzustand neu errichtet werden, sind etwaige Zusatzkosten für den erforderlichen Rückbau von bestehenden Gleisen nicht anzusetzen.

Anmerkung: Im Bereich von Weichen können sich andere Kosten gegenüber den in der Tabelle 4 angegebenen Kostenschätzungen ergeben. Diese Kostenschätzungen werden ggfs. bei der durchgeführten Kosten-Nutzen-Analyse (siehe Beilage 1a) benannt.

Die in der Prognoseberechnung verwendeten frequenzabhängigen Pegelminderungen der einzelnen Systeme sind in Tabelle 5 dargestellt [15], [22].

Anmerkung: Positive Zahlenwerte in den jeweiligen Terzmittenfrequenzen stellen eine Dämmwirkung der Schutzmaßnahme, d.h. eine Pegelminderung der Immissionen dar. Negative Zahlenwerte in den jeweiligen Terzmittenfrequenzen bedeuten eine Pegelerhöhung der Immissionen.

Terzmittenfrequenz [Hz]	Einbau von hochverdichteten und bindemittelstabilisierten Tragschichten [dB]	Schwellenbesohlung [dB]	USM im Trog [dB]	Masse-Feder-System [dB]
4	0	3	3	3
5	1,7	3	3	2
6,3	3,4	2	3	-2
8	4	2	3	-8
10	4	2	3	2
12,5	4	2	4,45	7
16	4	1	6	10,4
20	3,4	1	6	12,7
25	1,7	1	6	15
31,5	0	1	6	17,2
40	-1	4	5	18
50	-2	6	0	18,8
63,5	-3	7	0	19,5
80	-3,7	10	4	20
100	-4,4	10	4	20
125	-5	10	4	20
160	-5	10	4	20
200	-5	10	2	20
250	-5	10	2	20
315	-5	10	2	20

Tab. 5: Einfügedämmwerte erschütterungsreduzierender Maßnahmen (Pegelminderung in dB)

§ 74 Abs. 2 Satz 3 VwVfG sieht vor, dass erforderliche Vorkehrungen oder Anlagen zur Vermeidung nachteiliger Wirkungen auf Rechte Dritter nur dann zu realisieren sind, soweit sie „tunlich“ sind. Untunlich sind Schutzvorkehrungen dann, wenn es entweder gar keine Vorkehrungen gibt, die wirksamen Schutz bieten könnten oder wenn die geeigneten Vorkehrungen unzumutbare oder außer Verhältnis zum Schutzzweck stehende, nicht mehr vertretbare Aufwendungen erfordern würden. Um die Verhältnismäßigkeit bzw. Unverhältnismäßigkeit der Kosten einer Maßnahme oder einer Kombination von Maßnahmen zu bewerten, werden die entstehenden Kosten in Relation zum Nutzen der Maßnahme gesetzt.

Als Nutzen wird die Anzahl der Gebäude gesehen, bei denen durch die Maßnahme die ursprüngliche Überschreitung der maßgeblichen Anhaltswerte gelöst werden kann (gelöster Schutzfall). Die Anwendung einer Kosten-Nutzen-Analyse erscheint somit ein praktikabler Umsetzungsmaßstab zur Entscheidungsunterstützung bei einer notwendigen Abwägung.

Neben der Prüfung der Wirksamkeit der jeweiligen Schutzmaßnahme wird demzufolge eine sogenannte schutzfall-bezogene Kostenabwägung durchgeführt. Bei dieser schutzfall-bezogenen Kostenabwägung werden dabei den Kosten der Schutzmaßnahme die Anzahl der dadurch geschützten Objekte gegenüber gestellt. Es ergeben sich dadurch Kosten je gelösten Schutzfall (d.h. geschützten Objekt).

4 Durchgeführte Schwingungsmessungen

4.1 Ausgewählte Gebäude

Die Auswahl der messtechnisch zu untersuchenden Gebäude erfolgte auf Basis von allgemeinen Betroffenheitskorridoren (d.h. Bereiche, in welchen die Anforderungen des Erschütterungsschutzes nicht verlässlich eingehalten werden können) sowie der angemessenen Würdigung der Planfeststellungsunterlagen zum Schall- und Erschütterungsschutz aus dem Jahr 1998 [1]. Aufgrund der örtlichen Situation wurde in den ursprünglichen Planfeststellungsunterlagen festgelegt, dass die unten genannten Gebäude in unmittelbarer Nähe zu den Gleisanlagen liegen und im Rahmen von Beweissicherungsmessungen besonders zu berücksichtigen sind. Einzig für das Gebäude am Bahnhofplatz 9, das sich im Eigentum der DB AG befindet, wurde von dem vorliegenden repräsentativen Messorten abgewichen und ein zweckmäßiger Ersatzmessort ausgewählt.

Die messtechnisch untersuchten Gebäude werden in der Tabelle 6 dokumentiert und sind auch für die Nachbargebäude als entsprechend repräsentativ zu betrachten. Die ausführliche Dokumentation der Messungen am jeweiligen Gebäude ist in den Messberichten der Anlage 13.4 dargestellt.

Gebäude IOE	Adresse	Haustyp	Stockwerke	Schutzbedürftigkeit des Einwirkungsortes	Abstand zum nächstgl. Gleis [m]	
					IST	PROG
Forchheim:						
IOE-01	Am Augraben 16	Einfamilienhaus	2	Wohngebiet	26	26
IOE-02	Bahnhofplatz 3	Mehrfamilienhaus	2	Mischgebiet	19,5	18,0
IOE-03	Hainstraße 27	Mehrfamilienhaus	2	Gewerbegebiet	35	22,5
IOE-04	Untere Kellerstr. 37	Mehrfamilienhaus	3	Mischgebiet	32,5	23,0
IOE-05	Piastenstraße 1	Bürogebäude	3	Gewerbegebiet	13,5	11,5
IOE-06	Von-Pappenheim-Str. 12	Mehrfamilienhaus	3	Mischgebiet	30	21,0
IOE-07	Jean-Paul-Straße 11	Mehrfamilienhaus	2	Wohngebiet	21	13,5
IOE-08	Jean-Paul-Straße 15	Einfamilienhaus	2	Wohngebiet	22	14,5

Gebäude IOE	Adresse	Haustyp	Stock- werke	Schutzbedürf- tigkeit des Ein- wirkungsortes	Abstand zum nächstgel. Gleis [m]	
					IST	PRO G
IOE-09	Karl-Bröger-Str. 37f	Reihenendhaus	3	Wohngebiet	22,5	18
IOE-10	Jean-Paul-Straße 21	Mehrfamilienhaus	2	Wohngebiet	18,5	11,5
IOE-11	Jean-Paul-Straße 27	Mehrfamilienhaus	2	Wohngebiet	12	5,5
IOE-12	Am Sendelgraben 12	Einfamilienhaus	3	Wohngebiet	16,5	11,5
IOE-13	Am Sendelgraben 14	Einfamilienhaus	2	Wohngebiet	16	10,5
IOE-14	Bammersdorfer Str. 58	Schulgebäude	3	Gemeinbedarf	12,5	7,5
Eggolsheim:						
IOE-15	Frankenstraße 27	Einfamilienhaus	2	Wohngebiet	38,5	28

Tab. 6: Übersicht der ausgewählten Messorte

4.2 Messgeräte

Es wurden folgende Geräte verwendet:

- Beschleunigungsaufnehmer der Fa. PCB , Typ 393A03, Empfindlichkeit 1000 mV/g, Arbeitsfrequenzbereich 0.3 Hz bis 4000 Hz, Messbereich 5 g
- Messdatenerfassung und –konditionierung mit MEDA der Fa. Wölfel
- Signalanalyse Software MEDA der Fa. Wölfel
- Kalibrator VC 10 der Fa. Metra
- Radarpistole

4.3 Dokumentation der Messdaten

Angaben zu den ausgewählten Gebäuden sowie der Gleislage, die Lage der Messpunkte innerhalb und außerhalb des Gebäudes, sind in der Dokumentation der Messorte in der Anlage 13.4 ausführlich dargestellt.

Die Dokumentation der erfassten verwertbaren Vorbeifahrten während der Messzeit ist ebenfalls in der Anlage 13.4 ersichtllich.

5 Ergebnisse der Prognose

5.1 Zugrundegelegtes Betriebsprogramm

Das angesetzte Betriebsprogramm für den Prognose-Nullfall (ohne Streckenausbau) und den Prognose-Fall (mit Streckenausbau) ([16] bis [19]) im Streckenabschnitt Erlangen - Forchheim ist nachfolgend dargestellt:

Zugart	Anzahl der verkehrenden Züge, PFA 18/19						Entwurfsgeschwindigkeit v_max [km/h]	Länge bis [m]
	Prognose-Nullfall		Prognose-Fall					
	5900		5900		5919			
	GRI	Ri	GRI	Ri	GRI	Ri		
Beurteilungszeitraum Tag (06:00 bis 22:00 Uhr)								
ICE	23	26	-	-	25	25	160 (230)*	411
RE 1	26	26	-	-	18	18	160	210
RE 2	26	25	3	3	-	-	160	210
S-Bahn	-	-	36	36	-	-	160	145
GZ (v = 100 km/h)	66	68	32	31	33-	32	100	500
GZ (v = 120 km/h)	-	-	2	2	1	1	120	500
GZ (v = 160 km/h)	-	-	-	-	-	-	160	500
Beurteilungszeitraum Nacht (22:00 bis 06:00 Uhr)								
ICE	3	-	-	-	3	3	160 (230)*	411
RE 1	4	4	-	-	4	4	160	210
RE 2	3	4	-	-	-	-	160	210
S-Bahn	-	-	7	7	-	-	160	145
GZ (v = 100 km/h)	43	41	27	24	28	24	100	500
GZ (v = 120 km/h)	-	-	3	3	2	3	120	500
GZ (v = 160 km/h)	-	-	1	1	1	1	160	500

