



ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHE UNTERSUCHUNG

BAUVORHABEN:	S-Bahn Rhein-Main, Nordmainische S-Bahn
ABSCHNITT:	Planfeststellungsabschnitt 3 - Hanau
UMFANG:	Ermittlung und Beurteilung der schienenverkehrsinduzierten Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall auf Grundlage der Betriebsprognose für das Jahr 2030
AUFTRAGGEBER:	DB Netz AG I.NG-MI-N Hahnstraße 49 60528 Frankfurt am Main
BEARBEITUNG:	KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH Heinrich-Hertz-Straße 2 64295 Darmstadt T 06151 885-383 F 06151 885-220
AKTENZEICHEN:	20178005-805-VVE-12
DATUM:	Darmstadt, 23.02.2021

Dieser Bericht umfasst 38 Seiten und 7 Anhänge mit 50 Blättern.

Dieser Bericht ist nur für den Gebrauch des Auftraggebers im Zusammenhang mit dem oben genannten Vorhaben bestimmt. Eine darüberhinausgehende Verwendung, vor allem durch Dritte, unterliegt dem Schutz des Urheberrechts gemäß UrhG.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	6
2	Sachverhalt und Aufgabenstellung	7
3	Bearbeitungsgrundlagen	9
3.1	Rechtsgrundlagen und Regelwerke	9
3.2	Planunterlagen	9
4	Beschreibung des Planvorhabens	11
4.1	Projektbeschreibung	11
4.2	Einwirkungsbereich	12
4.3	Immissionsschutzrechtliche Einstufung	12
5	Anforderungen an den Immissionsschutz	12
5.1	Erschütterungen	12
5.1.1	Beurteilungsverfahren	13
5.1.2	Anhaltswerte	13
5.1.3	Kriterien einer wesentlichen Erhöhung	14
5.1.4	Grenze der Eigentums- und Gesundheitsverletzungen	15
5.1.5	Lösen von Schutzfällen	15
5.2	Sekundärer Luftschall	15
5.2.1	Grundlagen der Beurteilung	15
5.2.2	Anforderungswerte	17
5.2.3	Anwendung des „Schienenbonus“	17
5.2.4	Kriterien einer wesentlichen Erhöhung	18
5.2.5	Lösen von Schutzfällen	18
6	Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise	18
6.1	Prognosemodell	19
6.1.1	Emissionen	20
6.1.2	Transmission	21
6.2	Immissionen	23
6.2.1	Erschütterungen	23
6.2.2	Sekundärer Luftschall	23

6.3	Betriebsparameter der Bahnstrecke	24
7	Untersuchungsergebnisse	25
7.1	Immissionen im Nullfall	27
7.1.1	Erschütterungen	27
7.1.2	Prognose-Planfall	28
7.1.3	Wesentliche Erhöhung	29
7.2	Dimensionierung von Vorsorgemaßnahmen	29
7.2.1	Anspruchsberechtigung	29
7.2.2	Grundsätzlich mögliche Maßnahmen	29
7.2.3	Maßnahmen an der Quelle	30
7.2.4	Maßnahmen im Ausbreitungsweg	32
7.2.5	Maßnahmen am Immissionsort	33
7.3	Im vorliegenden Fall geeignete Maßnahmen	34
7.4	Prognose mit Minderungsmaßnahmen	35
7.5	Grenze der Eigentums- und Gesundheitsverletzungen	35
7.6	Extrapolation der Untersuchungsergebnisse	36
8	Abschließende Bemerkungen	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übertragungen von Erschütterungen.....	20
--------------	--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Wesentliche Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen	14
Tabelle 2:	Immissionsrichtwerte für den sekundären Luftschall	17
Tabelle 3:	Betriebsprogramm der Strecke 3660 (PNF/PPF)	25
Tabelle 4:	Betriebsprogramm der Strecke 3674 (PNF/PPF)	25
Tabelle 5:	Betriebsprogramm der Strecke 3685 (PPF).....	25
Tabelle 6:	Erforderliche Erstreckung der Vorsorgemaßnahme	34
Tabelle 7:	Erforderliche Erstreckung der Vorsorgemaßnahme	37

Anhänge

Anhang 1	Emissionen
Anhang 2	Ausbreitungsbedingungen
Anhang 3	Betriebsprogramm
Anhang 4.1	Prognose-Nullfall
Anhang 4.2	Prognose-Planfall
Anhang 4.3	Wesentliche Erhöhung
Anhang 5.1	Prognose-Nullfall
Anhang 5.2	Prognose-Planfall mit Minderungsmaßnahme „besohlte Schwelle“
Anhang 5.3	Wesentliche Erhöhung mit Minderungsmaßnahme „besohlte Schwelle“
Anhang 6	Lageplanausschnitte
Anhang 7	Einfügungsdämmung System „besohlte Schwelle“

Abkürzungsverzeichnis

A	Anhaltswert [-]
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
dB	Dezibel
ΔL	Pegeldifferenz [dB]
f	Frequenz [Hz]
f ₀	Deckeneigenfrequenz [Hz]
FV	Personenfernverkehr
GE	Gewerbegebiet
GV/GE	Güterverkehr, Güterzüge
Hz	Hertz, Schwingung je Sekunde
IRW	Immissionsrichtwert [dB(A)]
IC E	InterCityExpress
KB _{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke [-]
KB _{FTr}	Beurteilungsschwingstärke [-]
L _{AF}	A-bewerteter Schalldruckpegel [dB(A)]
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

n	Exponent der Wellenart nach DIN 4150-1
NV	Personennahverkehr
PNF	Prognose-Nullfall
PPF	Prognose-Planfall
r, R	Abstand [m]
RE/RB	Regionalbahn
R ₁	Bezugsabstand [m]
SchO	Schotteroberbau
T	Übertragungsfunktion [dB]
T _e	Einwirkungszeit einer Zugvorbeifahrt [s]
T _{ge}	Einwirkungszeit einer geometrischen Zugvorbeifahrt [s]
T ₁	Übertragung vom Referenzabstand (8 m) bis vor das Gebäude [dB]
T ₂	Übertragung vom Erdreich auf das Gebäudfundament [dB]
T ₃	Übertragung vom Gebäudfundament auf die Geschossdecken [dB]
v ₀	Referenzwert für die Schwingschnelle [5·10 ⁻⁸ m/s]
v _{max.}	maximale Geschwindigkeit [km/h]
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz
WA	Allgemeines Wohngebiet
WE	Wohneinheit

1 Zusammenfassung

Die erschütterungstechnische Untersuchung für den Abschnitt Hanau (PFA 3) des Vorhabens „Nordmainischen S-Bahn“ hat zu folgenden Ergebnissen geführt:

- ❑ Im gesamten Untersuchungsbereich besteht eine erschütterungstechnische Vorbelastung durch die vorhandene Bahnstrecke. Relevante Erschütterungsimmissionen treten dabei lediglich an den nächstgelegenen Gebäuden auf. Für diese wurde geprüft, ob es durch den Betrieb der geplanten S-Bahn-Strecke zu einer Erhöhung der bereits gegenwärtig auftretenden Erschütterungsimmissionen kommt und ob diese eine „wesentlichen Änderung“ im Hinblick auf den Erschütterungsschutz darstellen, die Vorsorgemaßnahmen erforderlich machen.
- ❑ Unter Berücksichtigung der bestehenden und der planungsbedingten Abstände der Gleisanlagen zu nahe gelegenen Gebäuden kommt es im Prognose-Planfall in 5 der 19 exemplarisch untersuchten Gebäude zu einer Steigerung der Erschütterungsimmissionen, die als wesentliche Erhöhung einzustufen ist. Hierbei handelt es sich ausschließlich um schutzbedürftige Nutzungen, die südlich der geplanten Bahnanlage liegen. Dies ist durch die Verringerung der Abstände und durch das Heranrücken der Personen- und Güterfernverkehre an die Gebäude bedingt. Demzufolge ist zu prüfen, ob mit den nach dem gegenwärtigen Stand der Technik möglichen und wirtschaftlich verhältnismäßigen Maßnahmen eine Konfliktvermeidung oder zumindest eine Konfliktminimierung erreicht werden kann.
- ❑ In allen Gebäude werden die Immissionsrichtwerte für sekundäre Luftschallimmissionen in Anlehnung an die 24 BImSchV deutlich unterschritten. Die Einwirkungen aus sekundären Luftschallimmissionen führen somit zu keinen zusätzlichen Vorsorgeansprüchen.
- ❑ Unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Aspekte eignet sich im vorliegenden Fall für die betroffenen Siedlungsbereiche (Frankfurter Landstraße und Goldene Aue) der Einsatz von „Besohlenen Schwellen“ als Schutzmaßnahme. Mit dieser Schutzmaßnahme wird nunmehr an keinem der untersuchten Gebäude der Sachverhalt der wesentlichen Erhöhung erfüllt. D.h., soweit es zu Erhöhungen zwischen dem Nullfall und dem Planfall kommt, sind diese geringer als 25%.

