

**ANLAGE 12.4.1**  
- Nur zur Information -

Anlage 12.4.1  
entfällt

# **S-Bahn Rhein-Main, Nordmainische S-Bahn**

## **Planfeststellungsabschnitt 1 - Frankfurt**

### **(Tunnelbereich)**

#### **ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHE UNTERSUCHUNG**

zur Ermittlung und Beurteilung der schienenverkehrsinduzierten  
Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall

**Bericht-Nr.**

08500-VVE-7

**Datum:**

26.05.2011

**Auftraggeber:**

DB ProjektBau GmbH  
Hahnstraße 49  
60528 Frankfurt am Main

**Bearbeitung:**

ARGE S-E-Nordmainische S-Bahn

FRITZ GmbH  
Beratende Ingenieure VBI  
Fehlheimer Straße 24  
64683 Einhausen  
Telefon: 06251 – 9646 0  
Telefax: 06251 – 9646 46  
E-Mail: [info@fritz-ingenieure.de](mailto:info@fritz-ingenieure.de)

Dipl.-Phys. Peter Fritz  
Dipl.-Ing. Rolf Schneider

**Umfang des Dokumentes:**

Textteil: 32 Seiten

Anhänge: 19 Seiten

Plananlagen: 1 Blatt

## INHALT

Anlage 12.4.1  
entfällt

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Sachverhalt und Aufgabenstellung</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Bearbeitungsgrundlagen</b>	<b>8</b>
3.1	Rechtsgrundlagen und Regelwerke	8
3.2	Planungsunterlagen	9
<b>4</b>	<b>Beschreibung des Planvorhabens</b>	<b>10</b>
4.1	Projektbeschreibung	10
4.2	Einwirkungsbereich	11
4.3	Immissionsschutzrechtliche Einstufung	11
<b>5</b>	<b>Anforderungen</b>	<b>11</b>
5.1	<b>Erschütterungen</b>	<b>11</b>
5.1.1	Beurteilungsverfahren	12
5.1.2	Anhaltswerte	13
5.2	<b>Sekundärer Luftschall</b>	<b>14</b>
5.2.1	Grundlagen der Beurteilung	14
5.2.2	Anforderungswerte	15
5.2.3	Anwendung des „Schienenbonus“	16
<b>6</b>	<b>Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise</b>	<b>17</b>
6.1	<b>Emission</b>	<b>19</b>
6.1.1	Emissionsspektrum	19
6.1.2	Korrekturfunktionen	20
6.2	<b>Transmission</b>	<b>21</b>
6.2.1	Transferfunktion 1	21
6.2.2	Transferfunktion 2	22
6.2.3	Transferfunktion 3	22
6.3	<b>Immissionen</b>	<b>23</b>
6.3.1	Erschütterungen	23
6.3.2	Sekundärer Luftschall	23
6.4	<b>Betriebsparameter</b>	<b>24</b>

<b>7</b>	<b>Untersuchungsergebnisse</b>	<b>25</b>
<b>7.1</b>	<b>Prognose ohne Schutzmaßnahmen</b>	
7.1.1	Erschütterungen	26
7.1.2	Sekundärer Luftschall	27
<b>7.2</b>	<b>Dimensionierung von Vorsorgemaßnahmen</b>	<b>27</b>
7.2.1	Grundsätzlich mögliche Maßnahmen	27
7.2.2	Maßnahmen an der Quelle	27
7.2.3	Maßnahmen am Immissionsort	28
<b>7.3</b>	<b>Praktikable Maßnahmen für die Nordmainische S-Bahn</b>	<b>29</b>
<b>7.4</b>	<b>Prognose mit Schutzmaßnahmen</b>	<b>30</b>
7.4.1	Erschütterungen	30
7.4.2	Sekundärer Luftschall	31
<b>8</b>	<b>Abschließende Beurteilung</b>	<b>31</b>

Anlage 12.4.1  
entfällt

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prognose verkehrsinduzierter Erschütterungen	18
Abbildung 2:	Übertragung von Erschütterungen	19

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen	13
Tabelle 2:	Immissionsrichtwerte für den sekundären Luftschall	16
Tabelle 3 :	Erstreckung der Vorsorgemaßnahme	30

## Anhänge

ANHANG 1	Angabe zu den Gebäuden
ANHANG 2	Emissionen
ANHANG 3	Transmission
ANHANG 4	Erschütterungsimmissionen
ANHANG 5	Sekundäre Luftschallimmissionen
ANHANG 6	Einfügungsdämmung Schutzsystem

## Plananlagen

ANLAGE 12.4.1	Übersichtslageplan
---------------	--------------------

## Abkürzungsverzeichnis

Anlage 12.4.1  
entfällt

A	Anhaltswert
$\alpha$	Abklingkoeffizient [ $m^{-1}$ ]
$A_o$	oberer Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-]
$A_r$	Beurteilungs-Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-]
$A_u$	unterer Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-]
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
c	Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle [m/s]
dB	Dezibel
$\Delta L$	Pegeldifferenz
D	Dämpfungsgrad gemäß DIN 4150-1 [%]
D	Korrektursummand zur Berücksichtigung der Raumnutzung [dB]
ET 420	S-Bahnfahrzeug der Baureihe 420
F	äquivalente Absorptionsfläche des Raumes [ $m^2$ ].
f	Frequenz [Hz]
$f_0$	Deckeneigenfrequenz [Hz]
GE	Gewerbegebiet gemäß § 3 BauNVO
Hz	Hertz, Schwingung je Sekunde
IP	Immissionspunkt
IRW	Immissionsrichtwert [dB(A)]
$KB_{Fmax}$	maximale bewertete Schwingstärke [-]
$KB_{FTi}$	Taktmaximalwert
$KB_{FTm}$	Taktmaximal-Effektivwert
$KB_{FTr}$	Beurteilungsschwingstärke [-]
$L_{AF}$	A-bewerteter Schalldruckpegel
$\lambda$	Wellenlänge [m]
$L_{CF}$	C-bewerteter Schalldruckpegel
$L_i$	A-bewerteter sekundärer Luftschallpegel [dB(A)]
$L_{r,sek}$	Beurteilungspegel für den sekundären Luftschall [dB(A)]
$L_{vA}$	A-bewerteter Körperschallschnellepegel in Fußbodenmitte [dB(A)]
MI	Mischgebiet gemäß § 3 BauNVO
n	Exponent der Wellenart nach DIN 4150-1
OVG	Oberverwaltungsgericht
r, R	Abstand
$R_1$	Bezugsabstand

RMS	Root mean square (quadratischer Mittelwert)
S	Fläche des betrachteten Bauteils [m²]
$\sigma$	Abstrahlgrad des betrachteten Bauteils
T	Übertragungsfunktion
TA-Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
$T_e$	Einwirkungszeit einer Zugvorbeifahrt
$T_i$	Transferfunktion
$T_1$	Übertragung im Erdreich
$T_2$	Übertragung vom Erdreich auf das Gebäudefundament
$T_3$	Übertragung vom Gebäudefundament auf die Geschossdecken
USM	Unterschottermatte
VDI	Verein deutscher Ingenieure
$v_0$	Referenzwert für die Schwingschnelle [ $5 \cdot 10^{-8}$ m/s]
$v_{\max}$	Höchstgeschwindigkeit [km/h]
VMN	Vorsorgemaßnahme
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz
WA	Allgemeines Wohngebiet gemäß § 3 BauNVO

Anlage 12.4.1  
entfällt

## 1 Zusammenfassung

Anlage 12.4.1  
entfällt

Die erschütterungstechnische Untersuchung im Rahmen der Planung zur „Nordmainischen S-Bahn“ im Tunnelbereich des Abschnitts Frankfurt hat zu folgenden Ergebnissen geführt:

- ❑ Die Prognoseberechnungen führen zu dem Ergebnis, dass ohne Schutzmaßnahmen an einer Vielzahl der untersuchten Gebäude die Anhaltswerte der DIN 4150-2 überschritten würden. Erhebliche Belästigungen infolge Erschütterungsimmissionen können für diese Gebäude nicht ausgeschlossen werden. Somit sind erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen im Tunnel zu treffen.
- ❑ Hinsichtlich sekundärer Luftschallimmissionen werden die, in Anlehnung an die 24. BImSchV zulässigen Beurteilungspegel, ohne Schutzmaßnahmen eingehalten. Diesbezügliche erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen werden demnach nicht erforderlich.
- ❑ Als geeignete Vorsorgemaßnahme kommen Unterschottermatten (USM) für den Oberbau in Betracht.
- ❑ Durch den Einsatz von Unterschottermatten können die erwartenden Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundären Luftschallimmissionen soweit begrenzt werden, dass erheblich belästigende Einwirkungen in Wohnungen und anderen schutzbedürftigen Räumen vermieden werden. Die Anhaltswerte der DIN 4150-2 werden eingehalten. Die sekundären Luftschallimmissionen werden deutlich reduziert. Die Erstreckung der Vorsorgemaßnahme sowie die relevanten Angaben zur dynamischen Abstimmung sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