* Die Entwurfsgeschwindigkeit im Prognose-Fall wird mit v_max = 230 km/h angesetzt

Tab. 7: Übersicht des Betriebsprogramms im Prognose-Nullfall und Prognose-Fall im Streckenabschnitt Erlangen - Forchheim

Das angesetzte Betriebsprogramm für den Prognose-Nullfall (ohne Streckenausbau) und den Prognose-Fall (mit Streckenausbau) ([16] bis [19]) im Streckenabschnitt Forchheim - Bamberg ist nachfolgend dargestellt:

Zugart	Anzahl der verkehrenden Züge, PFA 18/19						Entwurfsgeschwindigkeit v_max [km/h]	Länge bis [m]
	Prognose-Nullfall		Prognose-Fall					
	5100		5100		5919			
GRI	Ri	GRI	Ri	GRI	Ri			
Beurteilungszeitraum Tag (06:00 bis 22:00 Uhr)								
ICE	23	26	-	-	25	25	160 (230)*	411
RE 1	19	18	-	-	18	18	160	210
RE 2	18	18	3	3	-	-	160	210
S-Bahn	-	-	14	14	-	-	160	145
GZ (v = 100 km/h)	66	68	32	31	33	32	100	500
GZ (v = 120 km/h)	-	-	2	2	1	1	120	500
GZ (v = 160 km/h)	-	-	-	-	-	-	160	500
Beurteilungszeitraum Nacht (22:00 bis 06:00 Uhr)								
ICE	3	-	-	-	3	3	160 (230)*	411
RE 1	3	3	-	-	4	4	160	210
RE 2	2	3	-	-	-	-	160	210
S-Bahn	-	-	5	5	-	-	160	145
GZ (v = 100 km/h)	43	41	27	24	28	24	100	500
GZ (v = 120 km/h)	-	-	3	3	2	3	120	500
GZ (v = 160 km/h)	-	-	1	1	1	1	160	500

* Die Entwurfsgeschwindigkeit im Prognose-Fall wird mit v_max = 230 km/h angesetzt

Tab. 8: Übersicht des Betriebsprogramms im Prognose-Nullfall und Prognose-Fall im Streckenabschnitt Forchheim - Bamberg

5.2 Ergebnisse der untersuchten Gebäude

An den in Kapitel 4.1 dargestellten Gebäuden wurden erschütterungstechnische Untersuchungen (vgl. Messberichte in der Anlage 13.4) durchgeführt. Wie bereits in Kapitel 1.3 beschrieben, erfolgt u. a. bereits aufgrund weitergehender oberbautechnischer Randbedingungen auf allen Richtungsgleisen größtenteils eine Baugrundverbesserung sowie durchgehend der Einbau von hoch verdichteten Tragschichten. Diese Maßnahmen im Gleisaufbau bedingen entsprechende Auswirkungen auf die zukünftige Immissionssituation durch Erschütterungen und Sekundärluftschall.

Die Ergebnisse für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Fall werden im Folgenden ohne bzw. mit Berücksichtigung der Baugrundverbesserung sowie dem Einbau von hoch verdichteten Tragschichten zusammengefasst.

5.2.1 Ergebnisse ohne Baugrundverbesserung sowie ohne den Einbau von hoch verdichteten Tragschichten

Die Ergebnisse für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Fall ohne Baugrundverbesserung sowie ohne den Einbau von hoch verdichteten Tragschichten sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

Gebäude	MIP	Prognose-Nullfall						Prognose-Fall						Differenz						
		Erschütterung			Sekundärluftschall			Erschütterung			Sekundärluftschall			Erschütterung			Sekundärluftschall			
		KB _{F,Tr}	tags	nachts	KB _{F,Tr}	tags	nachts	KB _{F,Tr}	tags	nachts	KB _{F,Tr}	tags	nachts	KB _{F,Tr}	tags	nachts	KB _{F,Tr}	tags	nachts	
TOE-01	EG	0,49	0,49	0,09	0,09	0,09	0,79	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	23,5	23,5	60%	60%	1%	-12%	1%	-12%
	OG1 (1)	0,74	0,74	0,11	0,09	0,11	0,92	0,11	0,09	0,11	0,11	0,11	21,9	21,9	20%	20%	-1%	-12%	-1%	-12%
	OG1 (2)	1,03	1,03	0,15	0,12	0,15	1,02	0,15	0,12	0,15	0,15	18,4	18,4	4%	4%	33%	33%	20%	20%	
	TOG (1)	0,56	0,56	0,08	0,08	0,08	0,77	0,08	0,08	0,08	0,08	12,7	12,7	32%	32%	92%	92%	-17%	-17%	
	TOG (2)	0,60	0,60	0,09	0,09	0,09	0,80	0,09	0,09	0,09	0,09	14,3	14,3	35%	35%	77%	77%	-11%	-11%	
	TOG (3)	0,40	0,40	0,06	0,07	0,06	0,66	0,06	0,06	0,06	0,06	12,4	12,4	68%	68%	119%	119%	-8%	-8%	
	EG	0,13	0,13	0,02	0,02	0,02	0,29	0,02	0,02	0,02	0,02	12,2	12,2	116%	116%	70%	70%	95%	95%	
	TOG (1)	0,33	0,33	0,05	0,05	0,05	0,80	0,05	0,05	0,05	0,05	18,4	18,4	141%	141%	84%	84%	115%	115%	
	TOG (2)	0,34	0,34	0,05	0,05	0,05	0,91	0,05	0,05	0,05	0,05	23,0	23,0	168%	168%	257%	257%	3,6	3,6	
	EG	0,16	0,16	0,03	0,03	0,03	0,21	0,03	0,03	0,03	0,03	12,4	12,4	14,3	14,3	78%	78%	38%	38%	
	TOG (1)	0,20	0,20	0,04	0,04	0,04	0,26	0,04	0,04	0,04	0,04	16,9	16,9	18,8	18,8	19%	19%	39%	39%	
	TOG (2)	0,20	0,20	0,04	0,04	0,04	0,26	0,04	0,04	0,04	0,04	16,9	16,9	18,8	18,8	19%	19%	39%	39%	
	EG	0,08	0,08	0,01	0,01	0,01	1,33	0,01	0,01	0,01	0,01	16,4	16,4	18,3	18,3	64%	64%	31%	31%	
	TOG (1)	0,41	0,41	0,09	0,08	0,09	0,81	0,09	0,08	0,09	0,09	19,9	19,9	21,5	21,5	24%	24%	11%	11%	
	TOG (2)	0,29	0,29	0,06	0,06	0,06	0,36	0,06	0,06	0,06	0,06	13,6	13,6	18,3	18,3	67%	67%	-3%	-3%	
	EG	0,71	0,71	0,14	0,14	0,14	0,90	0,14	0,14	0,14	0,14	13,6	13,6	15,3	15,3	28%	28%	0%	0%	
	TOG (1)	0,30	0,30	0,05	0,05	0,05	0,44	0,05	0,05	0,05	0,05	18,0	18,0	19,7	19,7	47%	47%	96%	96%	
	TOG (2)	0,46	0,46	0,07	0,07	0,07	0,69	0,07	0,07	0,07	0,07	17,4	17,4	19,1	19,1	50%	50%	21%	21%	
	EG	0,36	0,36	0,06	0,06	0,06	0,54	0,06	0,06	0,06	0,06	17,0	17,0	18,8	18,8	52%	52%	21%	21%	
	TOG (1)	0,21	0,21	0,04	0,04	0,04	0,37	0,04	0,04	0,04	0,04	23,0	23,0	24,6	24,6	76%	76%	33%	33%	
	TOG (2)	0,20	0,20	0,04	0,04	0,04	0,37	0,04	0,04	0,04	0,04	23,0	23,0	24,6	24,6	76%	76%	33%	33%	
	EG	1,01	1,01	0,20	0,18	0,18	1,66	0,20	0,18	0,18	0,18	20,0	20,0	21,7	21,7	34%	34%	47%	47%	
	TOG (1)	1,13	1,13	0,18	0,15	0,15	1,66	0,18	0,15	0,15	0,15	20,0	20,0	21,7	21,7	34%	34%	47%	47%	
	TOG (2)	0,34	0,34	0,06	0,06	0,06	0,59	0,06	0,06	0,06	0,06	20,8	20,8	22,4	22,4	73%	73%	118%	118%	
	EG	0,69	0,69	0,13	0,12	0,12	1,25	0,13	0,12	0,12	0,12	23,7	23,7	25,3	25,3	82%	82%	60%	60%	
	TOG (1)	0,43	0,43	0,08	0,08	0,08	0,87	0,08	0,08	0,08	0,08	27,2	27,2	28,7	28,7	101%	101%	163%	163%	
	TOG (2)	0,44	0,44	0,08	0,08	0,08	0,87	0,08	0,08	0,08	0,08	27,2	27,2	28,7	28,7	101%	101%	163%	163%	
	EG	0,46	0,46	0,09	0,09	0,09	0,83	0,09	0,09	0,09	0,09	21,2	21,2	22,5	22,5	49%	49%	98%	98%	
	TOG (1)	0,38	0,38	0,07	0,07	0,07	0,65	0,07	0,07	0,07	0,07	19,8	19,8	21,4	21,4	48%	48%	98%	98%	
	TOG (2)	0,38	0,38	0,07	0,07	0,07	0,65	0,07	0,07	0,07	0,07	19,8	19,8	21,4	21,4	48%	48%	98%	98%	
	EG	0,90	0,90	0,13	0,14	0,14	2,15	0,13	0,14	0,14	0,14	30,5	30,5	32,7	32,7	139%	139%	59%	59%	
	TOG (1)	1,00	1,00	0,16	0,12	0,12	1,22	0,16	0,12	0,12	0,12	19,5	19,5	21,5	21,5	69%	69%	24%	24%	
	TOG (2)	0,87	0,87	0,13	0,10	0,10	1,44	0,13	0,10	0,10	0,10	21,2	21,2	23,1	23,1	40%	40%	30%	30%	
	EG	1,24	1,24	0,19	0,18	0,18	3,98	0,19	0,18	0,18	0,18	37,1	37,1	39,1	39,1	302%	302%	436%	436%	
	TOG (1)	1,02	1,02	0,19	0,19	0,19	4,43	0,19	0,19	0,19	0,19	37,1	37,1	39,1	39,1	302%	302%	436%	436%	
	TOG (2)	1,09	1,09	0,18	0,18	0,18	4,36	0,18	0,18	0,18	0,18	32,3	32,3	34,1	34,1	356%	356%	508%	508%	
	EG	0,22	0,22	0,05	0,05	0,05	0,40	0,05	0,05	0,05	0,05	19,4	19,4	21,0	21,0	82%	82%	143%	143%	
	TOG (1)	0,23	0,23	0,05	0,05	0,05	0,38	0,05	0,05	0,05	0,05	21,7	21,7	23,2	23,2	65%	65%	111%	111%	
	TOG (2)	0,28	0,28	0,05	0,05	0,05	0,68	0,05	0,05	0,05	0,05	19,9	19,9	21,3	21,3	88%	88%	25%	25%	
	EG	0,27	0,27	0,05	0,05	0,05	0,53	0,05	0,05	0,05	0,05	20,2	20,2	21,9	21,9	93%	93%	158%	158%	
	TOG (1)	0,35	0,35	0,07	0,07	0,07	0,69	0,07	0,07	0,07	0,07	19,7	19,7	21,4	21,4	94%	94%	24%	24%	
	TOG (2)	0,23	0,23	0,05	0,04	0,04	0,59	0,05	0,04	0,04	0,04	17,5	17,5	18,9	18,9	70%	70%	20%	20%	
	EG	0,73	0,73	0,11	0,08	0,08	1,82	0,11	0,08	0,08	0,08	20,6	20,6	22,2	22,2	19%	19%	37%	37%	
	TOG (1)	0,87	0,87	0,14	0,11	0,11	1,47	0,14	0,11	0,11	0,11	19,8	19,8	21,3	21,3	68%	68%	39%	39%	
	TOG (2)	1,01	1,01	0,15	0,13	0,13	1,20	0,15	0,13	0,13	0,13	20,9	20,9	22,6	22,6	19%	19%	46%	46%	
	EG	0,12	0,12	0,02	0,02	0,02	0,19	0,12	0,02	0,02	0,02	13,1	13,1	15,0	15,0	54%	54%	23%	23%	
	TOG (1)	0,17	0,17	0,03	0,02	0,02	0,34	0,03	0,02	0,02	0,02	14,6	14,6	16,5	16,5	53%	53%	104%	104%	
	TOG (2)	0,26	0,26	0,04	0,03	0,03	0,32	0,04	0,03	0,03	0,03	11,2	11,2	13,1	13,1	21%	21%	62%	62%	