- Der Einbau besohlter Schwellen ist in den folgenden Streckenabschnitten zur durchgängigen Gewährleistung des Erschütterungsschutzes erforderlich:

Strecke	Vorsorgemaßnahme „Besohlte Schwellen“				
	Bereich	von km	bis km	Länge (pro Gleis) [m]	Gesamtlänge (alle Gleise) [m]
3660	beide Gleise	16,718	16,818	100	200
3660	beide Gleise	17,770	18,800	1.030	2.060

Demzufolge ist im Bereich der Bebauung an der Frankfurter Landstraße und im Siedlungsbereich „Goldenen Aue“ der Einbau "besohlter Schwellen" in beiden Gleisen der Strecke 3660 erforderlich. Die Erstreckung der Schutzmaßnahmen wurde so gewählt, so dass alle nördlich gelegenen Siedlungsareale mit einer entsprechenden Immissionsbelastung die erforderliche Erschütterungsminderung erfahren. Aufgrund der hohen Quote und auch der räumlichen Verteilung untersuchter Gebäude im Nahbereich der Bahntrasse können die Ergebnisse der exemplarischen messtechnisch untersuchten Objekte auf die Gesamtheit aller im Einwirkungsbereich des Vorhabens gelegenen Gebäude extrapoliert werden. Demzufolge kann davon ausgegangen werden, dass die geplanten Erschütterungsschutzmaßnahmen geeignet sind vorhabenbedingte wesentliche Erhöhungen der bereits bestehenden erschütterungstechnischen Vorbelastung zu vermeiden.

2 Sachverhalt und Aufgabenstellung

Die Deutsche Bahn AG befasst sich derzeit mit der Planung der „Nordmainischen S-Bahn“. Diese sieht vor, die vorhandene, zweigleisige Fernbahnstrecke 3660 durch den Anbau zweier S-Bahngleise zwischen Frankfurt-Fechenheim und dem Hauptbahnhof Hanau auf 4 Gleise zu erweitern. Die S-Bahngleise werden in Frankfurt unterirdisch an das vorhandene S-Bahnnetz angeschlossen und verlaufen östlich des Ostbahnhofes Frankfurt/Main oberirdisch bis zum Hauptbahnhof Hanau. Die S-Bahngleise verlaufen parallel und in gleicher Höhenlage zur vorhandenen Bahnstrecke Frankfurt-Hanau.

Beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge kommt es im Kontaktbereich zwischen Rad und Schiene zu Schwingungsanregungen, die auf Wechselwirkungen zwischen dem Schienenverkehr und dem Schienenweg sowie dem Oberbau zurückzuführen sind. Verantwortlich hierfür sind vor allem die Schwankungen der Kontaktkräfte, die durch die rotierende Unwucht der Radsatzmasse entstehen. Zusätzliche Schwingungen können durch den Abrollvorgang entstehen, da das Rad in

der Regel mit der Zeit Abweichungen von der Idealform aufweist. Auch schwankende Vertikalsteifigkeiten bei Schotteroberbauten mit Schwellen sind ursächlich für die Entstehung der Schwingungsanregung.

Die aus den dynamischen Lasten resultierenden Schwingungen des Systems Zug-Gleisoberbau werden über das Erdreich auf nahestehende Gebäude übertragen, die ihrerseits zu Schwingungen angeregt werden. Die auftretenden Schwingungsamplituden sind so gering, dass Bauwerkschäden 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 können die in ein Bauwerk eingeleiteten Schwingungen zu einer Schallabstrahlung der Raumbegrenzungsflächen in Form von sekundärem Luftschall führen.

Geräusche und Erschütterungen zählen gemäß § 3 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) /1/ 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 Planfeststellung für das Planvorhaben „Nordmainische S-Bahn“ ist daher zu prüfen, ob die Einwirkungen aus Erschütterungen bzw. sekundärem Luftschall, hervorgerufen vom zukünftigen Betrieb nach Realisierung der Baumaßnahme, zu erheblichen Belästigungen von Menschen in Gebäuden führen können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im gesamten Untersuchungsraum eine erschütterungstechnische Vorbelastung durch die vorhandene Bahnstrecke besteht. Sofern zukünftig Erschütterungsmissionen oder sekundäre Luftschallmissionen zu erwarten sind, die die Beurteilungsanhaltswerte gemäß DIN 4150-2 /8/ bzw. die Immissionsrichtwerte in Anlehnung an die 24. BImSchV /3/ überschreiten, sind die Belastungen im Planfall der gegebenen Vorbelastung (Nullfall) gegenüberzustellen. Anhand dieses Vergleichs wird dann geprüft, ob die geplante Baumaßnahme zu einer wesentlichen Erhöhung führt, das heißt zu einer erheblichen Erhöhung der Immissionen gegenüber der Vorbelastungssituation.

Soweit relevante Konfliktpotentiale festgestellt werden, sind geeignete Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung bzw. zur Minimierung der Immissionskonflikte zu erarbeiten.

3 Bearbeitungsgrundlagen

3.1 Rechtsgrundlagen und Regelwerke

Der durchgeführten erschütterungstechnischen Untersuchung liegen die folgenden Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Regelwerke 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, geändert durch Art. 1 der Verordnung vom 18. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2269)
- /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/ Eisenbahn-Bundesamt, Verfügung zum Umgang mit betriebsbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall in der Planfeststellung vom 30.01.2017
- /7/ DIN 4150, Teil 1 „Erschütterungen im Bauwesen: Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Juni 2001
- /8/ DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, Juni 1999
- /9/ DB-Richtlinie 820.2050, Erschütterungen und sekundärer Luftschall, Stand vom 15.09.2017

3.2 Planunterlagen

Der durchgeführten erschütterungstechnischen Untersuchung standen die folgenden Planunterlagen und Schriftsätze zur Verfügung:

- /10/ Trassierungspläne für den gesamten PFA, bearbeitet von der DB ProjektBau Regionalbereich Mitte, Frankfurt, Maßstab 1:500, Arbeitsstand vom 30.09.2019, erhalten am 07.04.2020 in Form von Planunterlagen.
- /11/ Bestandsvermessung, im Rahmen der Planung der Nordmainischen S-Bahn, Hyder Seib Ingenieure, Würzburg, Oktober 2008, in Form von digitalen Höhenpunkten.
- /12/ Trassierung neue Gleise, übergeben durch die DB E & C am 23.01.2017 und 15.02.2019
- /13/ Betriebsprogramm der DB Netz AG für die Strecken 3660, 3600, 3671, 3674, 3680 und 3685 für das Prognosejahr 2030, gemäß Lieferung am 16.12.2019 durch die DB ProjektBau GmbH, ergänzend die Zugzahlen und Zugverteilung für den Bahnhofsbereich Hanau gemäß Lieferung vom 16.12.2019 durch die DB ProjektBau GmbH. Protokoll Zugverteilung mit DB Netz AG vom 16.12.2019
- /14/ Betriebsprogramm Nullfall (ohne Ausbau Nordmainische-S-Bahn), Prognose 2030, erhalten am 29.07.2020
- /15/ DGM-Laserscandaten, Raster 1m, übergeben durch die Stadt Hanau am 07.02.2017
- /16/ Kataster der Stadt Hanau, übergeben durch die Stadt Hanau am 10.10.2016
- /17/ Gebäudedaten LoD1, erhalten durch die DB Netz AG am 19.10.2016
- /18/ Bebauungspläne der Stadt Hanau, gemäß Lieferung am 15.04.08 durch die Stadt Hanau, Recherche auf Internetseite der Stadt Hanau, www.hanau.de, 09.07.2015, Abstimmung der Gebietseinstufung durch die Stadt Hanau, 03.01.2017
- /19/ Messbericht – Erschütterungen, Messtechnische Erhebung der Ausbreitungsbedingungen im Planfeststellungsabschnitt Hanau, Anlage 12.4.0.2, Bericht Nr. 08500-VME-3 vom 18.01.2013, FRITZ GmbH Beratende Ingenieure VBI, Einhausen
- /20/ Messbericht – Erschütterungen, Messtechnische Erhebung der Ausbreitungsbedingungen im Planfeststellungsabschnitt Hanau, Anlage 12.4a.0.3, Bericht Nr. 20178005-VME-8 vom 08.06.2017, KREBS+KIEFER FRITZ AG, Darmstadt

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. Der Untersuchungsraum erstreckt sich über eine Länge von ca. 19 km und tangiert dabei Frei- und Siedlungsflächen der Städte Frankfurt am Main, Maintal und Hanau.

Der vorgesehene Ausbau umfasst den Neubau einer unterirdischen Streckenführung 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 Hanau-Wilhelmsbad. In den Abschnitten bis Hanau-Wilhelmsbad werden die zwei S-Bahngleise nördlich der vorhandenen Fernbahnstrecke neu hergestellt. Hinter Wilhelmsbad bis Hanau-West verläuft die S-Bahnstrecke auf den vorhandenen Gleisen der Fernbahn, hierzu werden die Fernbahngleise für den S-Bahnverkehr umgewidmet und die Gleise der Fernbahn südlich neu hergestellt.

Zwischen Hanau-West und Hanau Hbf wird eine eingleisige Verbindung nördlich der vorhandenen Fernbahngleise neu hergestellt. Im gesamten Streckenbereich sind in Teilbereichen bauliche Eingriffe in die Fernbahngleise erforderlich.

Weiterhin ist der Bau von 5 oberirdischen S-Bahnstationen in Fechenheim, Maintal-West (Bischofsheim), Maintal-Ost (Hochstadt-Dörnigheim), Hanau-Wilhelmsbad und Hanau West vorgesehen.

Gegenstand der vorliegenden Schalltechnischen Untersuchung ist der Planfeststellungsabschnitt 3 – Hanau. Dieser umfasst den Ausbau auf 4 Gleise zwischen Hanau-Wilhelmsbad und Hanau-West, der Erweiterung des Gleises von Hanau-West zum Hauptbahnhof Hanau, dem Umbau zahlreicher Gleisanlagen im Hauptbahnhof Hanau und dem Neubau einer Abstellanlage für S-Bahnen im Hauptbahnhof Hanau.

Der Planfeststellungsabschnitt 3 beginnt bei km 15,0+82 (Strecke 3660) bzw. km 66,4+93 (Strecke 3685) und endet bei km 23,7+21 (Strecke 3600) im östlichen Bereich des Hauptbahnhofs Hanau. Im südwestlichen Bereich des Hauptbahnhofs Hanau beginnt der Planfeststellungsabschnitt 3

bei km 21,6+06 (Strecke 3600). Westlich schließt sich der Planfeststellungsabschnitt 2 – Maintal an.