Gleis Nr.	Vorsorgemaßnahme		
	System	von km	bis km
41	USM: $f_0 = 25$ Hz	52,9+01	53,7+16
42	USM: $f_0 = 25$ Hz	52,9+06	53,7+16

## 2 Sachverhalt und Aufgabenstellung

Anlage 12.4.1  
entfällt

Beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge kommt reich zwischen Rad und Schiene zu Schwingungsanregungen, die auf Störungen des stationären Abrollvorganges zurückzuführen sind. Verantwortlich hierfür sind einerseits Inhomogenitäten der Schiene, andererseits auch das Rad selbst, welches in der Regel einen ungleichmäßigen Verschleiß erfährt. Die impulsförmige Anregung des Radsatzes und des Gleiskörpers wiederum hat die Anregung von Eigenschwingungen des Gesamtsystems zur Folge. Auch schwankende Vertikalsteifigkeiten bei Schotteroberbauten mit Schwellen oder bei festen Fahrbahnen sind ursächlich für einen instationären Abrollvorgang.

Die aus den dynamischen Lasten resultierenden Schwingungen des Gleisoberbaus werden über das Erdreich auf nahe stehende Gebäude übertragen, die ihrerseits zu Schwingungen angeregt werden. Die auftretenden Schwingungsamplituden sind in der Regel so gering, dass Bauwerksschäden als Folge der dynamischen Beanspruchung ausgeschlossen werden können. Dennoch können Schwingungen bereits bei geringen Schwingstärken zu Beeinträchtigungen des Wohlbefindens von Menschen in Gebäuden führen. Über die Geschossdecken werden Schwingungen des Gebäudekörpers auf den Menschen übertragen, die vom Körper direkt als mechanische Schwingungsmissionen wahrgenommen werden. Weiterhin führen die in ein Bauwerk eingeleiteten Schwingungen zu einer Schallabstrahlung der Raumbegrenzungsflächen in Form von hörbarem (sekundärem) Luftschall. Selbst Immissionen, die als mechanische Schwingungen nicht mehr spürbar sind, können dann akustisch wahrnehmbar sein.

Geräusche und Erschütterungen zählen gemäß § 3 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (**BImSchG**) je nach Stärke und Wahrnehmbarkeit zu den Immissionen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen.

Im Rahmen der Planung für das Planvorhaben „Nordmainische S-Bahn“ ist daher zu prüfen, ob die Einwirkungen aus Erschütterungen bzw. sekundärem Luftschall, hervorgerufen vom zukünftigen Betrieb, zu erheblichen Belästigungen von Menschen in Gebäuden führen können. Sofern zukünftig Erschütterungs- oder sekundäre Luftschallimmissionen zu erwar-

ten sind, die die Beurteilungsanhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** bzw. die Immissionsrichtwerte in Anlehnung an die **24. BImSchV** sind geeignete Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung der Immissionskonflikte zu erarbeiten.

Anlage 12.4.1  
entfällt

### 3 Bearbeitungsgrundlagen

#### 3.1 Rechtsgrundlagen und Regelwerke

Der durchgeführten erschütterungstechnischen Untersuchung liegen die folgenden Gesetze, Verordnungen und Richtlinien zu Grunde:

- /1/ Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der aktuell gültigen Fassung
- /2/ 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990
- /3/ 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 24. BImSchV) vom 04. Februar 1997 in ihrer berichtigten Fassung vom 16. Mai 1997
- /4/ Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) in der aktuell gültigen Fassung
- /5/ Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom 21.12.2010, Az: BVerwG 7 A 14.09
- /6/ DIN 4150, Teil 1 „Erschütterungen im Bauwesen“, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- /7/ DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen“, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999

- /8/ DIN 4150, Teil 3 „Erschütterungen im Bauwesen“, Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Februar 1999
- /9/ DIN 45669, Teil 1 "Messung von Schwingungsimmissionen" Anforderungen an Schwingungsmesser vom September 2010
- /10/ DIN 45669, Teil 2 "Messung von Schwingungsimmissionen"; Messverfahren vom Juni 2005
- /11/ DIN 45672, Teil 1 „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen“, Messverfahren vom Dezember 2009
- /12/ DIN 45672, Teil 2 „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen“, Teil 2: Auswerteverfahren vom Juli 1995
- /13/ Bodendynamik, Grundlagen und Anwendungen, Herausgeber Wolfgang Haupt; 1986
- /14/ DB-Leitfaden für den Planer, Körperschall- und Erschütterungsschutz, in der aktuell gültigen Fassung
- /15/ Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen, Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Bericht Nr. 107
- /16/ „Erschütterungen durch Eisenbahnverkehr“, Abschluss zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FE-Nr. 60.340/1998, Peter Fritz; FRITZ GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn
- /17/ „Körperschallmessungen in und auf dem Flughafentunnel Frankfurt/Main mit niedriger Überdeckung“ Deutsche Bundesbahn, Versuchsanstalt München, Abteilung für Elektrophysik; Bericht Nr. 65623 vom 07.04.1987

Anlage 12.4.1  
entfällt

### 3.2 Planungsunterlagen

- /18/ Achskleinpunktlisten der Strecken 3660, 3685, Stand 2009, zur Verfügung gestellt von DB Projektbau GmbH, Bautechnik, Berlin

/19/ Betriebskonzept auf Basis der Bedarfsplanüberprüfung 2010 – Prognose für das Jahr 2025, DB Netz AG, Regionalbereich Frankfurt am Main

Anlage 12.4.1  
entfällt

/20/ ALK-Daten für das Umfeld der Nordmainischen S-Bahn, zur Verfügung gestellt von DB Projektbau GmbH, Regionalbereich Mitte, Frankfurt am Main

/21/ Angaben zu den Bebauungsplänen im Umfeld der Planung sowie Auszüge aus dem Flächennutzungsplan 2007, Planungsauskunftssystem des Stadtplanungsamtes Frankfurt am Main, Stand Juli 2008

## 4 Beschreibung des Planvorhabens

### 4.1 Projektbeschreibung

Der regionale Nahverkehrsplan 2004 bis 2009 des Rhein-Main-Verkehrsverbundes sieht im Maßnahmenbereich der S-Bahn und des Regionalverkehrs unter anderem den Vollausbau der Nordmainischen S-Bahn zwischen dem Anschluss an die Konstablerwache in Frankfurt am Main (Abzweig Grüne Straße) und Hanau Hbf vor. Dieser umfasst den Neubau einer unterirdischen Streckenführung (2-gleisig) zwischen dem vorhandenen Abzweig „Grüne Straße“ bis östlich des „Danziger Platzes“ in Frankfurt-Ost sowie den Neubau von zwei gesonderten S-Bahn-Gleisen in oberirdischer Streckenführung bis Wilhelmsbad. Der oberirdische Streckenabschnitt wird bis Wilhelmsbad nördlich der vorhandenen Fernbahnstrecke (3660) geführt. In Teilbereichen sind hierzu auch bauliche Eingriffe in die vorhandenen Fernbahngleise erforderlich. Im Bereich ab Wilhelmsbad wird eine zweigleisige Verbindung südlich der vorhandenen Strecke gebaut, auf der künftig die Fernbahnstrecke geführt wird. Die S-Bahn wird in diesem Bereich die bestehende Fernbahnstrecke nutzen.

Der in dieser Untersuchung zu betrachtende Abschnitt „Frankfurt am Main“ bezieht sich auf die unterirdisch verlaufende Strecke, d. h. den Tunnelbereich vom Abzweig Grüne Straße bis zum Tunnelausgang in Frankfurt-Ostend (km 54,3+50).

## 4.2 Einwirkungsbereich

Anlage 12.4.1  
entfällt

In dem Übersichtslageplan in **Anlage 12.4.1** sind die reich der Bahnanlage gelegenen Siedlungsflächen in den Ortslagen Frankfurt-Ostend dargestellt.

Die Gebietsnutzungen von Siedlungsflächen wurden in den Plänen farblich gekennzeichnet. Weiterhin wurden dort besonders schützenswerte Sondernutzungen, das heißt Krankenhäuser, Altenheime, Schulen oder Kindergärten, entsprechend hervorgehoben soweit diese im Untersuchungsraum vorhanden sind.

Die Einstufung der Gebietsnutzungen wurde auf der Grundlage rechtskräftiger Bebauungspläne oder ersatzweise nach der Schutzwürdigkeit von Siedlungsflächen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Nutzung vorgenommen.