Erschütterung
 0 Überschreitung des Anhaltenswertes
 25 Überschreitung des Anhaltenswertes und wesentliche Erhöhung (> 25%) der Immissionsbelastung
 Sekundärluftschall
 3 dB(A) Überschreitung des Zumutbarkeitswertes und wesentliche Erhöhung (> 3 dB(A)) der Immissionsbelastung

Tab. 9: Übersicht Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen im PFA 18/19 ohne Baugrundverbesserung und ohne Einbau von hoch verdichteten Tragschichten

Demnach werden bereits vor dem Streckenausbau (Prognose-Nullfall) an elf der fünfzehn untersuchten Gebäude die Anforderungen der DIN 4150-2 nicht eingehalten. An einem der untersuchten Gebäude werden zudem die höchstzulässigen Innenraumpegel bereits nicht eingehalten.

Für den Prognose-Fall wurde gegenüber dem Prognose-Nullfall an nachfolgenden Messorten ohne die Baugrundverbesserung und ohne den Einbau von hoch verdichteten Tragschichten eine wesentliche Erhöhung der Erschütterungsimmissionen oberhalb der Anhaltswerte der DIN 4150-2 festgestellt:

- IOE-03: Hainstraße 27
- IOE-04: Untere Kellerstraße 37
- IOE-06: Von-Pappenheim-Straße 12
- IOE-07: Jean-Paul-Straße 11
- IOE-08: Jean-Paul-Straße 15
- IOE-09: Karl-Bröger-Straße 37f
- IOE-10: Jean-Paul-Straße 21
- IOE-11: Jean-Paul-Straße 27
- IOE-12: Am Sendelgraben 12
- IOE-13: Am Sendelgraben 14
- IOE-14: Bammersdorfer Straße 58

Für diese elf Gebäude werden die definierten Anforderungen an den Erschütterungsschutz nicht eingehalten. An den weiteren vier untersuchten Messorten im PFA 18/19 werden die Anforderungen der DIN 4150-2 eingehalten.

An zwei der fünfzehn untersuchten Gebäude können zudem die entsprechenden Anforderungen an den Sekundärluftschallschutz nicht eingehalten werden. An den weiteren dreizehn untersuchten Gebäuden unterschreiten die prognostizierten Sekundärluftschallimmissionen sowohl für den Prognose-Nullfall als auch für den Prognose-Fall die definierten Zumutbarkeitsschwellen tagsüber/nachts um mindestens 12/1 dB(A). ~~Da sich die Sekundärluftschallimmissionen für ein Gebäude im Bereich der Jean-Paul-Straße in Forchheim um bis zu 3 dB(A) an die Zumutbarkeitsschwellen annähern, ist für dieses Gebäude die Summenwirkung aus primärem und sekundärem Luftschall zu berücksichtigen.~~