4.2 Einwirkungsbereich

In den Übersichtslageplänen in Anhang 6 sind die im Einwirkungsbereich der Bahnanlage gelegenen Siedlungsflächen dargestellt.

Die Gebietsnutzungen von Siedlungsflächen wurden in den Plänen farblich gekennzeichnet. Weiterhin wurden dort besonders schützenswerte Sondernutzungen, das heißt z.B. Krankenhäuser oder Altenpflegeheime 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

Im gesamten Untersuchungsraum besteht eine erschütterungstechnische Vorbelastung durch die vorhandene Bahnstrecke. Sofern zukünftig Erschütterungs- oder sekundäre Luftschalldimissionen zu erwarten sind, die die Beurteilungsanhaltswerte gemäß DIN 4150-2 /8/ bzw. die Immissionsrichtwerte in Anlehnung an die 24. BImSchV /3/ überschreiten, sind die Belastungen im Planfall dem Prognose-Nullfall gegenüberzustellen. Anhand dieses Vergleichs wird dann aufgezeigt, ob die geplante Baumaßnahme zu einer Erhöhung führt, das heißt zu einer erheblichen Erhöhung der Immissionen gegenüber der Vorbelastungssituation.

5 Anforderungen an den Immissionsschutz

5.1 Erschütterungen

Für die Beurteilung von Einwirkungen durch verkehrsinduzierte Erschütterungsimmissionen gibt es derzeit keine gesetzlichen Bestimmungen, in denen Grenzwerte festgelegt sind. Daher werden zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen die in Fachkreisen als Beurteilungsgrundlage allgemein anerkannten Anhaltswerte nach DIN 4150-2 /8/ herangezogen. Bei Einhaltung der hierin angegebenen Anhaltswerte kann davon ausgegangen werden, dass die Erschütterungen keine „erheblich belästigenden Einwirkungen“, die als niedrigste Qualifikationsstufe

schädlicher Umwelteinwirkungen im Sinne des Immissionsschutzrechtes /1/ anzusehen sind, darstellen.

Die Rechtsgrundlage für Ansprüche auf Schutzmaßnahmen ist in § 74 (2) Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) /4/ begründet. Hiernach sind dem Träger eines Vorhabens unter Umständen 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 maßgeblichen Anhaltswerte gemäß DIN 4150-2 /8/ ist daher der Sachverhalt zu klären, ob die geplante Baumaßnahme zu unzumutbaren Erschütterungsmissionen gemäß der EBA-Verfügung /6/ führt und sich hieraus ein Anspruch auf Schutzmaßnahmen ergibt.

5.1.1 Beurteilungsverfahren

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

- ☐ die maximale zeit- und frequenzbewertete Schwingstärke KB_{Fmax} ,
- ☐ die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} .

Für die Beurteilung schienenverkehrsinduzierter Immissionen nennt die Norm zwei Kriterien. Der untere Anhaltswert A_u ist ein Anhaltswert für den KB_{Fmax} -Wert. Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert A_u , so sind die Anforderungen der Norm erfüllt, es gilt als nachgewiesen, dass die schienenverkehrsinduzierten Erschütterungsmissionen nicht als erheblich belästigend einzustufen sind. Übersteigt KB_{Fmax} den unteren Anhaltswert A_u , so ist die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} zu bilden und mit dem Beurteilungsanhaltswert A_r zu vergleichen.

5.1.2 Anhaltswerte

Die Anhaltswerte A zur Beurteilung von Erschütterungsmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen werden in der DIN 4150-2 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 wesentlichen Anhaltswerte angegeben.

Zeile	Einwirkungsort	tags		nachts	
		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 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

Tabelle 1: Wesentliche Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen

5.1.3 Kriterien einer wesentlichen Erhöhung

Nach der Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichtes /5/ müssen sich Betroffene vorhandene Vorbelastungen aus Erschütterungsimmissionen zurechnen lassen, d.h. dass die Vorbelastung bei der Prüfung möglicher Ansprüche auf Minderungsmaßnahme und bei der Abwägung geeigneter Schutzvorkehrungen zu berücksichtigen ist. In diesem Zusammenhang wird auf die Rechtsprechung des Gerichtes zum primären Luftschall vor Inkraftsetzung der 16. BImSchV /2/ verwiesen. Demgemäß können nach der gegenwärtigen Rechtslage reale und geldwerte Ausgleichsansprüche beim Vorhandensein erheblich belästigender Erschütterungsimmissionen an baulich geänderten Schienenverkehrswegen nur dann bestehen, wenn die Vorbelastung durch bestehende Bahnanlagen durch das Hinzutreten weiterer Erschütterungseinwirkungen in beachtlicher Weise erhöht wird und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche, unzumutbare Beeinträchtigung liegt.

Im Zusammenhang mit der Frage, welche Erhöhung der Erschütterungsimmission eine unzumutbare Beeinträchtigung darstellt, bestätigt das Gericht /5/, dass eine Verstärkung der Erschütterungen dann wesentlich ist, wenn diese sich gegenüber der Vorbelastung um mindestens 25 % erhöht. In der aktuellen EBA-Verfügung /6/ ist das Vorliegen von unzumutbaren Erschütterungsimmissionen ebenfalls festgelegt. Diese liegen vor, wenn die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} sich vorhabenbedingt um mindestens 25 % gegenüber dem Prognose-Nullfall erhöht.

5.1.4 Grenze der Eigentums- und Gesundheitsverletzungen

Im Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes /5/ geht das Gericht auf eine mögliche Grenze zur Eigentums- bzw. Gesundheitsverletzung aufgrund von Erschütterungsimmissionen ein. Konkret weist das Gericht darauf hin, dass eine Zumutbarkeitsschwelle bei Beurteilungsschwingstärken (KB_{FTr} -Werte) von deutlich über 0,3 am Tag und 0,23 in der Nacht liegen muss. Das bedeutet, dass den Betroffenen ohne Weiteres die Erschütterungsimmissionen um mindestens den 1,5-fachen Anhaltswert für Industriegebiete zugemutet werden kann.

Weiterhin wird in einer Verfügung des Eisenbahnbundesamts /6/ darauf hingewiesen, dass in Abschnitten mit Beurteilungsschwingstärken KB_{FTr} von 1,1 tags und 0,7 nachts, die durch die bestehende Vorbelastung (Prognose-Nullfall) zu Stande kommen, der vorhabenbezogene Anstieg der Erschütterungsimmissionen gutachterlich besonders zu untersuchen ist. Hierbei muss unter Berücksichtigung des Einzelfalls die Erhöhung der Erschütterungsimmissionen im Hinblick auf den Eigentums- und Gesundheitsschutz hinsichtlich des Erfordernisses zu treffender Schutzmaßnahme in den Blick genommen werden.

Soweit im Zuge der Beurteilung nachgewiesen wird, dass die Anhaltswerte eingehalten werden, ist eine Prüfung der Grundrechtsverletzung nicht erforderlich.

5.1.5 Lösen von Schutzfällen

Sofern nach Realisierung des Bauvorhabens die Erschütterungsimmissionen aus dem Schienenverkehr im Vergleich zum Prognose-Nullfall um mehr als 25 % zunehmen, ist eine sorgfältige Abwägung von Erschütterungsminderungsmaßnahmen durchzuführen. Hierbei wird geprüft, unter welchen Voraussetzungen bestehende Konflikte gelöst werden können. Gemäß der EBA-Verfügung /6/ gilt bei einer Änderung des bestehenden Schienenverkehrsweges ein Schutzfall als „gelöst“, wenn die vorhabenbedingte Zunahme der Erschütterungsimmissionen auf unter 25 % gesenkt wird.

5.2 Sekundärer Luftschall

5.2.1 Grundlagen der Beurteilung

Für Einwirkungen aus sekundären Luftschallimmissionen, hervorgerufen von schienenengebundenen Verkehrssystemen, existieren derzeit weder vom Gesetzgeber noch in technischen Regelwerken verbindlich vorgegebene Anforderungswerte. Als Verwaltungspraxis, die durch die Rechtsprechung /5/ nicht beanstandet wurde, hat sich die Bestimmung von zulässigen Innenraumpegel in Anlehnung an die 24. BImSchV herausgebildet.

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 Verkehrsgerausche 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. 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). Diese zulässigen Innenpegel wurden in der EBA-Verfügung /6/ festgelegt.

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 tagsüber von 40 dB(A) für Wohnräume und nachts von 30 dB(A) für Schlafräume berücksichtigt. Der Verordnungsgeber der 24. 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 sind die maßgebliche Grundlage der Beurteilung die von der Rechtsprechung entwickelten Zumutbarkeitsschwellen, 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.

$$L_{r,Nacht/Tag} = D + 3 \text{ dB.}$$

Zeile	Raumnutzung	L _{ri,T} [dB(A)]	L _{ri,N} [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	
L _{ri,T}	Beurteilungspegel innerhalb von Räumen für den Tag		
L _{ri,N}	Beurteilungspegel innerhalb von Räumen für die Nacht		

Tabelle 2: Immissionsrichtwerte für den sekundären Luftschall

5.2.3 Anwendung des „Schienenbonus“

Die 24. BImSchV sieht mit dem „Schienenbonus“ einen Lästigkeitsabschlag bei der Ermittlung des Beurteilungspegels von schienenverkehrsinduziertem Lärm vor.

