

**ABS/NBS Nürnberg – Erfurt
Ausbaustrecke Nürnberg – Ebersfeld**

Planfeststellung Abschnitt 18/19 Forchheim - Eggolsheim

Streckennummer 5900

Strecke Nürnberg – Bamberg, km 32,402 – km 46,000

Planänderung zum Planfeststellungsbeschluss

**Bewertungsbericht zu baubedingten
Erschütterungsimmissionen**



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

DB ProjektBau GmbH
Regionalbereich Südost
Großprojekt VDE 8.1
Äußere Cramer-Klett-Straße 3

Nürnberg, den 26.06.2015

90489 Nürnberg

Nürnberg, den 26.06.2015 **13.10.2017**

Alfons Plenter

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.

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Aufgabenstellung und örtliche Gegebenheiten	9
1.1	Aufgabenstellung	10
1.2	Örtliche Gegebenheiten	10
2	Grundlagen bei baubedingten Erschütterungsimmissionen	13
2.1	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden.....	14
2.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen.....	18
3	Baubetriebsablauf.....	20
3.1	Abschnitt PF-Grenze Süd – Forchheim	20
3.2	Abschnitt Forchheim – PF-Grenze Süd	22
4	Erschütterungsquellen	23
4.1	Gleis- und Tiefbau	24
4.2	Gleis-Mittelverbau.....	25
4.3	Ingenieur- und Hochbau.....	26
4.4	Stützwandherstellung.....	27
4.5	Baustelleneinrichtungsflächen (BE-Flächen)	28
5	Prognosemodell	29
5.1	Emission	29
5.2	Transmission	30
5.3	Immission	31
6	Erschütterungsimmissionen und Bewertung.....	32
6.1	Erschütterungsimmissionen	32
6.2	Bewertung der Erschütterungsimmissionen.....	37
7	Minderung der baubedingten Immissionen.....	38
7.1	Beschreibung.....	38
7.2	Maßnahmen.....	39
8	Zusammenfassung.....	41
9	Grundlagenverzeichnis.....	42
10	Beilagen	44

Tabellenverzeichnis	Seite
Tab. 1: Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen tags durch Baumaßnahmen außer Sprengungen nach DIN 4150-2, Tabelle 2.....	17
Tab. 2: Anhaltswerte A für Erschütterungsimmissionen nachts in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen nach DIN 4150-2, Tabelle 1	17
Tab. 3: Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach DIN 4150-3 für Dauererschütterungen	19
Tab. 4: Zusammenstellung erschütterungsrelevanter Bauphasen für den Abschnitt PF-Grenze Süd – Forchheim.....	21
Tab. 5: Zusammenstellung erschütterungsrelevanter Bauphasen für den Abschnitt Forchheim – PF-Grenze Nord.....	22
Tab. 6: Zusammenstellung des Baufortschritts beim Gleis- und Tiefbau	24
Tab. 7: Übersicht über die zu erstellenden Ingenieurbauwerke innerhalb geschlossener Ortschaften	26
Tab. 8: Zusammenstellung der Bereiche zur Stützwandherstellung	27
Tab. 9: Zusammenstellung potenzieller Betroffenheitsbereiche durch Ingenieur- und Hochbau	35

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Darstellung des PFA 18/19 Forchheim - Eggolsheim	10

Abkürzungsverzeichnis

A

α	Abklingkoeffizient ($\alpha = 2\pi \cdot D/\lambda$)
A, A _u , A _r , A _o	Anhaltswert nach DIN 4150-2
ABS	Ausbaustrecke

B

BauNVO	Baunutzungsverordnung
BE	Baustelleneinrichtung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BVWP	Bundesverkehrswegeplan

C

c	Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle (in m/s)
---	--

D

D	Dämpfungsgrad
dB	Dezibel (Schwingschnellepegel in dB re5E-8 m/s)
DB AG	Deutsche Bahn AG

E

EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EBR	Eisenbahnbrücke
EÜ	Eisenbahnüberführung

F

f	Frequenz
f_0	Grenzfrequenz des Hochpasses (5,6 Hz)
Fa.	Firma
FNP	Flächennutzungsplan

G

g	Erdbeschleunigung ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)
ggf.	gegebenenfalls
G	Gewerbliche Nutzung (Nutzungsart) gemäß Flächennutzungsplan
GE	Gewerbegebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
GOK	Geländeoberkante

H

Hz	Hertz (Einheit der Frequenz)
----	------------------------------

I

i. d. R	in der Regel
---------	--------------

K

$KB_F(t)$	bewertete Schwingstärke
KB_{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke
KB_{FTm}	Taktmaximal-Effektivwert
KB_{FTm1}	der Taktmaximal-Effektivwert außerhalb der Ruhezeit
KB_{FTm2}	der Taktmaximal-Effektivwert während der Ruhezeit
KB_{FTr}	Beurteilungs-Schwingstärke
km	Kilometer

L

λ	Wellenlänge ($\lambda = c / f$) in m
lg	Dekadischer Logarithmus (Basis 10)
$L_E(f)$	Terzschnellespektrum der Erschütterungen am Emissionsort
$L_{I,Tag}$	Innengeräuschpegel Tag
$L_{I,Nacht}$	Innengeräuschpegel Nacht
$L_{v-Raum}(f)$	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
MD	Dorfgebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
MI	Mischgebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan
MK	Kerngebiet (Nutzungsart) gemäß Bebauungsplan

N

n	Exponent in Abhängigkeit von der Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung
N	Anzahl der Takte

O

o. ä.	oder ähnliches
-------	----------------

P

PA	Planungsabschnitt
PFA	Planfeststellungsabschnitt
PSS	Planumschutzschicht

R

R_1	Bezugsabstand (in m)
R	Entfernung von der Quelle (in m)

S

s	Abstand
SBR	Straßenbrücke
SO	Schienenoberkante
SÜ	Straßenüberführung

T

t	Tonnen
T_{e1}	Einwirkungszeit außerhalb der Ruhezeiten
T_{e2}	Einwirkungszeit während der Ruhezeiten
T_r	Beurteilungszeit

U

u. a.	unter anderem
-------	---------------

V

VDI	Verein deutscher Ingenieure
\bar{v}	Amplitude der Schwinggeschwindigkeit (in mm/s)
v_1	Amplitude der Schwinggeschwindigkeit in der Entfernung R_1 (in mm/s)
v_i	Schwinggeschwindigkeit
v_{max}	maximale unbewertete Schwinggeschwindigkeit
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz

W

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

Z

z.B.	zum Beispiel
------	--------------

1 Aufgabenstellung und örtliche Gegebenheiten

Der untersuchte Planfeststellungsabschnitt 18/19 Forchheim – Eggolsheim befindet sich zwischen Erlangen und Bamberg bei km 32,402 bis km 46,000 der derzeit zweigleisigen elektrifizierten Hauptstrecke Bamberg – Hof (5900). Die bestehende zweigleisige Strecke wird im Zuge der Ausbaumaßnahmen durch zwei neue durchgehende Gleise erweitert. Im Wirkungsbereich (im Sinne des BImSchG) der Ausbaustrecke befinden sich die Stadt Forchheim sowie die Gemeinden Kersbach, Eggolsheim und Neuses an der Regnitz.

Die Gleise des Streckenausbaus erhalten die Bezeichnung 5919. Von Beginn des Planungsabschnitts (km 32,402 bezogen auf die Strecke 5900) bis zum Ende bei km 46,000 verlaufen die neuen Gleise größtenteils östlich der Bestandsstrecke 5900. Einzig im Bereich zwischen dem Bahnhof Forchheim und Forchheim Nord werden aufgrund baulicher Zwangspunkte die neuen Gleise an der Westseite angeordnet.

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.