5.2.2 Ergebnisse mit Baugrundverbesserung und Einbau von hoch verdichteten Tragschichten

Die Baugrundverbesserung und der Einbau von hoch verdichteten Tragschichten bedingen unter anderem auch Änderungen der Immissionssituation durch Erschütterungen und Sekundärluftschall. Die Ergebnisse für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Fall mit Berücksichtigung dieser Maßnahmen sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Gebäude	MP	Prognose-Nullfall						Prognose-Fall						Differenz									
		Erschütterung			Sekundärluftschall			Erschütterung			Sekundärluftschall			Erschütterung			Sekundärluftschall						
		KB _{Fmax}	tags	nachts	KB _{Frr}	tags	nachts	KB _{Fmax}	tags	nachts	KB _{Frr}	tags	nachts	KB _{Fmax}	tags	nachts	KB _{Frr}	tags	nachts	KB _{Fmax}	tags	nachts	KB _{Frr}
IOE-01	EG	0,49	0,49	0,09	0,09	0,87	0,09	0,10	0,10	23,2	24,8	32%	76%	12%	12%	0,1	1,4						
IOE-01	OG1(1)	0,74	0,74	0,11	0,11	1,10	0,11	1,10	0,11	23,3	24,8	35%	49%	3%	13%	0,0	1,4						
IOE-01	OG1(2)	1,03	1,03	0,15	0,15	1,99	0,15	1,99	0,15	20,6	20,6	-18%	-33%	-23%	-0,6	0,7	1,4						
IOE-02	1.OG(1)	0,56	0,56	0,08	0,08	1,40	0,08	1,40	0,08	14,1	15,9	-11%	18%	-23%	0,1	1,4							
IOE-02	1.OG(2)	0,60	0,60	0,09	0,09	1,53	0,09	1,53	0,09	16,1	17,9	-15%	13%	-38%	0,8	2,1							
IOE-02	1.OG(3)	0,40	0,40	0,06	0,06	1,34	0,06	1,34	0,06	14,2	15,8	8%	45%	-28%	0,7	2,1							
IOE-03	EG	0,13	0,13	0,02	0,02	8,6	0,02	8,9	0,02	14,8	15,3	58%	111%	24%	41%	5,4	6,4						
IOE-03	1.OG(1)	0,33	0,33	0,05	0,05	14,8	0,05	14,9	0,05	20,2	21,5	87%	159%	43%	65%	5,4	6,4						
IOE-03	1.OG(2)	0,34	0,34	0,05	0,05	19,8	0,05	19,8	0,05	20,2	21,5	160%	247%	89%	125%	5,4	6,5						
IOE-04	EG	0,16	0,16	0,03	0,03	11,0	0,03	11,5	0,03	13,8	15,7	12%	50%	8%	2,8	4,2							
IOE-04	1.OG	0,20	0,20	0,04	0,04	15,6	0,04	16,0	0,04	18,9	20,8	17%	56%	0%	3,3	4,8							
IOE-05	DG	1,08	1,08	0,17	0,16	15,6	0,16	16,0	0,14	18,1	18,1	-22%	4%	-29%	2,5	4,0							
IOE-05	EG	0,41	0,41	0,09	0,08	21,2	0,09	21,4	0,07	21,7	23,4	1%	34%	-22%	-9%	0,6	2,0						
IOE-05	1.OG	0,29	0,29	0,06	0,06	17,7	0,06	18,0	0,05	18,1	19,7	2%	36%	-20%	-8%	0,4	1,7						
IOE-06	2.OG	0,71	0,71	0,14	0,14	14,6	0,14	14,7	0,09	15,3	16,9	-18%	10%	-36%	0,7	2,2							
IOE-06	EG	0,30	0,30	0,05	0,05	16,6	0,05	16,8	0,06	19,8	21,5	19%	58%	-1%	15%	3,2	4,6						
IOE-06	1.OG	0,46	0,46	0,07	0,07	16,0	0,07	16,2	0,06	19,2	20,9	10%	47%	-12%	6%	3,2	4,6						
IOE-07	DG	0,36	0,36	0,06	0,06	15,8	0,06	16,1	0,04	18,6	20,4	16%	55%	-7%	10%	2,9	4,4						
IOE-07	EG	0,21	0,21	0,04	0,03	21,4	0,04	21,4	0,06	25,3	26,9	110%	157%	51%	74%	4,0	5,5						
IOE-07	1.OG(1)	1,01	1,01	0,20	0,18	19,9	0,20	20,2	0,17	22,2	23,8	32%	76%	-15%	6%	2,2	3,6						
IOE-07	1.OG(1)	1,13	1,13	0,18	0,18	19,4	0,18	19,4	0,15	20,8	22,5	-1%	16%	-18%	3%	1,7	3,2						
IOE-08	EG	0,34	0,34	0,06	0,06	19,5	0,06	19,7	0,08	22,3	23,9	72%	125%	34%	57%	2,8	4,2						
IOE-08	1.OG(1)	0,69	0,69	0,13	0,12	22,2	0,12	22,4	0,17	25,5	27,0	60%	114%	17%	39%	3,3	4,6						
IOE-08	1.OG(1)	0,43	0,43	0,08	0,08	25,8	0,08	26,0	0,16	29,3	30,8	151%	234%	69%	101%	3,5	4,8						
IOE-08	EG	0,44	0,44	0,08	0,08	18,1	0,08	18,3	0,07	20,8	21,2	22%	63%	-11%	5%	1,2	2,6						
IOE-08	1.OG	0,46	0,46	0,09	0,09	21,2	0,09	21,1	0,08	23,0	24,3	27%	69%	-7%	8%	1,8	3,2						
IOE-09	DG	0,38	0,38	0,07	0,07	19,8	0,07	19,9	0,07	21,1	22,6	39%	86%	-4%	16%	1,3	2,7						
IOE-09	EG	0,90	0,90	0,13	0,14	28,5	0,13	29,3	0,27	32,3	34,5	219%	326%	110%	161%	3,8	5,2						
IOE-09	1.OG(1)	1,00	1,00	0,16	0,12	18,2	0,16	18,8	0,14	20,9	23,0	10%	10%	-17%	-1%	2,8	4,2						
IOE-09	1.OG(2)	0,87	0,87	0,13	0,10	20,0	0,13	20,5	0,14	22,5	24,4	22%	63%	5%	41%	2,5	3,9						
IOE-11	EG	1,24	1,24	0,19	0,18	31,6	0,19	32,3	0,69	39,6	41,7	347%	486%	221%	268%	6,0	9,4						
IOE-11	1.OG	1,02	1,02	0,19	0,19	26,9	0,19	27,4	0,47	34,1	36,0	342%	489%	151%	193%	7,2	8,6						
IOE-11	DG	1,09	1,09	0,18	0,18	27,3	0,18	27,8	0,58	34,4	36,3	390%	554%	210%	258%	7,1	8,5						
IOE-12	EG	0,22	0,22	0,05	0,05	19,1	0,05	19,4	0,06	20,7	22,2	100%	167%	17%	41%	1,6	2,8						
IOE-12	1.OG	0,23	0,23	0,05	0,04	21,2	0,05	21,3	0,06	23,7	25,2	89%	152%	18%	42%	2,6	3,9						
IOE-12	DG	0,28	0,28	0,05	0,05	19,4	0,05	19,5	0,07	21,7	23,1	90%	154%	22%	43%	2,3	3,6						
IOE-13	EG	0,27	0,27	0,05	0,05	19,7	0,05	20,1	0,08	21,4	23,0	109%	179%	25%	50%	1,7	2,9						
IOE-13	1.OG(1)	0,35	0,35	0,07	0,07	19,1	0,07	19,5	0,08	20,5	22,2	92%	156%	18%	39%	1,4	2,7						
IOE-13	1.OG(2)	0,23	0,23	0,05	0,04	17,1	0,05	17,3	0,05	19,3	20,7	48%	97%	-2%	16%	2,2	3,4						
IOE-14	EG	0,73	0,73	0,11	0,08	18,2	0,11	18,5	0,07	20,3	21,7	8%	22%	-2%	23%	4,0	5,3						
IOE-14	1.OG	0,87	0,87	0,14	0,11	17,7	0,14	17,9	0,13	21,3	22,7	13%	15%	-5%	12%	3,6	4,9						
IOE-14	2.OG	1,01	1,01	0,15	0,13	18,9	0,15	19,2	0,14	22,1	23,7	9%	29%	-10%	13%	3,2	4,5						
IOE-15	EG	0,12	0,12	0,02	0,02	11,7	0,02	11,9	0,02	14,6	16,5	26%	71%	3%	26%	3,0	4,6						
IOE-15	1.OG(1)	0,17	0,17	0,03	0,02	13,2	0,03	13,6	0,02	16,1	18,0	34%	76%	17%	40%	3,0	4,4						
IOE-15	1.OG(2)	0,26	0,26	0,04	0,03	10,0	0,04	10,3	0,03	12,2	14,1	-15%	14%	-19%	2%	2,3	3,8						

Erschütterung
 0 Überschreitung des Anhaltswertes
 25 Überschreitung des Anhaltswertes und wesentliche Erhöhung (> 25%) der Immissionsbelastung
 Sekundärluftschall
 3 dB(A) Überschreitung des Zumutbarkeitswertes und wesentliche Erhöhung (> 3 dB(A)) der Immissionsbelastung

Tab. 10: Übersicht Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen im PFA 18/19 mit Baugrundverbesserung und Einbau von hoch verdichteten Tragschichten

An nachfolgenden Messorten wurde selbst unter Berücksichtigung der Baugrundverbesserung und des Einbaus von hoch verdichteten Tragschichten für den Prognose-Fall gegenüber dem Prognose-Nullfall weiterhin eine wesentliche Erhöhung der Erschütterungsimmissionen oberhalb der Anhaltswerte der DIN 4150-2 festgestellt:

- IOE-03: Hainstraße 27
- IOE-07: Jean-Paul-Straße 11
- IOE-08: Jean-Paul-Straße 15
- IOE-10: Jean-Paul-Straße 21
- IOE-11: Jean-Paul-Straße 27
- IOE-12: Am Sendelgraben 12
- IOE-13: Am Sendelgraben 14

Für diese sieben Gebäude werden die definierten Anforderungen an den Erschütterungsschutz selbst unter Berücksichtigung der beschriebenen Maßnahmen nicht eingehalten. An den weiteren acht untersuchten Messorten im PFA 18/19 werden die Anforderungen der DIN 4150-2 eingehalten.

An drei der fünfzehn untersuchten Gebäude können zudem die entsprechenden Anforderungen an den Sekundärluftschallschutz nicht eingehalten werden. An den weiteren zwölf untersuchten Gebäuden unterschreiten die prognostizierten Sekundärluftschallimmissionen sowohl für den Prognose-Nullfall als auch für den Prognosefall die definierten Zumutbarkeitsschwellen tagsüber/nachts um mindestens 14/3 dB(A).

5.3 Ermittlung der Betroffenheiten

Wie den Tabellen 9 und 10 zu entnehmen ist, werden mit der beschriebenen Maßnahme (Baugrundverbesserung und Einbau von hoch verdichteten Tragschichten) die spezifischen Betroffenheiten durch die Ausbaumaßnahmen im PFA 18/19 bereits erheblich reduziert. In einzelnen Streckenbereichen ist jedoch nicht auszuschließen, dass im Zuge der Ausbaumaßnahmen eine wesentliche Erhöhung der Erschütterungsimmissionen oberhalb der Anhaltswerte der DIN 4250-2 auftritt.

Die maßgebliche Beurteilungsgröße für die wesentliche Änderung der Erschütterungsimmissionen ist dabei die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} im Nachtzeitraum. Hier können sich auf der Bahnseite, auf welcher die Gleisachsen näher an die Bestandsgebäude heranrücken, die Erschütterungsimmissionen deutlich erhöhen.

Neben dem Heranrücken der beiden neu zu errichtenden Gleisachsen an bestehende Bebauung sind ebenfalls die Geschwindigkeitsanpassungen sowie die Kapazitätserhöhungen im Beurteilungszeitraum Nacht ursächlich für diese Betroffenheiten.

Auf Basis der dargestellten Messwerte, Prognoseergebnisse, Vor-Ort-Erhebungen sowie weitergehender pauschaler Annahmen wurde die Gesamtzahl von Gebäuden mit Betroffenheiten abgeschätzt. Die nachfolgende Tabelle 11 zeigt die Anzahl der Gebäude mit spezifischen bzw. möglichen spezifischen Betroffenheiten in den jeweiligen Ortsbereichen. Spezifische Betroffenheiten bestehen dabei bei den messtechnisch untersuchten Gebäuden. Mögliche weitere spezifische Betroffenheiten können sich bei den im näheren Umfeld zu den Messorten liegenden Nachbargebäuden aufgrund ähnlicher geometrischer Abstände sowie ähnlicher konstruktiver Bauweise ergeben, wobei diese Gebäude nicht messtechnisch untersucht wurden.

Bereich	Streckenabschnitt	Anzahl der Gebäude mit	
		spezifischen Betroffenheiten (Messorte)	möglichen spezifischen Betroffenheiten (Nachbargebäude)
Kersbach	keine Betroffenheiten vorhanden		
Forchheim	km 38,95 bis 39,00	1	1
	km 39,24 bis 39,44	-	3
	km 39,75 bis 40,11	6	21
Eggolsheim	km 45,36 bis 45,42	-	3
Gesamt		7	28

Tab. 11: Übersicht mit Darstellung der spezifischen bzw. möglichen spezifischen Betroffenheiten

6 Berücksichtigung weitergehender erschütterungsmindernder Maßnahmen

6.1 Ergebnisse der Prognose mit weitergehenden erschütterungsmindernden Maßnahmen

Sofern die Prognoseberechnungen unter Kapitel 5.2 ergaben, dass an einem Messort selbst unter Berücksichtigung der Baugrundverbesserung sowie des Einbaus von hoch verdichteten Tragschichten eine wesentliche Erhöhung der Erschütterungsimmissionen oberhalb der Anhaltswerte der DIN 4150-2 im Ausbauzustand auftritt, werden im Folgenden weitergehende erschütterungsmindernde Maßnahmen für die betroffenen Messorte geprüft.

