

Erläuterungsbericht

Erschütterungstechnische Untersuchung Betrieb

0	Ausgangsverfahren: Antragsfassung	28.03.2024
Index	Änderungen bzw. Ergänzungen	Planungsstand
Vorhabenträger:		
DB InfraGO AG  Zentrale Theodor-Heuss-Allee 7 60486 Frankfurt am Main		
Datum	Unterschrift	
Vertreter des Vorhabenträgers:		Verfasser:
DB InfraGO AG  ABS/NBS Karlsruhe-Basel Schwarzwaldstraße 82 76137 Karlsruhe		OBERMEYER  Infrastruktur GmbH & Co. KG Hasenbergstraße 31 70178 Stuttgart
Datum	Unterschrift	28.03.2024  Datum Unterschrift
Genehmigungsvermerk Eisenbahn-Bundesamt		





Kofinanziert von der Fazilität
„Connecting Europe“ der Europäischen Union

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Aufgabenstellung.....	7
1.1	Allgemeine Angaben zum Vorhaben	7
1.2	Aufgabenstellung	8
2	Grundlagen der Erschütterungstechnischen Untersuchung.....	9
2.1	Beurteilungsgrundlagen	10
2.1.1	Erschütterungen bezogen auf den Menschen (DIN 4150 Teil 2).....	10
2.1.2	Erschütterungen bezogen auf Gebäude (DIN 4150 Teil 3).....	14
2.1.3	Erschütterungen bezogen auf empfindliche Geräte (VDI 2038 Blatt 2).....	14
2.1.4	Sekundärer Luftschall	15
2.2	Allgemeine Beschreibung der Prognoseberechnung.....	17
2.2.1	Prognose der Erschütterungen	17
2.2.2	Prognose des sekundären Luftschalls.....	19
2.3	Maßnahmen zu Minderung von Erschütterungen	19
2.3.1	Hochelastische Schienenbefestigung	20
2.3.2	Schwellenbesohlung.....	20
2.3.3	Trogbauwerk mit Unterschottermatte	20
2.3.4	Masse-Feder-System (MFS).....	20
2.3.5	Maßnahmen am Ausbreitungsweg.....	21
2.3.6	Maßnahmen am Gebäude	21
2.4	Beschreibung möglicher Schutzmaßnahmen	21
2.5	Planungsgrundlagen	23
2.6	Betriebsprogramm.....	24
2.7	Berücksichtigte bauliche Änderungen	24
2.8	Untersuchungsbereich	25
3	Durchgeführte Schwingungsmessungen.....	27
4	Ergebnisse der Prognose.....	28
4.1	Erschütterungsprognose	28
4.2	Ergebnisse der untersuchten Gebäude	28
4.3	Ermittlung des Betroffenheitskorridors.....	29
4.4	Ermittlung von Mindestabständen für den Betrieb erschütterungsempfindlicher Geräte	33
4.5	Ermittlung der zu lösenden Schutzfälle.....	33
5	Bestimmung erschütterungsmindernder Maßnahmen	35
5.1	Bestimmung von Schutzmaßnahmen.....	35
5.2	Ergebnisse der Prognose mit erschütterungsmindernden Maßnahmen.....	36

5.3	Zusätzliche Messungen aus dem Tunnelrohbau	36
5.4	Empfohlene Erschütterungsschutzmaßnahmen für den PfA 7.1 Appenweier – Hohberg (Tunnel Offenburg)	37
5.5	Restbetroffenheiten	37
6	Zusammenfassung	38
7	Literaturverzeichnis	39



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einfügedämmung der Erschütterungsschutzmaßnahmen.....	23
Abbildung 2: Systemskizze PfA 7.1	26
Abbildung 3: Bereich Appenweier [24].....	30
Abbildung 4: Bereich Windschlag [24]	30
Abbildung 5: Bereich Am Holderstock [24].....	31
Abbildung 6: Bereich Alte Straßburger Straße [24].....	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2 Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbaren Räumen (z. B. für Neubaustrecken ohne Vorbelastung)	11
Tabelle 2: VC-Linien gemäß Tabelle 31 der VDI-Richtlinie 2038 Blatt 2.....	15
Tabelle 3: Aus der 24. BImSchV abgeleitete zumutbare Innenraumpegel.....	16
Tabelle 4: Erschütterungsreduzierende Maßnahmen und deren Kosten	22
Tabelle 5: Standort-unabhängiges Einfügedämm-Maß De von ESM.....	23
Tabelle 6: Firmen mit empfindlichen Gerätschaften	33
Tabelle 7: Erschütterungsschutzmaßnahmen im PfA 7.1	37

Verzeichnis der Anhänge

Anhang A

Anhang A.1 Emissionstabellen: Angesetzte Körperschall-Emissionen, Max-Hold-Werte und Leq-Werte

Anhang A.2: Entfernungsbedingte Körperschall-Pegelabnahme im Boden

Anhang A.3: Relevante Zugparameter

Anhang B

Anhang B.1 Ergebnistabelle 1: Beurteilung der Erschütterungen an den messtechnisch untersuchten Objekten

Anhang B.2 Ergebnistabelle 2: Beurteilung des sekundären Luftschalls an den messtechnisch untersuchten Objekten

Anhang C

Anhang C.1 Abwägungstabelle



1 Anlass und Aufgabenstellung

1.1 Allgemeine Angaben zum Vorhaben

Die Ausbau- und Neubaustrecke Karlsruhe – Basel ist Teil des europäischen Ausbaukonzepts auf den Achsen Rotterdam – Genua (TEN-Achse Nr. 24) und Paris – Bratislava (TEN-Achse Nr. 17). Für den bereits heute aufkommensstärksten Güterverkehrskorridor Rotterdam – Genua sind perspektivisch weiter steigende Zugzahlen im deutschen Schienennetz zu erwarten, weshalb der bereits begonnene und streckenweise in Betrieb stehende viergleisige Ausbau der Rheintalbahn fortzusetzen ist.

Die wachsenden Verkehre auf der Schiene in der Nord-Süd-Relation sowie die Nahverkehrsentwicklungen in den Großräumen Karlsruhe, Offenburg, Freiburg und Basel haben die Leistungsfähigkeit der Bestandsstrecke erschöpft. Zusätzliche Verkehre können entweder nicht mehr oder nur unter Verringerung der Betriebsqualität abgewickelt werden.

Das Projekt ABS/NBS Karlsruhe – Basel umfasst daher den durchgehenden viergleisigen Ausbau der bestehenden Rheintalbahn mit dem Ziel der Kapazitätserweiterung und der Qualitätsverbesserung auf dieser Strecke (s. auch Unterlage 1.1, Kapitel 1.1.2).

In den Streckenabschnitten 7 und 8 zwischen Appenweier und Müllheim soll der Güterverkehr in Zukunft überwiegend auf einer eigenen Strecke geführt werden, die größtenteils parallel zur Bundesautobahn 5 verläuft. Die neue Strecke wird für Geschwindigkeiten bis 160 km/h ausgelegt.

Im Stadtgebiet von Offenburg werden die Güterzüge unterirdisch durch den Tunnel Offenburg geführt, der die bestehenden Eisenbahnstrecken nördlich von Offenburg mit der neuen, zur Autobahn parallel geführten Strecke verbindet. Die geplante Höchstgeschwindigkeit im Tunnel Offenburg beträgt 120 km/h.

Personenfernverkehr und Personennahverkehr sollen in Zukunft weiterhin über die bestehende Rheintalbahn (Strecke 4000) fahren, die dafür ausgebaut wird. Die Strecke wird im Streckenabschnitt 7 zwischen Offenburg und Kenzingen für Geschwindigkeiten von bis zu 250 km/h geplant und teilweise mit Überholabschnitten auf vier Gleise erweitert. Südlich davon, im Streckenabschnitt 8, wird die Strecke für Geschwindigkeiten von bis zu 200 km/h geplant.

Für jeden Planfeststellungsabschnitt wird im StA 7 ein gesondertes Planfeststellungsverfahren durchgeführt. Gegenstand der vorliegenden Planfeststellungsunterlage ist der PfA 7.1 mit folgenden Hauptmerkmalen:

- Zweigleisige elektrifizierte Neubaustrecke für den Güterverkehr von Appenweier bis Hohberg mit dem

- Offenburger Tunnel ab der Gemeinde Windschlag bis Schutterwald
- Weiterführung der zweigleisig elektrifizierten Neubaustrecke von Schutterwald bis zur PfA-Grenze als BAB-Parallele
- Ausbau der bestehenden Rheintalbahn für eine Geschwindigkeit von 250 km/h südlich von Offenburg ab Hildboltsweier bis zur PfA-Grenze bei Niederschopfheim
- Neubau der Verbindungskurve Nord (VBK Nord) zwischen bestehender Rheintalbahn und Neubaustrecke

1.2 Aufgabenstellung

Der gegenständliche Bericht enthält die Untersuchung zu den betriebsbedingten Erschütterungen für den PfA 7.1 Appenweier – Hohberg (Tunnel Offenburg).

Ziel der Untersuchung ist die Ermittlung der vom Vorhaben PfA 7.1 ausgehenden betrieblichen Erschütterungsemissionen bzw. der bei den betroffenen Anwohnern ankommenden Erschütterungsimmissionen. Weiterhin soll geprüft werden, ob und in welchem Umfang die betroffenen Anwohner durch geeignete Schutzmaßnahmen geschützt werden müssen.

Zu der erschütterungstechnischen Untersuchung zählen

- die Durchführung von Messungen der Emissionen
- die Durchführung von Beweissicherungsmessungen in Gebäuden
- die Durchführung von Übertragungsmessungen in Gebäuden
- die Durchführung von Ausbreitungsmessungen
- die Durchführung der Erschütterungsprognose für die Betriebsphase
- die Durchführung der Prognose für den sekundären Luftschall für die Betriebsphase
- die Ausarbeitung von Erschütterungsschutzkonzepten für die Betriebsphase bezogen auf die Einwirkung auf Menschen und erschütterungsempfindliche Anlagen in Gebäuden.

Im Rahmen der erschütterungstechnischen Untersuchung wird auf der Grundlage von Messergebnissen und Literaturwerten (Zuschläge für Weichen, diverse Übertragungsfunktionen für Deckenresonanzen etc.) eine Prognose erstellt, um die erschütterungsbezogenen Auswirkungen des Streckenbetriebs auf Menschen, Gebäude und Maschinen in der Umgebung abschätzen zu können und ggf. Schutzmaßnahmen zu ermitteln.

Die Beurteilung der prognostizierten Schwinggeschwindigkeiten findet anhand der einschlägigen Regelwerke statt.

2 Grundlagen der Erschütterungstechnischen Untersuchung

Erschütterungsimmissionen bestehen aus - fühlbaren - mechanischen Schwingungen (Vibrationen, Erschütterungen), und - hörbarem - sekundären Luftschall, der durch die Schallabstrahlung schwingender Raumbegrenzungsflächen entsteht. Sie können schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [1] sein, die nach Möglichkeit vermieden werden sollten. Unvermeidliche schädliche Umwelteinwirkungen sollen auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Die DB-Richtlinie 820.2050 „Grundlagen des Oberbaus, Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ [9] mit den Anhängen A01 bis A06 beschreibt die Vorgehensweise bei der Erstellung von Erschütterungsprognosen für den Schienenverkehr. Sie beschreibt zu diesem Zweck die Grundsätze und Regelungen für die Messung, für die Prognose und die Beurteilung der Auswirkungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall. Die Richtlinie ist anzuwenden:

- beim Neubau von Eisenbahninfrastruktur oder
- bei der Änderung von Eisenbahninfrastruktur

Die Richtlinie verweist u.a. auf die folgenden besonders zu beachtenden Normen:

- DIN 4150-2 (Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden) [7]
- DIN 4150-3 (Einwirkungen auf bauliche Anlagen) [8]

Die Ausbreitung der Erschütterungen im Erdboden ist von den Eigenschaften der Erschütterungsquelle, den Bodeneigenschaften und dem Abstand zur Erschütterungsquelle abhängig. Das heißt auch, dass je nach Ausdehnung der Erschütterungsquelle, der Art der Anregung, sowie durch Bodenschichtung und Position der Anregung die Übertragungseigenschaften des Bodens in gewissem Maß variieren können. Die Übertragungseigenschaften des Erdbodens sind frequenzabhängig, wobei in der Regel der Erdboden bei tieffrequenten Emissionen weniger dämpft als bei hochfrequenten Emissionen.

Die in den beurteilungsrelevanten Gebäudeteilen auftretenden Schwingungen hängen weiterhin maßgeblich von den Gebäudeeigenschaften und den Wechselwirkungen zwischen Gebäude und Erdboden ab.

In Kapitel 2.1 werden die Beurteilungsgrundlagen näher beschrieben. In Kapitel 2.2 werden die Grundlagen zur Prognoseberechnung aufgeführt. Die Darstellung der Prognoseberechnung unter Berücksichtigung der projektspezifischen Rahmenbedingungen erfolgt in Kapitel 4.

2.1 Beurteilungsgrundlagen

Die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen aus dem Bahnbetrieb wird nach dem Anhang A03 der DB Richtlinie 820.2050 [9] vorgenommen. Die gesetzlichen Grundlagen werden in dieser Richtlinie detailliert erläutert. Die Richtlinie verweist dabei auf folgende Normen:

- DIN 4150-2 (Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden) [7]
- DIN 4150-3 (Einwirkungen auf bauliche Anlagen) [8],
- VDI Richtlinie 2038 Blatt 2 -Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik - Schwingungen und Erschütterungen - Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung [22]
- sowie auf die EBA-Verfügung [20] zum Umgang mit betrieblich bedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall, in der die Schwelle zur Eigentums- und Gesundheitsgefährdung definiert wird.

Die Beurteilung des sekundären Luftschalls erfolgt ebenfalls nach dem Anhang A03 der DB Richtlinie 820.2050. In Anlehnung an die 24. BImSchV [4] werden hier Immissionsrichtwerte für zumutbare Innenschallpegel, im Weiteren als Anhaltswerte des sekundären Luftschalls bezeichnet, genannt. Dieses Vorgehen ist in der Rechtsprechung anerkannt, was ebenfalls in der Richtlinie näher erläutert wird.