Der Bundesrat hat in seiner 925. Sitzung am 19. September 2014 beschlossen, der Verordnung zur Änderung der Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) gemäß Artikel 80 Absatz 2 des Grundgesetzes nach Maßgabe der in der Drucksache 319/14 vom 19. September 2014 dokumentierten Änderung zuzustimmen, da sich seit 1990 die Eisenbahn- und Straßenbahntechnik fortentwickelt

hat. Es kommen neue Fahrzeuge und Fahrbahnbauarten zum Einsatz, die im Einzelnen von der Schall03-1990 noch nicht berücksichtigt werden. Der Schienenbonus wurde durch das 11. Gesetz zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 12.07.2013 abgeschafft.

Die novellierte 16. BImSchV in der vom Bundestag beschlossenen Fassung vom 18.12.2014 enthält in § 4 (3) eine eindeutige Übergangsfrist, wonach für Abschnitte von Vorhaben, für die bis zum 31.12.2014 das Planfeststellungsverfahren bereits eröffnet und die Auslegung des Plans öffentlich bekannt gemacht worden ist, § 3 in Verbindung mit Anlage 2 in der bis zum 31. Dezember 2014 geltenden Fassung der 16. BImSchV und damit auch die Schall03-1990 weiter anzuwenden ist. Ausnahmen sind hier - im Gegensatz zu der Übergangsregelung zum Schienenbonus in § 43 (1) BImSchG - nicht vorgesehen. Das Planfeststellungsverfahren für den Planfeststellungsabschnitt 3 – Hanau wurde vor dem 31.12.2014 eröffnet und die Pläne öffentlich bekannt gemacht. Daher ist die Schall03-1990 für den Planfeststellungsabschnitt 3 – Hanau weiterhin anzuwenden.

5.2.4 Kriterien einer wesentlichen Erhöhung

Für den sekundären Luftschall wird in Anlehnung an die schalltechnische Problemstellung bei der Bewertung nach 16. BImSchV /2/ eine Erhöhung der Beurteilungspegel von mindestens 3 dB(A) als wesentlich erachtet. Ein Anspruch auf Minderungsmaßnahmen ergibt sich demgemäß infolge einer wesentlichen Erhöhung der Beurteilungspegel bei gleichzeitiger Immissionsrichtwertüberschreitung.

5.2.5 Lösen von Schutzfällen

Sobald die Immissionen aus sekundärem Luftschall nach Realisierung des Bauvorhabens im Vergleich zum Prognose-Nullfall um mehr als 3 dB zunehmen, ist sorgfältig zu prüfen, unter welchen Voraussetzungen bestehende Konflikte gelöst werden können. Gemäß der EBA-Verfügung /6/ gilt bei einer Änderung des bestehenden Schienenverkehrsweges ein Schutzfall als „gelöst“, wenn die vorhabenbedingte Zunahme der Immissionen aus sekundärem Luftschall auf unter 3 dB gesenkt wird.

6 Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise

Ausgangspunkt der erschütterungstechnischen Untersuchung ist die Festlegung repräsentativer Untersuchungsobjekte. Im vorliegenden Fall wurden nunmehr insgesamt 19 Gebäude im Abschnitt Hanau der Nordmainischen S-Bahn ausgewählt, die sich im direkten Einwirkungsbereich der Bahnstrecke befinden. Die Bebauungsdichte im Einwirkungsbereich der Bahntrasse ist im Abschnitt Hanau gering. In einer Korridorbreite von bis zu 25 m befinden sich insgesamt lediglich 16 schutzbedürftige Gebäude. Von den insgesamt 19 messtechnisch untersuchten Objekten liegen 7 Gebäude innerhalb dieses Korridors. Dies bedeutet eine Quote von 43 %. 12 ausgewählte

Gebäude haben einen Abstand im Bereich von 25 m bis 56 m. Die ausgewählten Gebäude wurden so festgelegt, dass auf Grund der gegebenen Abstandsverhältnisse zur Trasse und der vorhandenen Bausubstanz, ein mögliches Konfliktpotential nicht ausgeschlossen werden kann. Die Gebäude wurden ferner unter dem Aspekt ausgewählt, dass diese repräsentativ für die umliegende Gebäudestruktur sind.

Im Falle einer Konfliktfreiheit bei diesen „kritischen“ Immissionsorten kann davon ausgegangen werden, dass auch für die übrige Bebauung unterstellt werden. Die untersuchten Objekte sind in den Übersichtslageplänen in Anhang 8 farbig gekennzeichnet.

Bei allen ausgewählten Gebäuden wurden, soweit dies möglich war, jeweils 3 Räume in verschiedenen Geschossebenen untersucht. Die tatsächlich vorhandene Nutzung der untersuchten Räume, deren Geschosslage sowie die jeweilige Deckenkonstruktion sind in Anhang 1 Messberichtes /19/,/20/ angegeben.

6.1 Prognosemodell

Bei der Prognose der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall für schutzwürdige Räume eines Gebäudes wird von der in Abbildung 3 skizzierten Übertragungskette ausgegangen.

Diese berücksichtigt neben den erschütterungstechnischen Quellstärken (Emissionen) und der Ausbreitung der Schwingungen im Untergrund (Transmission T_1) das Schwingungsverhalten, der zu untersuchenden Gebäude (Transmission T_2 und T_3). 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, das 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 Hz bis 315 Hz.

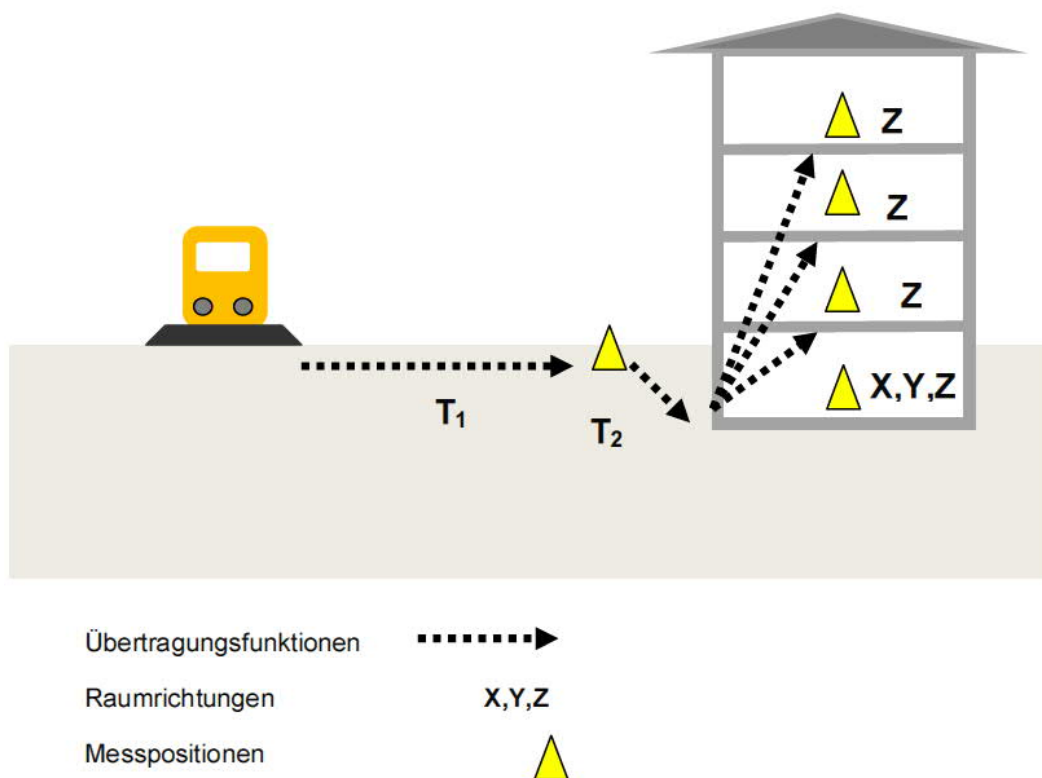


Abbildung 1: Übertragungen von Erschütterungen

Die der Prognose zu Grunde gelegten Komponenten werden im Folgenden beschrieben.

6.1.1 Emissionen

Bei oberirdischen Schienenverkehrswegen wird die Emission durch die in einem festgelegten Abstand zur Gleisachse im Erdboden gemessenen Schwingstärke charakterisiert. 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 Fahrzeugtyp, Fahrgeschwindigkeiten und die Oberbauform übereinstimmen sollten. Im Regelfall sind jedoch weitere Korrekturen an den Emissionen auf der Grundlage allgemeiner Erkenntnisse über Erschütterungsemissionen und -immissionen vorzunehmen. Korrekturen sind z. B. zur Berücksichtigung des Messverfahrens oder von Geschwindigkeitsdifferenzen erforderlich.

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.

Die für die Prognose herangezogenen Emissionsspektren sind in Anhang 1.1 bis Anhang 1.4 tabellarisch und grafisch dokumentiert. Als Oberbaukonzept ist wie im Bestand ein Schotteroberbau mit Betonschwellen vorgesehen. Die angewandten Korrekturfunktionen sind ebenfalls in Anhang 1.5 dokumentiert. Die je nach Streckenabschnitt korrigierten Emissionsspektren, die jeweils für die untersuchten Immissionsorte zu Grunde gelegt werden, finden sich in Anhang 1.6 bis Anhang 1.15.

6.1.2 Transmission

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

6.1.2.1 Transferfunktion 1

Als Transferfunktion $T_1(f)$ wird die entfernungsbedingte Amplitudenabnahme der Schwinggeschwindigkeit als Funktion der Frequenz f zwischen Emissionsort und einem Ort im Erdreich unmittelbar vor einem Gebäude bezeichnet. Diese wird im vorliegenden Fall aus den durchgeführten Ausbreitungsmessungen /19/, /20/ entnommen. Die angewandten Exponenten der Abnahmebedingung sind in Anhang 1.4 tabellarisch und graphisch dargestellt. Hierbei sind die Exponenten, die die entfernungsbedingte Abnahme der Erschütterungen im Ausbreitungsweg für jede Terzmittenfrequenz im maßgebenden Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz angegeben.