1.1 Aufgabenstellung

Die örtliche Lage des Planfeststellungsabschnitts 18/19 Forchheim – Eggolsheim ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

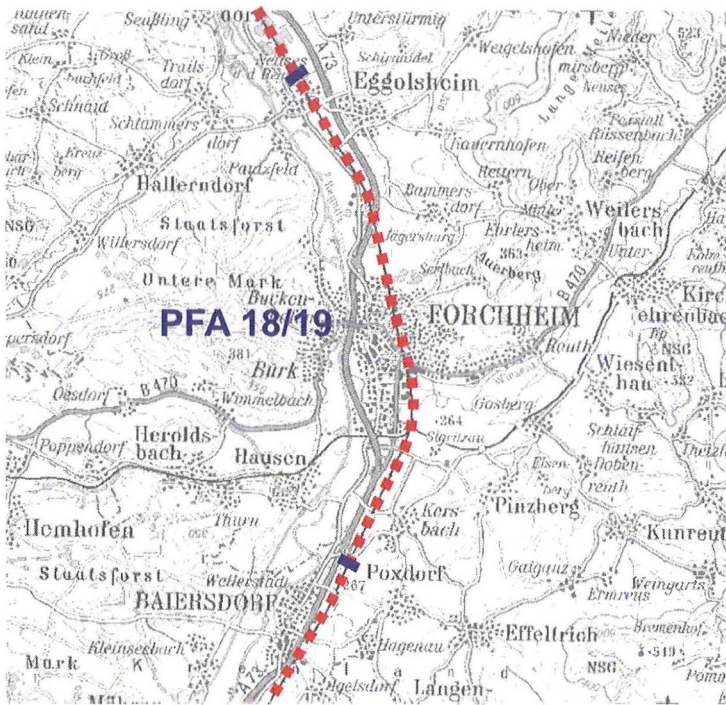


Abb. 1: Darstellung des PFA 18/19 Forchheim - Eggolsheim

Die geplanten Hauptbaumaßnahmen sollen in dem vorliegenden Abschnitt innerhalb eines Zeitraumes von ca. neun Jahren durchgeführt werden. Im Streckenabschnitt von der PF-Grenze Süd bis Forchheim (ca. km 32,4 bis 39,5) sind die Baumaßnahmen voraussichtlich im Zeitraum von 2015 bis 2018 vorgesehen. Im Streckenabschnitt von Forchheim bis PF-Grenze Nord (ca. km 39,5 bis 46,0) schließen die Baumaßnahmen voraussichtlich im Zeitraum von 2018 bis 2024 an.

In einem Bewertungsbericht sind auf Basis der gegenwärtig vorliegenden Datenlage zu den geplanten Bautätigkeiten potenzielle Betroffenheitsbereiche aufgrund der baubedingten Erschütterungsimmissionen zu ermitteln.

1.2 Örtliche Gegebenheiten

Das unmittelbar an die Ausbaustrecke angrenzende Gelände ist, bis auf die exponierte Lage in Forchheim Ost, überwiegend eben, die geplante Trasse wird vorrangig in Geländegleichlage, teilweise auch in Einschnitten und auf Dämmen verlaufen.

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 [11] 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 der Beilage 1, Übersichtslageplan mit Darstellung potenzieller Betroffenheiten, 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 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. Auelehmsedimentation im Regnitztal.

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

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 Grundlagen bei baubedingten Erschütterungsimmissionen

Baustellen gelten nach § 3 Abs. 5 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes BImSchG [1] als nicht genehmigungsbedürftige Anlagen. Nach BImSchG [1] wird vom Betreiber gefordert, dass schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind und dass unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Es existieren zurzeit keine expliziten gesetzlichen Regelungen zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen auf Menschen bzw. auf bauliche Anlagen. In einschlägigen Sachverständigenäußerungen werden jedoch Beurteilungsmaßstäbe zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Erschütterungen beschrieben. Die Bewertung der Erheblichkeit von Belästigungen bzw. Nachteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne des BImSchG [1] ist daher anhand von Regelwerken sachverständiger Organisationen oder von einzelfallbezogenen Gutachten vorzunehmen, wobei die Normenreihen der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ ([2] bis [4]) als antizipierte Sachverständigengutachten zur Konkretisierung des Begriffs der schädlichen Umwelteinwirkung herangezogen, aber nicht schematisch angewandt werden können.

Der Teil 1 der DIN 4150 gibt eine Anleitung für die Vorermittlung von Erschütterungen und enthält Verfahren, Angaben und Hinweise, auf deren Grundlage die Werte von Erschütterungsgrößen vorausgesagt und beurteilt werden können.

Zweck der DIN 4150 Teil 2 ist es insbesondere, Anforderungen und Anhaltswerte aufzuzeigen, bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden vermieden werden können.

Die DIN 4150 Teil 3 legt ein Verfahren für die Ermittlung und Beurteilung der durch Erschütterungen verursachten Einwirkungen auf bauliche Anlagen fest. Sie gilt für Bauwerke, die nicht nach spezifischen Normen und Richtlinien für dynamische Einwirkungen auszulegen sind. Insbesondere finden sich hierin Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Bauwerken nicht zu erwarten sind.

2.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen auf Menschen in Gebäuden erfolgt nach der DIN 4150, Teil 2. Bei der Einhaltung der entsprechenden Anhaltswerte ist in der Regel zu erwarten, dass erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden vermieden werden.

2.1.1 Beurteilungsgrößen

Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden werden mittels der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ bewertet. Das $KB(t)$ -Signal ist das durch Frequenzbewertung und Normierung des unbewerteten Schnellesignals entstandene Signal. Nach der DIN 4150-2 [3] ist das $KB_F(t)$ -Signal als der gleitende Effektivwert des frequenzbewerten Erschütterungssignals durch die Zeitbewertung FAST (0,125 s) definiert.

Hinsichtlich der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden nach DIN 4150, Teil 2 [3] werden zwei Beurteilungsgrößen gebildet:

- maximal bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}

Die maximal bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} ist der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$, der während der jeweiligen Beurteilungszeit (einmalig oder wiederholt) auftritt und der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist.

- Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr}

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} berücksichtigt die Dauer und die Häufigkeit des Auftretens von Erschütterungen. Hinsichtlich der Dauer der Erschütterungsereignisse werden jeweils 30-s-Takte (Taktmaximalwertverfahren) gebildet.

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} errechnet sich unter Berücksichtigung der Einwirkungszeiten nach Gleichung (5) der DIN 4150-2 [3] mit folgender Formel:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r} (T_{e1} * KB_{FTm1}^2 + 2 * T_{e2} * KB_{FTm2}^2)}$$

Dabei ist:

- T_r die Beurteilungszeit
- T_{e1} die Einwirkungszeit außerhalb der Ruhezeiten
- T_{e2} die Einwirkungszeit während der Ruhezeiten
- KB_{FTm1} der Taktmaximal-Effektivwert außerhalb der Ruhezeit
- KB_{FTm2} der Taktmaximal-Effektivwert während der Ruhezeit

Bei der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen gelten nach DIN 4150-2 folgende Besonderheiten:

Erschütterungseinwirkungen während der Ruhezeiten führen in Wohnungen zu erhöhten Störwirkungen. Bei der Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} wird dies dadurch berücksichtigt, dass diese Zeiten mit dem Faktor 2 gewichtet werden. Entsprechend DIN 4150-2 werden innerhalb der Beurteilungszeit tags folgende Ruhezeiten definiert:

- werktags von 6.00 bis 7.00 Uhr und von 19.00 bis 22.00 Uhr
- sonn- und feiertags von 6.00 bis 22.00 Uhr

Der Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} wird aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte KB_{FTi} nach Gleichung (3) der DIN 4150-2¹ [3] mit folgender Formel ermittelt:

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2}$$

Dabei ist:

- N die Anzahl der Takte
- KB_{FTi} Taktmaximalwert

Der Taktmaximalwert KB_{FTi} beschreibt den in jedem Takt T ($T = 30s$) erreichten Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_{\tau}(t)$, wobei als Zeitkonstante τ die Zeitbewertung F ($\tau = 0,125 s$) verwendet wird.

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

2.1.2 Beurteilungsverfahren

Das Beurteilungsverfahren unterscheidet zwischen selten auftretenden kurzzeitigen bzw. häufigen Einwirkungen. Entsprechend Punkt 6.5.1 der DIN 4150-2 sind bis zu drei Ereignisse je Tag als selten einzustufen. Aufgrund der Erregerquellen beim Baubetrieb ist im vorliegenden Fall grundsätzlich von häufigen Einwirkungen auszugehen.