2.1.1 Erschütterungen bezogen auf den Menschen (DIN 4150 Teil 2)

Die Richtlinie RIL 820.2050 führt in Anhang A03 aus: Es gibt „[...] keine gesetzliche Regelung, die die Prognose- und Beurteilungsverfahren oder entsprechende Immissionsgrenzwerte für Erschütterungsimmissionen festschreibt. [...] Für die Planung von Eisenbahninfrastrukturanlagen ist in der Regel eine Beurteilung nach DIN 4150-2 [...] durchzuführen. [...] Dort werden Anforderungen und Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung davon auszugehen ist, dass erhebliche Beeinträchtigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden.“

Zur Schutzbedürftigkeit von Schulen, Kindertagesstätten, Menschen am Arbeitsplatz (wie z.B. in Büroräumen) und von Kleingärten wird keine Aussage getroffen.

Grundlage zur Beurteilung von Erschütterungen in Bezug auf den Menschen sind KB-Werte. Dabei wird das unbewertete Erschütterungssignal in der Einheit mm/s durch Filterung in einem definierten Frequenzbereich bewertet. Die KB-Werte sind auf dem Fußboden des zu untersuchenden Raumes, und zwar an den Stellen, an denen die stärksten Erschütterungen zu erwarten sind, zu ermitteln und mit den Anhaltswerten der DIN 4150-2 zu vergleichen. Als Beurteilungsgröße gilt der $KB_{F_{max}}$ -Wert, welcher die maximale bewertete Schwingstärke, die „während der jeweiligen Beurteilungszeit

(einmalig oder wiederholt) auftritt und der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist“, darstellt.

Die Beurteilung der Erschütterungen aus dem Schienenverkehr erfolgt gemäß Punkt 6.5 der DIN 4150-2 [7]. Diese nennt drei verschiedene Anhaltswerte (Tabelle 1):

- A_u : unterer Anhaltswert
- A_r : Anhaltswert zum Vergleich mit Beurteilungs-Schwingstärke
- A_o : oberer Anhaltswert (nicht in Tabelle 1 aufgeführt, Begründung s.u.)

Tabelle 1: Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2 Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbaren Räumen (z. B. für Neubaustrecken ohne Vorbelastung)

Zeile	Einwirkungsort	tags 06:00-22:00		nachts 22:00-06:00	
		A_u	A_r	A_u	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vgl. Industriegebiete § 9 BauNVO)	0,4	0,2	0,3	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vgl. Gewerbegebiete § 8 BauNVO)	0,3	0,15	0,2	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vgl. Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO).	0,2	0,1	0,15	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet § 3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO)	0,15	0,07	0,1	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	0,05	0,1	0,05
In Klammern sind jeweils die Gebiete der BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegenüber Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.					

Liegen die KB_{Fmax} -Wert stets unter A_u , so sind die Anforderungen der DIN 4150-2 eingehalten und es ist keine erhebliche Belästigung zu erwarten. Liegt mindestens ein KB_{Fmax} -Wert größer gleich A_u wird die Beurteilungs-Schwingstärke (KB_{FTr}) ermittelt und mit dem A_r verglichen. Bei der Bildung des KB_{FTr} werden Häufigkeit, Dauer und Intensität der Erschütterungen berücksichtigt.

Zum oberen Anhaltswert erläutert die Richtlinie RIL 820.2050 in Anhang A03 die bei der Beurteilung zu berücksichtigenden Sonderregelungen für den Schienenverkehr:

„Unter Hinweis auf Abschnitt 6.5.3 sowie auf die Erläuterungen in Anhang D der DIN 4150-2, ist eine Beurteilung nur mit den Anhaltswerten A_u und A_r erforderlich und von einer scharfen Abgrenzung mit dem Anhaltswert A_o abzusehen.“

Nach Absatz 6.5.3.1 sind bei der Ermittlung von KB_{FTr} in Ruhezeiten die Einwirkungen aus dem Schienenverkehr abweichend zu Absatz 6.4.2 nicht mit dem Faktor 2 zu gewichten. Nach Absatz 6.5.3.2 gelten für unterirdischen Schienenverkehr jeglicher Art die Anhaltswerte A_u und A_r der Tabelle 1 der DIN 4150-2. Dies gilt dementsprechend für den Tunnelbereich.

Berücksichtigung der Vorbelastung bei Ausbaustrecken:

Gemäß der ständigen Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichts müssen sich Betroffene vorhandene Vorbelastungen in der Regel schutzmindernd zurechnen lassen.

Aus dem Gebot der gegenseitigen Rücksichtnahme folgen besondere Duldungspflichten, sodass Erschütterungen, die sich im Rahmen einer plangegebenen oder tatsächlichen Vorbelastung halten, deswegen - jedenfalls in aller Regel - zumutbar sind, auch wenn sie die Anhaltswerte der DIN 4150-2 übersteigen.

Demnach können Betroffene regelmäßig lediglich verlangen, dass durch das Hinzutreten neuer Erschütterungsimmissionen infolge von Ausbaumaßnahmen die Vorbelastungen nicht spürbar erhöht werden.

Ein Erschütterungsschutz kann erst 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.

Daher sind Anwohnern bei einer Vorbelastung, die nicht die Schwelle zur Eigentums- bzw. Gesundheitsverletzung überschreitet, grundsätzlich betriebsbedingte Erschütterungen im Umfang der plangegebenen Vorbelastung plus 25% zumutbar. Diese Erhöhung rechtfertigt sich daraus, dass eine Zusatzbelastung von 25% nach dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis die Wahrnehmungsschwelle für Unterschiede der Beurteilungsschwingstärke darstellt (vgl. [9],[10]).

Die DB-Richtlinie RIL 820.2050 [9] führt dazu in Anhang A03 3(19) unter Verweis auf das Bundesverwaltungsgericht (Urteil vom 21.12.2010 – 7A 14.09) und [20] aus:

„Die schutzmindernde Wirkung der Vorbelastung findet nach derzeitiger Rechtsprechung [...] allerdings ihre Grenze im Eigentums- bzw. Gesundheitsschutz. Bei welcher Erschütterungsbelastung diese Grenze überschritten wird, ist durch das BVerwG nicht abschließend geklärt.

Entsprechend der EBA-Verfügung zum Umgang mit betriebsbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall [...] sind Abschnitte mit Beurteilungsschwingstärken KB_{FT_r} ab einem Bereich von 1,1 tags und 0,7 nachts als Vorbelastung, die vorhabenbedingt gering (ab dritte Nachkommastelle) ansteigen, 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.

Unabhängig davon hat das BVerwG diese Schwelle jedenfalls deutlich über dem in Industriegebieten und bezogen auf den ÖPNV geltenden Anhaltswert nach DIN 4150-2 von $A_r = 0,3$ tags und von $A_r = 0,23$ nachts nicht beanstandet.“

Nach derzeitigem Stand kann das System der Anhaltswerte nach DIN 4150 Teil 2, als untere Zumutbarkeitsschwelle zu Grunde gelegt werden. Hierin sind auch die Anhaltswerte A_r enthalten, die mit KB_{FT_r} zu vergleichen sind. Somit wird neben der (mittleren) maximalen Schwingstärke auch die Häufigkeit der Vorbeifahrten adäquat berücksichtigt.

Entsprechend dem Vorstehenden werden in der vorliegenden Untersuchung folgende Beurteilungskriterien angewendet:

Betroffene müssen sich Vorbelastungen aus vorhandenen Anlagen zurechnen lassen. Diese dürfen sich vorhabenbedingt nicht erheblich erhöhen (keine spürbare Erhöhung). Dabei werden vorsorglich als untere Schwelle die Anhaltswerte A_r der DIN 4150, Teil 2 herangezogen. Erst nach deren Überschreitung ist zu prüfen, ob eine erhebliche bzw. wesentliche Zunahme der Erschütterungsimmissionen stattfindet.

Zusammengefasst folgt also die Beurteilung folgendem Ablauf (vgl. [7]):

- Ist $KB_{F_{max}} < A_u$, sind keine weiteren Betrachtungen erforderlich. Die Anforderungen der DIN 4150 Teil 2 sind eingehalten.
- Ist $KB_{F_{max}} \geq A_u$ und $KB_{FT_r} < A_r$, dann sind die erschütterungstechnischen Anforderungen ebenfalls eingehalten.
- Ist $KB_{FT_r} > A_r$, dann erfolgt die Beurteilung auf Basis der wesentlichen Änderung (spürbare Erhöhung), wie folgt:
 - Ist die Erhöhung der Erschütterungsimmissionen der KB_{FT_r} -Werte im Ausbaufall $< 25\%$ gegenüber der Belastung ohne Ausbau, dann liegt grundsätzlich keine wesentliche Erhöhung vor und die Anforderungen sind eingehalten.

- Wenn der KB_{FT} - Wert sich im Ausbaufall gegenüber der Belastung aus den bestehenden Anlagen um mindestens 25 % erhöht, dann liegt eine wesentliche Erhöhung vor und es müssen Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungsimmissionen in Betracht gezogen werden.

2.1.2 Erschütterungen bezogen auf Gebäude (DIN 4150 Teil 3)

Die Einwirkungen von Erschütterungen auf bauliche Anlagen werden in der DIN 4150-Teil 3 [8] behandelt. Die Norm nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht zu erwarten sind. Sie liegen in der Größenordnung um etwa ein 20-faches über den Anhaltswerten zum Schutze von Menschen in Gebäuden nach der DIN-Norm 4150, Teil 2. Im Rahmen dieser Untersuchung werden daher ausschließlich die höheren Anforderungen bzgl. von Menschen in Gebäuden untersucht, da die Überschreitung der Werte für bauliche Anlagen ausgeschlossen werden kann.

2.1.3 Erschütterungen bezogen auf empfindliche Geräte (VDI 2038 Blatt 2)

Für erschütterungsempfindliche Geräte werden in der Praxis vom Hersteller nur selten eindeutige und vollständige Anhaltswerte und Grenzkurven für zulässige Erschütterungsimmissionen am Aufstellort zur Verfügung gestellt. Die VDI 2038 Blatt 2 zur Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen nennt als geeignete Hilfe zur Einschätzung von Grenzkurven zur Beurteilung der Schwingschnelle die sogenannten VC-Linien. Es handelt sich dabei um eine international weit verbreitete Definition von Grenzkurven von Terz-Schwinggeschwindigkeitsspektren bei unterschiedlicher Produktionsgenauigkeit der Geräte bzw. Strukturgröße der Produkte [22]. In Tabelle 2 sind die Grenzwerte der VDI 2038 Blatt 2 aufgeführt, ab deren Überschreitung mit einer Beeinträchtigung der Genauigkeit empfindlicher Geräte zu rechnen ist.

Tabelle 2: VC-Linien gemäß Tabelle 31 der VDI-Richtlinie 2038 Blatt 2

VC-Linien (Vibration Criteria)	Schwingungs- pegel RMS- Terzspektren in $\mu\text{m/s}$	Typische Nutzungen	Struktur- größe/ Genauigkeit
Menschlich Fühlschwelle	100 ((4...80) Hz)	menschliche Fühlschwelle, für empfindliche Schlafbereiche, für Opernhäuser, Theater, für Mikroskope mit 100-facher Vergrößerung	30 μm
VC-A	50 ((4...80) Hz)	unter fast allen Umständen geeignet für optische Mikroskope mit bis zu 400-facher Vergrößerungen	8 μm
VC-B	25 ((1...80) Hz)	ein geeigneter Standard für Inspektionsgeräte, allgemeine anspruchsvolle Labore, Lithografiegeräte (inklusive Stepper) bis zu 3 μm Strukturbreite	3 μm
VC-C	12,5 ((1...80) Hz)	ein geeigneter Standard für Mikroskope mit bis zu 1000-facher Vergrößerung, ein guter Standard für die meisten Lithografie- und Inspektionsgeräte bis hinunter zu 1 μm Strukturbreite	1 μm
VC-D	6,25 ((1...80) Hz)	unter fast allen Umständen passend für sehr hochwertige Elektronenmikroskope (REM, TEM), E-Beam-Systeme usw., die bis an ihre Leistungsgrenze eingesetzt werden	0,3 μm
VC-E	3,1 ((1...80) Hz)	Die Einhaltung dieses Kriteriums ist sehr schwierig; es kann nur in wenigen Fällen eingehalten werden, vorzugsweise auf nicht unterkellerten Bodenplatten, erforderlich für Geräte höchster Präzision.	< 0,1 μm
VC-F	1,6 ((1...80) Hz)	Kriterium für extrem ruhige Forschungsräume, sehr schwierig zu erreichen; dieses Kriterium ist nur zur Charakterisierung, nicht jedoch als Auslegungskriterium geeignet.	–
VC-G	0,8 ((1...80) Hz)	Kriterium für extrem ruhige Forschungsräume, sehr schwierig zu erreichen; dieses Kriterium ist nur zur Charakterisierung, nicht jedoch als Auslegungskriterium geeignet.	–

2.1.4 Sekundärer Luftschall

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. Im Vergleich zum üblichen Bau- oder Verkehrslärm handelt es sich beim sekundären Luftschall um ein Geräusch, das von allen Raumbegrenzungsflächen abgestrahlt wird. Dies führt dazu, dass der sekundäre Luftschall nicht richtungsorientiert hörbar ist und im Vergleich zum üblichen Grundgeräusch als tieffrequent einzustufen ist (gemäß DB-Richtlinie 820.2050 [9] nur Terzbänder $\leq 100\text{Hz}$).

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 z.B. in Räumen zutreffen, die eine besonders hohe Schalldämmung haben oder sich in einem von der Erschütterungs- bzw. Geräuschquelle abgewandten Gebäudeteil befinden oder im Falle von Tunnelstrecken.

Die DB Richtlinie 820.2050 führt in Anhang A03 4(3) und (4) unter Verweis auf das Bundesverwaltungsgericht (Urteil vom 21.12.2010 – 7A 14.09.), [3], [4] und [20] aus:

„Die rechtliche Anspruchsgrundlage für die Beurteilung der Auswirkungen im Hinblick auf den sekundären Luftschall ist § 74 Abs. 2 VwVfG [...]. Das in Anlage 2 zu § 4 der 16. BImSchV [...] für die Berechnung der Beurteilungspegel festgelegte Verfahren stellt allein auf den direkt einwirkenden primären Luftschall ab. Durch Körperschall hervorgerufene Immissionen werden darin nicht erfasst. Darüber hinaus existiert keine gesetzliche Regelung, in der ein Beurteilungsverfahren oder Grenzwerte verbindlich geregelt werden“ [9].

„Ebenso gibt es derzeit kein einschlägiges technisches Regelwerk, das direkt für die Beurteilung von sekundärem Luftschall aufgrund von Schienenverkehr anwendbar ist. Vor diesem Hintergrund hat sich als Verwaltungspraxis die Bestimmung von zulässigen Innenraumpegeln aus verkehrsinduzierten Immissionen auf der Basis der 24. BImSchV (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung [...]) herausgebildet. Dies wurde durch das BVerwG nicht beanstandet [...] und vom EBA bestätigt [...]“ [9].