## 4.3 Immissionsschutzrechtliche Einstufung

Bei dem geplanten Tunnelabschnitt handelt es sich um einen Neubau. Eine erschütterungstechnische Vorbelastung durch vorhandene Bahnstrecken besteht nicht. Sofern zukünftig Erschütterungs- oder sekundäre Luftschallimmissionen zu erwarten sind, die die Beurteilungsanhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** /7/ bzw. die Immissionsrichtwerte in Anlehnung an die **24. BImSchV** /3/ überschreiten, sind erschütterungstechnischen Vorsorgemaßnahmen zu dimensionieren.

# 5 Anforderungen

## 5.1 Erschütterungen

Im Gegensatz zur schalltechnischen Problemstellung existieren derzeit keine gesetzlichen Bestimmungen, in denen Grenzwerte für Erschütterungsimmissionen festgelegt sind. Daher werden die in Fachkreisen anerkannten Anhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** /7/ herangezogen. Bei Einhaltung dieser Anhaltswerte kann davon ausgegangen werden, dass die Erschütterungen keine erheblich belästigenden Einwirkungen darstellen, die als niedrigste Qualifikationsstufe schädlicher Umwelteinwirkungen anzusehen sind.

Die Rechtsgrundlage für Ansprüche auf Schutzmaßnahmen nach dem Bundesgesetz über das Verwaltungsverfahrensgesetz (**VwVfG**) /4/ begründet.

Anlage 12.4.1  
entfällt

Träger eines Vorhabens Vorkehrungen oder die Einrichtung und Unterhaltung von Anlagen aufzuerlegen, die zum Wohl der Allgemeinheit oder zur Vermeidung nachteiliger Wirkungen erforderlich sind. Sind solche Vorkehrungen oder Anlagen untunlich, das heißt mit angemessenem Aufwand zum Schutzzweck nicht realisierbar, oder sind die Maßnahmen mit dem Vorhaben nicht vereinbar, so besteht ein entsprechender Entschädigungsanspruch.

In dem hier zu beurteilenden Einwirkungsbereich besteht bereits eine erschütterungstechnische Vorbelastung. Bei Überschreitung der Anhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** ist daher der Sachverhalt zu klären, ob die geplante Baumaßnahme zu einer wesentlichen Erhöhung der Erschütterungsimmissionen im Sinne des derzeitigen Kenntnisstandes und der gültigen Rechtsprechung führt und sich hieraus ein Anspruch auf Schutzmaßnahmen ergibt.

#### 5.1.1 Beurteilungsverfahren

Zur Bewertung der Erschütterungsimmissionen sind gemäß **DIN 4150-2** zwei Beurteilungsgrößen heranzuziehen:

- ☐ die maximale zeit- u. frequenzbewertete Schwingstärke **KB<sub>Fmax</sub>**,
- ☐ die Beurteilungsschwingstärke **KB<sub>FTr</sub>**.

Beide Beurteilungsgrößen sind getrennt für die drei Richtungskomponenten X, Y (horizontal) und Z (vertikal) zu ermitteln. Der jeweils größte der drei Werte ist der Beurteilung zu Grunde zu legen.

Die Beurteilung erfolgt anhand der Kriterien **A<sub>u</sub>** (für **KB<sub>Fmax</sub>**) und **A<sub>r</sub>** (für **KB<sub>FTr</sub>**). Ist **KB<sub>Fmax</sub>** kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert **A<sub>u</sub>**, so werden die Anforderungen der Norm erfüllt. Dann gilt als nachgewiesen, dass die schienenverkehrsinduzierten Erschütterungsimmissionen **nicht** als „**erheblich belästigend**“ einzustufen sind. Übersteigt die maximale bewertete Schwingstärke den unteren Anhaltswert, erfolgt die Beurteilung in einem weiteren Prüfschritt auf Basis der Beurteilungsschwingstärke **KB<sub>FTr</sub>** im Vergleich zu dem Beurteilungsanhaltswert **A<sub>r</sub>**.

### 5.1.2 Anhaltswerte

Die Anhaltswerte **A** zur Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen werden in der **DIN 4150-2** /7/ jeweils in Abhängigkeit von der Art der baulichen Nutzung der Umgebung des Einwirkungsortes sowie für den Tag- und den Nachtzeitraum unterschieden. In **Tabelle 1** sind die Anhaltswerte angegeben.

Anlage 12.4.1  
entfällt

Für den Schienenverkehr hat der obere Anhaltswert **A<sub>o</sub>** gemäß Ziffer 6.5.3.5 der **DIN 4150-2** nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne **KB<sub>FTi</sub>**-Werte oberhalb der für ober- bzw. unterirdische Strecken angegebenen Werte, so ist nach der Ursache für die Erschütterungen zu forschen und diese möglichst rasch zu beheben. Öfter wiederkehrende Werte dieser Art werden durch die Beurteilungsschwingstärke erfasst. Daher wird in der **DIN 4150-2** /7/ zur Beurteilung des Schienenverkehrs von einer scharfen Obergrenze durch den Anhaltswert **A<sub>o</sub>** abgesehen.

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen

Zeile	Einwirkungsort	tags		nachts	
		A <sub>u</sub>	A <sub>r</sub>	A <sub>u</sub>	A <sub>r</sub>
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichtspersonal und Bereitschaftspersonen untergebracht sind	0,40	0,20	0,30	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind	0,30	0,15	0,20	0,10
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	0,20	0,10	0,15	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind	0,15	0,07	0,10	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0,10	0,05	0,10	0,05

## 5.2 Sekundärer Luftschall

Anlage 12.4.1  
entfällt

### 5.2.1 Grundlagen der Beurteilung

Zur Ermittlung und Beurteilung von Geräuschimmissionen aus sekundärem Luftschall gibt es derzeit weder normative Festsetzungen noch gültige Rechtsverordnungen. Daher ist es erforderlich, sich für eine sachgerechte Beurteilung an andere Gesetze, Verordnungen und Regelwerke auf Grundlage von Plausibilitätsbetrachtungen anzulehnen.

Bei der Beurteilung schienenverkehrsinduzierter sekundärer Luftschallimmissionen ist zunächst zu berücksichtigen, dass es sich hierbei – wenn auch im weiteren Sinne – um Verkehrslärmimmissionen handelt. Demzufolge kann das Bundes-Immissionsschutzgesetz herangezogen werden, das sich in den §§ 41 bis 43 mit Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgereusche befasst. In § 43 BImSchG /1/ wird die Bundesregierung ermächtigt, erforderliche Vorschriften zu erlassen. Hierbei wird explizit darauf hingewiesen, dass den Besonderheiten des Schienenverkehrs Rechnung zu tragen ist. Dies ist für primäre Luftschallimmissionen mit Erlass der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV /2/) geschehen. Eine Regelung zum sekundären Luftschall gibt es derzeit nicht.

Ein Anhaltspunkt für die Beurteilung sekundärer Luftschallimmissionen ergibt sich aus der Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV /3/), die – wenn auch indirekt – Vorgaben für zulässige Innenraumpegel aus Verkehrslärmimmissionen in Abhängigkeit von der Raumnutzung angibt - auch wenn der sekundäre Luftschall streng genommen nicht den Regelungen der 24. BImSchV unterliegt, da deren Anwendung die Überschreitung der Immissionsgrenzwerte nach § 2 der 16. BImSchV durch den Bau oder die wesentliche Änderung einer öffentlichen Straße oder eines Schienenverkehrsweges voraussetzt. In Anlehnung an die 24. BImSchV scheint es dennoch gerechtfertigt, den aus Tabelle 1 der 24. BImSchV (Korrektursummand D zur Berücksichtigung der Raumnutzung) abgeleiteten Innenpegel (Korrektursummand D zuzüglich 3 dB(A)) als Beurteilungsmaßstab auch hinsichtlich sekundären Luftschalls heranzuziehen (siehe hierzu auch Kapitel 5.2.2).

Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass das Heranziehen von Anforderungswerten gemäß Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung für die Beurteilung sekundärer Luftschallimmissionen implizit

die in der Rechtsprechung allgemein anerkannten Zumutbarkeitsschwellen bei Innenraumpegeln tags von 40 dB(A) für Wohnräume und nachts von 30 dB(A) für Schlafräume berücksichtigt. Der Verordnungsgesamtext der **24. BImSchV** enthält

Anlage 12.4.1  
entfällt

**BImSchV** hat diese Zumutbarkeitsschwellen ebenfalls zu Grunde gelegt. Diese wurden vom Bundesverwaltungsgericht bereits in der Zeit vor Inkrafttreten der Verkehrslärmschutzverordnung (**16. BImSchV**) am Maßstab des **§ 74 (2) Satz 2 VwVfG** /4/ bestimmt. Da die **24. BImSchV** nicht nur Anforderungswerte für Wohn- und Schlafräume nennt, sondern ebenfalls Anforderungen für andere Nutzungen, sollen diese Anforderungswerte für die Beurteilung sekundärer Luftschallimmissionen hilfsweise herangezogen werden. Ungeachtet dessen ist die maßgebliche Grundlage der Beurteilung die von der Rechtsprechung entwickelte Zumutbarkeitsschwelle, von denen auch der Verordnungsgeber der **24. BImSchV** ausgegangen ist.