Die Beurteilung nach DIN 4150-2 erfolgt für häufige Einwirkungen nach folgender Vorgehensweise:

- Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert A_u , dann sind die Anforderungen der Norm eingehalten.
- Ist der KB_{Fmax} größer als der (obere) Anhaltswert A_o , dann sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der untere Anhaltswert A_u und kleiner als der obere Anhaltswert A_o , gilt die Anforderung der Norm als eingehalten, wenn der KB_{FTr} kleiner als der Anhaltswert A_r ist. Ist der KB_{FTr} größer als der Anhaltswert A_r , gilt die Anforderung der Norm als nicht eingehalten.

Das beschriebene Verfahren ist dabei grundsätzlich bei allen Arten von Erschütterungseinwirkungen anzuwenden, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Anhaltswerte nicht schematisch anzuwenden sind und eine Beurteilung im Einzelfall zu erfolgen hat. Dabei ist im Einzelfall zu prüfen, ob die entsprechenden Werte aufgrund von Art, Ausmaß und Dauer der Erschütterungseinwirkungen geeignet sind, deren Erheblichkeit und Zumutbarkeit sachgerecht zu beurteilen.

2.1.3 Anhaltswerte zur Beurteilung

Die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen durch baubedingte Erschütterungen wird in Kapitel 6.5.4 der DIN 4150-2 beschrieben.

Bei der Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden durch Baumaßnahmen sind tags (06:00 bis 22:00 Uhr) die durch den Baustellenbetrieb verursachten Erschütterungen nach den nachfolgend dargestellten Anhaltswerten der Tabelle 2 in der DIN 4150-2 [3] gebietsunabhängig zu bewerten.

Dauer	D ≤ 1Tag			6 Tage < D ≤ 26Tage			26 Tage < D ≤ 78Tage		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anhaltswerte	A _U	A _O *)	A _R	A _U	A _O *)	A _R	A _U	A _O *)	A _R
Stufe 1	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe 2	1,2	5	0,8	0,8	5	0,6	0,6	5	0,4
Stufe 3	1,6	5	1,2	1,2	5	1,0	0,8	5	0,6

*) Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt A_O=6

Tab. 1: Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen tags durch Baumaßnahmen außer Sprengungen nach DIN 4150-2, Tabelle 2

Die jeweiligen Stufen beschreiben den Grad einer potenziellen Belästigung und stellen die Basis für Maßnahmen zur Minderung erheblicher Belästigungen dar.

Unter der Dauer D der Erschütterungseinwirkung in der Tabelle 1 ist die Anzahl von Tagen zu verstehen, an denen tatsächlich Erschütterungseinwirkungen auftreten. Tage mit Erschütterungseinwirkungen, die unter diesen Anhaltswerten (siehe Tab. 1) liegen, sind nicht mitzuzählen.

Liegt die Dauer der Erschütterungseinwirkungen im Zeitraum zwischen 2 und 78 Tagen, werden die Anhaltswerte entsprechend interpoliert.

Baubedingte Erschütterungen nachts (22:00 bis 06:00 Uhr) werden anhand der nachfolgend dargestellten Anhaltswerte nach Tabelle 1 der DIN 4150-2 [3] beurteilt:

Zeile	Einwirkungsort	Nachts		
		A _U	A _O	A _R
1	Industriegebiete	0,3	0,6	0,15
2	Gewerbegebiete	0,2	0,4	0,1
3	Misch-, Kerngebiete	0,15	0,3	0,07
4	Allgemeine bzw. Reine Wohngebiete	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte	0,1	0,15	0,05

Tab. 2: Anhaltswerte A für Erschütterungsimmissionen nachts in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen nach DIN 4150-2, Tabelle 1

2.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude erfolgt nach der DIN 4150, Teil 3 [4]. Dabei nennt die Norm Anhaltswerte, bei deren Einhaltung keine Gebäudeschäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes zu erwarten sind.

Eine Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden oder Gebäudeteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne dieser Norm ist z.B.:

- Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und Bauteilen
- Verminderung der Tragfähigkeit von Decken **und anderen Bauteilen**

Bei Wohngebäuden, in ihrer Nutzung gleichartigen Bauten oder besonders erschütterungsempfindlichen Gebäuden nach Tabelle 1, 4 oder B1, jeweils Zeilen 2 und 3 der DIN 4150, Teil 3 [4] (siehe auch nachfolgende Tabelle 3) ist eine Verminderung des Gebrauchswertes auch gegeben, wenn z.B.

- Risse im Putz von Wänden auftreten,
- bereits vorhandene Risse in Gebäuden vergrößert werden
- Trenn- und Zwischenwände von tragenden Wänden oder Decken abreißen

Diese Schäden werden auch als leichte Schäden bezeichnet.

2.2.1 Beurteilungsgrößen

Einwirkungen auf bauliche Anlagen werden mittels der unbewerteten Schwinggeschwindigkeit v_i bewertet, wobei in Abhängigkeit von der Lage des Messortes innerhalb des Gebäudes bzw. der Dauer der Erschütterungen unterschiedliche Anhaltswerte in der DIN 4150, Teil 3 definiert sind.

2.2.2 Beurteilungsverfahren

Das Beurteilungsverfahren unterscheidet zwischen kurzzeitigen Erschütterungen und Dauererschütterungen. Dabei werden als Dauererschütterungen jene Einwirkungen bezeichnet, bei denen die Definition von kurzzeitigen Erschütterungen nicht zutrifft. Erschütterungen gelten als kurzzeitig, wenn sie für jedes Ereignis höchstens wenige Sekunden andauern und keine Materialermüdungen oder Resonanzerscheinungen in den betroffenen Strukturen erzeugen.

Werden beispielsweise Rammträger eingerüttelt, Pfahlwände gebohrt, Flächen verdichtet etc., ist vom Belastungsfall durch Dauererschütterungen auszugehen. Bei der Beurteilung nach der DIN 4150-3 [4] werden folglich die messtechnisch erfassten maximalen Schwinggeschwindigkeiten v_{\max} mit den jeweiligen Anhaltswerten für Dauererschütterungen verglichen.

2.2.3 Anhaltswerte zur Beurteilung

In Abhängigkeit von der Gebäudeart erfolgt die Beurteilung nach unterschiedlich hohen Anhaltswerten. Die Zuordnung der Gebäude erfolgt grundsätzlich durch Inaugenscheinnahme. Die zulässigen Anhaltswerte der DIN 4150-3 [4] für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen werden in nachfolgender Tabelle 3 dargestellt.

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s	
		oberste Gebäude- decke, horizontal [mm/s]	vertikale Decken- schwingungen [mm/s]
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	10
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5	einzelfallabhängig 10 *

* Zur Verhinderung leichter Schäden kann eine deutliche Abminderung dieses Anhaltswertes notwendig werden

Tab. 3: Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach DIN 4150-3 für Dauererschütterungen

Werden die Anhaltswerte eingehalten oder unterschritten, ist davon auszugehen, dass keine schädlichen Umwelteinwirkungen im Sinne des BImSchG [1] vorliegen.

3 Baubetriebsablauf

Der geplante Baubetriebsablauf wurde den gegenwärtig vorhandenen Bauphasenkonzepten entnommen. Aus den Bauphasenkonzepten wurde eine räumliche und zeitliche Zuordnung erschütterungsrelevanter Bautätigkeiten vorgenommen (siehe nachfolgende Tabellen 4 und 5).

Bei der Baumaßnahme des viergleisigen Ausbaus Forchheim – Eggolsheim handelt es sich um eine ca. 13,6 km lange und voraussichtlich ca. neun Jahre dauernde Maßnahme, die in mehrere Bauphasen untergliedert ist. Die Gesamtdauer der Baumaßnahmen ist zwar aufgrund der räumlichen Ausdehnung der Baustelle verhältnismäßig lang. Die tatsächliche zeitliche Dauer von möglichen erheblichen Belastungen eines einzelnen Anwohners im Umfeld der Baustelle wird aber ganz erheblich geringer sein.