6.1.1 Ergebnisse mit Schutzmaßnahme „Schwellenbesohlung“

In nachfolgenden Tabellen werden die Ergebnisse der Prognoseberechnungen unter Berücksichtigung der Schutzmaßnahme „Schwellenbesohlung“ für diejenigen sieben Gebäude dargestellt, bei welchen eine wesentliche Erhöhung oberhalb der Anhaltswerte der DIN 4150-2 festgestellt wurde:

Es werden dabei folgende Schutzmaßnahmenkonzepte untersucht:

Schutzfall 1: „Schwellenbesohlung“ auf den beiden jeweiligen Streckengleisen, die näher an dem entsprechenden Bestandsgebäude liegen:

5919Ri / 5900Ri oder 5919GRi / 5900GRi

Schutzfall 2: „Schwellenbesohlung“ auf allen vier Streckengleisen (5900Ri/GRi und 5919Ri/GRi)

Die Ergebnisse der Prognoseberechnungen für das Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 1“ sind in nachfolgender Tabelle 12 zusammengefasst:

Gebäude	IMP	Prognose-Nullfall						Prognose-Fall						Differenz						
		Erschütterung			Sekundärtaufschall			Erschütterung			Sekundärtaufschall			Erschütterung			Sekundärtaufschall			
		KB _{Fmax}	nachts	tags	KB _{FTr}	nachts	tags	KB _{Fmax}	nachts	tags	KB _{FTr}	nachts	tags	KB _{Fmax}	nachts	tags	KB _{FTr}	nachts	tags	
IOE-03	EG	0,13	0,13	0,02	0,02	4,6	4,9	0,17	0,22	0,70	0,06	0,07	11,3	12,6	2,6%	68%	17%	2%	17%	2%
	1.OG (1)	0,33	0,33	0,05	0,05	14,8	14,9	0,52	0,70	0,06	0,07	17,1	18,5	58%	110%	21%	41%	2%	2%	
IOE-07	EG	0,21	0,21	0,04	0,04	21,4	21,4	0,23	0,31	0,04	0,04	21,5	22,2	93%	158%	46%	70%	11%	11%	
	1.OG (1)	1,01	1,01	0,20	0,18	19,9	20,2	1,08	1,44	0,15	0,17	20,1	21,7	11%	48%	-10%	8%	7%	7%	
IOE-08	EG	1,13	1,13	0,18	0,15	19,1	19,4	1,00	1,04	0,13	0,14	19,1	20,7	-11%	43%	-8%	-26%	-7%	-7%	
	1.OG (1)	0,34	0,34	0,06	0,06	19,5	19,7	0,49	0,59	0,07	0,08	19,6	21,3	44%	75%	13%	31%	31%	31%	
IOE-10	EG	0,43	0,43	0,08	0,08	22,2	22,4	0,90	1,20	0,13	0,14	22,3	23,8	31%	74%	0%	18%	0%	0%	
	1.OG (1)	0,90	0,90	0,13	0,14	25,8	26,0	0,57	0,76	0,08	0,10	26,0	27,4	32%	76%	0%	24%	0%	0%	
IOE-11	EG	1,00	1,00	0,16	0,12	18,2	18,8	0,89	0,89	0,12	0,10	18,6	20,5	53%	104%	11%	36%	0%	0%	
	1.OG (2)	0,87	0,87	0,13	0,10	20,0	20,5	0,79	1,05	0,11	0,11	20,5	22,3	-10%	-10%	-27%	-16%	-10%	-10%	
IOE-12	EG	1,24	1,24	0,19	0,18	31,6	32,3	3,93	5,24	0,42	0,47	34,1	36,1	217%	323%	21%	14%	14%	14%	
	1.OG	1,02	1,02	0,19	0,19	26,9	27,4	3,61	4,82	0,37	0,44	29,4	31,2	254%	372%	123%	100%	132%	132%	
IOE-13	EG	1,09	1,09	0,18	0,18	27,3	27,8	3,97	5,30	0,41	0,47	29,9	31,7	265%	387%	135%	100%	134%	134%	
	1.OG	0,23	0,23	0,05	0,05	19,1	19,4	0,26	0,38	0,04	0,05	18,5	20,2	28%	71%	-13%	5%	5%	5%	
IOE-13	EG	0,28	0,28	0,05	0,04	21,2	21,3	0,25	0,34	0,04	0,04	20,4	22,0	11%	48%	-19%	0%	0%	0%	
	1.OG (1)	0,35	0,35	0,07	0,07	19,1	19,5	0,44	0,54	0,05	0,06	19,0	20,5	48%	97%	-1%	16%	16%	16%	
IOE-13	EG	0,27	0,27	0,05	0,05	18,7	19,1	0,38	0,50	0,05	0,05	18,4	21,1	37%	83%	-7%	12%	12%	12%	
	1.OG (2)	0,23	0,23	0,05	0,04	17,1	17,3	0,27	0,36	0,04	0,04	17,1	18,7	18%	57%	-17%	-1%	-1%	-1%	

Erschütterung

0 Überschreitung des Anhaltswertes

25 Überschreitung des Anhaltswertes und wesentliche Erhöhung (> 25 %) der Immissionsbelastung

Sekundärtaufschall

3.dB(A) Überschreitung des Zumutbarkeitswertes

3.dB(A) Überschreitung des Zumutbarkeitswertes und wesentliche Erhöhung (> 3 dB(A)) der Immissionsbelastung

Tab. 12: Übersicht Erschütterungsimmissionen PFA 18/19 mit Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 1“

Durch das Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 1“ können grundsätzlich die Erschütterungsimmissionen bereits wesentlich reduziert werden. Für ~~fünf~~ vier Messorte im Bereich von Forchheim können die definierten Anforderungen an den Erschütterungsschutz mit diesem Schutzmaßnahmenkonzept bereits eingehalten werden. Bei ~~zwei~~ drei Messorten in der Jean-Paul-Straße in Forchheim (IOE-08: Jean-Paul-Straße 15, IOE-10: Jean-Paul-Straße 21 bzw. IOE-11: Jean-Paul-Straße 27) bleiben die spezifischen Betroffenheiten mit diesem Schutzmaßnahmenkonzept jedoch bestehen.

In Folge dessen wurde für diese Messorte das Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 2“ untersucht. Die Ergebnisse dieser Prognoseberechnungen sind in nachfolgender Tabelle 13 zusammengefasst:

Gebäude	IMP	Prognose-Nullfall						Prognose-Fall						Differenz						
		Erschütterung			Sekundärtaufschlag			Erschütterung			Sekundärtaufschlag			Erschütterung			Sekundärtaufschlag			
		KB _{Fmax}	nachts	tags	KB _{Fmax}	nachts	tags	KB _{Fmax}	nachts	tags	KB _{Fmax}	nachts	tags	KB _{Fmax}	nachts	tags	KB _{Fmax}	nachts	tags	
IOE-03	EG	0,13	0,13	0,02	0,02	0,02	0,17	0,22	0,70	0,02	0,02	0,02	9,7	10,9	68%	12%	26%	68%	12%	26%
	1.OG (1)	0,33	0,33	0,05	0,05	0,05	0,52	0,70	0,06	0,06	0,06	15,9	17,3	58%	110%	19%	58%	110%	19%	
IOE-07	EG	0,21	0,21	0,04	0,04	0,04	0,23	0,31	0,08	0,08	0,08	20,4	21,8	93%	158%	42%	93%	158%	42%	
	1.OG (1)	1,01	1,01	0,20	0,18	0,18	1,08	1,44	0,13	0,13	0,13	19,8	21,3	11%	48%	11%	11%	48%	0%	
IOE-08	EG	0,34	0,34	0,06	0,06	0,06	0,49	0,59	0,07	0,07	0,07	18,7	20,4	44%	75%	8%	44%	75%	8%	
	1.OG (1)	0,69	0,69	0,13	0,12	0,12	0,90	1,20	0,12	0,12	0,12	21,1	22,7	31%	74%	31%	31%	74%	3%	
IOE-10	EG	0,90	0,90	0,13	0,14	0,14	1,35	1,84	0,07	0,07	0,08	24,2	25,8	32%	76%	32%	32%	76%	15%	
	1.OG (1)	1,00	1,00	0,16	0,12	0,12	1,88	2,58	0,13	0,13	0,18	27,9	30,1	53%	104%	2%	53%	104%	2%	
IOE-11	EG	0,87	0,87	0,13	0,10	0,10	0,79	1,05	0,11	0,11	0,11	19,3	21,2	10%	21%	10%	10%	21%	8%	
	1.OG (2)	1,24	1,24	0,19	0,18	0,18	3,93	5,24	0,41	0,41	0,47	33,8	35,5	217%	323%	122%	217%	323%	122%	
IOE-12	EG	1,09	1,09	0,18	0,18	0,18	3,97	5,30	0,41	0,41	0,47	29,5	31,3	265%	387%	134%	265%	387%	134%	
	1.OG (1)	0,23	0,23	0,05	0,05	0,05	0,26	0,33	0,04	0,04	0,04	17,1	18,7	28%	71%	28%	28%	71%	8%	
IOE-13	EG	0,29	0,29	0,05	0,05	0,05	0,41	0,54	0,05	0,05	0,06	17,4	18,3	48%	97%	8%	48%	97%	8%	
	1.OG (1)	0,35	0,35	0,07	0,07	0,07	0,55	0,73	0,07	0,07	0,08	18,1	19,7	56%	107%	5%	56%	107%	5%	
	1.OG (2)	0,23	0,23	0,05	0,04	0,04	0,27	0,36	0,04	0,04	0,04	14,9	16,5	18%	57%	18%	18%	57%	22%	

Erschütterung

0 Überschreitung des Anhaltswertes

25 Überschreitung des Anhaltswertes und wesentliche Erhöhung (> 25 %) der Immissionsbelastung

Sekundärtaufschlag

3.dB(A) Überschreitung des Zumutbarkeitswertes

3.dB(A) Überschreitung des Zumutbarkeitswertes und wesentliche Erhöhung (> 3 dB(A)) der Immissionsbelastung

Tab. 13: Übersicht Erschütterungsimmissionen PFA 18/19 mit Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 2“

Für ~~einen~~ **zwei** weiteren der ~~zwei~~ **drei** bisher nicht gelösten Schutzfälle in der Jean-Paul-Straße in Forchheim (IOE-08: Jean-Paul-Straße 15 **bzw. IOE-10: Jean-Paul-Straße 21**) können die definierten Anforderungen an den Erschütterungsschutz mit dem Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 2“ eingehalten werden. Für das Gebäude (IOE-11: Jean-Paul-Straße 27) konnten die Betroffenheiten mit dem beschriebenen Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 2“ nicht gelöst werden.