Die DB Richtlinie 820.2050A03 [9] verweist bei der Beurteilung der Immissionen des sekundären Luftschalls auf aus der 24. BImSchV [4] abgeleitete Innenraumpegel L_i . Diese setzen sich zusammen aus dem „[...] dort genannten Korrektursummanden D sowie einem weiteren Korrekturwert von 3 dB für die unterschiedliche Dämmwirkung von Außenbauteilen bei gerichtetem Schall gegenüber dem diffusen Schallfeld [...]“ [9].

Die Innenraumpegel L_i werden hiernach als Mittelungspegel bewertet. Tabelle 3 gibt diese aus der 24. BImSchV abgeleiteten Immissionsrichtwerte (Anhaltswerte) wieder.

Tabelle 3: Aus der 24. BImSchV abgeleitete zumutbare Innenraumpegel

Immissionsrichtwerte für zumutbare Innenraumpegel L_i in Anlehnung an 24. BImSchV		
Raumnutzung	$L_{i,T}$ [dB(A)] tags (6-22 Uhr)	$L_{i,N}$ [dB(A)] nachts (22-6 Uhr)
Räume die überwiegend zum Schlafen genutzt werden	-	30
Wohnräume	40	-
Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftliche Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume	40	-
Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume	45	-
Großraumbüros, Schalerräume, Druckeräume von DV-Anlagen, soweit dort ständige Arbeitsplätze vorhanden sind	50	-
Sonstige Räume, die nicht nur vorübergehend zum Aufenthalt von Menschen bestimmt sind	Entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen	

Bis zu der „Vorbelastung aus dem Prognosenullfall“ sind auch Überschreitungen dieser Anhaltswerte zulässig. Ob die Erhöhung gegenüber der Vorbelastung wesentlich ist, wird in Anlehnung an die 16. BImSchV [3] beurteilt, demnach sind (da stets aufgerundet wird) Erhöhungen um bis zu **2,1 dB(A)** zulässig (s. auch Richtlinie 820.2050A03).

2.2 Allgemeine Beschreibung der Prognoseberechnung

2.2.1 Prognose der Erschütterungen

Die Prognoseberechnung der Erschütterungen erfolgt nach den Vorgaben der DB-Richtlinie 820.2050A02 [9].

Prognostiziert werden die Schwinggeschwindigkeitspegel im Raum ausgehend vom Ort der Entstehung der Erschütterungen (Emissionsbereich) über die Weiterleitung im Baugrund (Transmissionsbereich), die Einleitung in das Bauwerk und die dortige Übertragung im Bauwerk zum Immissionsort (Gebäudedecke). Anschließend werden hieraus die KB-Werte ermittelt und anhand der Beurteilungskriterien bewertet. Ebenso kann aus der Schwinggeschwindigkeit im Raum der sekundäre Luftschallpegel abgeleitet und mit den zulässigen Innenraumpegeln verglichen werden.

Die Immissionen können demnach wie folgt berechnet werden:

$$L_{v,Raum}(f) = L_E(f) + \Delta L_B(f) + \Delta L_{G1}(f) + \Delta L_{G2}(f) + \Delta L_M(f)$$

Mit $L_{v,Raum}$: Immissionspegel, L_E : Emissionspegel, ΔL_B : boden- und abstandsbedingte Pegeldifferenz, ΔL_{G1} : Übertragungsfunktion zwischen Erdboden und Gebäudefundament, ΔL_{G2} als Übertragungsfunktion vom Gebäudefundament zu den Geschossdecken und ΔL_M : Pegeldifferenz durch Schutzmaßnahmen. Die Berechnung ist spektral für die jeweiligen Terzmittenfrequenzen (f) durchzuführen.

Nachfolgend werden Grundlagen genannt, wie die einzelnen Teile der obigen Gleichung ermittelt werden können.

Erschütterungs-Emissionspegel (L_E)

Ausgangsgröße für die Berechnung der Schwingungsübertragung ist der Erschütterungs-Emissionspegel im Erdboden.

Für den Schienenverkehr werden an ausgewählten Emissionspunkten 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.

Die Emissionsspektren werden im Auswertezeitraum sowohl nach der Max-Hold-Methode (Maximalpegel je Terzmittenfrequenz) als auch der L_{eq} -Methode (gemittelte Terzpegelspektren) ermittelt. Die Anpassung der gemessenen an die Prognose-Geschwindigkeit erfolgt gemäß Anhang A02 Gleichung 5 der DB-Richtlinie 820.2050 [9]. In

Einzelfällen, bei Prognose-Geschwindigkeiten, die von der gemessenen Geschwindigkeit um mehr als 30% abweichen, werden Korrekturwerte aus projektbezogenen Schwingungs-messungen von Zügen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten herangezogen. Weichenzu- oder -abschläge werden aus Erfahrungswerten in Anlehnung an Krüger 1993 [19] gebildet.

Maßgeblich für die Prognoseberechnung der Erschütterungsimmissionen sind die Geschwindigkeiten der jeweiligen Zuggattung je Streckenabschnitt. Zu berücksichtigen ist beispielsweise beim Gleiswechsel der Züge die maximal zulässige Geschwindigkeit der Weichenüberfahrt. Die Angaben zu Geschwindigkeiten sind in den Verzeichnissen der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten der DB enthalten und wurden entsprechend berücksichtigt [14][15].

Boden- und abstandsbedingte Pegeldifferenz (ΔL_B)

Die Schwingungen werden auf ihrem Ausbreitungsweg zwischen der Quelle und Immissionsort mit zunehmender Entfernung vermindert. Verantwortlich hierfür ist die Amplitudenabnahme auf Grund der Geometrie sowie die Materialdämpfung des Bodens.

Für den Schienenverkehr hat es sich gemäß DB-Richtlinie bewährt, die Schwingungen an der Erdoberfläche in verschiedenen Abständen zur Quelle spektral (terzweise) zu ermitteln und den Ausbreitungsexponenten empirisch durch eine Ausgleichrechnung zu bestimmen.

Gebäudeübertragungsfunktion (ΔL_{G1} und ΔL_{G2})

Die Gebäudeübertragungsfunktion beschreibt die Einleitung der Erschütterungen vom Erdboden in das Gebäude selbst (ΔL_{G1}) und die Übertragung der Erschütterungen innerhalb des Gebäudes (ΔL_{G2}) zu den Geschossdecken.

Die Übertragungsfunktionen verschiedener Gebäude können sich sehr stark voneinander unterscheiden. Hierbei spielen die Eigenresonanz der Geschossdecken sowie die spektral unterschiedlich ausgeprägten Verstärkungsfaktoren entscheidende Rollen.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden an insgesamt 2 Gebäuden Messungen durchgeführt, je eines in den Gemeinden Windschlag und Bohlsbach (weitere Messungen wurden im Bereich des Tunnels zur Bestimmung der Ausbreitungsbedingungen im Boden und an empfindlichen Geräten durchgeführt). Diese Messobjekte befinden sich im Nahbereich der ABS und wurden so ausgewählt, dass ihre bauliche Struktur repräsentativ für umliegende Gebäude ist, bzw. um im Bereich der ABS auch die Bestandsbelastungen ermitteln zu können. Im übrigen Bereich der ABS (südlich des Offenburger Bahnhofs) ist mit einer Entlastung zu rechnen, weshalb dort keine Messungen an Gebäuden durchgeführt wurden.

Ergänzend zu den vor Ort festgestellten Übertragungseigenschaften wird auf die empirisch ermittelten Gebäudeübertragungsfunktionen in Abhängigkeit von der

Deckenbauart und der maßgeblichen Resonanzfrequenz entsprechend der DB-Richtlinie 820-2050A02 zurückgegriffen, um Bereiche mit maximalen Abständen zur Bahnstrecke definieren zu können, bis zu denen die Anhaltswerte nach DIN 4150-2 unter Berücksichtigung einer etwaigen Vorbelastung (s. Kapitel 2.1.1) bei Ausbaustrecken überschritten werden (Einwirkungsbereiche).

Bewertete Schwingstärke ($KB_{F_{max}}$ und $KB_{F_{Tr}}$)

Die Berechnung der zeitlich und frequenzabhängig bewerteten Schwingschnelle aus Messsignalen (hier Schwinggeschwindigkeitspegel am Immissionsort) erfolgt entsprechend den Gleichungen 12 bis 15 der DB-Richtlinie 820-2050A02 im Frequenzbereich von 4 Hz bis 80 Hz. Diese Berechnung erfolgt für jede im Streckenabschnitt verkehrende Zuggattung, ggf. nach verschiedenen Geschwindigkeitsgruppen unterteilt.

2.2.2 Prognose des sekundären Luftschalls

Die messtechnische Ermittlung des sekundären Luftschalls ist derzeit nicht eindeutig geregelt. Das hier angewendete Prognoseverfahren beruht auf den (spektralen) Körperschallschnelle-Pegeln, welche physikalisch mit dem Abstrahlgrad der Raumbegrenzungsflächen verbunden sind.

Das Abstrahlverhalten Körperschall-Luftschall ist von der Bausubstanz abhängig. Es hat sich insbesondere beim Schienenverkehr eine Vorgehensweise bewährt, den Zusammenhang zwischen dem Schwinggeschwindigkeitspegel auf der Fußbodenmitte und dem im Raum entstehenden sekundären Luftschallpegel durch Korrelationsbetrachtungen aus messtechnisch ermittelten und statistisch ausgewerteten Beziehungen zu bestimmen.

Die Vorgehensweise ist in der DB-Richtlinie 820.2050A02 [9] beschrieben. Beim vorliegenden Projekt wird auf die Ermittlung mithilfe der „Einzahlmethode“ zurückgegriffen. In Abhängigkeit von der Bauweise der Gebäude (Annahmen für Betondecken oder Holzbalkendecken) werden aus den prognostizierten oder gemessenen spektralen Körperschallschnelle-Pegeln am Fußboden sekundäre Luftschall-Pegel (mittlere Pegel über die Vorbeifahrzeit, als Maximalpegel zu verstehen) ermittelt. Die Beurteilungspegel L_i werden daraus über die Einwirkungsdauer der Erschütterungen im Beurteilungszeitraum bestimmt.

2.3 Maßnahmen zu Minderung von Erschütterungen

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:

2.3.1 Hochelastische Schienenbefestigung

Bei dieser Schutzmaßnahme werden zwischen Schwelle und Rippenplatte elastische Zwischenplatten eingebaut. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme auf der freien Strecke mit Schotteroberbau ist sehr begrenzt.

2.3.2 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.

2.3.3 Trogbauwerk mit Unterschottermatte

Hierbei wird ein mindestens 60 cm dicker bewehrter Betontrog hergestellt. Dieser Trog wird eingeschottert und mit einem gewöhnlichen Schwellenoberbau versehen. Der Schotter wird dabei durch die Wangen seitlich eingespannt und gehalten. Zwischen Schotter und Betontrog wird eine USM als elastische Zwischenschicht eingefügt. Das System trägt zur Reduzierung des sekundären Luftschalls bei. Die erschütterungsmindernde Wirkung ist spektral ausgeprägt und daher auch vom jeweiligen Immissionsort abhängig. Im Rahmen der Ausführungsplanung muss eine sorgfältige Abstimmung der einzelnen Systemkomponenten (z. B. Steifigkeit der USM) auf die Immissionsorte erfolgen, um eine maximale Wirkung zu erzielen.

2.3.4 Masse-Feder-System (MFS)

„Unter Masse-Feder-System (MFS) versteht man eine Bauform, bei der zusätzlich zwischen dem elastischen Element und dem eigentlichen Oberbau noch eine Masse (meistens Ortbetongleistragplatte oder -trog) angeordnet ist. Hierdurch wird die mit-schwingende Masse deutlich erhöht. Aufgrund der lastverteilenden Wirkung, [sic] können größere Einfederungen zugelassen werden.

MFS werden je nach Masse in leichte, mittlere und schwere MFS eingeteilt. Die leichten MFS bestehen in der Regel aus einer Gleistragplatte mit flächiger elastischer Lagerung (Unterschottermatte), die mittleren und schweren MFS werden meist mit einer Einzelstützpunktlagerung aus Elastomeren gefertigt.“ [9].

Der Einsatz von Masse Feder Systemen führt zu den größten Schwingungsminderungen. Diese Maßnahme führt zu einer wirksamen Reduzierung der Erschütterungsimmissionen in Gebäuden auch mit niedrigen Deckeneigenfrequenzen. Des Weiteren führen MFS auch zur deutlichen Reduzierung des Sekundären Luftschalls. Beim Einsatz dieser Systeme ist allerdings mit erheblichen technischen Zwängen und Kosten zu rechnen.

2.3.5 Maßnahmen am Ausbreitungsweg

Mit einem offenen Bodenschlitz wird bei oberirdischen Strecken der Ausbreitungsweg unterbrochen. Es werden jedoch nur Gebäude im unmittelbaren Nahbereich geschützt. Weiter entfernte Gebäude lassen sich so kaum gut abschirmen. Zur dauerhaften Standsicherheit werden in den Schlitz gas-, luft- oder elastomergefüllte Hohlkörper eingebracht.

2.3.6 Maßnahmen am Gebäude

Auch an den umliegenden Gebäuden können Maßnahmen zur Erschütterungsreduktion eingesetzt werden. Infrage kommen z.B. folgende Maßnahmen:

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

Diese Maßnahmen sind aufwändig, weil sie in die Substanz der Gebäude eingreifen und sind jeweils nur an einem einzelnen Objekt wirksam.

2.4 Beschreibung möglicher Schutzmaßnahmen

Als Erschütterungsschutzmaßnahmen (ESM) am Gleis kommen bei oberirdischen Strecken generell zwei Arten von Maßnahmen in Frage: Besohlte Schwellen und Betontrog mit elastischer Lagerung des Schotterbettes im Trog. Im Bereich von Eisenbahnüberführungen kommen darüber hinaus Unterschottermatten in Frage.

Bei Tunnelstrecken können Masse-Feder Systeme eingesetzt werden. Bei einer Ausführung mit Schotteroberbau spricht man von einem leichten Masse-Feder-System (LMFS). Bei oberirdischen Strecken kann diese Maßnahme aufgrund der nötigen physikalischen Randbedingungen nicht eingesetzt.