Die Bauphasen unterscheiden sich in ihrer Dauer, Tätigkeit und folglich auch in ihrer Erschütterungsintensität. Betrachtet werden insbesondere die erschütterungstechnisch relevanten Bautätigkeiten von 2015 bis 2018 für den Abschnitt PF-Grenze Süd – Forchheim (siehe Kap. 3.1) sowie von 2018 bis 2024 für den Abschnitt Forchheim – PF-Grenze Nord (siehe Kap. 3.2).

Die konkreten Bauverfahren und -abläufe für jede einzelne Baumaßnahme, die tatsächlich eingesetzten Maschinen und Geräte, deren Schwingungsintensität, die tatsächlichen Einsatzzeiten sowie die tag- und stundengenaue Verteilung der Einsatzzeiten werden letztendlich erst mit Abschluss des Vergabeverfahrens und der Auftragserteilung feststehen. Abschließende Rückschlüsse auf die tatsächlich zu erwartenden Emissionen und Immissionen, die zeitliche und räumliche Verteilung, Dauer und Intensität können daher gegenwärtig nicht verlässlich gezogen werden.

3.1 Abschnitt PF-Grenze Süd – Forchheim

Im Abschnitt zwischen Baiersdorf Nord und Forchheim (ca. km 32,4 bis km 39,5) sind die Bautätigkeiten im Zeitraum von 2015 bis 2018 vorgesehen.

Dabei sind insbesondere auch Bautätigkeiten für den Gleis- und Tiefbau in der Nachtzeit (20:00 bis 07:00 Uhr) und an Sonn- und Feiertagen, meist in Bauphasen mit Sperrpausen der Bahnstrecke, gegenwärtig nicht auszuschließen. Die genaue Dauer sowie die örtliche Lage von Bautätigkeiten in der Nachtzeit und an Sonn- und Feiertagen kann gegenwärtig jedoch nur abgeschätzt werden, wobei an ca. 25 % der Bauzeit mit Nachtarbeit und vereinzelt auch mit Arbeiten an Sonn- und Feiertagen zu rechnen ist.

In nachfolgender Tabelle sind die relevanten Baubetriebsabläufe zusammengefasst:

Dauer der Bauphase	Gleis- und Tiefbau	Ingenieur- und Hochbau
Bauphase 1: ca. 26 Monate	Neubau Strecke 5919	Erstellung von ca. zehn Ingenieurbauwerken
Bauphase 2: ca. 12 Monate	Erneuerung Strecke 5900	Erstellung von zwei Ingenieurbauwerken

Tab. 4: Zusammenstellung erschütterungsrelevanter Bauphasen für den Abschnitt PF-Grenze Süd – Forchheim

Etwaige Nacharbeiten an Ingenieurbauwerken in innerörtlichen Bereichen besitzen im Vergleich zur geschätzten Dauer der Gesamtbaumaßnahme von ca. 3 bis 3,5 Jahren eine zeitlich untergeordnete Bedeutung. Die genaue Dauer von Nacharbeiten ist jedoch nicht genau erfassbar und nur für die jeweilige Bauphase abschätzbar.

Etwaige Nacharbeiten an Ingenieurbauwerken in außerörtlichen Bereichen haben im Vergleich zur Dauer der Gesamtbaumaßnahme ebenfalls eine zeitlich untergeordnete Bedeutung. Zudem beträgt der räumliche Abstand zu den jeweiligen Gemeindebereichen mindestens 300 m, weshalb potenzielle Betroffenheitsbereiche, d. h. Bereiche, in welchen die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 bzw. 3 nicht eingehalten werden, nicht zu erwarten sind.

3.2 Abschnitt Forchheim – PF-Grenze Nord

Im Abschnitt zwischen Forchheim und Eggolsheim (ca. km 39,5 bis km 46,0) sind die Bautätigkeiten im Zeitraum von 2018 bis 2024 vorgesehen.

In nachfolgender Tabelle sind die relevanten Baubetriebsabläufe für diesen Abschnitt zusammengefasst:

Dauer der Bauphase	Gleis- und Tiefbau	Ingenieur- und Hochbau
Bauphase 3: ca. 22 Monate	-	Erstellung von ca. fünf Ingenieur- bauwerken
Bauphase 4: ca. 16 Monate	Neubau Strecke 5919	Erstellung von ca. drei Ingenieur- bauwerken bzw. Erstellung des Hp Forchheim Nord
Bauphase 5: ca. 13 Monate	Erneuerung Strecke 5900 + Neubau Stre- cke 5919	Erstellung von ca. vier Ingenieur- bauwerken bzw. Erstellung des Hp Forchheim Nord
Bauphase 6 - 8: ca. 25 Monate	Erneuerung Strecke 5900	-

Tab. 5: Zusammenstellung erschütterungsrelevanter Bauphasen für den Abschnitt Forchheim – PF-Grenze Nord

Für die Baumaßnahmen in diesem Abschnitt (ca. km 39,5 bis km 46,0) sind gegenwärtig für den Gleis- und Tiefbau Bautätigkeiten im Nachtzeitraum (20:00 bis 07:00 Uhr) bzw. an Sonn- und Feiertagen, meist mit Sperrpausen, ebenfalls nicht auszuschließen.

Etwaige Nacharbeiten an Ingenieurbauwerken in innerörtlichen Bereichen besitzen im Vergleich zur geschätzten Dauer der Gesamtbaumaßnahme von ca. 6 bis 6,5 Jahren eine zeitlich untergeordnete Bedeutung. Die genaue Dauer von Nacharbeiten ist gegenwärtig nicht bekannt und nur für die jeweilige Bauphase abschätzbar.

In den außerörtlichen Bereichen sind Bauphasen mit relevanten Nacharbeiten an Ingenieurbauwerken geplant. Der räumliche Abstand zu den jeweiligen Gemeindebereichen beträgt jedoch bereits mindestens 300 m, weshalb potenzielle Betroffenenbereiche, d. h. Bereiche, in welchen die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 bzw. 3 nicht eingehalten werden, nicht zu erwarten sind.

4 Erschütterungsquellen

Signifikante Erschütterungen können bei Baumaßnahmen insbesondere z.B. beim Rütteln, Rammen und Ziehen von Spundbohlen, Profilträgern, dem Bohren von Pfahlwänden und dergleichen sowie bei Bodenverdichtungen auftreten. Die in das Erdreich übertragenen Erschütterungen hängen von einer Vielzahl von Parametern, wie z.B. den eingesetzten Baumaschinen, den in das Erdreich eingeleiteten Kräften und deren Anregungsfrequenzen, den Untergrundbeschaffenheiten, der Bodenschichtung bzw. deren Konsolidierungsgrad, Grundwasserständen und den Abmessungen des einzubringenden Körpers, etc., ab.

Aufgrund der Vielzahl von Einzelmaßnahmen in Zusammenhang mit den Ausbaumaßnahmen sowie der gegenwärtig noch fehlenden Detailschärfe erweist sich eine erschütterungstechnische Betrachtung der einzelnen Bauphasen momentan als nicht zweckmäßig. In Folge dessen wurden die entsprechenden Baumaßnahmen in relevante Bautätigkeiten gegliedert, um somit potenzielle Betroffenheitsbereiche, d. h. Bereiche, in welchen die Anforderungen der DIN 4150 nicht eingehalten werden, ermitteln zu können.

Aus der Zusammenstellung der erschütterungsrelevanten Bauphasen (siehe Tabelle 4 und 5 in Kapitel 3) ist erkennbar, dass bestimmte Bautätigkeiten (Gleis- und Tiefbau, Ingenieurbau etc.) in den unterschiedlichen Bauphasen wiederholt auftreten.

Während der Bauzeiten können relevante Erschütterungsemissionen bei folgenden Bautätigkeiten auftreten:

- Gleis- und Tiefbau
- Gleis-Mittelverbau
- Ingenieur- und Hochbau
- Stützwandherstellung

Zur Sicherung der Einschnitts- bzw. Dammböschung ist in lokalen Bereichen von Forchheim und Neuses a.d.R. die Herstellung von Stützwänden vorgesehen.