### 5.2.2 Anforderungswerte

In der Anlage zur **24. BImSchV** /3/ sind die mathematischen Beziehungen angegeben, nach denen das erforderliche bewertete Schalldämm-Maß der gesamten Außenfläche eines Raumes rechnerisch zu ermitteln ist, wenn auf Grund von Grenzwertüberschreitungen dem Grunde nach ein Rechtsanspruch auf Lärmvorsorgemaßnahmen besteht. Zur Vermeidung von Kommunikations- bzw. Schlafstörungen wurde festgelegt, dass die Beurteilungspegel in Wohnräumen tags 40 dB(A) bzw. in Schlafräumen nachts 30 dB(A) nicht überschreiten sollten. Für andere schutzbedürftige Räume gelten entsprechende Innenschallpegel. Im Korrektursummanden **D** sind zum einen die Innenraumpegel für die jeweilige Raumart einbezogen, zum anderen eine Korrektur von **3 dB**, die berücksichtigt, dass die Dämmwirkung von Außenbauteilen bei gerichtet einfallendem Schall geringer ausfällt als im diffusen Schallfeld. Unter Berücksichtigung dieses Sachverhaltes können die in **Tabelle 2** angegebenen Immissionsrichtwerte für eine Beurteilung des Innenschallpegels gemäß **24. BImSchV** abgeleitet werden. Der für den Tag und die Nacht zulässige Beurteilungspegel berechnet sich aus dem Korrektursummanden **D** wie folgt:

$$L_{r,N/T} = D + 3 \text{ dB.}$$

**Tabelle 2:** Immissionsrichtwerte für den sekundären Luftschall

Zeile	Raumnutzung	$L_{ri,T}$	
		[dB(A)]	[dB(A)]
1	Räume, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden	-	30
2	Wohnräume	40	-
3	Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftliche Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume	40	-
4	Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume	45	-
5	Großraumbüros, Schalterräume, Druckerräume von DV-Anlagen, soweit dort ständige Arbeitsplätze vorhanden sind	50	-
6	Sonstige Räume, die zum nicht nur Vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind	entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen	

Anlage 12.4.1  
entfällt

$L_{ri,T}$  = Beurteilungspegel innen tags in dB(A)

$L_{ri,N}$  = Beurteilungspegel innen nachts in dB(A)

### 5.2.3 Anwendung des „Schienenbonus“

Die 24. BImSchV sieht mit dem „Schienenbonus“ einen Lästigkeitsabschlag bei der Ermittlung des Beurteilungspegels von schienenverkehrsinduziertem Lärm vor. Die Anwendung des Schienenbonus in Höhe von 5 [dB(A)] wird von dem Bundesverwaltungsgericht in einem aktuellen Urteil /5/ bestätigt, in dem sich das Gericht mit der Beurteilung von sekundären Luftschallimmissionen befasst. So führt das Gericht aus, dass die Berücksichtigung eines Lästigkeitsunterschieds zu Gunsten des Schienenverkehrs im Rahmen der Anwendung von Anforderungswerten der 24. BImSchV für sekundäre Luftschallimmissionen nicht die normative Verankerung fehlt. Der Schienenbonus ist vielmehr ein Teil eines in sich schlüssigen Regelungskonzeptes. Daher ist auch in diesem Zusammenhang der Schienenbonus anzuwenden.

## 6 Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise

Anlage 12.4.1  
entfällt

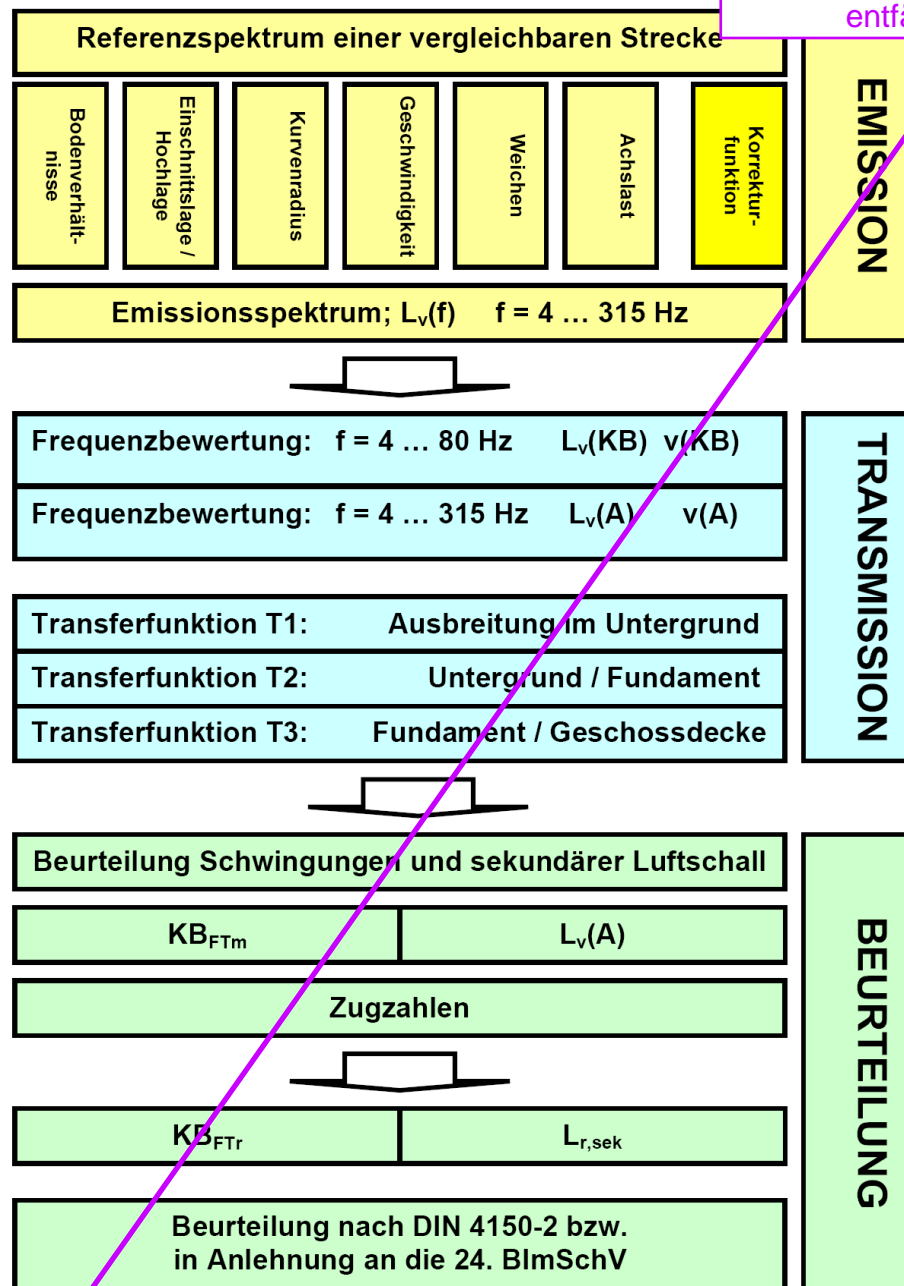
Ausgangspunkt der erschütterungstechnischen Untersuchung repräsentativer Untersuchungsobjekte. Im vorliegenden Fall wurden 25 Gebäude im Tunnelbereich des Abschnitts Frankfurt der Nordmainischen S-Bahn ausgewählt, die sich im direkten Einwirkungsbereich der Bahnstrecke befinden. Sie wurden so festgelegt, dass auf Grund der gegebenen Abstandsverhältnisse zur Trasse, der Tunnelüberdeckung und der vorhandenen Bausubstanz, ein mögliches Konfliktpotential nicht ausgeschlossen werden kann.

Im Falle einer Konfliktfreiheit bei diesen „kritischen“ Immissionsorten kann davon ausgegangen werden, dass auch an der übrigen Bebauung keine erheblichen Belästigungen durch Erschütterungen und sekundären Luftschall auftreten werden. Die untersuchten Objekte sind im Übersichtslageplan in **Anlage 12.4.1** farbig gekennzeichnet.