Im Bereich der Ortslage Hanau wurden an insgesamt 3 verschiedenen Positionen Ausbreitungsmessungen durchgeführt. Während der ersten Messaktion wurde hierbei die Ausbreitungsmessung im Bereich des Ortsteils Hohe Tanne durchgeführt. In der zweiten Messaktion, die in 2017 stattfand, wurden zusätzlich die Ausbreitungsbedingungen im Bereich der Frankfurter Landstraße sowie in der Nähe des Westbahnhofs erfasst. So wurden nunmehr 3 unterschiedliche Ausbreitungsfunktionen bestimmt, die nun bereichsweise den in dem jeweiligen Teilabschnitt angeordneten Immissionsorten zugeordnet werden. Die Zuordnung der Immissionsorte zu der jeweiligen Transferfunktion ist in Anhang 2.1 ersichtlich. Auf diese Weise wird erreicht, dass die gegebenenfalls vorliegenden Abweichungen infolge der örtlichen Lage hinsichtlich der Ausbreitungsbedingungen ebenfalls im Rahmen der vorliegenden Erschütterungstechnischen Untersuchung berücksichtigt werden.

Die Berechnung der T_1 -Funktion erfolgt dann spektral nach der folgenden Gleichung:

$$T_1(f) = 20 \cdot \text{LOG}(R_0/R) \cdot n(f) \quad [\text{dB}]$$

mit:

R_0 Bezugsabstand [m]

R Abstand Gebäude zur Gleisachse [m]

$n(f)$ Exponent der Abnahmebeziehung als Funktion der Frequenz [-]

6.1.2.2 Transferfunktion 2

Die Transferfunktion T_2 beschreibt das Übertragungsverhalten vom Boden auf das Gebäudefundament. 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. Im Rahmen der ergänzenden Messungen in 2017 wurden die jeweils vorliegenden Transferfunktionen 2 messtechnisch erfasst und den Immissionsorten IP 10 bis IP 19 in der vorliegenden Erschütterungstechnischen Untersuchung zugrunde gelegt /20/. Während bei der ersten Messaktion jedoch eine messtechnische Ermittlung des Übertragungsverhaltens vom Boden auf das Fundament nicht möglich /19/ war. Aus diesem Grund wurde für die Immissionsorte IP 1 bis IP 9 die Transferfunktion 2 aus dem Mittelwert der während der zweiten Messaktion ermittelten Transferfunktionen 2 gebildet. Konkret wurde im Rahmen der Erschütterungstechnischen Untersuchung für diese Immissionsorte im Sinne einer oberen Abschätzung der Mittelwert zuzüglich der Standardabweichung zugrunde gelegt. Eine grafische und tabellarische Darstellung findet sich in Anhang 2.2.

6.1.2.3 Transferfunktion 3

Die Transferfunktion T_3 beschreibt das Übertragungsverhalten innerhalb des Gebäudes vom Fundament auf die Geschossdecken schutzwürdiger Räume. Für die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen im Hinblick auf die Störmwirkung von Menschen beim Aufenthalt in Gebäuden sind die Schwingungseinwirkungen in der 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 in hohem Maße gebäudeabhängig und kann stark variieren. Ursächlich hierfür sind vor allem Spannweiten und Konstruktionsweise der Decken.

Da die Transferfunktion 3 maßgebend Einfluss auf das Prognoseergebnis nimmt, werden diese Übertragungsfunktionen an den exemplarischen Gebäuden aus den Ergebnissen der Beweissicherungs-messungen ermittelt. Hierzu wurden an bis zu 3 Geschossdecken der untersuchten Gebäude die Biegeeigenfrequenzen der Geschossdecken messtechnisch bestimmt. Es wurde in 3 Räumen das Übertragungsverhalten der Gebäude vom Fundament auf die Geschossdecken der

Gebäude bei Zugvorbeifahrten auf der bestehenden Strecke bestimmt. Die Erschütterungsmessungen zur Erhebung der bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäude wurden im Zeitraum vom 09.09.2008 bis 25.09.2008 sowie vom 06.03.2017 bis 16.03.2017 durchgeführt.

6.2 Immissionen

6.2.1 Erschütterungen

Als Erschütterungsimmissionen werden die bauwerksbezogenen, gemäß DIN 4150-2 /8/ in der Mitte von Räumen auftretenden KB-bewerteten Schwingstärken bezeichnet. Da hier die Vertikalkomponente (Z-Richtung) die Horizontalkomponenten (X-, Y-Richtung) übersteigt, werden die Abschätzungen ausschließlich für die Vertikalkomponenten der Erschütterungsimmissionen durchgeführt. Der relevante Frequenzbereich wird in DIN 4150-2 auf 80 Hz begrenzt.

Für die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärken ist die Kenntnis der Intensität von Schwingungsimmissionen sowie deren Einwirkdauer erforderlich. Die Intensität am Einwirkungsort wird maßgeblich durch die fahrzeugspezifische Emission sowie die gelände- und gebäudespezifische Übertragung geprägt. Hinsichtlich der Erschütterungen ist bei der Ermittlung der Einwirkdauer das 30-Sekunden-Taktverfahren gemäß DIN 4150-2 zu beachten.

6.2.2 Sekundärer Luftschall

Im vorliegenden Fall wurde zur Bestimmung des Beurteilungspegels für den sekundären Luftschall die Richtlinie 820.2050 der DB AG /9/ herangezogen. Die Berechnung des A-bewerteten sekundären Luftschallpegels erfolgt nach den Gesamtpegel-Korrelationsbeziehungen. Hierin wird ein linearer Zusammenhang zwischen dem A-bewerteten Schwinggeschwindigkeitspegel und dem sekundären Luftschallpegel genannt. Die Abhängigkeiten wurden dabei für verschiedene Deckenkonstruktionsformen (Stahlbetondecken, Holzbalkendecken) beschrieben. Demnach kann zur Ermittlung der Einwirkungen aus sekundärem Luftschall, hervorgerufen durch schienengebundenen Personen- und Güterverkehr, in erster Näherung folgende Beziehung herangezogen werden:

$$L_{\text{sek,A}} = 15,75 + 0,60 \cdot L_{v,A} \quad [\text{dB(A)}] \text{ bei Stahlbetondecken}$$

$$L_{\text{sek,A}} = 19,88 + 0,47 \cdot L_{v,A} \quad [\text{dB(A)}] \text{ bei Holzbalkendecken,}$$

mit

$L_{\text{sek,A}}$ A-bewerteter sekundärer Luftschallpegel [dB(A)],

$L_{v,A}$ A-bewerteter Gesamt-Schwinggeschwindigkeitspegel [dB(A)]

Der Auswertebereich wird bei der Einzalmethode bis 100 Hz beschränkt, da erfahrungsgemäß oberhalb von 80 Hz keine pegelbestimmenden Anteile im Spektrum des sekundären Luftschallpegels vorhanden sind.

Die Einwirkzeit des sekundären Luftschalls, jeweils bezogen auf den Beurteilungszeitraum Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) bzw. Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr), ergibt sich aus der Gesamtzahl der in dem betreffenden Streckenabschnitt innerhalb des Beurteilungszeitraumes verkehrenden Schienenfahrzeuge und deren geschwindigkeitsabhängiger Vorbeifahrtzeit. Um zu berücksichtigen, dass Fahrzeuge bereits vor und auch nach der Vorbeifahrt wahrgenommen werden können, wird bei der Bestimmung der signifikanten Einwirkungszeit einer Zugvorbeifahrt mit der 1,5-fachen geometrischen Vorbeifahrtzeit (T_{ge}) berücksichtigt

$$T_e = 1,5 \cdot T_{ge} = 1,5 \cdot \text{Zuglänge} \cdot 3,6 / v_{\max}$$

mit

v_{\max} maximale Streckengeschwindigkeit bzw. zugspezifische Höchstgeschwindigkeit [km/h]

Mit diesem Vorgehen wird gewährleistet, dass für jeden Vorbeifahrtsvorgang der energieäquivalente Mittelungspegel abgeschätzt wird.

6.3 Betriebsparameter der Bahnstrecke

Für die vorliegende Untersuchung werden die Zugzahlen für den Prognosehorizont 2030 /13/, /14/ zugrunde gelegt. Eine Zusammenfassung der relevanten Verkehrsdaten für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall findet sich in den nachfolgenden Tabellen und in Anhang 3.

Strecke	Zugart	Anzahl		V _{max}	Zuglänge	T _{ge}
		Tag	Nacht	[km/h]	[m]	[s]
3660	ICE	32	0	150	402	9,6
	ICE	6	0	150	400	9,6
	ICE	12	1	150	230	5,5
	RE	36	6	150	212	5,1
	RE	32	4	150	148	3,6
	SGV	55	32	100	740	26,6
	SGV	19	11	120	740	22,2

Tabelle 3: Betriebsprogramm der Strecke 3660 (PNF/PPF)

Die Streckenhöchstgeschwindigkeit von 150 km/h gilt bis zum Bahnhof Hanau West. Ab dem Bahnhof reduziert sich die Geschwindigkeit der Züge auf 60 km/h. Ein Teil der Güterzüge wird anschließend auf die Strecke 3674 umgeleitet, für die die maximale Streckenhöchstgeschwindigkeit von 80 km/h gilt. Für die Güterzüge ab dem Bahnhof Hanau West wird gemäß DIN 4150-2 /8/ bei der Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen zwei 30-Sekunden-Takte berücksichtigt.