- Baustelleneinrichtungsflächen (BE-Flächen)

Relevante Erschütterungsemissionen können überdies von den BE-Flächen ausgehen, wobei hier letztendlich die Höhe etwaiger Erschütterungsimmissionen von der jeweiligen Nutzung der BE-Fläche als Produktions-, Transport-, Lager- und sonstigen Einrichtungen abhängig sein wird.

4.1 Gleis- und Tiefbau

Die Gleis- und Tiefbauarbeiten können in verschiedene Bautätigkeiten gegliedert werden, wobei für die einzelnen Tätigkeiten von jeweils unterschiedlichen Baufortschritten auszugehen ist. Die entsprechenden Ansätze sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Bautätigkeit	Baufortschritt [m/Tag]
Erdbau	150
Tiefbau + Kabel-Tiefbau	150
Oberleitungsmaste bohren	150
Ausrüstung Leit- und Sicherungstechnik, 50 Hz	500
Gleisbau	800
Lärmschutzwandmaste bohren	100

Tab. 6: Zusammenstellung des Baufortschritts beim Gleis- und Tiefbau

Maßgebliche Erschütterungsemissionen können dabei bei folgenden Bautätigkeiten auftreten:

- Bodeneinbau, Fräsarbeiten beim Einbringen von bindemittelstabilisierten Trag-schichten oder Verdichtungsarbeiten beim Einsatz von Rüttelwalzen etc.

Der Bodeneinbau ist relativ zu den übrigen Bautätigkeiten beim Gleis- und Tiefbau die zeitlich umfangreichste Tätigkeit. Diese Arbeiten werden nach dem derzeit geplanten Baufortschritt (siehe Tab. 6) an jedem separat betrachteten Anwesen nicht länger als zehn Arbeitstage in der jeweiligen Bauphase dauern.

- Bohren der Gründungen von Oberleitungs- bzw. Lärmschutzwand-Maste

Weitere Erschütterungsemissionen können durch die Bohrarbeiten für die Mastgründungen an diskreten Standorten auftreten, wobei aufgrund des geplanten Baufortschritts (siehe Tab. 6) sowie der entfernungsbedingten Pegelabnahme im Erdreich an jedem separat betrachteten Anwesen die relevante Zeitdauer dieser Arbeiten weniger als zehn Arbeitstage in der jeweiligen Bauphase betragen wird.

4.2 Gleis-Mittelverbau

Im Zuge der Gleis- und Tiefbauarbeiten ist für das Arbeiten ohne langfristige Total-sperrung über die komplette Strecke ein Gleis-Mittelverbau in Form eines Berliner Verbaus vorgesehen. Diese Bautätigkeit findet zeitlich vor dem eigentlichen Streckenbau statt und wird daher separat untersucht und beurteilt. Für den Baufortschritt ist hier von ca. 100 m/Tag auszugehen.

Relevante Erschütterungsquellen beim Errichten des Gleismittelverbaus können insbesondere bei

- Rammarbeiten
- Verdichtungsarbeiten
- Bohrarbeiten, Verankerungen, falls erforderlich

entstehen.

4.3 Ingenieur- und Hochbau

Nachfolgend werden die Ingenieurbauwerke aufgelistet, die aufgrund ihrer geographischen Lage zur schutzbedürftigen Nachbarschaft potenzielle Betroffenheiten durch Erschütterungsimmissionen gegenwärtig nicht ausschließen lassen.

Bezeichnung	Lage [Bahn-km]
Abschnitt PF-Grenze Süd – Forchheim (ca. km 32,4 bis 39,5)	
EBR Augraben	km 36,843
EÜ Gehweg mit Bahnsteigzugang im Bf Forchheim	km 38,330
SBR Bundesstraße B470 Bayreuther Str.	km 38,515
SBR Geh und Radweg Haidfeldstr.	km 38,876
SBR Kreisstraße FO17 Untere Kellerstraße, Piastenbrücke	km 39,452
Abschnitt Forchheim – PF-Grenze Nord (ca. km 39,5 bis 46,0)	
SBR Geh- und Radweg Herderstraße	km 40,011
EÜ Sendelbachgraben	km 40,103
Hp Forchheim Nord	km 40,102 – 40,242
SBR Feld- und Waldweg über Mühlbach	km 44,958
EÜ Mühlbach	km 44,958
EBR Bahnhofstraße Eggolsheim	km 45,208
SBR Rinniggraben	km 45,448

Tab. 7: Übersicht über die zu erstellenden Ingenieurbauwerke innerhalb geschlossener Ortschaften

Die Gesamtdauer der jeweiligen Baumaßnahmen zur Erstellung der Ingenieurbauwerke wird vorrangig von den durchzuführenden Betonarbeiten bestimmt und kann dabei zwischen vier Wochen und bis zu ca. 18 Monaten variieren. Relevante Erschütterungsquellen beim Ingenieur- und Hochbau sind nachfolgend dargestellt:

- Rammarbeiten, Rüttelarbeiten
- Abbrucharbeiten, Meißelarbeiten
- Bohrarbeiten, Verankerungen, falls erforderlich

Die Dauer von erschütterungsintensiven Tätigkeiten bei den jeweiligen Bauwerken ist gegenwärtig noch nicht näher bestimmt. Unter Berücksichtigung einer Gesamtdauer der jeweiligen Baumaßnahmen von bis zu 18 Monaten werden sich diese Tätigkeiten jeweils auf wenige Tage bzw. Wochen beschränken.

4.4 Stützwandherstellung

In lokalen Streckenbereichen ist in den beiden Abschnitten die Erstellung von Stützwänden erforderlich. Die jeweiligen Bereiche sowie deren geschätzte Dauer sind in nachfolgender Tabelle dargestellt:

Bereich ca. km	Bahnseite	ca. Dauer
Abschnitt PF-Grenze Süd – Forchheim (ca. km 32,4 bis 39,5)		
38,350 bis 38,440	westlich	gesamt ca. 2 bis 3 Wochen
38,490 bis 38,500	westlich	
39,060 bis 39,980	westlich	ca. 5 Monate
38,100 bis 38,150	östlich	ca. 1 Woche
38,310 bis 38,400	östlich	ca. 2 Wochen
38,520 bis 38,530	östlich	ca. 2 Tage
38,950 bis 39,170	östlich	ca. 5 Wochen
Abschnitt Forchheim – PF-Grenze Nord (ca. km 39,5 bis 46,0)		
39,410 bis 40,010	östlich	gesamt ca. 3 bis 4 Monate
40,030 bis 40,080	östlich	
45,210 bis 45,400	östlich	ca. 5 Wochen

Tab. 8: Zusammenstellung der Bereiche zur Stützwandherstellung

Als relevante Erschütterungsquelle bei der Erstellung der Stützwände ist insbesondere das Bohren von Pfahlwänden zu betrachten. Der Baufortschritt dieser Bautätigkeit wird ca. fünf bis zehn Meter pro Tag betragen, weshalb aufgrund der wandernden Bautätigkeit mit einer zeitlich begrenzten Einwirkungsdauer für jeweils ein separat betrachtetes Anwesen zu rechnen ist.

4.5 Baustelleneinrichtungsflächen (BE-Flächen)

Zur Abwicklung der Baumaßnahme sind gegenwärtig in dem Planfeststellungsabschnitt 18/19 insgesamt ca. 20 bis 25 BE-Flächen mit unterschiedlicher räumlicher Ausdehnung und Lage zu bebauten Bereichen vorgesehen.

In der Regel sind relevante Erschütterungsemissionen, die von den Baustelleneinrichtungsflächen ausgehen, nicht zu erwarten. Einzig etwaige Anlagen zur Aufbereitung von Baumaterialien auf den BE-Flächen können ggf. höhere Erschütterungsemissionen verursachen.

5 Prognosemodell

Bei der Ausbreitung von Erschütterungen von der Quelle zum Einwirkungsort können die drei Teilbereiche Emission, Transmission und Immission unterschieden werden.