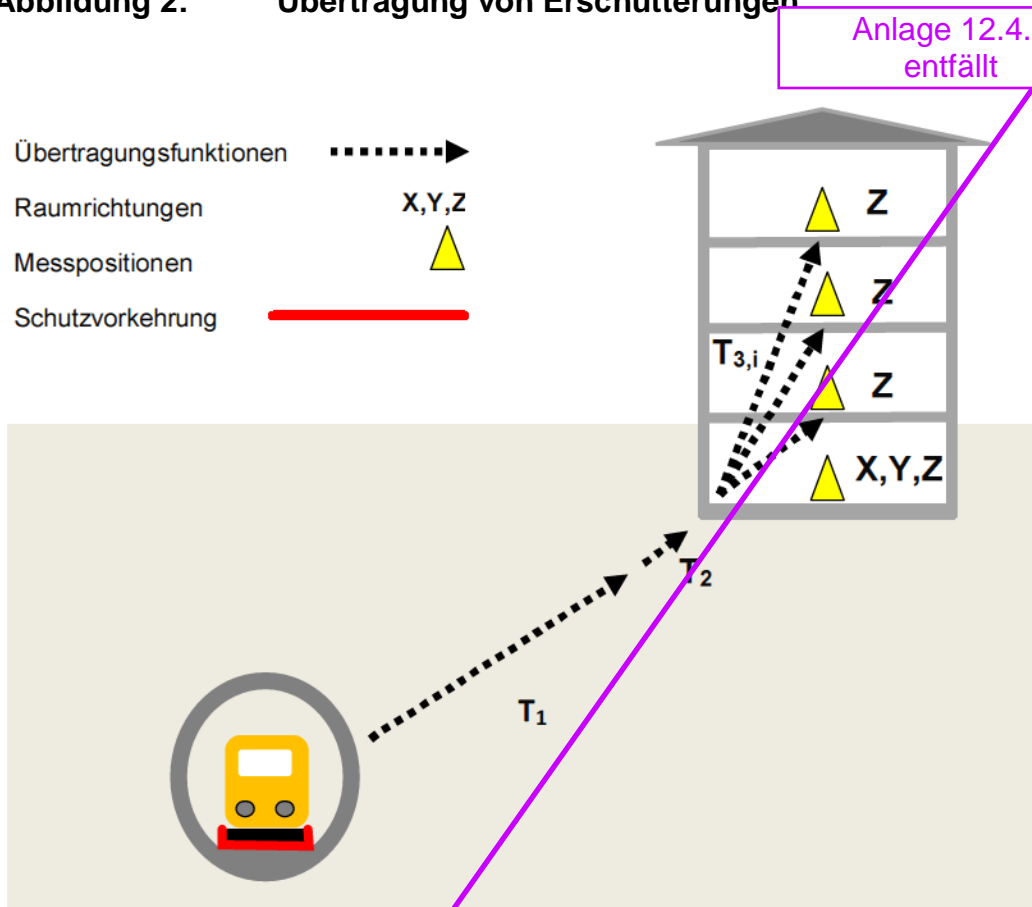
Zur Prognose der zukünftig auftretenden Immissionen wird ein Quellen- und Ausbreitungsmodell aufgestellt. Der prinzipielle Aufbau des Prognosemodells ist in der schematischen Darstellung in **Abbildung 1** erläutert. Für die Ermittlung der nach Inbetriebnahme einer geplanten Schienenverkehrsanlage auftretenden Schwingungsmissionen ist neben der Kenntnis der zukünftigen **Emissionen**, d.h. der erschütterungstechnischen Quellstärke, auch die Kenntnis der Schwingungsübertragungsverhältnisse (**Transferfunktionen**) vom Gleiskörper zu den Geschosdecken von Räumen, in denen sich Menschen aufhalten, erforderlich. Bei der Erstellung der Erschütterungsprognose wird von der in **Abbildung 2** skizzierten Übertragungskette ausgegangen. Die dargestellten Übertragungswege werden separat ermittelt und dann zu einer Gesamtübertragungsfunktion überlagert.

Da die Übertragungsfunktionen zum Teil stark frequenzabhängig sind, ist für die Prognose ein Berechnungsverfahren anzuwenden, dass die spektrale Zusammensetzung sowohl der Schwingungsemissionen als auch der einzelnen Transferfunktionen berücksichtigt. Die spektrale Auflösung erfolgt hierbei in Form von Terzbändern im Bereich von 4 bis 315 Hz.

**Abbildung 1:** Prognose verkehrsinduzierter Erschütterungen



**Abbildung 2: Übertragung von Erschütterungen**



- $T_1$  **Transferfunktion 1:** Übertragung im Erdreich  
 $T_2$  **Transferfunktion 2:** Übertragung Erdreich / Gebäudefundament  
 $T_3$  **Transferfunktion 3:** Übertragung Fundament / Geschossdecken

## 6.1 Emission

### 6.1.1 Emissionsspektrum

Bei unterirdischen Schienenverkehrswegen wird in der Regel die Emission durch die an der Tunnelwand in horizontaler oder am Tunnelfirst in vertikaler Richtung gemessene Schwingstärke charakterisiert. Teilweise werden jedoch auch messtechnisch ermittelte Schwingstärken an oberirdischen Referenzpunkten herangezogen. Die Auswahl geeigneter Emissionen für die Erstellung der Erschütterungsprognose erfolgt empirisch, indem Emissionsspektren mit vergleichbaren emissionsrelevanten Parametern aus vorliegenden Messergebnissen für bereits gebaute und in Betrieb befindliche Strecken herangezogen werden. Dem Grunde nach ist bei diesem

Verfahren das Prinzip der größtmöglichen Annäherung zu praktizieren, wobei vorrangig Tunnelbauweise, Fahrzeugtyp, Fahr- und die Oberbauform übereinstimmen sollten. Im Re- weitere Korrekturen an den Emissionen auf der Grundlage allgemeiner Erkenntnisse über Erschütterungsemissionen und -immissionen vorzunehmen. Zuschläge sind z. B. für die Tunnelform, Geschwindigkeitsdifferenzen oder dem Messverfahren anzuwenden.

Anlage 12.4.1  
entfällt

Grundsätzlich gilt bei der Ermittlung des Emissionsansatzes der Grundsatz der oberen Abschätzung. Alle Emissionsansätze sind so zu treffen, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit gewährleistet werden kann, dass die nach Inbetriebnahme tatsächlich auftretenden Immissionen an betroffenen Gebäuden geringer sein werden als die prognostizierten Einwirkungen.

Für die vorliegende Untersuchung wurde das Emissionsspektrum für einen ET 420 den Körperschallmessungen in und auf dem Flughafentunnel Frankfurt entnommen. /17/ Das Ausgangsemissionsspektrum ist in **Anhang 2.1** graphisch dargestellt.

#### 6.1.2 Korrekturfunktionen

Der Tunnel im Untersuchungsbereich der Nordmainischen S-Bahn, Abschnitt Frankfurt wird größtenteils als 2 eingleisige Tunnel in bergmännischer Bauweise geplant. Als Oberbau ist ein „Schotteroberbau“ mit Betonschwellen vorgesehen.

Das Ausgangsspektrum der S-Bahn wurde an einem zweigleisigen Tunnel in offener Bauweise ermittelt. Daher ist eine geeignete Korrektur vorzunehmen, sodass der Emissionsansatz dem eines eingleisigen bergmännisch aufgefahrenen Tunnels entspricht. Da das herangezogene Spektrum nicht nach dem Max-Hold-Verfahren gemessen wurde, ist ebenfalls eine Korrekturfunktion zur nachträglichen Korrektur des Messverfahrens anzuwenden. Die angewendeten Korrekturfunktionen sind in **Anhang 2.1**, Seite 2 bis 4 dokumentiert. Des Weiteren ist eine Anpassung der Geschwindigkeit vorzunehmen. Die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit im Tunnel beträgt

$$v = 80 \text{ km/h.}$$

Für die differierende Geschwindigkeit erfolgt eine Korrekturfunktion von

$$\Delta L_v = \pm 0,10 \text{ dB je km/h.}$$

Anlage 12.4.1  
entfällt

Das der Prognose zu Grunde gelegte korrigierte Emissionsniveau findet sich in **Anhang 2.1**, Seite 5.