Durch die Schutzmaßnahme „Schwellenbesohlung“ werden zudem die Sekundärluftschallimmissionen in den jeweiligen Bereichen wesentlich reduziert und unterschreiten die Zumutbarkeitsschwellen grundsätzlich tagsüber/nachts um mindestens 15/4 dB(A), ~~weshalb eine Betrachtung der Summenwirkung aus Primär- und Sekundärluftschall entfallen kann.~~

~~Einzig an den beiden Gebäuden IOE-08 (Jean-Paul-Straße 15) bzw. IOE-11 (Jean-Paul-Straße 27) in Forchheim nähern sich die Sekundärluftschallimmissionen um bis zu 3 dB(A) an die Zumutbarkeitsschwellen an, weshalb für diese Gebäude die Summenwirkung aus primären und sekundären Luftschall zu berücksichtigen ist.~~

Zusammenfassend zeigen die Prognoseberechnungen mit der Schutzmaßnahme „Schwellenbesohlung“, dass die Erschütterungsimmissionen wesentlich reduziert werden. Einzig an dem Gebäude Jean-Paul-Straße 27 in Forchheim können die definierten Anforderungen an den Erschütterungsschutz nicht verlässlich eingehalten werden.

Die Einhaltung der entsprechenden Anforderungen ist dabei stark von den jeweiligen gebäudespezifischen Parametern (z.B. Deckeneigenfrequenz und Deckenüberhöhungen) sowie der relativen Veränderung der geometrischen Abstände der Gleisachsen zu den bestehenden Gebäuden abhängig. Bei den verbleibenden Betroffenheiten handelt es sich um ein Gebäude mit Betondecken in besonders exponierter Lage zu den Gleisanlagen.

6.1.2 Ergebnisse mit Schutzmaßnahme „USM im Trog“ und „Masse-Feder-System“

Wie die Prognoseberechnungen unter Kapitel 6.1.1 ergaben, können mit der Schutzmaßnahme „Schwellenbesohlung“ die spezifischen Betroffenheiten an einem Gebäude nicht gelöst werden.

Demzufolge wurden ebenfalls die Schutzmaßnahmen „USM im Trog“ und „Masse-Feder-System“ auf einzelnen bzw. allen Richtungsgleisen untersucht.

Die entsprechenden Prognoseberechnungen mit der Schutzmaßnahme „USM im Trog“ zeigen dabei, dass systembedingt keine weiteren der spezifischen Betroffenheiten gelöst werden können. In Folge dessen wird auf die Darstellung der entsprechenden Prognoseergebnisse an dieser Stelle verzichtet.

Mit der Schutzmaßnahme „Masse-Feder-System“ wurde für den bisher nicht gelösten Schutzfall die folgenden Schutzmaßnahmenkonzepte untersucht:

Schutzfall 3: „Masse-Feder-System“ auf den beiden jeweiligen Streckengleisen, die näher an dem entsprechenden Bestandsgebäude liegen:

5919GRi/5900GRi

Schutzfall 4: „Masse-Feder-System“ auf allen vier Streckengleisen (5900Ri/GRi und 5919Ri/GRi)

Die Ergebnisse der Prognoseberechnungen mit dem Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 3“ bzw. „Schutzfall 4“ sind in den nachfolgenden Tabellen 14 und 15 zusammengefasst:

Gebäude	MIP	Prognose-Nullfall						Prognose-Fall						Differenz					
		Erschütterung			Sekundärluftschall			Erschütterung			Sekundärluftschall			Erschütterung			Sekundärluftschall		
		KB _{Fmax}	KB _{FTr}	L _{Wges}	KB _{Fmax}	KB _{FTr}	L _{Wges}	KB _{Fmax}	KB _{FTr}	L _{Wges}	KB _{Fmax}	KB _{FTr}	L _{Wges}	KB _{Fmax}	KB _{FTr}	L _{Wges}	KB _{Fmax}	KB _{FTr}	L _{Wges}
IOE-11	EG	1,24	1,24	0,18	0,18	31,6	32,3	1,09	1,09	0,14	0,14	27,5	29,3	12%	12%	20%	20%	20%	20%
LOG		1,02	1,02	0,19	0,19	26,9	27,4	0,91	0,91	0,16	0,16	23,6	25,3	10%	10%	17%	17%	17%	17%
DG		1,09	1,09	0,18	0,18	27,3	27,8	1,05	1,05	0,13	0,13	23,9	25,5	4%	4%	4%	4%	4%	4%

Erschütterung
 0 Überschreitung des Anhaltswertes
 25 Überschreitung des Anhaltswertes und wesentliche Erhöhung (> 25 %) der Immissionsbelastung

Sekundärluftschall
 3 dB(A) Überschreitung des Zumutbarkeitswertes
 3 dB(A) Überschreitung des Zumutbarkeitswertes und wesentliche Erhöhung (> 3 dB(A)) der Immissionsbelastung

Tab. 14: Übersicht Erschütterungsimmissionen PFA 18/19 mit Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 3“

Gebäude	Prognose-Nullfall						Prognose-Fall						Differenz						
	Erschütterung			Sekundärluftschall			Erschütterung			Sekundärluftschall			Erschütterung			Sekundärluftschall			
	KB _{max}	tags	nachts	KB _{max}	tags	nachts	KB _{max}	tags	nachts	KB _{max}	tags	nachts	KB _{max}	tags	nachts	KB _{max}	tags	nachts	
MP																			
IOE-11	1,24	1,24	0,18	31,6	32,3	0,82	1,09	1,09	0,11	25,2	27,2	-34%	-12%	-41%	-20%	-6,4	-5,1		
LOG	1,02	1,02	0,19	26,9	27,4	0,81	1,08	1,08	0,11	20,2	22,1	-20%	6%	-43%	-6,8	-5,4			
DG	1,09	1,09	0,18	27,3	27,8	0,78	1,05	1,05	0,08	20,6	22,5	-28%	-4%	-43%	-6,7	-5,3			

Erschütterung
 0 Überschreitung des Anfallswertes
 25 Überschreitung des Anfallswertes und wesentliche Erhöhung (> 25 %) der Immissionsbelastung
 Sekundärluftschall
 3 dB(A) Überschreitung des Zumutbarkeitswertes und wesentliche Erhöhung (> 3 dB(A)) der Immissionsbelastung

Tab. 15: Übersicht Erschütterungsimmissionen PFA 18/19 mit Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 4“

Bereits durch das Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 3“ kann der bisher nicht gelöste Schutzfall (IOE-11: Jean-Paul-Straße 27) gelöst werden. Durch das Schutzmaßnahmenkonzept ergibt sich eine weitere Reduzierung der Immissionen durch Erschütterungen und Sekundärluftschall.

Somit können grundsätzlich alle Betroffenheiten in diesem Planfeststellungsabschnitt durch Schutzmaßnahmen gelöst werden.

6.2 Schutzkonzept und Kosten der grundsätzlich erforderlichen Schutzmaßnahmen

Die Ergebnisse der Prognoseberechnungen ergaben in den Bereichen von Forchheim und Eggolsheim spezifische und mögliche spezifische Betroffenheiten (bei den im näheren Umfeld zu den Messorten liegenden Nachbargebäuden) durch Erschütterungsimmissionen (vgl. Tabelle 11). Das Heranrücken der neuen Streckengleise an die bestehenden Gebäude, die Geschwindigkeitsanpassungen sowie die Kapazitätserhöhung – insbesondere im Beurteilungszeitraum Nacht - sind im vorliegenden Fall ursächlich für die wesentliche Erhöhung der Erschütterungsimmissionen oberhalb der Anhaltswerte der DIN 4150-2.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen ist das grundsätzlich erforderliche Schutzmaßnahmenkonzept zur Einhaltung der definierten Anforderungen an den Schutz vor Erschütterungen und Sekundärluftschall nachfolgend in der Tabelle 16 zusammengefasst.

Die Veränderungen im Oberbau durch den Einbau einer Schutzmaßnahme und einhergehend mit den sich dadurch verändernden dynamischen Verhältnissen bei der Zugüberfahrt bedingen für die Bereiche zwischen einer Schutzmaßnahme und dem normalen Schotteroberbau entsprechende Übergangsbereiche, die sich jeweils in der notwendigen Länge sowie der Art der Ausbildung unterscheiden.