In Anlehnung an diese Teilbereiche erfolgt die Prognose von Erschütterungen grundsätzlich gemäß folgender Gleichung [5]:

$$Lv\text{-Raum}(f)=LE(f)+\Delta LB(f)+\Delta LG(f)+\Delta LM(f)$$

mit:

Lv-Raum(f):	Terzschnellespektrum am betrachteten Immissionsort
LE(f):	Terzschnellespektrum der Erschütterungen am Emissionsort
$\Delta LB(f)$:	baugrund- und abstandsbedingte Erschütterungsabnahme (Transmissionsweg)
$\Delta LG(f)$:	gebäudespezifische Übertragungsfunktion am Immissionsort
$\Delta LM(f)$:	Summe der Einfügedämmung bei Verbau schwingungsmindernder Maßnahmen

Die Prognoseformel entspricht auch den Empfehlungen der VDI 3837 [6].

Aus den Terzschnellespektren am Immissionsort können im Weiteren die relevanten Beurteilungsgrößen gemäß DIN 4150 berechnet werden.

5.1 Emission

Bei baubedingten Erschütterungen können vor der Baumaßnahme grundsätzlich sog. „in situ“ Messungen durchgeführt werden bzw. es kann auf Angaben in der einschlägigen Literatur oder auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Die tatsächliche Höhe der Erschütterungsemissionen verschiedener Baugeräte hängt von einer Vielzahl von verschiedenen Parametern (Werkzeugzustand, Untergrundbeschaffenheit, eingesetztes Material, etc.) ab, weshalb im Rahmen von Literaturdaten nur grobe pauschale Annahmen getroffen werden können. Die Einwirkdauer bzw. die Einwirkzeit von Erschütterungsemissionen ergibt sich aus dem Baubetriebsablauf.

5.2 Transmission

Die Erschütterungen werden auf ihrem Ausbreitungsweg zwischen Erschütterungsquelle und Einwirkungsort in Abhängigkeit von der Entfernung reduziert. Verantwortlich hierfür ist die Amplitudenabnahme auf Grund der Geometrie und der Materialdämpfung des Erdreichs.

Entsprechend der DIN 4150-1 [2] wird die Abnahme der Amplitude der Schwinggeschwindigkeit \bar{v} näherungsweise durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\bar{v} = \bar{v}_1 * \left(\frac{R}{R_1}\right)^{-n} * \exp[-\alpha * (R - R_1)]$$

mit:

\bar{v} Amplitude der Schwinggeschwindigkeit (in mm/s)

\bar{v}_1 Amplitude der Schwinggeschwindigkeit in der Entfernung R_1 (in mm/s)

R_1 Bezugsabstand (in m)

R Entfernung von der Quelle (in m)

n Exponent in Abhängigkeit von der Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung

α Abklingkoeffizient ($\alpha = 2\pi * D / \lambda$)

D Dämpfungsgrad

λ Wellenlänge ($\lambda = c / f$) in m

c Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle (in m/s)

f Frequenz (in Hz)

Im Rahmen von messtechnischen Untersuchungen vor Ort oder durch Annahmen für die jeweiligen Parameter aufgrund der geologischen Untergrundverhältnisse kann die Pegelabnahme der Schwingungen im Ausbreitungsweg ermittelt bzw. abgeschätzt werden.

5.3 Immission

Die Anregung des Gebäudes wird i. d. R. mit überhöhten Schwingschnellen auf den Geschossdecken beantwortet. Die durch Resonanz bei den Eigenfrequenzen der Decken auftretenden Vergrößerungsfaktoren hängen insbesondere auch vom zeitlichen Verlauf (harmonisch/stationär oder impulsförmig) der Schwingungen ab.

Im vorliegenden Fall wurde im Rahmen der Prognose für eine Betroffenheitsanalyse die immissionsseitige Übertragung der Erschütterungen vom Erdreich in Gebäude anhand von statistisch ermittelten Gebäudeübertragungsfunktionen gemäß Literaturangaben [15] sowie aus den bahnbetriebsbedingten Erschütterungsuntersuchungen [5] angenommen.

6 Erschütterungsimmissionen und Bewertung

Aufgrund der Vielzahl von Einzelmaßnahmen in Zusammenhang mit Ausbaumaßnahmen erweist sich eine erschütterungstechnische Betrachtung der einzelnen Bauphasen gegenwärtig als nicht zweckmäßig. Insofern werden die erschütterungsrelevanten Bautätigkeiten getrennt voneinander bewertet. Um im Vorfeld der Maßnahme etwaige Betroffenheiten abzuschätzen, werden Annahmen zu den erwartenden Immissionen anhand eigener Erfahrungswerte (u. a. [14]) bzw. aus Literaturangaben (u. a. [15]) herangezogen.

Wie bereits ausgeführt, kann zum derzeitigem Zeitpunkt noch nicht abgesehen werden, welche Geräte, Bauverfahren, Bauabläufe oder Maschineneinsatzzeiten letztendlich mit Abschluss des Vergabeverfahrens und der Auftragserteilung zur Anwendung kommen oder ob auch im Rahmen von Sondervorschlägen vollkommen von den Grundlagen dieser Abschätzung abweichende Parameter zugrunde zu legen sind. Zudem sind die Höhe der durch die diversen Quellen entstehenden Erschütterungsemissionen sowie deren Weiterleitung im Erdreich stark von den entsprechenden spezifischen geotechnischen Parametern abhängig.

In Folge dessen wurden auf Basis der geplanten Bautätigkeiten beispielhaft verwendbare Geräte angesetzt und deren Erschütterungsemissionen abgeschätzt.

6.1 Erschütterungsimmissionen

6.1.1 Gleis- und Tiefbau

Bei der Herstellung des Gleis- und Tiefbaus können relevante Erschütterungsimmissionen insbesondere durch Verdichtungsarbeiten (z.B. Bodenverdichterwalze der Fa. Hamm, Typ 3412, 12,2 t o. ä.) und Bohrpfahlarbeiten (z.B. Drehbohrgerät der Fa. Bauer, Typ BG o. ä.) auftreten.

In Abhängigkeit von den Bautätigkeiten sowie des Zeitraums zur Durchführung der Tätigkeiten (tags/nachts) sind folgende potenzielle Betroffenheitsbereiche nicht auszuschließen:

Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (nach Teil 2 der DIN 4150):

tags: bei Gebäuden mit geringerem Abstand als 20 m zum Gleisbau

nachts: bei Gebäuden mit geringerem Abstand als 50 m zum Gleisbau

Aufgrund des Baufortschritts (siehe Tab. 6) und der damit verbundenen abstandsbedingten Pegelabnahme sind Erschütterungsimmissionen oberhalb der Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 für jeweils ein separat betrachtetes Anwesen an maximal zwanzig Arbeitstagen in der jeweiligen Bauphase zu erwarten. Aufgrund der wandernden Bautätigkeiten ist während der restlichen Zeit in der jeweiligen Bauphase davon auszugehen, dass aufgrund des räumlichen Abstands keine relevanten Erschütterungsimmissionen auftreten werden.

Einwirkungen auf bauliche Anlagen (nach Teil 3 der DIN 4150):

Ausgehend von den geplanten Bauverfahren lässt sich selbst bei exponierter Lage von Gebäuden zur Bahnstrecke erwarten, dass unter Berücksichtigung der Anhaltswerte der DIN 4150-3 generell etwaige Gebäudeschäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes nicht zu erwarten sind.

6.1.2 Gleis-Mittelverbau

Bei der Herstellung des Gleis-Mittelverbaus können relevante Erschütterungsimmissionen insbesondere durch Ramm- bzw. Rüttelarbeiten (z.B. Vibrationsramme der Fa. PTC Vibrofonceur o. ä.) oder Bohrarbeiten (z.B. Drehbohrgerät der Fa. Bauer, Typ BG o. ä) auftreten.