Sollten bestehende Weichen mit besohnten Schwellen versehen werden müssen, so sind nach Angabe der DB Netz AG neben den reinen Kosten der Schwellenbesohlung die Kosten einer neuen Weiche entsprechend dem Kostenkennwertkatalog (KKK) der DB AG [18] mit 137.700 € pro Einfachweiche anzusetzen. Sollten aufgrund der Trassierung ohnehin neu geplante Weichen mit Besohlung ausgestattet werden, so sind nur die Mehrkosten der Besohlung anzusetzen.

Entsprechend dem aktuellen Stand der Technik, können die in 4 angegebenen Maßnahmen angewendet werden. Die Tabelle enthält die für Schutzvorkehrungen gegen Erschütterungen entstehende Mehrkosten gegenüber dem Bau eines Standard-

gleises. Die Kosten sind, sofern nicht aus dem Kostenkennwertkatalog der DB AG [18] hergeleitet, mit dem Eisenbahn-Bundesamt abgestimmt.

Die in der Tabelle genannte Wirksamkeit ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, die an dieser Stelle nicht in ausreichender Tiefe ausgeführt werden können. Vielmehr ist die Wirksamkeit indikativ in Relation der unterschiedlichen Maßnahmen untereinander zu verstehen.

Ansprüche auf Erschütterungsschutz beurteilen sich nach § 74 Abs. 2 Satz 2 und 3 VwVfG. Schutzvorkehrungen sind gemäß § 74 Abs. 2 Satz 2 VwVfG anzuordnen, wenn diese zur Vermeidung nachteiliger Wirkungen auf Rechte anderer erforderlich sind. Dies setzt voraus, dass die Erschütterungsimmissionen im Einzelfall die Zumutbarkeitsschwelle (siehe hierzu Kap. 2.1) überschreiten. Bauliche Schutzmaßnahmen können trotz einer unzumutbaren Belastung unterbleiben, wenn sie untunlich oder mit dem Vorhaben unvereinbar sind. Schutzvorkehrungen sind untunlich, wenn sie technisch unmöglich oder wirtschaftlich unzumutbar sind. Wirtschaftlich zumutbar sind Schutzvorkehrungen, wenn die Kosten in einem angemessenen Verhältnis zu der erzielten Schutzwirkung stehen. Daher ist gemäß der DB-Richtlinie 820.2050 neben einer Kostenabschätzung der Schutzmaßnahmen eine Kosten-Nutzen-Analyse zu erstellen. In die Entscheidung, ob Schutzvorkehrungen wirtschaftlich unzumutbar und deshalb untunlich sind, sind im Einzelfall neben den Kosten weitere abwägungsrelevante Belange einzustellen.

Tabelle 4: Erschütterungsreduzierende Maßnahmen und deren Kosten

Erschütterungsschutz-Maßnahme	Bezeichnung	Wirksamkeit	Mehrkosten je Gleis in €/m
Schwellenbesohlung: Gleisneubau/Gleisumbau	SB	im Einzelfall zu prüfen	90
Schwellenbesohlung: bestehendes Gleis inkl. Rückbau	SBR	im Einzelfall zu prüfen	340
Elastische Lagerung des Schotterbettes im Trog	ST	mittel	1200
Elastische Lagerung des Schotterbettes im Trog bestehendes Gleis inkl. Rückbau	STR	mittel	1850
Leichtes Masse-Feder System	LMFS	hoch	825
Schweres Masse-Feder System	SMFS	hoch	4600

Das in der Prognoseberechnung verwendete frequenzabhängige Einfügedämm-Maß für Besohlte Schwellen und den Betontrog (Elastische Lagerung des Schotterbettes im Trog) wurde von der DB Systemtechnik GmbH als standort-unabhängiger Ansatz im Okt. 2019 für erschütterungstechnische Berechnungen zur Verfügung gestellt und ist nachfolgend graphisch und tabellarisch dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Maßnahmen nicht zwangsläufig zu einer Verbesserung der Erschütterungsimmissionen führen. In einzelnen Frequenzbändern kann sich bei ungünstiger Deckenresonanz eine Verschlechterung einstellen. Die tatsächlichen sich einstellenden Einfügedämm-

Maße werden von den örtlichen Untergrundeigenschaften beeinflusst, weshalb hier zwangsläufig eine Restunsicherheit verbleibt.

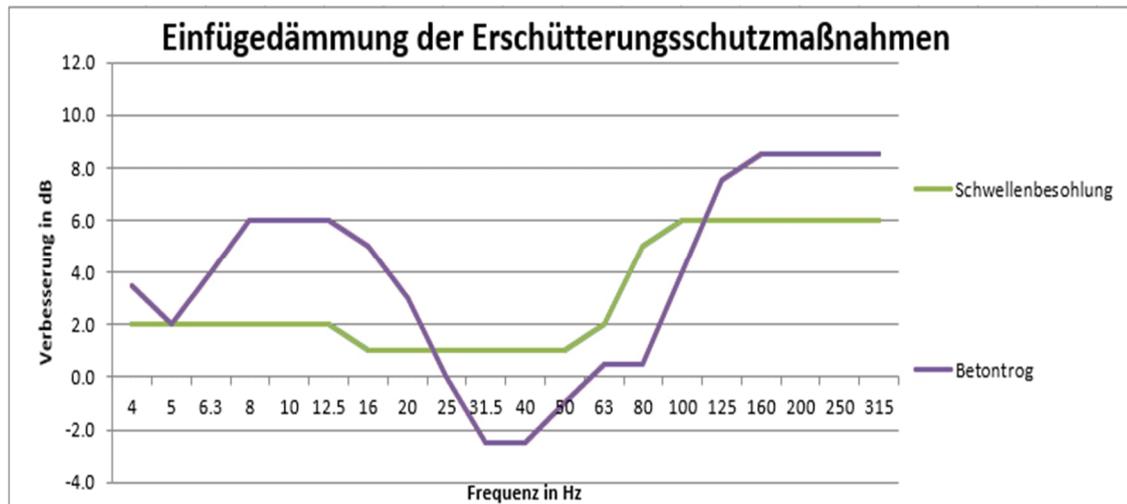


Abbildung 1: Einfügedämmung der Erschütterungsschutzmaßnahmen

Tabelle 5: Standort-unabhängiges Einfügedämm-Maß De von ESM

Frequenz in Hz	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Schwellen-Besohlung De [dB]	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	5.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Betontrog De [dB]	3.5	2.0	4.0	6.0	6.0	6.0	5.0	3.0	0.0	-2.5	-2.5	-1.0	0.5	0.5	4.0	7.5	8.5	8.5	8.5	8.5

2.5 Planungsgrundlagen

Zur Prognose und Beurteilung der erschütterungstechnischen Situation liegen folgende projektspezifische Unterlagen vor:

- Ortsbesichtigung vom März 2018 und folgend, durchgeführt von der OBERMEYER Infrastruktur GmbH & Co. KG
- Erschütterungsmessungen zur Ermittlung der Übertragungseigenschaften von Gebäuden und des Bodens sowie der Emissionsspektren der verkehrenden Züge (März 2018), durchgeführt von der OBERMEYER Infrastruktur GmbH & Co. KG, s. Erschütterungstechnischer Messbericht, Unterlage 19.2.1
- Rechtsgültige Bebauungspläne der Stadt Offenburg und der Gemeinden Appenweier, Hohberg und Schutterwald, ermittelt im Zeitraum bis Juni 2020
- Bebauungspläne in Aufstellung der Gemeinde Appenweier
 - Bebauungsplan „Frankenweg“, Stand 25.06.2019
 - Bebauungsplan „Ebersweierer Weg II“, Stand 25.06.2019
- Abstimmung der Gebietseinstufung mit
 - der Stadt Offenburg am 10.03.2020
 - der Gemeinde Appenweier am 28.04.2020

- der Gemeinde Hohberg am 09.04.2020
- der Gemeinde Schutterwald am 15.04.2020
- diverse Ortsbesichtigungen in den Jahren 2017 bis 2020
- Lagepläne des Planungsabschnittes, entsprechend Unterlage 03-1
- Digitale Flurkarte des Planungsabschnittes
- Digitales Geländemodell
- Luftbilder des Untersuchungsbereiches
- Angaben zum Betriebsprogramm für den Prognose Nullfall 2030 [12] und Prognose Planfall 2030 Deutschland-Takt (DT) [13], DB Netz AG
- Emissionsspektren, gemessene Spektren an der Tunnelwand im Einmalberg-Tunnel [21]

2.6 Betriebsprogramm

Im Rahmen der Untersuchung zu Erschütterungsimmissionen ist der Einfluss des geplanten Vorhabens auf die Erschütterungseinwirkungen zu bewerten. Hierzu ist die bestehende plangegebene Situation mit der Umsetzung des geplanten Vorhabens zu vergleichen bzw. ist in reinen Neubauabschnitten die zukünftige Situation unmittelbar anhand der jeweiligen Anhaltswerte zu beurteilen.

Die bestehende plangegebene Situation ohne Umsetzung des Vorhabens wird als Prognose-Nullfall bezeichnet und ist im vorliegenden Fall mit einem Betriebsprogramm für den Prognosehorizont 2030 zu berücksichtigen.

Der Prognose-Planfall ist die Umsetzung des geplanten Vorhabens mit dem betreffenden Betriebsprogramm für den Prognosehorizont 2030.

Der erschütterungstechnischen Untersuchung liegt das Betriebsprogramm mit dem Prognosehorizont 2030 der DB Netz AG (s. Unterlage 18.5.1) für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall DT zu Grunde. Die Streckengeschwindigkeiten für die plangegebene Vorbelastung und den geplanten Zustand (Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten (VzG) [14], [15]) wurden ebenfalls von der DB Netz AG zu Verfügung gestellt.

2.7 Berücksichtigte bauliche Änderungen

Im Wesentlichen sind folgende erschütterungsrelevanten Änderungen bzw. Neubaumaßnahmen vorgesehen:

- Neubau von 2 Tunnelröhren zur westlichen Umfahrung von Offenburg
- Neubau von 2 Gleisen südlich des Tunnels

- Erhöhung der Zugzahlen im Abschnitt nördlich des Offenburger Pbf
- geänderte Gleislage nördlich des Offenburger Pbf
- Weichenneubau bzw. Weichenverlegung vor allem nördlich des Offenburger Pbf

2.8 Untersuchungsbereich

Der Planungsfeststellungsabschnitt 7.1 umfasst folgende Gleistrassen (siehe auch die Systemskizze in Abbildung 2):

- Schnellfahrstrecke (auch ABS und VBK Nord)
 - Strecke 4280, Gleis 1 (Richtungsgleis, Richtung Haltingen)
 - Strecke 4280, Gleis 2 (Gegengleis, Richtung Karlsruhe)
- Rheintalbahn
 - Strecke 4000, Gleis 1 (Richtungsgleis, Richtung Basel)
 - Strecke 4000, Gleis 2 (Gegengleis, Richtung Mannheim)
- Tunnel und Abzweige
 - Strecke 4281, Gleis 1 (Weströhre)
 - Strecke 4281, Gleis 2 (Oströhre)
 - WR-wZgl Strecke 4281, Gleis 1 (Abzweig Weströhre)
 - OR-wZgl Strecke 4281, Gleis 2 (Abzweig Oströhre)
 - OR-oZgl Strecke 4282, eingleisig (Abzweig Oströhre)
 - WR-oZgl Strecke 4283, eingleisig (Abzweig Weströhre)
- Strecke 4261, eingleisig
- Güterbahnhof Offenburg, Rangiergleise

Im Rahmen der erschütterungstechnischen Untersuchung wurden alle Gebäude ermittelt, bei denen eine spürbare Erhöhung der Erschütterungsimmissionen bzw. in Neubaubereichen eine Überschreitung der Anhaltswerte nicht ausgeschlossen werden kann. Bei den Gebäuden wurde unterschieden zwischen Gebäuden mit Tagnutzung (Gewerbebebauung, Büros, Kitas etc.) und Gebäuden mit Tag- und Nachtnutzung (Wohnbebauung).

**Systemskizze PfA 7.1
 (Tunnel Offenburg)**

Legende:

-  Bestand
-  Planung Strecken und Gleise
-  Trogbauwerk
-  Tunnel offene Bauweise (OBW)
-  Tunnel bergm. Bauweise (TBM)
-  Planmäßige Fahrtrichtung

Bezeichnung Zuführungsgleise

- OR-wZgl Oströhre - westl. Zuführungsgleis
- OR-oZgl Oströhre - östl. Zuführungsgleis
- WR-oZgl Weströhre - östl. Zuführungsgleis
- WR-wZgl Weströhre - westl. Zuführungsgleis

Vorwiegende Verkehrsarten

- PFV Personenfernverkehr
- PNV Personennahverkehr
- GV Güterverkehr
- (v/n OG) Verkehr mit Start-, Ziel- oder Zwischenstation in Offenburg