Dabei sind bei der Schutzmaßnahme „Schwellenbesohlung“ bzw. „Masse-Feder-System“ grundsätzlich folgende Übergangsbereiche [26] erforderlich:

Schwellenbesohlung:

- Um von der Schwellenbesohlung auf den gängigen Schotteroberbau zu wechseln, ist eine Schwellenbesohlung mit einem höherem statischen und dynamischen Bettungsmodul in einer Länge von $l = 15$ m auszubilden.

Masse-Feder-System:

- Um vom Masse-Feder-System auf den gängigen Schotteroberbau zu wechseln, sind folgende Übergangsbereiche notwendig:

→ Masse-Feder-System mit höherem statischen und dynamischen Bettungsmodul in einer Länge von $l = 15$ m

und

→ Schwellenbesohlung mit höherem statischen und dynamischen Bettungsmodul in einer Länge von $l = 15$ m

Aus der Länge der erforderlichen Schutzmaßnahme, der notwendigen Überstandslängen sowie der Übergangsbereiche zum normalen Schotteroberbau ergeben sich die dargestellten geschätzten Kosten für den Erschütterungsschutz. Die entsprechenden Überstandslängen bzw. Übergangsbereiche sind in der Tabelle 16 bereits berücksichtigt.

Strecke	Fahrtrichtung	ab km	bis km	Länge	Minderungsmaßnahme	Kosten [€]
5919	Ri	38,960	39,010	50 m	Schwellenbesohlung im Weichenbereich	15.000,00
		39,770	40,130	360 m	Schwellenbesohlung	32.400,00
		45,295	45,485	190 m	Schwellenbesohlung	17.100,00
5900	Ri	39,770	40,130	360 m	Schwellenbesohlung	32.400,00
		45,295	45,485	190 m	Schwellenbesohlung	17.100,00
5919	GRi	39,190	39,460	270 m	Schwellenbesohlung	24.300,00
		39,690	39,950	260 m	Schwellenbesohlung	23.400,00
		39,950	40,020	70 m	Masse-Feder-System	322.000,00
		40,020	40,035	15 m	Schwellenbesohlung	1.350,00
5900	GRi	39,190	39,460	270 m	Schwellenbesohlung	24.300,00
		39,690	39,950	260 m	Schwellenbesohlung	23.400,00
		39,950	40,020	70 m	Masse-Feder-System	322.000,00
		40,020	40,035	15 m	Schwellenbesohlung	1.350,00
Gesamt					856.100,00	

Tab. 16: Übersicht der grundsätzlich erforderlichen erschütterungsmindernden Maßnahmen im PFA 18/19

Die Gesamtkosten für das grundsätzlich erforderliche erschütterungstechnische Schutzmaßnahmenkonzept werden auf etwa 856.000 € abgeschätzt. In der Beilage 2 sind die jeweiligen Abwicklungslängen der Schutzmaßnahmen sowie deren Lage in Planform dargestellt.

Mit dem in Tabelle 16 dargestellten Schutzmaßnahmenkonzept können sämtliche spezifischen bzw. möglichen spezifischen Betroffenheiten im PFA 18/19 gelöst werden.

6.3 Schutzfall-bezogene Kostenabwägung

Neben der Prüfung der Wirksamkeit einer Schutzmaßnahme ist den entstehenden Kosten zudem der entstandene Nutzen (vgl. § 74 Abs. 2 Satz 3 VwVfG) gegenüber zu stellen.

Demzufolge ist das grundsätzlich erforderliche Schutzmaßnahmenkonzept anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse zu prüfen. Diese Prüfung wird mit einer schutzfall-bezogenen Kostenabwägung durchgeführt, wobei den Kosten für die jeweilige Schutzmaßnahme die Anzahl der dadurch geschützten Objekte gegenüber gestellt wird. Es ergeben sich dadurch Kosten je gelösten Schutzfall (d.h. geschützten Objekt).

Für die schutzfallbezogene Kostenabwägung wurde der Planfeststellungsabschnitt in insgesamt fünf Teilabschnitte unterteilt. Die Einteilung der Teilabschnitte erfolgte in Abhängigkeit vom jeweiligen Gemeindegebiet, den Ergebnissen der Prognoseberechnungen sowie auf Basis der örtlichen Gegebenheiten, wie z.B. Veränderung der Gleislage, Lage von bebauten Bereichen zur Bahnstrecke und der Schutzbedürftigkeit der Bebauung. Die detaillierte Kosten-Nutzen-Analyse ist in der Beilage **1a** dokumentiert.

Die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für die jeweiligen Teilabschnitte sind in den folgenden Tabellen 17 bis 21 zusammengefasst, wobei in der Spalte 1 der jeweiligen Tabelle das untersuchte Schutzmaßnahmenkonzept dargestellt wird. In der Spalte 2 sind die im Teilabschnitt vorhandenen bzw. jeweils verbleibenden Schutzfälle sowie in der Spalte 3 die durch das Schutzmaßnahmenkonzept gelösten Schutzfälle dokumentiert. In der Spalte 4 sind die Kosten für das jeweilige Schutzmaßnahmenkonzept zusammengefasst. In der Spalte 5 sind die mittleren Kosten je gelöstem Schutzfall sowie in der Spalte 6 die zusätzlichen Kosten je gelösten Schutzfall ermittelt.

Die mittleren Kosten je gelösten Schutzfall ergeben sich dabei aus dem Quotienten der Kosten für das Schutzmaßnahmenkonzept und den gelösten Schutzfällen.

Die zusätzlichen Kosten je gelösten Schutzfall ergeben sich aus dem Quotienten der zusätzlichen Kosten des Schutzmaßnahmenkonzepts zu den zusätzlich gelösten Schutzfällen.

Das im jeweiligen Teilbereich vorgeschlagene Schutzmaßnahmenkonzept ist gelb hinterlegt.

6.3.1 Teilbereich 1: Stadt Forchheim - Bereich Hainstraße (km 38,94 bis 38,99)

Die schutzfallbezogene Kostenabwägung für den Teilbereich 1 (Stadt Forchheim – Bereich Hainstraße) ist in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Schutzmaßnahmenkonzept - Schutzfall	vorhandene bzw. verbleibende Schutzfälle	gelöste Schutzfälle	Kosten für das Schutzmaßnahmenkonzept	mittlere Kosten je gelösten Schutzfall	zusätzliche Kosten je gelösten Schutzfall
1	2	3	4	5	6
ohne Maßnahme	2	0	0 €	0 €	0 €
1	0	2	15.000 €	7.500 €	7.500 €

Tab. 17: Darstellung der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für den Teilbereich 1

Mit dem Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 1“ (Schwellenbesohlung des Weichenbereichs zwischen den Richtungsgleisen 5919Ri und 5900Ri) ergeben sich Gesamtkosten von ca. € 15.000,- und mittlere Kosten je gelösten Schutzfall von ca. € 7.500,-. Für die beiden Gebäude erscheint damit das erforderliche Schutzmaßnahmenkonzept im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse verhältnismäßig.

Es verbleiben durch das vorgeschlagene Schutzmaßnahmenkonzept in diesem Teilbereich keine ungelösten Schutzfälle und somit keine Betroffenenheiten.

6.3.2 Teilbereich 2: Stadt Forchheim - Bereich Dechant-Reuder-Straße und Untere Kellerstraße (km 39,23 bis 39,43)

Die schutzfallbezogene Kostenabwägung für den Teilbereich 2 (Stadt Forchheim – Bereich Dechant-Reuder-Straße und Untere Kellerstraße) ist in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Schutzmaßnahmenkonzept - Schutzfall	vorhandene bzw. verbleibende Schutzfälle	gelöste Schutzfälle	Kosten für das Schutzmaßnahmenkonzept	mittlere Kosten je gelösten Schutzfall	zusätzliche Kosten je gelösten Schutzfall
1	2	3	4	5	6
ohne Maßnahme	3	0	0 €	0 €	0 €
1	0	3	48.600 €	16.200 €	16.200 €

Tab. 18: Darstellung der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für den Teilbereich 2

Mit dem Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 1“ (Schwellenbesohlung auf den beiden Streckengleisen, die näher an den Bestandsgebäuden liegen) ergeben sich Gesamtkosten von ca. € 48.600,- und mittlere Kosten je gelösten Schutzfall von ca. € 16.200,-. Für die drei Gebäude erscheint damit das erforderliche Schutzmaßnahmenkonzept im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse verhältnismäßig.

Es verbleiben durch das vorgeschlagene Schutzmaßnahmenkonzept in diesem Teilbereich keine ungelösten Schutzfälle und somit keine Betroffenenheiten.

6.3.3 Teilbereich 3: Stadt Forchheim - Bereich Jean-Paul-Straße (km 39,74 bis 39,99)

Die schutzfallbezogene Kostenabwägung für den Teilbereich 3 (Stadt Forchheim – Bereich Jean-Paul-Straße) ist in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Schutzmaßnahmenkonzept - Schutzfall	vorhandene bzw. verbleibende Schutzfälle	gelöste Schutzfälle	Kosten für das Schutzmaßnahmenkonzept	mittlere Kosten je gelösten Schutzfall	zusätzliche Kosten je gelösten Schutzfall
1	2	3	4	5	6
ohne Maßnahme	11	0	0	0	0
1	8	3	58.400 €	19.467 €	19.467 €
2	1	10	99.000 €	9.900 €	5.800 €
3	0	11	733.100 €	66.645 €	634.100 €

Tab. 19: Darstellung der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für den Teilbereich 3

Mit dem Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 2“ (Schwellenbesohlung auf allen Streckengleisen) ergeben sich Gesamtkosten von ca. € 99.000,-- und mittlere Kosten je gelösten Schutzfall von ca. € 9.900,--. Für insgesamt zehn Gebäude erscheint damit das erforderliche Schutzmaßnahmenkonzept im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse verhältnismäßig.