In Abhängigkeit von den Bautätigkeiten sowie des Zeitraums zur Durchführung der Tätigkeiten (tags/nachts) sind folgende potenzielle Betroffenheitsbereiche nicht auszuschließen:

Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (nach Teil 2 der DIN 4150):

tags: bei Gebäuden mit geringerem Abstand als 50 m zum Gleis-Mittelverbau

nachts: bei Gebäuden mit geringerem Abstand als 100 m zum Gleis-Mittelverbau

Aufgrund des Baufortschritts und der damit verbundenen abstandsbedingten Pegelabnahme sind Erschütterungsimmissionen oberhalb der Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 für jeweils ein separat betrachtetes Anwesen an maximal zwei Arbeitstagen in der jeweiligen Bauphase zu erwarten. Während der restlichen Zeit in der jeweiligen Bauphase ist davon auszugehen, dass aufgrund des räumlichen Abstands keine relevanten Erschütterungsimmissionen auftreten werden.

Einwirkungen auf bauliche Anlagen (nach Teil 3 der DIN 4150):

Ausgehend von den geplanten Bauverfahren können insbesondere bei den durchzuführenden Rammarbeiten (z.B. zur Herstellung von Baugrubenumschließungen o. ä.) potenzielle Betroffenheitsbereiche bis zu ca. 50 m nicht ausgeschlossen werden.

6.1.3 Ingenieur- und Hochbau

Bei der Erstellung von Ingenieurbauwerken können relevante Erschütterungs- immissionen insbesondere durch Rammarbeiten (z.B. Vibrationsramme der Fa. PTC Vibrofonceur o. ä.) bzw. Bohrfahlarbeiten (z.B. Drehbohrgerät der Fa. Bauer, Typ BG o. ä.) auftreten.

In Abhängigkeit von den durchzuführenden Bautätigkeiten sowie deren geplanten Zeitraum (tags/nachts) sind in nachfolgender Tabelle potenzielle Betroffenheitsbereiche angegeben:

Bezeichnung	Bahn-km	Potenzieller Betroffenheitsbereich bei Bewertung nach DIN 4150		
		Teil 2 (Einwirkungen auf Menschen)		Teil 3 (Einwirkungen auf bauliche Anlagen)
		tags	nachts	
Abschnitt PF-Grenze Süd – Forchheim (ca. km 32,4 bis 39,5)				
EBR Aufraben	36,843	≤ 50 m	≤ 100 m	≤ 50 m
EÜ Gehweg mit Bahnsteigzugang	38,330	≤ 50 m	≤ 100 m	≤ 50 m
SBR Bundesstraße B470 Bayreuther Str.	38,515	≤ 50 m	≤ 100 m	≤ 50 m
SBR Geh- und Radweg Haidfeldstr.	38,876	≤ 50 m	≤ 100 m	≤ 50 m
SBR Kreisstraße FO17 Untere Kellerstraße, Piastenbrücke	39,452	≤ 50 m	≤ 100 m	≤ 50 m

Bezeichnung	Bahn-km	Potenzieller Betroffenheitsbereich bei Bewertung nach DIN 4150		
		Teil 2 (Einwirkungen auf Menschen)		Teil 3 (Ein- wirkungen auf bauli- che Anla- gen)
		tags	nachts	
Abschnitt Forchheim – PF-Grenze Nord (ca. km 39,5 bis 46,0)				
SBR Geh- und Radweg Her- derstraße	40,011	≤ 50 m	≤ 100 m	≤ 50 m
EÜ Sendelbachgraben	40,103	≤ 50 m	≤ 100 m	≤ 50 m
Hp Forchheim Nord	40,102 – 40,242	≤ 50 m	≤ 100 m	≤ 50 m
SBR Feld- und Waldweg über Mühlbach	44,958	≤ 50 m	≤ 100 m	≤ 50 m
EÜ Mühlbach	44,958	≤ 50 m	≤ 100 m	≤ 50 m
EBR Bahnhofstraße Eggols- heim	45,208	≤ 50 m	≤ 100 m	≤ 50 m
SBR Rinniggraben	45,448	≤ 50 m	≤ 100 m	≤ 50 m

Tab. 9: Zusammenstellung potenzieller Betroffenheitsbereiche durch Ingenieur- und Hochbau

Demnach können insbesondere bei durchzuführenden Rammarbeiten (z.B. zur Herstellung von Baugrubenumschließungen o. ä.) potenzielle Betroffenheitsbereiche bis zu ca. 100 m nicht ausgeschlossen werden.

Die Dauer von potenziellen Betroffenheiten wird sich für jeweils ein separat betrachtetes Anwesen auf jeweils wenige Tage oder Wochen beschränken, in denen erschütterungsrelevante Tätigkeiten durchgeführt werden.

6.1.4 Stützwandherstellung

In lokalen Bereichen von Forchheim und Neuses a.d.R. sind böschungsstabilisierende Maßnahmen in Form von Bohrpfahlwänden westlich und östlich der Bahnstrecke vorgesehen. Die Erstellung dieser Stützwände ist gegenwärtig sowohl tags als auch nachts geplant.

In Abhängigkeit von den durchzuführenden Bautätigkeiten sowie deren geplanten Zeitraum (tags/nachts) sind nachfolgend potenzielle Betroffenheitsbereiche angegeben:

Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (nach Teil 2 der DIN 4150):

tags: bei Gebäuden mit geringerem Abstand als 20 m zum Gleisbau

nachts: bei Gebäuden mit geringerem Abstand als 50 m zum Gleisbau

Aufgrund des Baufortschritts (siehe Kap. 4.3) und der damit verbundenen entfernungsbedingten Pegelabnahme sind Erschütterungsimmissionen oberhalb der Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 für jeweils ein separat betrachtetes Anwesen an maximal ca. fünf bis zehn Arbeitstagen zu erwarten. Während der restlichen Zeitdauer ist bei der Erstellung der Stützwand davon auszugehen, dass aufgrund des räumlichen Abstands keine relevanten Erschütterungsimmissionen auftreten werden.

Einwirkungen auf bauliche Anlagen (nach Teil 3 der DIN 4150):

Ausgehend von dem geplanten Bauverfahren lässt sich selbst bei exponierter Lage von Gebäuden zur Bahnstrecke erwarten, dass unter Berücksichtigung der Anhaltswerte der DIN 4150-3 generell etwaige Gebäudeschäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes nicht zu erwarten sind.

6.1.5 Baustelleneinrichtungsflächen

Durch die BE-Flächen sind grundsätzlich potenzielle Betroffenheiten auszuschließen, wobei Anlagen zur Aufbereitung von Baumaterialien außerorts bzw. in einem ausreichenden räumlichen Abstand von mind. 100 m zur schutzbedürftigen Nachbarschaft anzuordnen sind.

6.2 Bewertung der Erschütterungsimmissionen

Die Abschätzung von Art, Umfang und Dauer von potenziellen Betroffenheiten durch baubedingte Erschütterungsimmissionen beruht auf Annahmen zum voraussichtlichen Bauablauf.

Unter Berücksichtigung der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 bzw. Teil 3 ist zu erwarten, dass die Bautätigkeiten sowohl zeitlich als auch räumlich begrenzte potenzielle Betroffenheiten auslösen können.

Eine Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 für die Tagzeit (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) und insbesondere auch für die Nachtzeit (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) kann unter Berücksichtigung der beschriebenen Bautätigkeiten letztendlich erst bei Abständen von ca. hundert Meter zur Baustelle erwartet werden.

Insbesondere durch die Gründungsarbeiten eines Gleis-Mittelverbaus sowie im Bereich von Ingenieurbauwerken kann bei dem geplanten Bauverfahren eine mögliche Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150-3 (Einwirkungen auf bauliche Anlagen) im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswerts bei Gebäuden innerhalb eines 50m – Korridors gegenwärtig nicht ausgeschlossen werden. Für diesen Korridorbereich erscheinen gebäudetechnische Beweissicherungen an ausgewählten Gebäuden zweckmäßig.

7 Minderung der baubedingten Immissionen

7.1 Beschreibung

Die Bauphasen zur Realisierung des Vorhabens sind im Hinblick auf den Schutz der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen als nicht unproblematisch zu bewerten. Den nahe gelegenen Wohngebäuden ist besonders bei Tätigkeiten in der Nacht (22:00 bis 06:00 Uhr) und während der Ruhezeiten am Tag (werktags: 6:00 bis 7:00 Uhr bzw. 19:00 bis 22:00 Uhr sowie sonn- und feiertags: 6:00 bis 22:00 Uhr) eine höhere Schutzbedürftigkeit einzuräumen.