Strecke	Zugart	Anzahl		V _{max}	Zuglänge	T _{ge}
		Tag	Nacht	[km/h]	[m]	[s]
3674	SGV	35	10	80	740	33,3

Tabelle 4: Betriebsprogramm der Strecke 3674 (PNF/PPF)

Strecke	Zugart	Anzahl		V _{max}	Zuglänge	T _{ge}
		Tag	Nacht	[km/h]	[m]	[s]
3685	S-Bahn	93	25	140	210	5,4

Tabelle 5: Betriebsprogramm der Strecke 3685 (PPF)

7 Untersuchungsergebnisse

Maßgeblich für die Beurteilung der Frage, ob schienenverkehrsinduzierte Erschütterungsimmissionen bzw. sekundäre Luftschallimmissionen im Einwirkungsbereich der vorhandenen bzw. geplanten Bahnanlage geeignet sind, erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden hervorzurufen, werden die zu den Gleisachsen nächstgelegenen Gebäude hinsichtlich des Konfliktpotentials analysiert. Die ausführlichen Berechnungen können dem zusätzlichen Datenangab zu

dieser Untersuchung entnommen werden Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..

Die im Abschnitt Hanau untersuchten exemplarischen Gebäude weisen im Nullfall einen Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse von

$$d = 21 \dots 56 \text{ m}$$

auf. Zukünftig, das heißt im Planfall, werden durch den Neubau von 2 weiteren Gleisen bzw. durch die in Teilbereichen erforderliche Eingriffe in die bestehende Trasse diese Abstände auf

$$d = 14 \dots 56 \text{ m}$$

verringert. Die Ergebnisse der Immissionsprognosen der Erschütterungen und sekundären Luftschall für den Null- und den Planfall sind in Anhang 4 tabellarisch dokumentiert. Die Immissionen werden für alle untersuchten Räume getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum ausgewiesen und beurteilt. Grün hinterlegte Felder 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 ist eine Beurteilung auf Basis des unteren Anhaltswertes nicht möglich. Die Beurteilung ist in diesen Fällen auf die Beurteilungsschwingstärke und die korrespondierenden Anhaltswerte abzustellen. Sollte keine Schutzwürdigkeit in einem Zeitraum vorliegen, so bleiben die entsprechenden Felder unmarkiert.

Für den Sachverhalt der wesentlichen Erhöhung werden prozentuale Erhöhungen der Beurteilungsschwingstärken des Prognose-Planfalls gegenüber denen des Prognose-Nullfalls < 25% grün gekennzeichnet. Bei Erhöhungen $\geq 25\%$ und gleichzeitiger Einhaltung der Anhaltswerte sind die Felder gelb hinterlegt. Rot sind die Felder gekennzeichnet, bei denen eine Erhöhung von mindestens 25% bei gleichzeitiger Anhaltswertüberschreitung erfolgt. Ausschließlich in diesen Fällen besteht ein Anspruch auf erschütterungstechnische Minderungsmaßnahmen. Felder, für die aus dem Vergleich des Prognose-Planfalls zum Prognose-Nullfall eine Division durch Null ergibt, werden mit „ $+\infty$ “ dargestellt. Die Division durch Null ergibt sich aus der Tatsache, dass gemäß DIN 4150-2 alle Taktmaximalwerte (höchster Wert innerhalb von 30-Sekunden-Takt), die kleiner als 0,1 sind, bei der Ermittlung der Beurteilungsschwingstärke (KB_{FTF}) zu Null gesetzt werden.

Für den sekundären Luftschall werden Erhöhungen der Beurteilungspegel < 3 dB(A) grün gekennzeichnet. Bei Pegelerhöhungen ≥ 3 dB(A) sind die Felder gelb hinterlegt. Bei Erhöhungen

der Beurteilungspegel um mindestens 3 dB(A) und gleichzeitiger Überschreitung der Immissionsrichtwerte (IRW) ist der Sachverhalt der wesentlichen Erhöhung erfüllt. Diese Felder sind rot hinterlegt.

7.1 Immissionen im Nullfall

7.1.1 Erschütterungen

Die Immissionen aus Erschütterungen und aus sekundärem Luftschall für den Prognose-Nullfall sind in Anhang 4.1 zusammengefasst. Bis auf die Immissionsorte „Burgallee 1“ (IP01), „Frankfurter Landstraße 71“ (IP03), „Westbahnhofstraße 16“ (IP07) und „Am Pedro Jung Park 1“ (IP09) wird eine Unterschreitung der Beurteilungsanhaltswerte A_r in allen messtechnisch untersuchten Gebäuden prognostiziert. Hier werden Beurteilungsschwingstärken für den Tag- bzw. Nachtzeitraum von bis zu

$$K_{BTr,Tag/Nacht} \leq 0,120 / 0,092$$

erreicht.

Für Gebäude in Mischgebieten (MI) sind gemäß DIN 4150-2 (Tabelle 1, Zeile 3) folgende Beurteilungsanhaltswerte im Tag- bzw. im Nachtzeitraum anzuwenden:

$$A_{u,Tag/Nacht} = 0,100 / 0,007.$$

Für Gebäude in Allgemeinen Wohngebieten (WA) sind zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen folgende Beurteilungsanhaltswerte im Tag- bzw. im Nachtzeitraum zu Grunde zu legen:

$$A_{u,Tag/Nacht} = 0,007 / 0,005.$$

Die Immissionen, die für die vier oben genannten Immissionsorte ermittelt wurden, schöpfen die heranzuziehenden Beurteilungsanhaltswerte um bis zu

$$p_{Tag/Nacht} = 172 \% / 184 \%$$

für den Tag- bzw. Nachtzeitraum aus.

7.1.1.1 Sekundärer Luftschall

Die Ergebnisse der sekundären Luftschallimmissionen sind in den letzten beiden Spalten von Anhang 4.1 dargestellt. Für den Tagzeitraum wird der Immissionsrichtwert für Wohnräume, für den Nachtzeitraum der für Schlafräume von

$$IRW_{\text{Tag/Nacht}} = 40 / 30 \text{ dB(A)}$$

angewandt.

Im Nullfall werden in keinem der messtechnisch untersuchten Räume die Immissionsrichtwerte überschritten. Es ergeben sich Beurteilungspegel von bis zu

$$L_{r,\text{Tag/Nacht}} = 19,0 / 20,2 \text{ dB(A)},$$

die die Immissionsrichtwerte unterschreiten.

7.1.2 Prognose-Planfall

7.1.2.1 Erschütterungen

Die Erschütterungsimmissionen für den Prognose-Planfall sind in Anhang 4.2 zusammengefasst. Eine Überschreitung der Beurteilungsanhaltswerte A_r wird für 5 der 19 messtechnisch untersuchten Gebäude prognostiziert. Hier belaufen sich Beurteilungsschwingstärken für den Tag- bzw. Nachtzeitraum auf maximal

$$KB_{FTr, \text{Tag/Nacht}} = 0,133 / 0,097.$$

Für Gebäude in Mischgebieten (MI) sind gemäß DIN 4150-2 (Tabelle 1, Zeile 3) folgende Beurteilungsanhaltswerte im Tag- bzw. im Nachtzeitraum anzuwenden:

$$A_{u,\text{Tag/Nacht}} = 0,100 / 0,007.$$

Für Gebäude in Allgemeinen Wohngebieten (WA) sind zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen folgende Beurteilungsanhaltswerte im Tag- bzw. im Nachtzeitraum zu Grunde zu legen:

$$A_{u,\text{Tag/Nacht}} = 0,007 / 0,005.$$

Die ermittelten Immissionen schöpfen die heranzuziehenden Beurteilungsanhaltswerte somit um bis zu

$$p_{\text{Tag/Nacht}} = 140 \% / 152 \%$$

für den Tag- bzw. Nachtzeitraum aus.

Für die Immissionsorte, für die Überschreitungen der gültigen Beurteilungsschwingstärken ermittelt wurde, ist dementsprechend eine Prüfung auf wesentliche Erhöhung erforderlich.

7.1.2.2 Sekundärer Luftschall

Die Ergebnisse der sekundären Luftschallimmissionen zeigen, dass im Prognose-Planfall ebenfalls keine Konflikte zu erwarten sind. Es ergeben sich Beurteilungspegel von bis zu

$$L_{r, \text{Tag/Nacht}} = 21,3 / 22,1 \text{ dB(A)}.$$

7.1.3 Wesentliche Erhöhung

Der Sachverhalt der wesentlichen Erhöhung ist in Anhang 4.3 dargestellt. Für die messtechnisch untersuchten Gebäude ergibt sich ein Anspruch auf Minderungsmaßnahmen für 2 Gebäude. Hier werden Erhöhungen der Erschütterungsimmisionen von

$$\Delta K_{B_{FTr, \text{Tag/Nacht}}} = +54 \% / +56 \%$$

ausgewiesen.

Ein Anspruch auf erschütterungstechnische Minderungsmaßnahmen besteht für 2 Gebäude:

- ☐ IP 02: Frankfurter Landstraße 2
- ☐ IP 05: Goldene Aue 5

7.2 Dimensionierung von Vorsorgemaßnahmen

7.2.1 Anspruchsberechtigung

Ist im Rahmen der Planung für den Neu- oder Ausbau einer Bahnstrecke davon auszugehen, dass die zu erwartenden Erschütterungsbelastungen die Beurteilungskriterien für eine oder mehrere Immissionsorte überschreiten, so haben die betroffenen Anlieger gemäß §74 des VwVfG /4/ einen Anspruch auf entsprechende Minderungsmaßnahmen. Der Anspruch auf Zahlung einer Entschädigung kommt nur zum Tragen, wenn keine geeigneten Schutzmaßnahmen zur Verfügung stehen oder die Kosten hierfür unverhältnismäßig hoch sind. Zurzeit gibt es zur Minderung von Erschütterung keine standardisierten Maßnahmen. Deshalb ist für jeden Einzelfall eine individuell geeignete Lösung zu generieren.