Mit dem Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 3“ können grundsätzlich alle Schutzfälle im vorliegenden Teilbereich gelöst werden. Es ergeben sich hier jedoch mittlere Kosten von ca. € 66.500,-- je gelösten Schutzfall bzw. zusätzliche Kosten für den gelösten Schutzfall von ca. € 634.000,--. Demnach erscheinen die Kosten für den zusätzlich zu lösenden Schutzfall unverhältnismäßig gegenüber dem dadurch entstehenden Nutzen.

Es verbleibt durch das vorgeschlagene Schutzmaßnahmenkonzept in diesem Teilbereich somit ein ungelöster Schutzfall.

6.3.4 Teilbereich 4: Stadt Forchheim - Bereich Karl-Bröger-Straße und Am Sendelgraben (km 39,89 bis 40,09)

Die schutzfallbezogene Kostenabwägung für den Teilbereich 4 (Stadt Forchheim – Bereich Karl-Bröger-Straße und Am Sendelgraben) ist in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Schutzmaßnahmenkonzept - Schutzfall	vorhandene bzw. verbleibende Schutzfälle	gelöste Schutzfälle	Kosten für das Schutzmaßnahmenkonzept	mittlere Kosten je gelösten Schutzfall	zusätzliche Kosten je gelösten Schutzfall
1	2	3	4	5	6
ohne Maßnahme	16	0	0 €	0 €	0 €
1	0	16	50.400 €	3.150 €	3.150 €

Tab. 20: Darstellung der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für den Teilbereich 4

Mit dem Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 1“ (Schwellenbesohlung auf den beiden Streckengleisen, die näher an den Bestandsgebäuden liegen) ergeben sich Gesamtkosten von ca. € 50.400,- und mittlere Kosten je gelösten Schutzfall von ca. € 3.150,-. Für alle Gebäude erscheint damit das erforderliche Schutzmaßnahmenkonzept im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse verhältnismäßig.

Es verbleiben durch das vorgeschlagene Schutzmaßnahmenkonzept in diesem Teilbereich keine ungelösten Schutzfälle und somit keine Betroffenenheiten.

6.3.5 Teilbereich 5: Markt Eggolsheim (Bau-km 45,34 bis 45,41)

Die schutzfallbezogene Kostenabwägung für den Teilbereich 5 ist in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Schutzmaßnahmenkonzept - Schutzfall	vorhandene bzw. verbleibende Schutzfälle	gelöste Schutzfälle	Kosten für das Schutzmaßnahmenkonzept	mittlere Kosten je gelösten Schutzfall	zusätzliche Kosten je gelösten Schutzfall
1	2	3	4	5	6
ohne Maßnahme	3	0	0 €	0 €	0 €
1	0	3	34.200 €	11.400 €	11.400 €

Tab. 21: Darstellung der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für den Teilbereich 5

Mit dem Schutzmaßnahmenkonzept „Schutzfall 1“ (Schwellenbesohlung auf den beiden Streckengleisen, die näher an den Bestandsgebäuden liegen) ergeben sich Gesamtkosten von ca. € 34.200,- und mittlere Kosten je gelösten Schutzfall von ca. € 11.400,-. Für die drei Gebäude erscheint das erforderliche Schutzmaßnahmenkonzept im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse verhältnismäßig, weshalb im Ortsbereich von Eggolsheim keine ungelösten Schutzfälle und somit keine Betroffenenheiten verbleiben.

6.4 Schutzmaßnahmenkonzept mit Berücksichtigung der schutzfall-bezogenen Kostenabwägung

Das sich unter Berücksichtigung der schutzfall-bezogenen Kostenabwägung ergebende Schutzmaßnahmenkonzept entspricht im Wesentlichen dem grundsätzlich erforderlichen Schutzmaßnahmenkonzept (vgl. Tabelle 16). Einzig die Schutzmaßnahme „Masse-Feder-System“ zur Lösung eines Schutzfalls in der Jean-Paul-Straße ist als unverhältnismäßig zu bewerten. Aus den erforderlichen Abwicklungslängen der Schutzmaßnahme sind die nachfolgend dargestellten geschätzten Kosten für den Erschütterungsschutz zu erwarten:

Strecke	Fahrtrichtung	ab km	bis km	Länge	Minderungsmaßnahme	Kosten [€]
5919	Ri	38,960	39,010	50 m	Schwellenbesohlung im Weichenbereich	15.000,00
		39,770	40,130	360 m	Schwellenbesohlung	32.400,00
		45,295	45,485	190 m	Schwellenbesohlung	17.100,00
5900	Ri	39,770	40,130	360 m	Schwellenbesohlung	32.400,00
		45,295	45,485	190 m	Schwellenbesohlung	17.100,00
5919	GRi	39,190	39,460	270 m	Schwellenbesohlung	24.300,00
		39,690	40,020	330 m	Schwellenbesohlung	29.700,00
5900	GRi	39,190	39,460	270 m	Schwellenbesohlung	24.300,00
		39,690	40,020	330 m	Schwellenbesohlung	29.700,00
Gesamt						222.000,00

Tab. 22: Übersicht der erschütterungsmindernden Maßnahmen im PFA 18/19 unter Berücksichtigung der schutzfallbezogenen Kostenabwägung

Es ergeben sich somit Gesamtkosten für das Schutzmaßnahmenkonzept von ca. 222.000 € und mittlere Kosten je gelösten Schutzfall von ca. € 6.500. In der Beilage 2 sind die Abwicklungslängen der Schutzmaßnahmen und deren Lage in Planform dokumentiert.

An dem nachfolgenden Gebäude wurde anhand der bereits durchgeführten messtechnischen Untersuchungen und Prognoseberechnungen festgestellt, dass die zukünftig zu erwartenden Erschütterungsimmissionen aufgrund von umfangreichen erschütterungsmindernden Maßnahmen bereits erheblich reduziert werden können - jedoch nicht auszuschließen ist, dass spezifische Betroffenheiten verbleiben können:

Gebäude	Flur-Nr.	ca. km
Stadt Forchheim:		
Jean-Paul-Straße 27	1433/1	39,990

Tab. 23: Übersicht der Gebäude mit verbleibenden spezifischen Betroffenheiten

Für das in Tabelle 23 dargestellte messtechnisch untersuchte Gebäude wird deshalb vorgeschlagen, die verbleibenden Betroffenheiten dem Grunde nach (d.h. sofern sie sich bei einer Nachmessung nach Inbetriebnahme bestätigen) durch Entschädigung auszugleichen.

Im Rahmen weitergehender Untersuchungen ist der Streckenausbau anhand von sog. baubegleitenden Messungen bzw. Nachmessungen an den repräsentativ ausgewählten Messorten messtechnisch zu begleiten, um somit das Schutzmaßnahmenkonzept zu verifizieren und die Einhaltung der definierten Anforderungen an den Erschütterungs- bzw. Sekundärluftschallschutz zu gewährleisten.

7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde anhand von messtechnischen Untersuchungen an fünfzehn repräsentativ ausgewählten Gebäuden mögliche Betroffenheiten durch Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen ermittelt. Dabei wurde an der Mehrzahl der messtechnisch untersuchten Gebäude eine Überschreitung der definierten Anforderungen an den Erschütterungsschutz festgestellt. Auf Basis von Vor-Ort-Erhebungen sowie von allgemeinen Betroffenheitskorridoren wurden die Ergebnisse auf die im näheren Umfeld zu den Messorten liegenden Nachbargebäude übertragen und somit weitere mögliche Betroffenheiten abgeschätzt. Demnach können an insgesamt ca. 32 Gebäuden in Forchheim und ca. 3 Gebäuden in Eggolsheim Betroffenheiten durch den geplanten Streckenausbau auftreten.

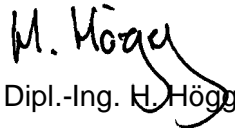
Im Weiteren wurde unter Berücksichtigung einer schutzfall-bezogenen Kostenabwägung ein Schutzmaßnahmenkonzept ausgearbeitet. Mit dem vorgeschlagenen Schutzmaßnahmenkonzept können die durch den Streckenausbau entstehenden Betroffenheiten an der Mehrzahl der betroffenen Gebäude gelöst werden. Es ergeben sich mittlere Kosten je gelösten Schutzfall von ca. € 6.500,--, so dass die Kosten für das erforderliche Schutzmaßnahmenkonzept verhältnismäßig erscheinen.

An einem bereits messtechnisch untersuchten Gebäude mit spezifischen Betroffenheiten ergab die Prüfung von Schutzmaßnahmen, dass aufgrund der exponierten Lage der Gebäude zu den Gleisanlagen Betroffenheiten durch Erschütterungs- immissionen verbleiben können, das für den Fall, dass sie sich bei einer Nachmessung nach Inbetriebnahme bestätigen, zu entschädigen ist.

Im Rahmen weitergehender Untersuchungen ist der Streckenausbau anhand von ~~sog. baubegleitenden Messungen~~ bzw. Nachmessungen an den repräsentativ ausgewählten Messorten messtechnisch zu begleiten, um somit das Schutzmaßnahmenkonzept zu verifizieren und die Einhaltung der definierten Anforderungen an den Erschütterungs- bzw. Sekundärluftschallschutz zu gewährleisten.

Diese Untersuchung umfasst 70 Seiten und zwei Beilagen. Die Dokumentation der durchgeführten Messungen ist in der Anlage 13.4 dargestellt.

bearbeitet:



ppa. Dipl.-Ing. H. Högg

Möhler + Partner Ingenieure AG

Paul-Heyse-Straße 27

80336 München



i. A. B. Sc. M. Crljenkovic

München, den ~~26.06.2015~~ 13.10.2017

8 Beilagen

Beilage 1a: Schutzfallbezogene Kostenabwägung

Beilage 2.1: Darstellung der grundsätzlich erforderlichen Schutzmaßnahmen

Beilage 2.2: Darstellung der Schutzmaßnahmen unter Berücksichtigung der schutzfall-bezogenen Kostenabwägung