Zur Feststellung der zumutbaren Belästigungen von Bauerschütterungen kann dabei als Maßstab die DIN 4150 Teil 2 herangezogen werden.

Die Erheblichkeit der Belastung hängt nicht ausschließlich vom Ausmaß der Erschütterungen, sondern auch von individuellen und situativen Faktoren ab, die die Zumutbarkeit für den betroffenen Menschen bestimmen.

Hierzu zählen u. a.:

- der Gesundheitszustand
- die Tätigkeit während der Erschütterungsbelastung
- der Grad der Gewöhnung
- die Einstellung zum Erschütterungserzeuger
- die Erwartungshaltung in Bezug auf ungestörtes Wohnen, die unter Umständen von der Art des Wohnumfelds abhängig ist.
- die Einwirkungsdauer
- die Häufigkeit und Tageszeit des Auftretens und deren Auffälligkeit

Belästigungen sind dabei grundsätzlich nur auszuschließen, wenn die einwirkenden Erschütterungen nicht wahrnehmbar sind. Erhebliche Belästigungen liegen im Allgemeinen nicht vor, wenn die Anhaltswerte der DIN 4150-2 eingehalten sind.

Die Durchführung gebäudetechnischer Beweissicherungen vor bzw. nach Umsetzung der Baumaßnahmen dient zur Feststellung potenzieller Verminderungen des Gebrauchwertes von baulichen Anlagen.

7.2 Maßnahmen

Da die prognostizierten Erschütterungsimmissionen auf Annahmen zum vorläufigen Bauphasenkonzept sowie zum voraussichtlichen Bauablauf basieren, dabei jedoch nur beispielhafte bzw. üblicherweise verwendbare Geräte und Bauverfahren herangezogen werden konnten, erscheinen zeitliche und örtliche konkretisierte Maßnahmen zur Minderung der Bauerschütterungen erst bei genauerer Kenntnis des Bauablaufs sowie der geplanten einzusetzenden Maschinen sinnvoll.

Grundsätzlich zeigen die bisherigen Bewertungen, dass es durchaus sinnvoll erscheint, nachfolgende von Bauzeiten und Bauphasen unabhängige Maßnahmen ausreichend zu berücksichtigen:

- Verwendung von erschütterungsarmen Baumaschinen und Bauverfahren
Im Rahmen der Ausschreibung ist darauf hinzuweisen, dass von den beauftragten Bauunternehmen ausschließlich Bauverfahren und Baugeräte eingesetzt werden, die hinsichtlich ihrer Schall- und Erschütterungsemissionen dem Stand der Technik entsprechen. Ebenfalls ist darauf hinzuweisen, dass die Baustellen so geplant, eingerichtet und betrieben werden, dass Erschütterungen weitestgehend verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind.
- umfassende Information der betroffenen Gemeinden und Anwohner im Vorfeld der Baumaßnahmen (insbesondere über die Art und Dauer von Bauarbeiten in der Nacht und an Sonn- und Feiertagen)
- Einsatz eines Immissionsschutzbeauftragten mit u. a. folgenden Aufgabenbereichen:
 - Ansprechpartner bei Beschwerdefällen
 - Überwachung der Baustellen mit Durchführung von Messungen
 - Vorschlag von ggf. notwendigen Minderungsmaßnahmen zum Schutz der Nachbarschaft
- Durchführung von gebäudetechnischen Beweissicherungen vor bzw. nach Ende der Baumaßnahmen für ausgewählte Gebäude innerhalb potenzieller Betroffenheitskorridore

Um unzumutbare Belästigungen auf ein Mindestmaß zu beschränken, ist unabhängig von der Notwendigkeit von Bauarbeiten während der Nachtzeit (22:00 bis 06:00 Uhr) darauf hinzuwirken, dass in einer nächtlichen Kernzeit (z.B. 23:00 bis 05:00 Uhr) erschütterungsintensive Bautätigkeiten in den innerörtlichen Bereichen weitestgehend reduziert werden.

8 Zusammenfassung

In vorliegendem Bericht wurden die baubedingten Erschütterungsimmissionen im Planfeststellungsabschnitt 18/19 Forchheim - Eggolsheim für die schutzbedürftige Nachbarschaft bewertet.


Die Abschätzungen kommen zu dem Ergebnis, dass basierend auf Annahmen zu einem vorläufigen Bauphasenkonzept sowie zum voraussichtlichen Bauablauf, der Baubetrieb zu relevanten Erschütterungsbelastungen führen kann. Um einen Anhaltswert über die potenziellen Betroffenheiten durch Bauerschütterungen in der Nachbarschaft zu erhalten, wurde die Größenordnung der einwirkenden Belastungen abgeschätzt und mit den entsprechenden Anhaltswerten der DIN 4150, Teil 2 (Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden) und Teil 3 (Einwirkungen auf bauliche Anlagen) verglichen. Hierbei wurden für die verschiedenen erschütterungsrelevanten Bautätigkeiten zeitlich und örtlich die potenziellen Betroffenheitsbereiche dargestellt und beschrieben.

Tatsächliche Betroffenheiten durch die Baumaßnahmen, die Notwendigkeit und der Umfang von Maßnahmen werden insbesondere auch von den zur Ausführung kommenden Bauverfahren und Baugeräten abhängen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wurden demzufolge ausschließlich mögliche organisatorische Maßnahmen im Vorfeld der Baumaßnahmen aufgezeigt, um die Erheblichkeit potenzieller Belästigungen durch Bauerschütterungen so weit wie möglich zu reduzieren. Darüber hinausgehende Maßnahmen sind letztendlich erst bei genauerer Kenntnis zum geplanten Bauablauf bzw. der Bauausführung zweckmäßig.

Diese Untersuchung umfasst 44 Seiten und eine Beilage.

bearbeitet:


ppa. Dipl.-Ing. (H.) Högg


i. A. B. Sc. M. Crljenkovic

Möhler + Partner Ingenieure AG

Paul-Heyse-Straße 27

80336 München

München, den ~~26.06.2015~~ 13.10.2017

9 Grundlagenverzeichnis

- [1] Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) in der aktuell gültigen Fassung
- [2] DIN 4150 Teil 1: Erschütterungen im Bauwesen – Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- [3] DIN 4150 Teil 2: Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [4] DIN 4150 Teil 3: Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf bauliche Anlagen, ~~Februar 1999~~ **Dezember 2016**
- [5] Erschütterungen und sekundärer Luftschall. DB AG-Richtlinien ~~800.2501 bis 800.2504, Entwurf vom 10.12.2009~~ **820.2050, Gültig ab 15.09.2017**
- [6] 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
- [7] DIN 45669: Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1, Schwingungsmesser; Anforderungen und Prüfungen, Sept. 2008
- [8] DIN 45669: Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2, Messverfahren, Juni 2005
- [9] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO)
- [10] Flächennutzungsplan der Stadt Forchheim, der Gemeinden Kersbach, Eggolsheim und Neuses an der Regnitz
- [11] Rechtskräftige Bebauungspläne der Stadt Forchheim, der Gemeinden Kersbach, Eggolsheim und Neuses an der Regnitz
- [12] Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S.2414), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist
- [13] VDE 8.1: Eingangsdaten Baulärm PA 18/19 für PFV, Pöyry Deutschland GmbH, Stand: 04.03.2013 **bzw. DB E+C zum Hp Forchheim Nord**

- [14] Überwachungsmessungen zum Ausbau der Flughafen S-Bahn – Tunnel
Unterführung, Möhler+Partner Bericht Nr. 800-1545, im Auftrag der DB Pro-
jekt Bau GmbH, April 2003
- [15] Gerhard Müller, Michael Möser (Hrsg.): Taschenbuch der technischen Akus-
tik, 3. erweiterte und überarbeitete Auflage, Springer Verlag 2004

10 Beilagen

Beilage 1: Übersichtslageplan mit Darstellung potenzieller Betroffenheitsbereiche