## 6.2 Transmission

Der Übertragungsweg von schienenverkehrsinduzierten Schwingungen auf die für die Beurteilung relevanten Geschossdecken eines Gebäudes wird in einzelne Übertragungsfunktionen (Transferfunktionen) untergliedert:

### 6.2.1 Transferfunktion 1

Als Transferfunktion  $T_1$  wird die entfernungsbedingte Amplitudenabnahme der Schwingungsschnelle zwischen Emissionsort und einem Ort im Erdreich unmittelbar vor einem Gebäude bezeichnet. Sie setzt sich aus geometrischer Ausbreitungsdämpfung und frequenzabhängiger Materialdämpfung des Ausbreitungsmediums, d.h. dem Boden zusammen. Um den Bereich der freien Wellenausbreitung (Fernfeld) von den komplexen Vorgängen in unmittelbarer Nähe der Erschütterungsquellen (Nahfeld) zu trennen, wird ein Bezugsabstand  $R_1$  zur Quellenmitte festgelegt, der den Übergang vom Nahfeld zum Fernfeld definiert. Im Fernfeld ( $R > R_1$ ) wird die Funktion rechnerisch unter Berücksichtigung der gegebenen Bodenverhältnisse bestimmt:

$$T_1 = \left( \frac{R}{R_1} \right)^{-n} e^{(-\alpha(R-R_1))}$$

mit

- n** Exponent, der von Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingungen abhängt,
- $\alpha$**   $\approx 2 \pi D/\lambda$  Abklingkoeffizient [ $m^{-1}$ ],
- D** Dämpfungsgrad,
- $\lambda$**   $= c/f$  Wellenlänge [m],
- c** Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle [m/s],
- f** Frequenz [Hz],
- $R_1$**  Bezugsabstand [m],
- R** Entfernung des Immissionsortes von der Quelle [m].

Im vorliegenden Fall wurde von **1 %** Dämpfung und von **400 m/s** als Ausbreitungsgeschwindigkeit **c** für die Raumwellen ausgehend für den als Linienquelle zu betrachtenden unterirdischen Verkehr wird gemäß **DIN 4150-1 /6/** im Sinne einer oberen Abschätzung mit

Anlage 12.4.1  
entfällt

$$n = 0,5$$

berücksichtigt.

### 6.2.2 Transferfunktion 2

Die Transferfunktion **T<sub>2</sub>** beschreibt das Übertragungsverhalten vom Boden auf das Gebäudfundament. Sie unterliegt selbst bei verschiedenen Gebäudetypen relativ geringen Schwankungen und weist keine ausgeprägte spektrale Abhängigkeit auf. Erschütterungen werden umso leichter auf ein Gebäude übertragen, je geringer die Gebäudemasse ist. Eine messtechnische Ermittlung des Übertragungsverhaltens vom Boden auf das Fundament wurde im Rahmen dieser Untersuchung nicht durchgeführt. Die Transferfunktion 2 wurde daher aus Messungen an vergleichbaren Gebäudetypen übernommen. Eine graphische und tabellarische Darstellung findet sich in **Anhang 3**.

### 6.2.3 Transferfunktion 3

Die Transferfunktion **T<sub>3</sub>** beschreibt das Übertragungsverhalten innerhalb eines Gebäudes vom Fundament auf die Geschossdecken schutzwürdiger Räume. Für die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen im Hinblick auf die Störwirkung von Menschen beim Aufenthalt in Gebäuden sind die Schwingungseinwirkungen in Raummitte maßgebend. Die Transferfunktion 3 kennzeichnet im Wesentlichen das Resonanzverhalten einer Decke und weist neben starken spektralen Abhängigkeiten ausgeprägte Maxima im Bereich der Deckeneigenfrequenz auf. Sie ist im hohen Maße gebäudeabhängig und kann stark variieren. Ursächlich hierfür sind vor allem Spannweiten und Konstruktionsweise der Decken.

Da die Transferfunktion **T<sub>3</sub>** im hohen Maße Einfluss auf das Prognoseergebnis nimmt, wurden diese Übertragungsfunktionen für die zu untersuchenden Gebäude messtechnisch ermittelt. Hierzu wurde in 3 Räumen das Schwingungsverhalten der Geschossdecken messtechnisch bestimmt. Die Erschütterungsmessungen zur Erhebung der bauphysikalischen

schen Eigenschaften der Gebäude wurden im Zeitraum vom 09.09.2008 bis 25.09.2008 durchgeführt.

Anlage 12.4.1  
entfällt

## 6.3 Immissionen

### 6.3.1 Erschütterungen

Als Erschütterungsimmissionen werden die bauwerksbezogenen, gemäß **DIN 4150-2** für die Mitte von Räumen ermittelten, KB-bewerteten Schwingstärken bezeichnet. Da hier die Vertikalkomponente (Z-Richtung) die Horizontalkomponenten (X-, Y-Richtung) übersteigt, werden die Prognoseberechnungen ausschließlich für die Vertikalkomponenten der Erschütterungsimmissionen durchgeführt. Der relevante Frequenzbereich wird in DIN 4150-2 auf 80 Hz begrenzt.

### 6.3.2 Sekundärer Luftschall

Die Prognose des sekundären Luftschallpegels im Innenraum  $L_I$  basiert auf dem zuvor berechneten maximalen zeitbewerteten Körperschallschnellepegel  $L_v$ . Dieser entspricht dem Maximalpegel der Schwingstärke, der jedoch im Gegensatz zum  $KB_{Fmax}$ -Wert keiner KB-Bewertung, sondern einer A-Bewertung unterzogen wird. Der theoretische Zusammenhang zwischen ermittelter Körperschallschnelle und sekundärem Luftschall kann wie folgt beschrieben werden:

$$L_{sek} = L_v + 10 \log \sigma + 10 \log (4 S/F)$$

mit

- $L_{sek}$  sekundärer Luftschallpegel des betrachteten Bauteils [dB(A)],  
 $L_v$  mittlerer A-bewerteter Körperschallschnellepegel des betrachteten Bauteils [dB(A)],  
 $\sigma$  Abstrahlgrad des betrachteten Bauteils,  
 $S$  Fläche des betrachteten Bauteils [m<sup>2</sup>],  
 $F$  äquivalente Absorptionsfläche des Raumes [m<sup>2</sup>].

In der Praxis lässt sich die genannte Beziehung jedoch nur schwer anwenden, da die Körperschallschnelle nicht nur in Deckenmitte, sondern an allen betrachteten Bauteilen (also auch an Wänden und Raumdecken) gemessen werden müsste. Weiterhin ist die Bestimmung des Abstrahlgrades mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Im vorliegenden Fall wurde daher zur Bestimmung des für den sekundären Luftschall der Leitfaden „Körperschall“ der DB AG /14/ herangezogen. Hierin wird ein linearer Zusammenhang zwischen dem A-bewerteten Körperschallschnellepegel und dem sekundären Luftschallpegel genannt. Die Abhängigkeiten wurden dabei für verschiedene Zuggattungen und Deckenkonstruktionsformen (Stahlbetondecken, Holzbalkendecken) beschrieben. Demnach kann zur Ermittlung der Einwirkungen aus sekundärem Luftschall, hervorgerufen durch schienengebundenen S-Bahnverkehr, in erster Näherung folgende Beziehung herangezogen werden:

Anlage 12.4.1  
entfällt

- ☐  $L_I = 17,6 + 0,62 \cdot L_{vA}$  für Stahlbetondecken,
- ☐  $L_I = 27,5 + 0,34 \cdot L_{vA}$  für Holzbalkendecken,

mit

$L_I$  A-bewerteter sekundärer Luftschallpegel [dB(A)],

$L_{vA}$  A-bewerteter Körperschallschnellepegel in Fußbodenmitte [dB(A)]

Entgegen der Vorgehensweise bei der Ermittlung der maximalen bewerteten Schwingstärke  $KB_{Fmax}$ , bei der ein Frequenzbereich von 4 bis 80 Hz untersucht wird, wird der A-bewertete Körperschallschnellepegel  $L_{vA}$  in einem Frequenzbereich bis zu 315 Hz berechnet.

Die Durchführung der Prognoseberechnungen erfolgt zunächst ohne Berücksichtigung von Vorsorgemaßnahmen am Oberbau bzw. am Tunnelbauwerk. Soweit die Abschätzungen Hinweise auf Konfliktpotentiale liefern, werden geeignete Schutzmaßnahmen im Modell, das heißt deren Einfügedämmung berücksichtigt. Anschließend erfolgt erneut die Überprüfung, ob die Maßnahme geeignet ist, den Immissionsschutz zu gewährleisten. Die Auswirkungen auf die Dimensionierung des Tunnelbauwerkes werden aufgezeigt

## 6.4 Betriebsparameter

Für die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärken ist die Kenntnis der Intensität von Schwingungsimmissionen sowie deren Einwirkdauer erforderlich. Die Intensität am Einwirkungsort wird maßgeblich durch die zugspezifische Emission sowie die gelände- und gebäudespezifische Über-

tragung geprägt. Hinsichtlich der Erschütterungen ist bei der Ermittlung der Einwirkdauer das 30-Sekunden-Taktverfahren gemäß **Anlage 12.4.1** zu beachten.