- 1,750 Kilometerangaben
- 250 Entwurfsgeschwindigkeit

Skizze unmaßstäblich

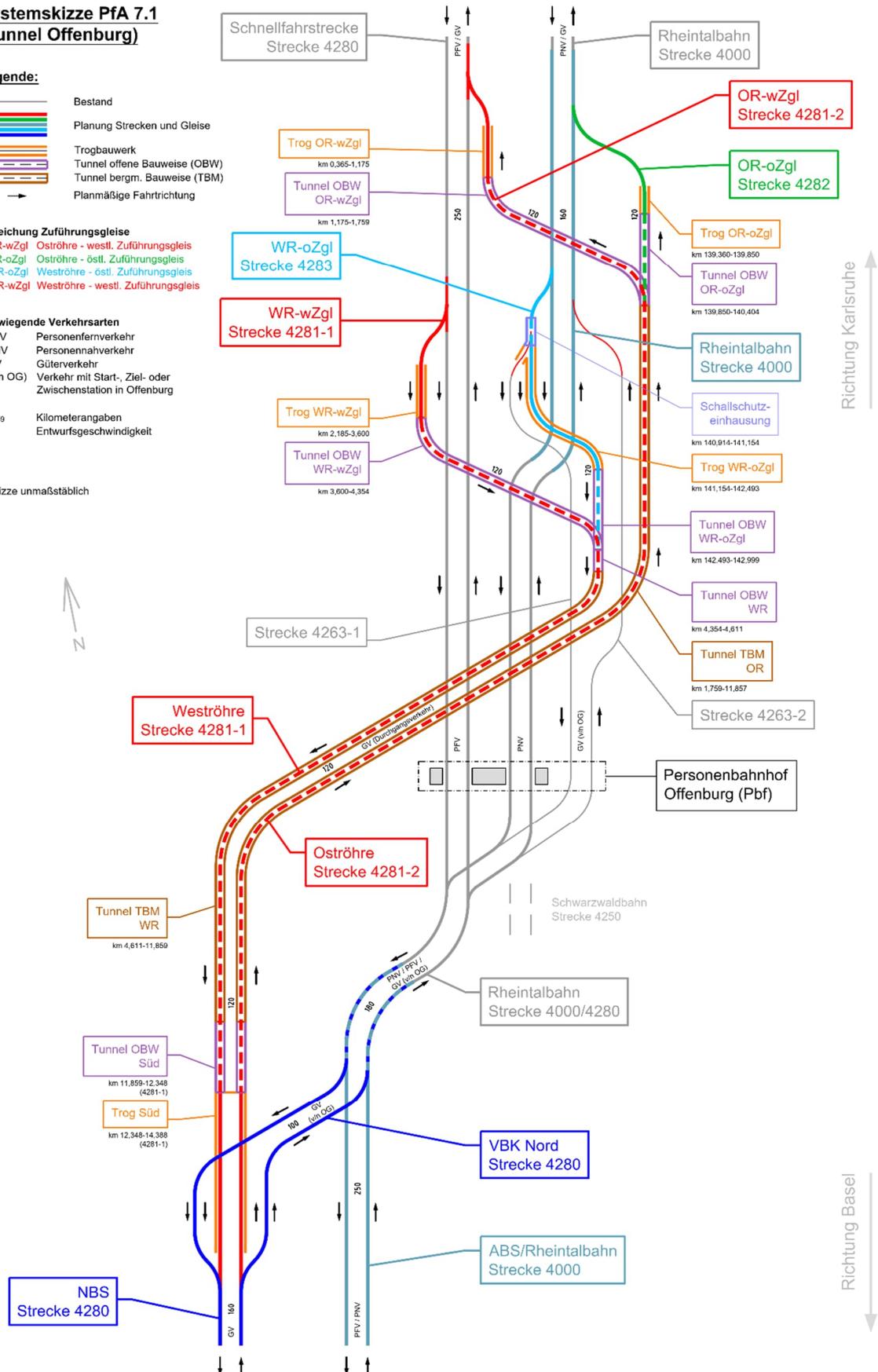


Abbildung 2: Systemskizze PfA 7.1



3 Durchgeführte Schwingungsmessungen

Für die Prognose und Beurteilung der Erschütterungsimmissionen wurden vom Institut für Umweltschutz und Bauphysik des Ing. Büros OBERMEYER Planen + Beraten GmbH im Jahr 2018 folgende Schwingungsmessungen durchgeführt:

- Messungen der Emissionsspektren der vorbeifahrenden Züge an den bestehenden Strecken 4280 und 4000
- Beweissicherungs- und Übertragungsmessungen in repräsentativ ausgewählten 2 Gebäuden
- Ausbreitungsmessungen, um unterschiedliche Bodenverhältnisse abzudecken (5 Ausbreitungsquerschnitte)

Detaillierte Angaben zu den Messungen sowie Messergebnissen je untersuchtem Gebäude sind in Unterlage 19.2.1 enthalten.

Die angesetzten Emissionsspektren (energetischen Mittelwerte der gemessenen Körperschallschnellepegel in 8 m Entfernung vom Gleis je Zuggattung) sind messortbezogen in Anhang A dargestellt. Mess- und Auswerteverfahren für Schwingungsmessungen an Schienenwegen sind in DIN 45672-1 und -2 geregelt [16],[17].

Als Emissionsspektren wurden im Bereich der bestehenden Strecken 4280 und 4000 Spektren der verkehrenden Güterzüge, ICE und S-Bahnen messtechnisch erfasst Messorte (MO-1, MO-2 und MO-7 in Unterlage 19-2-1). Für die Tunnelstrecke wurden als Emissionsspektren der Güterzüge an der Tunnelwand im Einmalberg-Tunnel gemessene Spektren [21] mit angemessenen Sicherheitszuschlägen herangezogen.

Hinsichtlich der messtechnisch erfassten Emissionsspektren lässt sich feststellen:

- die Güterzüge weisen Spitzen bei den Frequenzen zwischen 31,5 Hz und 50 Hz auf (max. bis ca. 75 dB)
- die ICE weisen Spitzen bei den Frequenzen zwischen 63 Hz und 80 Hz auf (max. bis ca. 69 dB)
- S-Bahnen weisen keine markanten Spitzen auf (max. ca. 64 dB)

Die messtechnisch ermittelten Pegelminderungen auf dem Ausbreitungsweg sind je Ausbreitungsquerschnitt in Anhang A dargestellt.

Die messtechnisch ermittelten Pegelminderungen weisen überwiegend niedrigere Werte auf als die in der Richtlinie 820.2050 [9] dargestellten verallgemeinerten Pegelminderungen. Dies bedeutet, dass die Erschütterungen im Boden mit zunehmender Entfernung verhältnismäßig weniger stark abklingen. Die messtechnisch ermittelten Werte werden in der Prognose angesetzt.

4 Ergebnisse der Prognose

4.1 Erschütterungsprognose

Der Trassenbereich stellt aus erschütterungstechnischer Sicht für die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen nördlich des Offenburger Pbf eine Ausbaustrecke mit Vorbelastung dar. Ebenso wird für Ausbaustrecke (Strecke 4000) und Neubaustrecke (Strecke 4280) südlich des Offenburger Tunnels die Vorbelastung aus der bestehenden Rheintalbahn (Strecke 4000) relevant. Die Tunnelstrecke ist als Neubaustrecke anzusehen, jedoch wird eine Vorbelastung angesetzt, wo diese eine bestehende Strecke unterfährt. Im übrigen Tunnelbereich wird keine Vorbelastung angesetzt.

Die Vorbelastung aus dem bestehenden Zugverkehr wurde entsprechend den Beurteilungskriterien (s. Pkt. 2.1) berücksichtigt. Die Prognoseberechnungen der Erschütterungsimmissionen und des sekundären Luftschalls wurden anhand der in Anhang A dargestellten Betriebsprogramme durchgeführt.

4.2 Ergebnisse der untersuchten Gebäude

Die Prognoseberechnungen der Erschütterungsimmissionen wurden für 2 repräsentativ ausgewählte, messtechnisch untersuchte Objekte (Gebäude) im Planfeststellungsgebiet durchgeführt. Die Lage der Messobjekte ist in Unterlage 19.2.1 Kapitel 2 und 3 dargestellt.

Die prognostizierte Erschütterungsbelastung an den Messobjekten für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall ohne Erschütterungsschutzmaßnahmen ist in der Ergebnistabelle 1 im Anhang B dargestellt. Die Ergebnistabelle zeigt, dass zwar an einem der Messobjekte eine Überschreitung der Anhaltswerte, jedoch keine gleichzeitige Zunahme der Erschütterungsbelastung von mindestens 25% prognostiziert wird. Die Anforderungen hinsichtlich betriebsbedingter Erschütterungen werden bei den messtechnisch untersuchten Gebäuden eingehalten.

Die prognostizierten Pegel des sekundären Luftschalls an den Messobjekten für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall ohne Erschütterungsschutzmaßnahmen sind in Ergebnistabelle 2 im Anhang B dargestellt. Die Ergebnistabelle zeigt, dass an keinem Messobjekt das Signifikanzkriterium „Überschreitung des Anhaltswertes tags (40 dB(A) Mittelungspegel) bzw. nachts (30 dB(A) Mittelungspegel) bei gleichzeitiger Zunahme der sekundären Luftschallbelastung um mindestens 3 dB(A)“ erfüllt wird. Die Anforderungen hinsichtlich des sekundären Luftschalls werden bei den messtechnisch untersuchten Gebäuden eingehalten.

4.3 Ermittlung des Betroffenheitskorridors

Die Prognoseberechnungen der Erschütterungsimmissionen wurden für insgesamt 16 Querschnitte links und rechts der Bahn im Planfeststellungsgebiet durchgeführt. Die Lage der Querschnitte ist in der Tabelle in Anhang C.1 aufgeführt. Die Querschnitte wurden so bestimmt, dass alle aus erschütterungstechnischer Sicht relevanten Situationen untersucht werden können. Jede Änderung der Lage der Gleise, Weichen, Überdeckung des Tunnels, Zugzahlen, etc. wird durch einen neuen Querschnitt untersucht.

Die Ermittlung des Betroffenheitskorridors (sog. Einwirkungsbereich (EWB)) erfolgt gemäß der DB Richtlinie 820.2050 für die - im Folgenden näher erklärten - maßgeblichen Situationen. Hierfür muss die Lage der Deckenresonanzfrequenz in einem Bereich von 10 Hz bis 63 Hz terzweise variiert werden, um den maximalen Immissionswert zu erhalten. Für die Beurteilung und Bestimmung des maximal betroffenen Korridors gelten die berechneten maximalen Immissionswerte. Der Einwirkungsbereich gibt somit den Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse der Bahnstrecke bzw. zur Tunnelwand an, bis zu dem eine Überschreitung der Anhaltswerte an Strecken ohne Vorbelastung bzw. eine Überschreitung der Beurteilungskriterien an Strecken mit Vorbelastung nicht auszuschließen ist.

In Anhang C werden bereichsweise die Einwirkungsbereiche in Metern für die jeweilige Gebietsnutzung dargestellt, getrennt für Holzbalkendecken (HBD) und Betondecken (BD); genannt werden die Überschreitungen der jeweiligen Anhaltswerte für den Tag bzw. die Nachtzeit durch die KB_{Ftr} -Werte. Für die Ausbaustrecke resultiert die Zunahme der Erschütterungsbelastung von mindestens 25% aus der Erhöhung der Zugzahlen im Prognose-Planfall gegenüber dem Prognose-Nullfall, sowie dem Gleis- und Weichenneubau.

Die Einwirkungsbereiche innerhalb des Planfeststellungsabschnitts lassen sich wie folgt beschreiben:

- Bereich Appenweier:
 - Im Bereich der Sander Straße liegen im Gewerbegebiet rechts der Bahn Einwirkungsbereiche von bis zu 70 m für Gebäude mit HBD und bis zu 50 m für Gebäude mit BD vor. Links der Bahn liegen Einwirkungsbereiche von bis zu 45 m für Gebäude mit BD im Mischgebiet vor.
 - Westlich der Strecke 4280 (In Streckenrichtung „Rechts der Bahn“) liegt ein einzelnes Wohnhaus (Sander Straße 26) im Abstand von ca. 50 m, welches aber aufgrund der eingeschossigen Bauweise (Betondecke oder Bodenplatte im Erdgeschoß) nicht betroffen ist (siehe Abbildung 3).



Abbildung 3: Bereich Appenweier [24]

- Bereich Windschlag:
 - Im Bereich der Straße „Breitfeld“ liegen im Mischgebiet rechts der Bahn Einwirkungsbereiche von bis zu 30 m für Gebäude mit HBD und bis zu 15 m für Gebäude mit BD vor. Links der Bahn betragen die Einwirkungsbereiche im Wohngebiet für Gebäude mit HBD bis zu 20 m und bis zu 15 m für Gebäude mit BD.
 - Schutzbedürftige Bebauung innerhalb der Einwirkungsbereiche befindet sich zu beiden Seiten der Bahn (Appenweier Straße 5 und 7, Breitfeld 4 und 10) ab Bahn-km 140,9 bis Bahn-km 141,1 der Strecke 4820. Das Bürogebäude Breitfeld 4 liegt westlich in einem Abstand von ca. 10 m zum künftig nächstgelegenen Gleis (Strecke 4281-1). Die Tunnelwand der Oströhre (Strecke 4281-2) ist im Abstand von ca. 13 m zum Gebäude Breitfeld 10 geplant (siehe Abbildung 4). Zur Absicherung der Prognose werden hier zusätzliche Messungen aus dem Tunnelrohbau empfohlen.

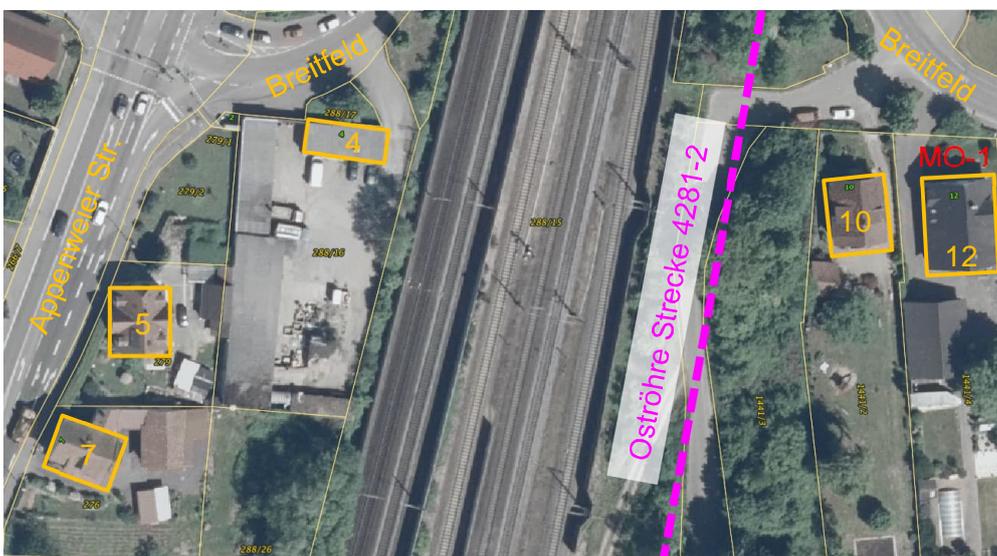


Abbildung 4: Bereich Windschlag [24]

- Bereich Bohlsbach:
 - Im Bereich Wackerstraße und Langenbosch liegen keine Einwirkungsbereiche vor, da hier ein großer Teil der Güterzüge im Tunnel unterhalb des Gleisfelds verkehrt.
- Bereich Tunnel:
 - Der Tunnel befindet sich zum größten Teil unterhalb von Gewerbegebieten. Hier liegt im Tagzeitraum kein Einwirkungsbereich vor, da der untere Anhaltswert A_U der DIN4150-2 nicht überschritten wird. Im Nachtzeitraum beträgt der Einwirkungsbereich beidseitig ca. 10 m für HBD und ca. 15 m für BD.
 - Ein schutzbedürftiges Gebäude befindet sich zwischen den Tunnelröhren (Am Holderstock 2) ab km 5,6 bis km 5,7 der Strecke 4281 (siehe Abbildung 5). Die Befragung der Eigentümerin (K.R. Pfiffner GmbH) ergab, dass in diesem Gebäude keine Nachnutzung und somit keine Betroffenheit vorliegt.