7.2.2 Grundsätzlich mögliche Maßnahmen

Grundsätzlich können Maßnahmen zum Erschütterungsschutz an Bahnstrecken in drei Gruppen untergliedert werden:

- ☐ Maßnahmen an der Quelle

- ☐ Maßnahmen im Ausbreitungsweg
- ☐ 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. Maßnahmen im Ausbreitungsweg sollen zu einer „Abschirmung“ einer Erschütterungsquelle führen. Bei Maßnahmen am Immissionsort handelt es sich ebenfalls 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.

7.2.3 Maßnahmen an der Quelle

7.2.3.1 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 abgestimmt werden. Mit dem Einsatz solcher schweren Masse-Feder-Systeme lassen sich die Immissionen aus dem Bahnverkehr 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. Der Einbau von Systemen mit Einzellagern in einer oberirdischen Strecke ist insoweit nur theoretisch möglich, da die Federelemente auf einem massiven Unterbau zur Erhöhung der Anschlussimpedanzen für die Federelemente des Systems aufgelagert werden müssen. Ferner kann nicht für die Dauer des Lebenszyklus eines solchen Systems gewährleistet werden, dass die elastisch abgefederte Gleistragplatte stets frei schwingen kann. Durch den Schmutzeintrag durch Oberflächenwasser kann der Hohlraum zwischen Untergrund und schwingender Gleistragplatte zugesetzt werden, so dass die Abfederung der Gleistragplatte und somit auch die Einfügungsdämmung nicht mehr gewährleistet ist. Unter anderem hat dieser Sachverhalt dazu geführt, dass so genannte schwere Masse-Feder-Systeme im Außenbereich keine Anwendung finden. So genannte leichte Masse-Feder-Systeme, also Masse-Feder-Systeme, deren vertikale Oberbaueigenfrequenz oberhalb von 10 Hz liegt, können auch im

Außenbereich praktiziert werden, da hier als Federelement flächige Mattenlager, die als verlorene Schalung unter einer Gleistragplatte eingebaut werden, zum Einsatz kommen können. Hier besteht nicht die Gefahr des Verschmutzens und somit auch des Blockierens des Luftspaltes. Da im vorliegenden Fall Schotteroberbau und keine „Feste Fahrbahn“ geplant ist, kann diese Maßnahmen hier nicht angewendet werden. Eine Umstellung der Planung von Schotteroberbau auf „Feste Fahrbahn“ ist nicht sachgerecht, da hieraus Erhöhungen der Geräuschemissionen und somit auch der Geräuschimmissionen an Wohngebäuden im Einwirkungsbereich der Strecke die Folge werden.

7.2.3.2 Unterschottermatten

Bei oberirdischen Vollbahnstrecken wurden Unterschottermatten bisher nur vereinzelt und meist mit geringem Erfolg eingesetzt. Um die Funktionsfähigkeit einer Unterschottermatte zu erhöhen, muss ein möglichst steifer Unterbau vorliegen. Dies kann in Form einer mindestens 40 bis 50 cm starken zementverfestigten Tragschicht oder in Form einer Betontragplatte realisiert werden. Bei entsprechend dimensionierten Unterschottermatten können Minderungen im Frequenzbereich ab 50 Hz erreicht werden. Die erreichbare Abstimmfrequenz eines solchen Systems liegt bei ca. 20 Hz bis 30 Hz. Hieraus ergibt sich, dass Unterschottermatten im Bereich tiefer Frequenzen, die im Wesentlichen für die Erschütterungswirkung verantwortlich sind, ein lediglich geringes Minderungspotential bieten. Darüber hinaus können aus dem Einsatz von Unterschottermatten oberbautechnische Probleme, wie eine Minderung der Gleislagestabilität oder „Schotterfließen“, resultieren. Insgesamt überwiegen bei dieser Maßnahme die technischen Nachteile, die aus Sicht des Immissionsschutzes zu erwartenden Vorteile. Demgemäß stellt der Einsatz von Unterschottermatten im vorliegenden Fall keinen geeigneten Lösungsansatz für die festgestellten Immissionskonflikte dar.

7.2.3.3 Optimierter Schotteroberbau (System „BSO“)

Das System „BSO“ verbindet die Vorteile des herkömmlichen Schotteroberbaus mit den Vorteilen der Festen Fahrbahn. Konstruktiv besteht dieses System aus einem Betontrog mit einer Schotterfüllung auf einer Unterschottermatte. Die Unterschottermatte dient in erster Linie zur Reduzierung der Schotterbelastung. Durch den Einsatz geeigneter Unterschottermatten kann eine mittlere Pegelreduzierung der Körperschallemission erreicht werden. Die Einfügungsdämmung des Systems ergibt sich zum einen aus der Wirkung der Unterschottermatte und zum anderen aus der Masse des Betontroges. In der Überlagerung der beiden Effekte ergibt sich eine breitbandige Wirkung, so dass das System gut für den Einsatz an oberirdischen Streckenabschnitten geeignet ist. Wesentliche Nachteile des Systems sind die hohen Kosten und der erhebliche bauliche Eingriff in die bestehenden Gleisanlagen, verbunden mit einem erhöhten Flächenbedarf entlang der Strecke.

7.2.3.4 Besohlte Schwellen

Eine weitere oberbautechnische Möglichkeit zur Reduzierung der Körperschallemissionen stellen elastische Schwellensoleen unter Betonschwellen dar, die so genannten „Besohlten Schwellen“. Prinzipiell kann jede Schwellenform mit einer elastischen Sohle ausgerüstet werden. Durch die elastische Schwellenbesohlung wird der harte Kontakt zwischen Betonschwellensole und die Schotterpressung verringert. Im erschütterungstechnisch relevanten „tieferen“ Frequenzbereich bis ca. 40 Hz erfolgt jedoch nur eine geringe Minderung der Schwingungsemissionen im Vergleich zu dem Optimalen Schotteroberbau (System „BSO“). Ab ca. 40 Hz bewirkt dieses System deutliche Pegelminderungen in den einzelnen Frequenzbändern. Großer Vorteil dieses Schutzsystems sind die relativ geringen Kosten und der einfache Einbau des Systems.

7.2.4 Maßnahmen im Ausbreitungsweg

7.2.4.1 Gefüllte Bodenschlitze

Durch Abschirmeinrichtungen im Untergrund (gas- oder elastomergefüllte Schlitzwände) können deutliche Immissionsminderungen im Nahbereich der Abschirmeinrichtung erreicht werden. Aufgrund der großen Wellenlänge von Erschütterungswellen im Untergrund wirkt die Abschirmung jedoch nur kleinräumig. Bei Abständen von mehr als 10 m hinter der Abschirmeinrichtung lässt die Wirkung erheblich nach. Die erzielbare Wirkung solcher Abschirmeinrichtungen hängt darüber hinaus empfindlich von den geologischen Verhältnissen ab. Durch Reflexionen oder Refraktionen an ausgeprägten Schichtgrenzen kann die Wirksamkeit der Maßnahme deutlich verringert werden.

Die Realisierung derartiger Abschirmmaßnahmen ist auf Grund der nötigen Tiefenerstreckung der Abschirmung sehr aufwendig. Die erforderliche Tiefenerstreckung ist abhängig von der Wellenlänge der zu mindernden Schwingung. Um eine möglichst hohe Abschirmwirkung zu erzielen, muss die Einbautiefe in der Größenordnung der 1- bis 1,5-fachen Wellenlänge liegen. Dies bedeutet, dass bei typischen Bodenverhältnissen zur Minderung von Schwingungen im Frequenzbereich ab 12 Hz bereits Einbautiefen von 10 bis 15 m nötig sind. Daher ist der Einsatz bautechnisch derart aufwendiger Maßnahmen zur Minderung tieffrequenter Schwingungen technisch wie wirtschaftlich im Regelfall nicht vertretbar. Geeignet ist die Maßnahme ausschließlich zum Schutz besonders exponierter einzelner Gebäude mit hohem Schutzanspruch im unmittelbaren Nahbereich eines Schienenverkehrsweges.

7.2.4.2 Senkrechte Wandelemente im Boden

Die Abschirmwirkung beruht im Wesentlichen auf einer Änderung des Wellenwiderstandes bei Ausbreitung einer Welle im Ausbreitungsmedium. Daher kann eine Abschirmwirkung wie oben beschrieben durch das Einbringen offener oder mit „weichen“ Materialien verfüllten Schlitzen

erreicht werden. Eine Abschirmwirkung kann ebenfalls durch massive Wandeinbauten in den Untergrund (zum Beispiel Bohrpfahlwände) erreicht werden. Genau wie bei den mediumgefüllten Schlitzten beschränkt sich die Wirkung derartiger Einbauten auf den unmittelbaren Nahbereich hinter der Abschirmmaßnahme. Die oben getroffenen Aussagen zu den Einbautiefen gelten gleichermaßen für die senkrechten Wandelemente im Boden.

7.2.5 Maßnahmen am Immissionsort

7.2.5.1 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 Gebäude dar und sind daher lediglich in begründeten Ausnahmefällen zu empfehlen.