Anlage 12.4.1  
entfällt

Die vorliegende Untersuchung wurde auf der Grundlage eines für den Ausbau prognostizierten Betriebskonzeptes für das Jahr 2025 auf der Basis des Bedarfsplanüberprüfung 2010 erstellt. /19/ Eine Zusammenstellung der relevanten Verkehrsdaten findet sich in **Anhang 2.2**.

Die Einwirkungszeit, jeweils bezogen auf den Beurteilungszeitraum Tag (06.00 bis 22.00 Uhr) bzw. Nacht (22.00 bis 06.00 Uhr), ergibt sich aus der Gesamtzahl der in dem betreffenden Streckenabschnitt innerhalb des Beurteilungszeitraumes verkehrenden Schienenfahrzeuge und deren geschwindigkeitsabhängiger geometrischer Vorbeifahrzeit. Um zu berücksichtigen, dass Fahrzeuge bereits vor und auch nach der Vorbeifahrt wahrgenommen werden können, wird bei der Bestimmung der signifikanten Einwirkungszeit einer Zugvorbeifahrt zur Zuglänge jeweils die 2-fache Fahrzeuglänge berücksichtigt. Die Einwirkungszeit ( $T_e$ ) wird mit der nachfolgend aufgeführten Gleichung berechnet:

$$T_e = (2,0 \cdot \text{Zuglänge} \cdot 3,6) / v_{\max}$$

mit

$T_e$  Einwirkzeit für eine Zugvorbeifahrt

$v_{\max}$  maximale Strecken- bzw. zugspezifische Höchstgeschwindigkeit  
[km/h]

## 7 Untersuchungsergebnisse

Maßgeblich für die Beurteilung der Frage, ob schienenverkehrsinduzierte Erschütterungsimmissionen bzw. sekundäre Luftschallimmissionen im Bereich der vorhandenen bzw. geplanten Bahnanlage geeignet sind, erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden hervorzurufen, werden die zu den Gleisachsen nächstgelegenen Gebäude.

Die Ergebnisse der Immissionsprognosen für Erschütterungen und sekundären Luftschall sind in **Anhang 4** und **Anhang 5** tabellarisch aufgeführt. Die Immissionen werden für alle untersuchten Räume getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum ausgewiesen und beurteilt. **Grün** hinterlegte Fel-

der bedeuten, dass die jeweils gültigen Anforderungen an den Immissionsschutz erfüllt werden. Bei **rot** hinterlegten Feldern sind die Anforderungen nicht erfüllt. Sind Felder **gelb** gekennzeichnet, so sind weitere Untersuchungsschritte erforderlich. Sind Felder farblich nicht hinterlegt, so findet keine schützwürdige Nutzung im Beurteilungszeitraum statt.

Anlage 12.4.1  
entfällt

Sofern die prognostizierten betriebsbedingten Immissionen das Erfordernis von Schutzmaßnahmen ausweisen, werden diese anschließend diskutiert.

## 7.1 Prognose ohne Schutzmaßnahmen

### 7.1.1 Erschütterungen

Die zu prognostizierenden Erschütterungsimmissionen ohne Schutzmaßnahmen am Oberbau sind in **Anhang 4.1** dargestellt. In der Tabelle auf Seite 1 des Anhangs werden die maximalen bewerteten Schwingstärken **KB<sub>Fmax</sub>** ausgewiesen. Es ergeben sich maximale bewertete Schwingstärken für die untersuchten Gebäude von bis zu

$$\mathbf{KB_{Fmax} = 0,760.}$$

Die gemäß DIN 4150-2 für die jeweiligen Gebietsnutzungen geltenden unteren Anhaltswerte für den Tag- bzw. Nachtzeitraum werden somit größtenteils überschritten. Zur Beurteilung der Erschütterungsimmissionen wird der zweite Schritt gemäß DIN 4150-2, d.h. die Bildung der Beurteilungsschwingstärke, erforderlich.

In der Tabelle auf Seite 2 des **Anhangs 4.1** sind die prognostizierten Beurteilungsschwingstärken zusammengefasst. Es ergeben sich maximale Schwingungsimmissionen von

$$\mathbf{KB_{FT} = 0,188 / 0,078}$$

für den Tag- bzw. Nachtzeitraum. Auf Seite 3 des Anhangs wird die prozentuale Ausschöpfung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 dargestellt. Das Ergebnis zeigt, dass die Beurteilungsanhaltswerte gemäß DIN 4150-2 bereits ohne Schutzmaßnahmen an ca. 25 % Gebäuden überschritten werden. Es besteht demgemäß das Erfordernis für Vorsorgemaßnahmen zur Begrenzung der Erschütterungsemissionen des Tunnelbauwerkes.

### 7.1.2 Sekundärer Luftschall

Die Ergebnisse der sekundären Luftschallimmissionen dargestellt. Für den Nullfall werden Beurteilungspegel in den Innenräumen der untersuchten Gebäude von bis zu

Anlage 12.4.1  
entfällt

$$L_{r,i} = 30,2 / 21,4 \text{ dB(A)}$$

für den Tag- bzw. Nachtzeitraum prognostiziert. Somit werden die in Anlehnung an die 24. BImSchV abgeleiteten Immissionsrichtwerte für alle Gebäude eingehalten. Demzufolge sind Belästigungen infolge sekundärer Luftschallimmissionen bereits ohne Schutzmaßnahmen nicht zu erwarten. Hinsichtlich sekundärer Luftschallimmissionen besteht somit kein Erfordernis für erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen.

## 7.2 Dimensionierung von Vorsorgemaßnahmen

### 7.2.1 Grundsätzlich mögliche Maßnahmen

Grundsätzlich können Maßnahmen zum Erschütterungsschutz an unterirdisch geführten Bahnanlagen in zwei Gruppen untergliedert werden:

- ☐ Maßnahmen an der Quelle
- ☐ Maßnahmen am Immissionsort.

Maßnahmen an der Quelle beziehen sich auf den Oberbau und zielen darauf ab, die erschütterungstechnische Quellstärke (Emission) im Zusammenwirken Fahrzeug-Fahrweg zu reduzieren. Bei Maßnahmen am Immissionsort handelt es sich um abschirmende Maßnahmen. Allerdings wird hierbei nicht die Quelle sondern der Immissionsort selbst, das heißt entweder das gesamte Gebäude oder ein Teil des Gebäudes durch elastische Lagerungen abgeschirmt. Im Folgenden wird auf die einzelnen, grundsätzlich möglichen, Maßnahmen näher eingegangen.

### 7.2.2 Maßnahmen an der Quelle

#### 7.2.2.1 Masse-Feder-Systeme

Zur Emissionsminderung im Gleisbereich können elastisch gelagerte Gleistragplatten, so genannte „**Masse-Feder-Systeme**“ eingesetzt werden. Bei entsprechender Auslegung der Federelemente und bei einem

hinreichend steifen Untergrund können solche Systeme auf vertikale Oberbaueigenfrequenzen von deutlich unter 10 Hz ab. Mit dem Einsatz solcher „**schweren Masse-Feder-Systeme**“

Anlage 12.4.1  
entfällt

die Immissionen aus dem Schienenverkehr in weiten Bereichen erheblich vermindern. In Teilbereichen, in denen sich Gebäudestrukturen mit sehr tiefen Eigenfrequenzen (zum Beispiel weit gespannte Decken mit Eigenfrequenzen von 8 bis 10 Hz) befinden, lassen sich keine signifikanten Minderungen der Erschütterungen erzielen, da die Einfügungsdämmung solcher Masse-Feder-Systeme in dem Frequenzbereich unter Umständen positive Werte erreicht.

Der Einbau von Masse-Feder-Systemen wurde bereits häufig bei unterirdischen Schienenverkehrsanlagen mit großem Erfolg praktiziert. Bei sogenannten leichten Masse-Feder-Systemen, als Masse-Feder-Systeme, deren vertikale Oberbaueigenfrequenz oberhalb von 10 Hz liegt, kommen als Federelement flächige oder streifenförmig angeordnete Elastomerlager zum Einsatz, die beim Betonieren der Gleistragplatte als verlorene Schalung eingebracht werden.

#### 7.2.2.2 Unterschottermatten

Unterschottermatten werden häufig in Tunnelbauwerken zur Verringerung von Körperschallübertragung eingesetzt. Um eine hohe Funktionsfähigkeit der Unterschottermatte zu gewährleisten, muss ein möglichst steifer Unterbau, wie dies bei einer Tunnelsohle der Fall ist, vorliegen. Die Einfügungsdämmung weist in Abhängigkeit vom Oberbau und der dynamischen Steifigkeit der Matte ein lokales Minimum zwischen 20 und 30 Hz auf. Die Unterschottermatte reduziert ferner die hohe Beanspruchung des Schotter auf der Betonsohle. Sie gewährleistet eine gleichmäßigere Einsenkung und damit einen besseren Fahrzeuglauf.