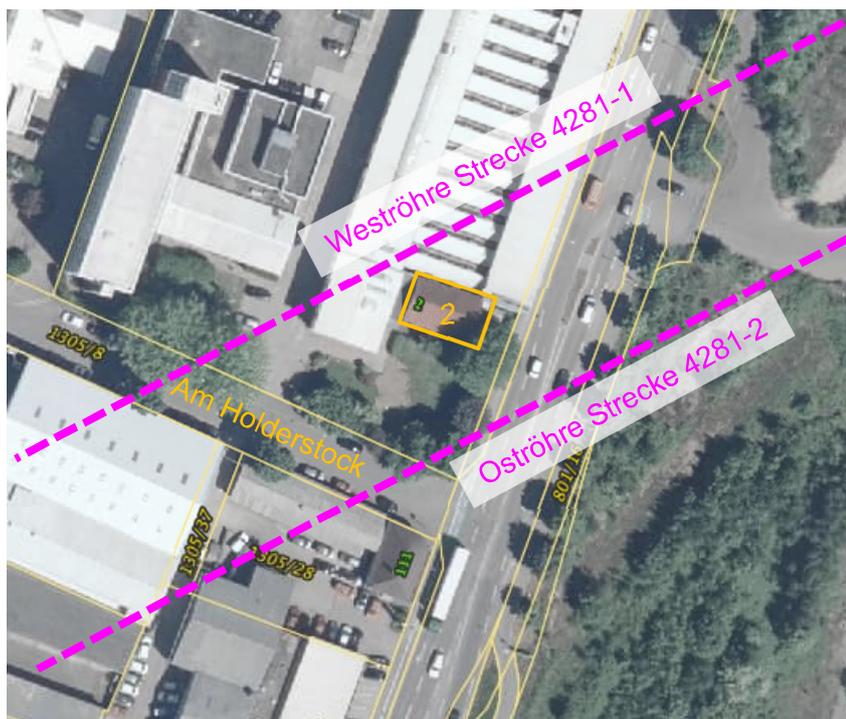


Abbildung 5. Bereich Am Holderstock [24]

- In Bereich Alte Straßburger Straße liegen beidseitig der Tunnelröhren Einwirkungsbereiche von bis zu 30 m für Gebäude mit HBD und bis zu 25 m für Gebäude mit BD vor.
- Schutzbedürftige Bebauung (Alte Straßburger Str. 13a, 15, 15a, 17 und 24) befindet sich ab km 6,2 bis km 6,4 der Strecke 4281 (siehe Abbildung 6).

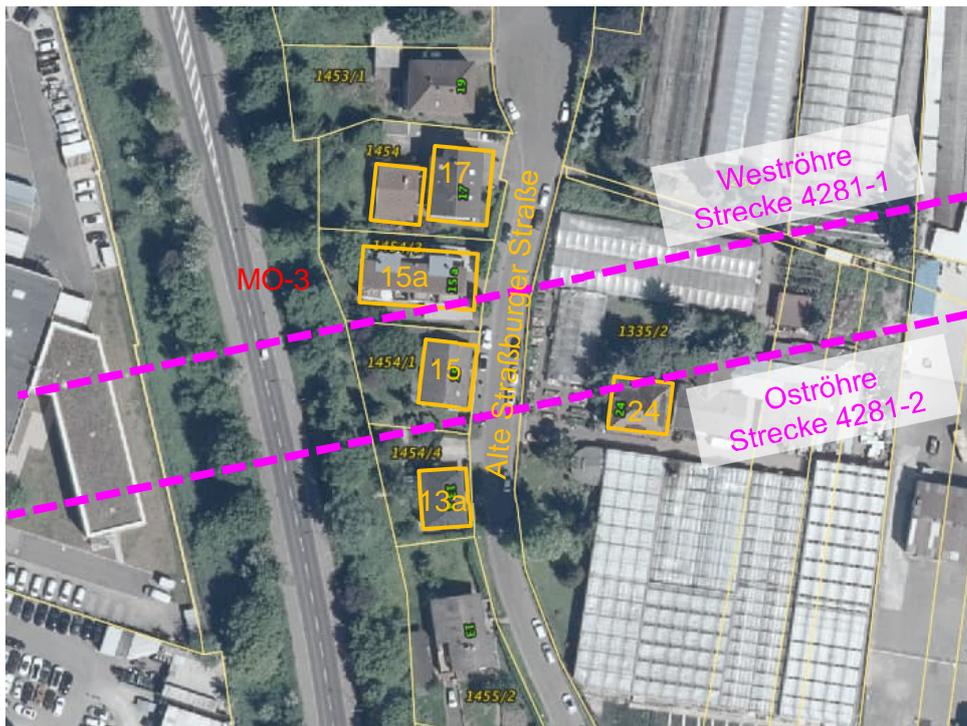


Abbildung 6: Bereich Alte Straßburger Straße [24]

- Bereich Offenburg:
 - im Bereich ab Bahn-km 143,5 bis Bahn-km 149,4 der Strecke 4280 liegen keine Einwirkungsbereiche vor, da der Großteil der Güterzüge im Tunnel verkehrt.
- Bereich Schutterwald (Binzburghöfe):
 - Die Binzburghöfe liegen zwischen den Bahntrassen der Strecken 4820 und 4000. Es wird keine Überschreitung der Anhaltswerte prognostiziert.

Schutzbedürftige Bebauung innerhalb der Einwirkungsbereiche befindet sich zusammengefasst im Norden des PfA überwiegend ab km 140,9 bis km 141,1 der Strecke 4820. Im Bereich des Tunnels befindet sich die schutzbedürftige Bebauung innerhalb der EWB ebenfalls ab km 5,6 bis km 6,4 der Strecke 4821. In diesen Bereichen können unzumutbare Betroffenheiten durch Erschütterungsimmissionen ohne Erschütterungsschutzmaßnahmen nicht ausgeschlossen werden; für diese Bereiche werden die Anzahl der betroffenen Wohneinheiten (Schutzfälle), Erschütterungsschutzmaßnahmen, deren Wirkung und Kosten bestimmt.

4.4 Ermittlung von Mindestabständen für den Betrieb erschütterungsempfindlicher Geräte

Im Bereich der zukünftigen Tunnelröhre werden Gewerbebetriebe unterfahren, in denen zum Teil erschütterungsempfindliche Geräte betrieben werden. Folgende Mindestabstände bezogen auf die Tunnelwand konnten zur Einhaltung der jeweiligen Genauigkeitsanforderungen der jeweiligen Geräte prognostiziert werden:

- VC-A: 6 m
- VC-B: 12 m
- VC-C: 25 m
- VC-D: 125 m

Dabei wurde das Terz-Geschwindigkeitsspektrum am Immissionsort in Anlehnung an die DB Richtlinie 820.2050 unter Ansatz einer boden- und abstandsbedingten Pegelabnahme sowie einer Pegeldifferenz zwischen Erdreich und Gebäudfundament aus den angesetzten Emissionsspektren der Güterzüge im Tunnel prognostiziert. Zur Absicherung der Prognose werden hier zusätzliche Messungen aus dem Tunnelrohbau empfohlen, um in der Folge die Empfehlung bzgl. der Schutzmaßnahmen anzupassen.

Im Bereich der Tunnelröhren befinden sich folgende Firmen mit empfindlichen Geräten:

Tabelle 6: Firmen mit empfindlichen Gerätschaften

Firmenbezeichnung	Genauigkeitsanforderungen	Maßgebende VC-Linie
Fa. Ade	5,0 µm	VC-B
Fa. Kratzer	0,75 µm	VC-C*
Fa. Metalltechnik Siebert	1,0 µm	VC-C
Fa. Aluminium-Richter	1,0 µm	VC-C

*: Aus den vorliegenden Herstellerangaben der Firmen Zeiss und MAHO ergaben sich zulässige Fundamentbeschleunigungen, die eine Einordnung in VC-C zulassen [23].

4.5 Ermittlung der zu lösenden Schutzfälle

Der DB-Richtlinie RIL 820.2050A04 folgend, wird zunächst die Anzahl der zu lösenden Schutzfälle innerhalb des Planfeststellungsabschnitts bereichsweise ermittelt [9].

Die Anzahl der Schutzfälle ergibt sich aus der Zahl der Nutzungseinheiten mit Schutzansprüchen in den jeweils zu berücksichtigenden Beurteilungszeiträumen. Ein Schutzanspruch liegt dann vor, wenn das Signifikanzkriterium „Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2, in Bereichen mit Vorbelastung bei gleichzeitiger Zunahme der Erschütterungsbelastung von mindestens 25%“, gegeben ist. Liegen für eine Nutzungseinheit Schutzansprüche ausschließlich am Tag oder ausschließlich in der Nacht

vor, so handelt es sich um einen Schutzfall. Bei Ansprüchen tagsüber und nachts liegen zwei Schutzfälle vor.

Hinsichtlich des sekundären Luftschalls gilt ebenfalls, dass ein Schutzfall bei der „Überschreitung des Anhaltswertes tags (40 dB(A) Mittelungspegel) bzw. nachts (30 dB(A) Mittelungspegel) ggf. bei gleichzeitiger Zunahme der sekundären Luftschallbelastung um mindestens 3 dB(A)“ vorliegt. Liegen für eine Nutzungseinheit Schutzansprüche nur am Tag oder nur in der Nacht vor, so handelt es sich um einen Schutzfall. Bei Ansprüchen tagsüber und nachts liegen zwei Schutzfälle vor.

Die Anzahl der Schutzfälle wurde durch Zählen der Gebäude innerhalb der Einwirkungsbereiche und Zuweisen der möglichen Anzahl von Nutzungseinheiten je Gebäude bestimmt. Die Bestimmung der Schutzfälle wurde zum einen für Gebäude, die augenscheinlich Holzbalkendecken (HBD) und zum anderen für Gebäude, die augenscheinlich Betondecken (BD) besitzen, anhand der o.g. Einwirkungsbereiche durchgeführt und ist in der Abwägungstabelle im Anhang C dargestellt.

Die Abwägungstabelle zeigt, dass ca. 8 Schutzfälle für Gebäude, die HBD besitzen bzw. ca. 24 Schutzfälle für Gebäude die BD besitzen, prognostiziert werden.

Zudem werden bei 3 Firmen die Mindestabstände zur Einhaltung der VC Grenzkurven gemäß VDI 2038 Blatt 2 unterschritten.

5 Bestimmung erschütterungsmindernder Maßnahmen

Wie in Kapitel 4 festgestellt, sind in einzelnen Bereichen des PfA 7.1 Betroffenheiten hinsichtlich der Erschütterungsimmissionen nicht auszuschließen. Zwar wurden an keinem der messtechnisch erfassten Gebäude Betroffenheiten hinsichtlich Erschütterungen prognostiziert, allerdings konnte aufgrund ausgebliebener Rückmeldung der Eigentümer nicht in jedem Fall eine Messung am vermutlich am stärksten betroffenen Gebäude realisiert werden. Aufgrund der prognostizierten Einwirkungsbereiche ist zu prüfen, welche Erschütterungsschutzmaßnahmen in Frage kommen. Bei dieser Abwägung werden der Aufwand der erschütterungsmindernden Maßnahme und der damit erreichbare Erschütterungsschutz ins Verhältnis gesetzt. Hierzu wird eine Bestimmung von Schutzmaßnahmen mit deren Kosten und Nutzen durchgeführt.

5.1 Bestimmung von Schutzmaßnahmen

Die Bestimmung von Schutzmaßnahmen erfolgt gemäß der DB Richtlinie 820.2050 in folgenden Schritten:

- Vorschlag von geeigneten Schutzmaßnahmen (auch mehrere Varianten möglich) unter Angabe von konkreten Einfügedämmungen,
- Abschätzung zur Auswirkung und Verringerung der Betroffenheit des gesamten Bebauungsgebiets bei Einsatz der spezifischen Schutzmaßnahme,
- Kostenabschätzung, Kosten-Nutzen-Analyse,
- Abwägung zwischen verschiedenen Maßnahmenvarianten, Empfehlung einer Vorzugsvariante, Darstellung der Restbetroffenheiten.

Als grundsätzliche Schutzmaßnahmen kommen in Betracht:

- Schwellenbesohlung auf offener Strecke (ein Einsatz von Trogbauwerken mit Unterschottermatten ist aufgrund der nachteiligen Einfügedämmung zwischen 30 und 50 Hz in diesem Vorhaben nicht zielführend)
- Erschütterungstechnisch wirksame Unterschottermatte als Leichtes Masse-Feder-System (LMFS) im Tunnelbereich

Das Ergebnis der Kosten-Nutzen-Analyse ist in den Abwägungstabellen im Anhang C dargestellt. Dort werden je untersuchtem Querschnitt die Schutzfälle links der Bahn, rechts der Bahn oder zwischen den Strecken aufgelistet. Zudem werden die Schutzmaßnahmen je Gleis und deren jeweilige ermittelte Längen und Kosten aufgeführt. Schlussendlich werden die gelösten und ungelösten Schutzfälle gegenübergestellt und die Kosten je gelöstem Schutzfall berechnet.

5.2 Ergebnisse der Prognose mit erschütterungsmindernden Maßnahmen

Mit den gewählten erschütterungsmindernden Maßnahmen kann für die Bebauung im PfA 7.1 folgende Minderung der Zunahme der Erschütterungsbelastung erzielt werden:

Die Abwägungstabelle zeigt, dass im PfA 7.1 ca. 8 Schutzfälle für Gebäude mit Holzbalkendecken bzw. ca. 24 Schutzfälle für Gebäude mit Betondecken prognostiziert werden. Zudem kann bei 3 Firmen die Beeinträchtigung empfindlicher Geräte nicht ausgeschlossen werden. Diese werden in Ermangelung einer Vergleichsgröße analog zu den Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden als 3 Schutzfälle gewertet. Als Erschütterungsschutzmaßnahme werden (unter Berücksichtigung sämtlicher möglicher Kombinationen aus Schutzmaßnahmen auf allen Gleisen) besohlte Schwellen auf dem westlichen Gleis der Strecke 4280 (Richtungsgleis) auf einer Gesamtleislänge von ca. 170 m vorgesehen. Weitere Schutzmaßnahmen ergeben keine Reduktion des Einwirkungsbereichs, da hier die Emissionen auf dem westlichen Richtungsgleis maßgebend sind. Im Tunnelbereich werden Unterschottermatten als LMFS auf einer Gesamtleislänge von ca. 675 m angesetzt. Die Ergebnisse sehen wie folgt aus:

- gelöst werden ca. 7 Schutzfälle bei HBD, ca. 23 Schutzfälle bei BD und ca. 3 Schutzfälle bei Firmen mit empfindlichen Geräten
- es verbleibt ein ungelöster Schutzfall bei BD
- die Kosten der Maßnahmen betragen ca. 0,57 Mio. €
- die Kosten pro gelöstem Schutzfall betragen ca. 19.100 €

Übliche Grenzen der Verhältnismäßigkeit liegen bei 50-60.000 Euro pro gelöstem Schutzfall. Die Erschütterungsschutzmaßnahmen sind daher als verhältnismäßig anzusehen.