7.2.5.2 Elastische Auflagerung von Gebäuden

Im Sinne einer passiven Erschütterungsschutzmaßnahme kann eine nachträgliche elastische Lagerung eines Gebäudes zur Minderung der Erschütterungsmissionen 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 Elastomerfederelemente 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 Im vorliegenden Fall geeignete Maßnahmen

Im vorliegenden Fall kommt als mögliche Vorsorgemaßnahmen unter Berücksichtigung aller technischen und wirtschaftlichen Aspekte und unter Beachtung des Grundsatzes einer wirtschaftlichen Angemessenheit generell zunächst der Einbau besohlter Schwellen in Betracht. Soweit hiermit der Nachweis geführt werden kann, dass die planungsbedingte Erhöhung der Erschütterungsimmissionen auf einen Wert unter +25% reduziert werden kann, ist dem Anspruch auf erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen Genüge getan. Soweit dies nicht gelingt, sind technisch und wirtschaftlich aufwendigerer Schutzmaßnahmen in den Blick zu nehmen.

Die anderen in Kapitel 7.2.2 genannten Maßnahmen scheiden i.d.R. auf Grund nicht lösbarer technischer oder auch wirtschaftlicher Zwangspunkte aus. Sie werden nur dann detaillierter in den Blick genommen, wenn der bestehende Vorsorgeanspruch durch den Einbau „besohlter Schwellen“ nicht erfüllt werden kann. In Anbetracht des Sachverhaltes, dass der Oberbau als Schotteroberbau ausgeführt werden soll, handelt es sich bei der in Betracht gezogenen Maßnahme um eine in der Praxis bewährte Technologie, die individuellen Erfordernissen des Vorhabens leicht angepasst werden können.

Der wesentliche Vorteil der besohlenen Schwellen als Schutzsystem liegt in den relativ geringen Kosten und im einfachen Einbau des Systems. Die Vorsorgemaßnahme wird für die Teilbereiche der Strecke 3660 berücksichtigt, für die der Sachverhalt einer wesentlichen Erhöhung im Hinblick auf Erschütterungsimmissionen gegeben ist. Die Einfügedämmung der berücksichtigten besohlenen Schwellen ist in Anhang 7.1 als Funktion der Frequenz dargestellt. Die beschriebene oberbautechnische Vorsorgemaßnahme ist für nachfolgende, in Tabelle 6 ausgewiesene, Streckenabschnitte vorzusehen. Die Erstreckung des erforderlichen Schutzsystems ist gleichermaßen in Anhang 7.2 tabellarisch aufgeführt.

Strecke	Vorsorgemaßnahme „Besohlte Schwellen“				
	Bereich	von km	bis km	Länge (pro Gleis) [m]	Gesamtlänge (alle Gleise) [m]
3660	beide Gleise	16,718	16,818	100	200
3660	beide Gleise	17,770	18,800	1.030	2.060

Tabelle 6: Erforderliche Erstreckung der Vorsorgemaßnahme

7.4 Prognose mit Minderungsmaßnahmen

Gemäß der EBA-Verfügung zum Umgang mit betriebsbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall in der Planfeststellung /6/ sind weiterhin bei der Betrachtung von Minderungsmaßnahmen die Anhaltswerte bzw. die zulässigen Innenschallpegel einzuhalten. Bei einer Änderung der bestehenden Bahnstrecke gelten Konflikte als gelöst, wenn durch die Minderungsmaßnahme die vorhabenbedingte Zunahme der Immissionen aus Erschütterungen bzw. sekundärem Luftschall auf unter 25 % bzw. 3 dB(A) gesenkt werden können.

Die unter Berücksichtigung der empfohlenen Minderungsmaßnahmen berechneten Immissionen sind in Anhang 5.2 bis Anhang 5.3 dokumentiert. Die Immissionen unter Berücksichtigung der jeweiligen Minderungsmaßnahme werden für alle untersuchten Räume getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum ausgewiesen und beurteilt. Grün hinterlegte Felder für KB_{FTr} bzw. ΔKB_{FTr} bedeuten, dass das oben genannte Kriterium erfüllt ist. Bei rot hinterlegten Feldern ist das Kriterium für den „gelösten Fall“ nicht erfüllt. Für die in Anhang 5.2 bis Anhang 5.3 fett markierten Immissionen wurde der Sachverhalt einer wesentlichen Erhöhung für die Erschütterungsimmis-sionen nachgewiesen.

Die Schwingungsimmis-sionen für die Ausbaustrecke im Planfall mit Schutzsystem erreichen maximale Beurteilungsschwingstärken tags bzw. nachts von

$$KB_{FTr,Tag/Nacht} = 0,106 / 0,077$$

Diese Ergebnisse belegen, dass die Erschütterungsimmis-sionen deutlich reduziert werden können. Die Änderungen der Prognosewerte unter Berücksichtigung der Minderungsmaßnahme gegenüber dem Prognose-Nullfall belaufen sich für die Immissionsorte auf maximal

$$\Delta KB_{FTr,Tag/Nacht} = +23 \% / +25 \%$$

Eine Konfliktlösung durch den Einbau der „besohnten Schwellen“ kann demnach an beiden Im-missionsorten erreicht werden.

7.5 Grenze der Eigentums- und Gesundheitsverletzungen

Wie in Kapitel 5.1.4 beschrieben ist, müssen Beurteilungsschwingstärken deutlich über 0,3 am Tag und 0,23 in der Nacht liegen, um die Zumutbarkeitsschwelle zu überschreiten. Die Ergebnisse der erschütterungstechnischen Untersuchung zeigen, dass an keinen der messtechnisch

untersuchten eine mögliche Grenze der Eigentums- und Gesundheitsverletzungen, auch ohne Einsatz von Minderungsmaßnahmen vorliegt.

Im Prognose-Nullfall liegen die Vorbelastungswerte deutlich unter 1,1 am Tag und 0,7 in der Nacht, sodass eine besondere Untersuchung der Erschütterungseinwirkungen nicht erforderlich ist.

7.6 Extrapolation der Untersuchungsergebnisse

Da sich die dargestellten Prognosen zunächst nur auf exemplarische Gebäude beziehen, sind die Ergebnisse auf die Gesamtheit aller im Einwirkungsbereich des Vorhabens vorhandenen Gebäude zu extrapolieren.

Im vorliegenden Planfeststellungsabschnitt Hanau besteht im bahnnahe Bereich eine geringe Bebauungsdichte. In einer Korridorbreite von bis zu 25 m befinden sich insgesamt lediglich 16 schutzbedürftige Gebäude. Von den insgesamt 19 messtechnisch untersuchten Objekten liegen bereits 7 Gebäude innerhalb dieses Korridors. Dies bedeutet eine Quote von 43 %. 12 ausgewählte Gebäude haben einem Abstand im Bereich von 25 m bis 57 m. Die Anhaltswerte der DIN 4150-2 werden unter Berücksichtigung der Schutzmaßnahme lediglich an 5 der 19 untersuchten Gebäude überschritten. In allen ausgewählten Gebäude werden die Immissionsrichtwerte in Anlehnung an die 24 BImSchV deutlich unterschritten. Eine wesentliche Erhöhung, die einen Anspruch auf Vorsorgemaßnahmen auslösen würde, liegt jedoch lediglich ohne Berücksichtigung der vorgeschlagenen Maßnahme zur Konfliktbewältigung vor. Die Berechnungen zeigen jedoch, dass infolge der Schutzmaßnahme nunmehr an keinem der untersuchten Gebäude der Sachverhalt der wesentlichen Erhöhung gegeben ist. Aufgrund der relativ hohen Quote untersuchter Gebäude im Nahbereich der Bahntrasse können die Ergebnisse der exemplarischen messtechnisch untersuchten Objekte auf die Gesamtheit aller im Einwirkungsbereich der Baumaßnahme gelegenen Gebäude extrapoliert werden.

8 Abschließende Bemerkungen

Die erschütterungstechnische Untersuchung zeigt, dass sowohl im Prognose-Nullfall, das heißt ohne die geplante Ausbaumaßnahme als auch im Prognose-Planfall (mit Ausbaumaßnahme) ein relevantes Konfliktpotential infolge der schienenverkehrsinduzierten Immissionen aus Erschütterungen zu erwarten ist. Die Immissionsrichtwerte in Anlehnung an die 24 BImSchV werden hingegen an allen untersuchten Gebäuden deutlich unterschritten und somit mit sicherem Abstand eingehalten. Eine Anspruchsberechtigung auf erschütterungstechnische Vorsorgemaß-

nahmen ergibt sich für die Bereiche Frankfurter Landstraße sowie Goldene Aue. Die Berechnungen zeigen jedoch, dass durch den Einbau Besohlter Schwellen in diesen Bereichen nunmehr an keinem der exemplarisch untersuchten Gebäude der Sachverhalt der wesentlichen Erhöhung gegeben ist.

Die Erstreckung der zur Konfliktvermeidung erforderlichen Schutzmaßnahme kann der unteren Tabelle entnommen werden.

Strecke	Vorsorgemaßnahme „Besohlte Schwellen“				
	Bereich	von km	bis km	Länge (pro Gleis) [m]	Gesamtlänge (alle Gleise) [m]
3660	beide Gleise	16,718	16,818	100	200
3660	beide Gleise	17,770	18,800	1.030	2.060

Tabelle 7: Erforderliche Erstreckung der Vorsorgemaßnahme

Gleichwohl ergibt sich insbesondere für die Siedlungsflächen nordöstlich der Bahntrasse eine Verbesserung der erschütterungstechnischen Situation. Durch die Verlagerung des maßgebenden Fernverkehrs auf die neuen südwestlich der bestehenden Strecke anzubauenden Gleise kommt es zu einer Verminderung der zukünftigen Immissionen des Prognose-Planfalls gegenüber der Vorbelastung (Prognose-Nullfall).

AUFGESTELLT:


Dipl.-Phys. Andreas Malizki

GEPRÜFT UND FREIGEgeben:


Dipl.-Ing. (FH) Matthias John-Tschoeppe

ENDE DES BERICHTS

ANHÄNGE