#### 7.2.3 Maßnahmen am Immissionsort

##### 7.2.3.1 Konstruktive Änderung an Gebäuden

Durch Maßnahmen an Deckenbauteilen, wie zum Beispiel Erhöhung der Deckenmassen (Ausbetonieren von Fehlböden) bzw. Versteifung der Decken durch Einziehen zusätzlicher Tragsysteme (Stahlprofile) können die dynamischen Eigenschaften von Deckenaufbauten so verändert werden, dass ungünstige Resonanzkopplungen abgebaut werden. Die Maßnahmen stellen in der Regel einen erheblichen baulichen Eingriff in das Ge-

bäude dar und sind daher lediglich in begründeten Ausnahmefällen zu empfehlen.

Anlage 12.4.1  
entfällt

### 7.2.3.2 Elastische Auflagerung von Gebäuden

Im Sinne einer passiven Erschütterungsschutzmaßnahme kann eine nachträgliche elastische Lagerung eines Gebäudes zur Minderung der Erschütterungsimmissionen in diesem Gebäude erfolgen. Prinzipiell ist eine elastische Lagerung von Gebäuden eine wirkungsvolle Maßnahme. Bei Neuplanungen können derartige Abfederungsmaßnahmen mit vertretbarem technischem und finanziellem Aufwand praktiziert werden. Bei einer nachträglichen Auflagerung von Gebäuden sind zahlreiche konstruktive Probleme zu berücksichtigen, auf die an dieser Stelle nicht im Einzelnen eingegangen werden soll. Die nachträgliche Auflagerung von Gebäuden wurde in vielen Fällen zur Sanierung von Gebäuden, zum Beispiel zum Ausgleich unterschiedlicher Setzungen in Bergsenkungsgebieten, eingesetzt. Die Auflagerung zur Behebung von Setzungsschäden geht zwar von einer anderen Zielsetzung aus, unterscheidet sich jedoch von einer Auflagerung aus Gründen des Schwingungsschutzes lediglich in der Auswahl der Federkörper. Besteht eine Eignung des Gebäudes für eine solche nachträgliche Auflagerung so ist bei entsprechender Auswahl der geeigneten Federkörper eine erhebliche Minderung der Immissionen zu erwarten. Zur Entkopplung des Gebäudes können sowohl Elastomer Federelemente als auch Stahlfederelemente in Erwägung gezogen werden. Bei Lagerung mit Elastomerelementen sind Abstimmfrequenzen bis herab zu 10 Hz möglich. Mit Stahlfedersystemen lassen sich vertikale Gebäudeeigenfrequenzen von bis zu 4 Hz realisieren. Aufgrund der erheblichen Kosten für eine derartige Maßnahme ist der Aufwand lediglich für besonders exponierte einzelne Objekte angemessen. Der Einsatz solcher Maßnahmen ist daher ausschließlich im Einzelfall sinnvoll.

## 7.3 Praktikable Maßnahmen für die Nordmainische S-Bahn

Im vorliegenden Fall kommt als einzig sinnvolle Vorsorgemaßnahme der Einbau einer Unterschottermatte (**USM**) im Tunnel in Betracht. Alle anderen in Kapitel 7.2 genannten Maßnahmen scheiden auf Grund wirtschaftlicher oder technischer Zwangspunkte aus. In Anbetracht des Sachverhaltes, dass der Oberbau im Tunnel als Schotteroberbau ausgeführt werden soll, handelt es sich hierbei um eine in der Praxis bewährte Technologie, die darüber hinaus im Rahmen der Genehmigungsplanung bzw. der Ausführungsplanung individuellen Erfordernissen leicht angepasst werden

kann. Im vorliegenden Fall wird der Einsatz einer Unterschottermatte in Betracht gezogen, die die erste Oberbaueigenfrequenz

Anlage 12.4.1  
entfällt

$$f_0 = 25 \text{ Hz}$$

absenkt. Im Sinne einer oberen Abschätzung wird für diese Frequenz eine Resonanzverstärkung, das heißt eine negative Einfügedämmung von

$$E_D = - 8 \text{ dB}$$

unterstellt. Erfahrungsgemäß fallen diese Resonanzüberhöhungen, bzw. der Einbruch in der Einfügungsdämmung, deutlich geringer aus. Des Weiteren wird die im oberen Frequenzbereich maximal erzielbare Einfügungsdämmung auf einen Wert von

$$E_D = 15 \text{ dB}$$

begrenzt. Hierbei handelt es sich um eine konservative Annahme zur erzielbaren Einfügungsdämmung in diesem Frequenzbereich. Die Einfügungsdämmkurve der berücksichtigten Unterschottermatte ist in **Anhang 6** zu finden. Die dimensionierte oberbautechnische Vorsorgemaßnahme ist für die in **Tabelle 3** ausgewiesenen Streckenabschnitte vorzusehen:

**Tabelle 3 : Erstreckung der Vorsorgemaßnahme**

Gleis Nr.	Vorsorgemaßnahme		
	System	von km	bis km
41	USM: $f_0 = 25 \text{ Hz}$	52,9+01	53,7+16
42	USM: $f_0 = 25 \text{ Hz}$	52,9+06	53,7+16

## 7.4 Prognose mit Schutzmaßnahmen

### 7.4.1 Erschütterungen

In **Anhang 4.2** sind die prognostizierten Erschütterungsimmissionen für den Planfall mit Schutzmaßnahme dargestellt. In der Tabelle auf Seite 1 des Anhangs werden die maximalen bewerteten Schwingstärken  $KB_{Fmax}$  ausgewiesen. Ohne Schutzmaßnahmen ergeben sich zukünftig maximale bewertete Schwingstärken von bis zu

$$KB_{Fmax} = 0,335.$$

Anlage 12.4.1  
entfällt

Die unteren Anhaltswerte gemäß DIN 4150-2 werden im Planfall ohne Schutzmaßnahme für deutlich weniger der untersuchten Gebäude überschritten. Zur weiteren Beurteilung der Einwirkungen wird der zweite Schritt gemäß DIN 4150-2, d.h. die Bildung der Beurteilungsschwingstärke, dennoch erforderlich. Auf Seite 2 des **Anhangs 4.2** sind die prognostizierten Beurteilungsschwingstärken zusammengefasst. Die Schwingungsimmersionen für den Planfall erreichen maximale Beurteilungsschwingstärken von

$$KB_{FT} = 0,083 / 0,034$$

tags bzw. nachts. Die Ausschöpfung der zulässigen Anhaltswerte nach DIN 4150-2 ist auf Seite 3 des Anhangs dargestellt. Das Ergebnis zeigt, dass die Beurteilungsanhaltswerte gemäß DIN 4150-2 an allen untersuchten Gebäuden deutlich unterschritten werden. Durch den Einsatz von Unterschottermatten als Vorsorgemaßnahme können somit erheblich belästigende Einwirkungen infolge Erschütterungsimmersionen vermieden werden.

#### 7.4.2 Sekundärer Luftschall

Die Ergebnisse der sekundären Luftschallimmersionen für den Planfall mit Schutzmaßnahmen sind in **Anhang 5.2** dargestellt. Es ergeben sich Beurteilungspegel in den untersuchten Gebäuden von bis zu

$$L_{r,l} = 21,9 / 13,1 \text{ dB(A)}$$

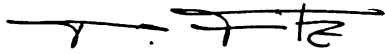
für den Tag- bzw. Nachtzeitraum. Somit werden die in Anlehnung an die 24. BImSchV abgeleiteten Immissionsrichtwerte, deutlich unterschritten. Es ergeben sich gegenüber dem Planfall ohne Schutzmaßnahmen wesentlich geringere Immissionen.

## 8 Abschließende Beurteilung

Die durchgeführten Voruntersuchungen belegen, dass die aus dem Betrieb der S-Bahn im unterirdischen Streckenabschnitt zu erwartenden Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundären Luftschallimmersionen durch den Einsatz von Unterschottermatten soweit begrenzt werden kön-

nen, sodass erheblich belästigende Einwirkungen in Wohnungen und anderen schutzbedürftigen Räumen vermieden werden können.

Anlage 12.4.1  
entfällt



**Dipl.-Phys. Peter Fritz**



**Dipl.-Ing. Rolf Schneider**

Anlage 12.4.1  
entfällt

# ANHANG

---

**Projekt:**  
**Auftraggeber:**

08500-VVE-7 □ Fassung vom 26.05.2011 □ Nordmainische S-Bahn  
DB ProjektBau GmbH □ Hahnstraße 49 □ 60528 Frankfurt am Main