5.3 Zusätzliche Messungen aus dem Tunnelrohbau

Zur Absicherung der Prognose und zur Ermittlung genauer Ausgangsdaten zur Dimensionierung der Masse-Feder-Systeme werden zusätzliche Messungen aus dem Tunnelrohbau erforderlich.

Die Messungen können durch Fremdanregung (z.B. Vibrationswalze) in der Rohbauphase des Tunnels erfolgen. Durch die Erschütterungsanregung kann somit die Ausbreitung aus dem Tunnel in die benachbarten Gebäude messtechnisch erfasst werden.

5.4 Empfohlene Erschütterungsschutzmaßnahmen für den PfA 7.1 Appenweier – Hohberg (Tunnel Offenburg)

Die nachfolgende Tabelle stellt die empfohlenen Erschütterungsschutzmaßnahmen für den PfA 7.1 Appenweier – Hohberg (Tunnel Offenburg) dar.

Tabelle 7: Erschütterungsschutzmaßnahmen im PfA 7.1

Strecke, Gleis Nr.	km-Anf.	km-Ende	Länge in m	Maßnahme je Gleis
WR-wZgl Strecke 4281-1	2,050	2,220	170	SB
Oströhre Strecke 4281-2	2,040	2,120	80	LMFS
Weströhre Strecke 4281-1	6,120	6,200	80	LMFS
Weströhre Strecke 4281-1	6,260	6,365	105	LMFS
Oströhre Strecke 4281-2	6,290	6,410	120	LMFS
Oströhre Strecke 4281-2	7,370	7,510	140	LMFS
Weströhre Strecke 4281-1	7,320	7,470	150	LMFS

Die prognostizierte Erschütterungsbelastung an den Messobjekten für den Prognose-Planfall mit Erschütterungsschutzmaßnahmen ist in den Ergebnistabellen in Anhang B dargestellt.

5.5 Restbetroffenheiten

Bei dem Gebäude „Breitfeld 4“ in Windschlag sind die Beurteilungskriterien für Erschütterungen nach dem Streckenausbau überschritten (potenziell restbetroffenes Gebäude).

Es wurden Prognoserechnungen unter Berücksichtigung sämtlicher technisch möglicher Erschütterungsschutzmaßnahmen vorgenommen. Im Ergebnis konnte mit keiner zusätzlichen Maßnahme (wie z.B. durch besohlte Schwellen bei allen Gleisen oder Kombinationen mit anderen Maßnahmen) der Einwirkungsbereich weiter reduziert und der Schutzfall somit gelöst werden. Die empfohlenen Maßnahmen stellen somit auf Grundlage der Prognosedaten das technisch machbare Optimum dar.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde geprüft, welche Auswirkungen der geplante Güterzugtunnel sowie die weiteren Umbaumaßnahmen sowie die Neubaustrecken und die Erhöhung der Zugzahlen im Bereich des PfA 7.1 Appenweier – Hohberg auf die Erschütterungsimmissionen haben.

Ausgehend von Messergebnissen wurden Prognoseberechnungen der Erschütterungsbelastung und des sekundären Luftschalls querschnittsweise sowie an messtechnisch untersuchten Gebäuden für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall nach anerkannten Regelwerken durchgeführt und beurteilt.

Die Prognoseberechnungen ergaben, dass z.T. mit einer relevanten Zunahme der Erschütterungsimmissionen zu rechnen ist, bzw. dass oberhalb der Tunnelröhren vereinzelt Überschreitungen der einschlägigen Anhaltswerte zu erwarten sind, weshalb geeignete Schutzmaßnahmen zu untersuchen waren.

Im Zuge einer Abwägung werden als Erschütterungsschutz der Einbau von besohnten Schwellen auf einer Gesamtgleislänge von ca. 170 m sowie der Einbau eines leichten Masse-Feder-Systems im Tunnelabschnitt auf einer Länge von ca. 675 m empfohlen. Die Prognoseberechnungen ergaben, dass mit den vorgesehenen Maßnahmen die Betroffenheiten bei Gebäuden mit Holzbalkendecken bzw. mit Betondecken auf ca. einen Schutzfall reduziert werden können. Die Einwirkung auf empfindliche Geräte wird voraussichtlich auf das jeweilig zulässige Maß reduziert. Die Gesamtkosten der Erschütterungsschutzmaßnahmen liegen bei ca. 0,57 Mio. €. Die Erschütterungsschutzmaßnahmen sind überwiegend als verhältnismäßig anzusehen. Bei einem einzelnen Gebäude sind weitere Erschütterungsschutzmaßnahmen als untunlich zu bewerten.

Zur Überprüfung, ob tatsächlich eine Betroffenheit vorliegt, wird eine messtechnische Überprüfung der Übertragungseigenschaften und Deckeneigenfrequenzen des in Kapitel 5.5 genannten Gebäudes empfohlen. Zur Absicherung der Prognose und zur Ermittlung genauer Ausgangsdaten zur Dimensionierung der Masse-Feder-Systeme werden zusätzliche Messungen aus dem Tunnelrohbau erforderlich.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 11 Absatz 3 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202) geändert worden ist
- [2] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung - BauNVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786), die zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 3. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 176) geändert worden ist
- [3] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990 (BGBl. I S. 1036), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. November 2020 (BGBl. I S. 2334) geändert worden ist
- [4] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 24. BImSchV) vom 04.02.1997, die durch Artikel 3 der Verordnung vom 23. September 1997 (BGBl. I S. 2329) geändert worden ist
- [5] Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378, 2396; 1994 I S. 2439), das zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 10. September 2021 (BGBl. I S. 4147) geändert worden ist
- [6] DIN 4150 Teil 1 „Erschütterungen im Bauwesen – Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Dez. 2022
- [7] DIN 4150 Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ von 1999
- [8] DIN 4150 Teil 3 „Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ von 2016
- [9] DB Richtlinie 820.2050 „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ vom 15.09.2017
- [10] Said et al. „Zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen aus Schienenverkehr“, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 48(2001) Nr. 6, November 2001
- [11] BVerwG, Urteil vom 29. Juni 2017, Az.: 3 A 1/16, Rn. 106
- [12] Betriebsprogramm für den PfA 7.1 für das Prognosejahr 2030 DT (V 5.0 - Stand 17.03.2023) entsprechend den Vorgaben der Schall 03, übermittelt von der Deutsche Bahn AG, Stand 14.04.2023
- [13] Betriebsprogramm für den PfA 7.1 für den Prognose Nullfall 2030 entsprechend den Vorgaben der Schall 03, übermittelt von der Deutsche Bahn AG, Stand 02.08.2019
- [14] Streckengeschwindigkeiten für den Bestand als Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten, DB Netz AG
- [15] Streckengeschwindigkeiten für den geplanten Zustand als Spurplanskizzen, DB Netz AG
- [16] DIN 45672-1:2018-02 Schwingungsmessungen an Schienenverkehrswegen - Teil 1: Messverfahren für Schwingungen
- [17] DIN 45672-2:2020-11 Schwingungsmessungen an Schienenverkehrswegen - Teil 2: Auswerteverfahren

-
- [18] Kostenkennwertkatalog KKK, 808.0210A02 der DB, Regelwerk Bautechnik, Leit-, Signal- und Telekommunikationstechnik, gültig ab 01.12.2022
- [19] Krüger, F. Handbuch Schall und Erschütterungen beim Schienenverkehr Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V. (STUVA), Köln, 1993
- [20] Verfügung zum Umgang mit betriebsbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall in der Planfeststellung, Gz. 51.20-51pv/001- 0230#015, Eisenbahn-Bundesamt, Bonn, 30.01.2017.
- [21] Emissionsspektren, gemessene Spektren an der Tunnelwand im Einmalberg-Tunnel, VersA München, Bericht Nr. 156 005, 17.07.1991
- [22] VDI 2038 Blatt 2 „VDI Richtlinie 2038 Blatt 2 - Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik - Schwingungen und Erschütterungen - Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung von 2013
- [23] Beratungspapier 01 „Kratzer GmbH & Co. KG - Erschütterungstechnisch-strategische Beratung“ Bericht Nr. IBK 11039_ert_Bep01_120227, IBK Ingenieur- und Beratungsbüro Dipl.-Ing. Guido Kohlen, vom 27.02.2012
- [24] www.geoportal-bw.de, zuletzt aufgerufen am 09.08.2021



Abkürzungsverzeichnis

ABS	Ausbaustrecke
AEg	Allgemeines Eisenbahngesetz
A _o	Oberer Anhaltswert
A _r	Anhaltswert für die Beurteilungsschwingstärke
A _u	Unterer Anhaltswert
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BD	Betondecke
Bf	Bahnhof
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
dB (A)	Dezibel (A bewerteter Schallpegel)
DB AG	Deutsche Bahn AG
DIN®	Verbandzeichen des Deutschen Instituts für Normung e.V.
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
ESM	Erschütterungsschutzmaßnahme
EWB	Einwirkungsbereiche Erschütterungen
G	Gewerbegebiet (Nutzungsart) in Immissionsergebnistabellen
GZ	Güterzug
HBD	Holzbalkendecke
Hz	Hertz (Einheit der Frequenz)
KB	„KB-Wert“: bewertete Schwingstärke
l	Länge der Züge (Schall 03)
ldB	links der Bahn
lg	Dekadischer Logarithmus (Basis 10)
L _r	Beurteilungspegel in dB(A)
M	Misch-, Kern- oder Dorfgebiet (Nutzungsart) in Immissionsergebnistabellen
MFS	Masse-Feder-System
NBS	Neubaustrecke
OG	Obergeschoss
Pbf	Personenbahnhof
PfA	Planfeststellungsabschnitt
PFG	Planfeststellungsgrenze
PZ	Personenzug
rdB	rechts der Bahn
Rn	Randnummer (Rechtsliteratur)
SF	Schutzfall

S	Sondergebiet
SB	Schwellenbesohlung
Tsd. €	Tausend Euro
v	Geschwindigkeit
VBK	Verbindungskurve
VzG	Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
W	Reines oder allgemeines Wohngebiet (Nutzungsart) in Ergebnistabellen
WE	Wohneinheit



ANHÄNGE





Anhang A

Anhang A.1

Emissionstabelle 1: Angesetzte Körperschall-Emissionen, Max-Hold –Werte in 8 m (16 m) Entfernung zum Gleis je Messort

Frequenz, Terz in Hz	v	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	
Messort MO / Zugart	in km/h	Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5 \cdot 10^{-5}$ mm/s), Max-Hold –Werte																				
MO-1, s = 8 m																						
ICE	151	39,0	49,4	51,6	50,9	58,3	60,2	64,7	61,6	60,6	61,5	59,4	66,3	70,6	67,4	54,1	43,6	35,1	27,5	20,8	15,6	
Güterzug	88,3	58,2	58,7	59,7	59,9	64,3	60,3	56,9	60,8	63,8	75,1	65,0	62,4	63,1	68,7	59,3	56,8	45,4	37,4	28,1	23,3	
S-Bahn	120	54,5	52,5	50,6	51,0	52,2	60,9	62,0	59,4	63,4	60,6	61,5	61,7	57,7	55,3	59,9	54,1	45,4	34,8	26,1	19,2	
MO-2, s = 8 m																						
ICE	151	39,0	49,4	51,6	50,9	58,3	60,2	64,7	61,6	60,6	61,5	59,4	66,3	70,6	67,4	54,1	43,6	35,1	27,5	20,8	15,6	
Güterzug	92,6	58,2	58,7	59,7	59,9	64,3	60,3	56,9	60,8	63,8	75,1	65,0	62,4	63,1	68,7	59,3	56,8	45,4	37,4	28,1	23,3	
S-Bahn	114	37,6	41,9	42,4	43,6	49,5	59,0	61,9	57,4	55,2	52,3	53,9	61,2	54,1	50,3	52,7	47,2	36,8	28,4	22,4	16,1	
MO-7, s = 8 m		Nur Ausbreitungsmessung																				
ICE	135	43,1	43,3	42,6	47,4	52,7	58,6	60,3	60,3	60,0	60,6	59,7	64,6	64,1	56,6	51,5	40,7	33,4	27,1	22,4	19,4	
Güterzug	104	46,3	51,9	50,9	57,0	62,3	57,8	57,6	61,6	66,1	67,6	70,1	64,5	58,9	56,4	53,5	42,0	33,6	32,0	24,4	18,7	
Tunnelstrecke, s=16 m		Aus Bericht Nr. 156 005, Versuchsanstalt der Deutschen Bahn (VersA), Geschwindigkeitskorrektur von 95 auf 120 km/h, unter 20Hz lagen keine Messdaten vor, Annahme 45,0 dB auf der sicheren Seite.																				
Güterzug	120	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	54,0	62,0	64,0	63,0	60,0	56,0	54,0	52,0	51,0	50,0

Emissionstabelle 2: Angesetzte Körperschall-Emissionen, Leq –Werte in 8 m (16 m) Entfernung zum Gleis je Messort

Frequenz, Terz in Hz	v	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Messort MO / Zugart	in km/h	Körperschallschnellepegel in dB, (Bezugswert $5 \cdot 10^{-5}$ mm/s), Leq –Werte																			
MO-1, s = 8 m																					
ICE	151	34,1	45,4	48,0	44,9	55,4	55,8	60,5	57,3	55,4	56,7	53,3	56,7	65,4	60,2	46,5	36,0	28,4	21,8	16,9	13,7
Güterzug	87,8	52,7	53,4	57,0	55,1	57,3	52,6	50,4	52,5	56,3	63,7	55,4	53,2	51,8	56,3	48,9	44,2	35,5	28,2	21,2	17,3
S-Bahn	120	54,6	52,5	51,0	49,4	51,2	59,8	59,8	57,5	62,3	58,9	59,8	60,4	56,7	54,2	57,3	51,8	42,3	32,2	24,9	19,7
MO-2, s = 8 m																					
ICE	151	34,1	45,4	48,0	44,9	55,4	55,8	60,5	57,3	55,4	56,7	53,3	56,7	65,4	60,2	46,5	36,0	28,4	21,8	16,9	13,7
Güterzug	92,6	46,0	49,1	48,7	52,1	55,8	53,4	52,1	51,8	56,1	52,4	56,0	56,9	48,0	45,4	40,7	33,1	27,0	20,0	17,7	15,4
S-Bahn	109	36,8	40,2	40,5	42,2	46,4	57,4	59,2	53,4	52,0	48,4	49,7	57,5	50,2	45,7	46,6	40,1	30,5	23,2	20,2	19,7
MO-7, s = 8 m		Nur Ausbreitungsmessung																			
ICE	135	30,2	30,6	31,2	40,9	45,8	51,3	52,2	51,0	54,1	53,4	49,6	56,9	56,0	45,5	39,0	31,4	24,0	18,6	14,8	11,7
Güterzug	103	37,6	43,3	42,4	47,5	52,1	49,7	49,4	51,4	55,2	55,3	57,1	52,1	45,8	42,7	37,4	28,9	22,2	19,6	14,4	9,5
Tunnelstrecke, s=16 m		Aus Bericht Nr. 156 005 VersA, Geschwindigkeitskorrektur von 95 auf 120 km/h, Umrechnung von MaxHold auf Leq Werte durch Subtraktion von 8 dB, unter 20Hz lagen keine Messdaten vor, Annahme 37,0 dB auf der sicheren Seite.																			
Güterzug	120	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	46,0	54,0	56,0	55,0	52,0	48,0	46,0	44,0	43,0	42,0



Anhang A.2: Entfernungsbedingte Körperschall-Pegelabnahme im Boden (messtechnisch ermittelt)

Frequenz, Terz in Hz	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
Ausbreitungsquerschnitt: A Nr., km	Pegelabnahme in dB																
Vergleichswert nach DB Richtlinie 820.2050	8	10	12	14	16	18	20	22	26.5	31.5	35	39	39	39	39	39	39
Bereich, Strecke 4280: km 140.9	10,9	9,5	7,3	8,0	9,0	9,4	9,2	11,1	14,3	17,8	20,6	23,4	27,2	31,1	33,9	35,1	35,9
Bereich, Strecke 4000: km 142.7	5,9	5,6	5,6	5,8	7,3	9,1	11,3	13,2	14,2	14,8	15,5	16,2	16,1	16,7	17,8	20,6	20,5
Bereich, Strecke 4281-1: km 6,4 ¹	0*	0*	2,8	4,2	1,7	0,6	2,5	3,4	5,1	13,0	13,0	15,4	16,2	14,5	14,1	16,5	18,1
Bereich, Strecke 4281-1: km 7,9 ²	0*	0*	1,5	3,2	6,4	9,4	12,9	16,9	21,3	27,5	32,7	38,9	41,1	38,5	34,6	27,3	23,7
Bereich, Strecke 4000: km 149,4	4,4	5,0	5,9	7,2	8,3	10,0	12,3	16,4	20,6	23,3	23,4	25,1	28,9	31,3	30,3	27,9	25,2

Bem.: Die Pegelabnahme im Boden ist eine logarithmische Funktion über die Entfernung. Die Pegeldifferenzen werden für 80 m Entfernung zum Gleis mit dem Bezugswert 8 m dargestellt

*: keine aussagefähigen Messdaten ermittelbar, da keine ausreichende Anregung in diesem Frequenzbereich.

¹ Punktquelle (Walze) als Anregung

² Punktquelle (Walze) als Anregung

Anhang A.3: Relevante Zugparameter

Zugtyp/Zuggattung	Länge in m	Max. Geschwindigkeit in m/s	Angesetzte Geschwindigkeit für die Prognose in m/s
ICE	346	250	Gemäß VZG [14]
Güterzug lang	740	120	Gemäß VzG [14]
Güterzug kurz	380	120	Gemäß VzG [14]
S-Bahn	210	160	Gemäß VzG [14]



Anhang B

Anhang B.1:

Ergebnistabelle 1: Beurteilung der Erschütterungen an den messtechnisch untersuchten Objekten ohne Erschütterungsschutzmaßnahme (ESM) und mit leichtem Masse-Feder-System (LMFS) als ESM

Messobjekt, Lage zur Bahn	Adresse	Raumlage/ Nutzung	Gebiets- nutzung	Anforderungen Erschütterung				Immissionen Erschütterung											
				KB				Prognose Nullfall				Prognose Planfall				Zu-/Abnahme in %			
				A _u		A _r		KB _{Fmax}		KB _{FTr}		ESM	KB _{Fmax}		KB _{FTr}		KB _{Fmax}	KB _{FTr}	
				Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht
MO1_km141.0_IdB	Breitfeld 12	EG	W	0,15	0,10	0,07	0,05	0,19	0,19	0,032	0,049	ohne	0,19	0,19	0,033	0,040	0	3	-18
												mit	0,19	0,19	0,029	0,035	0	-9	-29
		OG	W	0,15	0,10	0,07	0,05	0,24	0,24	0,079	0,076	ohne	0,24	0,24	0,088	0,070	0	11	-8
												mit	0,24	0,24	0,086	0,068	0	9	-11
MO2_km142.8_rdB	Wa- ckerstr. 59	EG	W	0,15	0,10	0,07	0,05	0,18	0,18	0,037	0,042	ohne	0,18	0,18	0,037	0,023	0	0	-45
		OG	W	0,15	0,10	0,07	0,05	0,19	0,19	0,058	0,054	ohne	0,19	0,19	0,060	0,037	0	3	-31

0.11 Überschreitung des Anhaltswertes (A_u) → Beurteilung anhand des A_r notwendig

0.051 Überschreitung des Anhaltswertes A_r

26 Wesentliche Zunahme der Erschütterungsimmissionen (≥ 25%)

0.051 Überschreitung des Anhaltswertes **und** wesentliche Zunahme der Erschütterungsimmissionen (≥ 25%)

<0.1 Erschütterungsimmissionen unterhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle

n.d. Zunahme der Erschütterungsimmissionen nicht definiert

<0 Zunahme der Erschütterungsimmissionen kleiner 0

>0 Zunahme der Erschütterungsimmissionen größer 0

Anhang B.2:

Ergebnistabelle 2: Beurteilung des sekundären Luftschalls an den messtechnisch untersuchten Objekten ohne Erschütterungsschutzmaßnahme (ESM) und mit leichtem Masse-Feder-System (LMFS) als ESM

Messobjekt, Lage zur Bahn	Adresse	Raumlage/ Nutzung	Anforderungen		Immissionen sekundärer Luftschall in dB(A)											
					sek. Luftschall in dB(A)				Prognose Nullfall			Prognose Planfall				Zu-/Abnahme
			L _{i,max}		L _{i,r}		L _{i,max}	L _{i,r}		ESM	L _{i,max}	L _{i,r}		L _{i,max}	L _{i,r}	
			Tag	Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht		Nacht	Tag	Nacht	Nacht	Tag	Nacht
MO1_km141.0_IdB	Breitfeld 12	EG	xx	xx	40	30	29	16,6	18,1	ohne	36	21,3	23,2	7	4,7	5,1
			mit	29	17,2	17,7	0	0,6	-0,4							
		OG	xx	xx	40	30	29	15,4	16,5	ohne	35	20,1	21,8	6	4,7	5,3
			mit	29	16,5	16,9	0	1,1	0,4							
MO2_km142.8_rdB	Wackerstr. 59	EG	xx	xx	40	30	29	12,8	13,8	ohne	29	17,7	18,9	0	4,9	5,1
		OG	xx	xx	40	30	29	12,9	14,0	ohne	29	17,2	18,1	0	4,3	4,1

30.1 Überschreitung des Immissionsrichtwertes

2.1 Wesentliche Änderung (≥ 2.1 dB(A)) der Immissionsbelastung

30.1 Überschreitung des Immissionsrichtwertes **und** wesentliche Änderung (≥ 2.1 dB(A)) der Immissionsbelastung

xx keine Anforderung an den Maximalpegel des sekundären Luftschalls

n.d. Abnahme der Beurteilungspegel nicht definiert



Anhang C

Anhang C.1 Abwägungstabelle: Gebäude und Firmen mit empfindlichen Geräten

Querschnitt	Bereich	km Strecke 4280 km Strecke 4281	Gebietsnutzung	EWB Tag HBD [m]	EWB Nacht HBD [m]	EWB Tag BD [m]	EWB Nacht BD [m]	Anzahl Schutzfälle HBD	Anzahl Schutzfälle BD	Maßnahme je Gleis	Strecken-Gleis	km-Anf.	km-Ende	Länge in m	Kosten der Maßnahme in T€	Gesamtkosten der Maßnahme in T€	ungelöste Schutzfälle HBD	ungelöste Schutzfälle BD	gelöste Schutzfälle HBD	gelöste Schutzfälle BD	Kosten pro gelöstem Schutzfall HBD in T€	Kosten pro gelöstem Schutzfall BD in T€													
Q1	Sander Str. / Am Sportplatz, rdB	138.506-138.900	G	70	55	30	50	0	0	Keine Maßnahmen																									
	Sander Straße, IdB		S	145	0	45	0	0	0																										
Q2	Am Sportplatz, rdB	138.900-139.300	G	0	0	0	0	0	0																										
Q3	Schwalbenrain, rdB	140.700-140.900 1.800-2.000	W	0	0	10	0	0	0																										
Q4	Breitfeld, rdB	140.900-141.100 2.000-2.200	M	30	10	15	10	3	3														SB	4281-1	2,050	2,220	170	15,3	81,3	1	1	5	5	16,3	16,3
			k	4280-1			0	0																											
			k	4280-2			0	0																											
			k	4283			0	0																											
			k	4000-1			0	0																											
			k	4000-2			0	0																											
	k		4263-2			0	0																												
Breitfeld, IdB	W	0	20	0	15	3	3	LMFS	4281-2	2,040	2,120	80	66	0	0																				
Q5	Appenweierstraße, rdB	141.100-141.200 2.200-2.300	M	20	0	10	0	0	0	Keine Maßnahmen																									
Q6	Wackerstraße, rdB	142.700-142.900 3.800-4.000	W	0	0	0	0	0	0																										
Q7	Langenbosch, rdB	143.200-143.500 4.400-4.700	M	0	0	0	0	0	0													Keine Maßnahmen													

Querschnitt	Bereich	km Strecke 4280 km Strecke 4281	Gebietsnutzung	EWB Tag HBD [m]	EWB Nacht HBD [m]	EWB Tag BD [m]	EWB Nacht BD [m]	Anzahl Schutzfälle HBD	Anzahl Schutzfälle BD	Maßnahme je Gleis	Strecken-Gleis	km-Anf.	km-Ende	Länge in m	Kosten der Maßnahme in T€	Gesamtkosten der Maßnahme in T€	ungelöste Schutzfälle HBD	ungelöste Schutzfälle BD	gelöste Schutzfälle HBD	gelöste Schutzfälle BD	Kosten pro gelöstem Schutzfall HBD in T€	Kosten pro gelöstem Schutzfall BD in T€
Q8	Industriegebiet Nord, rdB	5.400-6.200	G	0	5	0	15	0	0													
	Industriegebiet Nord, ldB		G	0	5	0	15	0	0													
Q8.1	Am Holderstock, Mitte	5.600-5.700	G	Berechnet im tatsächlichen Abstand: 0 m zu Strecke 4281-1 5 m zu Strecke 4281-2				0	0	Keine Maßnahmen												
Q8.2	Fa. Ade, rdB	6.100-6.200	G	Max. Entfernung unter Einhaltung der Genauigkeitsanforderungen: 12m				0	1	LMFS	4281-1	6,120	6,200	80	66	66,0	0	0	0	1	x	60,0
										k	4281-2			0	0							
Q9	Alte Straßburger Str., rdB	6.200-6.450	W, M	30	0	0	25	1	11	LMFS	4281-1	6,260	6,365	105	86,6	185,6	0	0	2	13	11,3	11,3
	Alte Straßburger Str., ldB		W, M	30	0	0	25	1	2	LMFS	4281-2	6,290	6,410	120	99		0	0				
Q10	In der Lieste, rdB	6.450-7.550	G	0	0	0	5	0	0	k	4281-1			0	0	115,5	0	0	0	2	x	52,5
	In der Lieste, ldB		G	0	0	0	5	0	2	LMFS	4281-2	7,370	7,510	140	115,5		0	0				
Q10.1	Fa. Kratzer, rdB	7.300-7.500	G	Max. Entfernung unter Einhaltung der Genauigkeitsanforderungen: 25m				0	1	LMFS	4281-1	7,320	7,470	150	123,75	123,75	0	0	0	2	x	56,3
	Fa. Metalltechnik Siebert, ldB		G							0	1	k	4281-2				0	0				
Q11	In der Spöck, lrdB	7.550-7.900	G	0	0	0	0	0	0	Keine Maßnahmen												
Q12	Fa. Aluminium-Richter, ldB	11.400-11.600	G	Max. Entfernung unter Einhaltung der Genauigkeitsanforderungen: 25m				0	0	Keine Maßnahmen												



Querschnitt	Bereich	km Strecke 4280 km Strecke 4281	Ge- biets- nut- zung	EWB Tag HBD [m]	EWB Nacht HBD [m]	EWB Tag BD [m]	EWB Nacht BD [m]	Anzahl Schutz- fälle HBD	Anzahl Schutz- fälle BD	Maß- nahme je Gleis	Strecken- Gleis	km- Anf.	km- Ende	Länge in m	Kosten der Maß- nahme in T€	Gesamt- kosten der Maß- nahme in T€	unge- löste Schutz- fälle HBD	unge- löste Schutz- fälle BD	ge- löste Schutz- fälle HBD	ge- löste Schutz- fälle BD	Kosten pro gelös- tem Schutz- fall HBD in T€	Kosten pro gelös- tem Schutz- fall BD in T€	
Q13	Wil- helmstr., IrdB	145.600- 146.600	M, W	0	0	0	0	0	0														
Q14	Margeri- tenstr., IrdB	146.600- 149.400	W, S	0	0	0	0	0	0														
Q15	An der Bundes- bahn 3, IdB	150,800	S	30	20	0	0	0	0														
Q16	Binzburg- höfe 2,3,7, Mitte	151.800- 152.820 13.000- 14.020	M	Berechnet im tatsächlichen Ab- stand				0	0														

k: keine