

MESSBERICHT - ERSCHÜTTERUNGEN

VORHABEN:	S-Bahn Rhein-Main, Nordmainische S-Bahn
ABSCHNITT:	Planfeststellungsabschnitt 3 - Hanau
UMFANG:	Messtechnische Erhebung der Erschütterungsemissionen sämtlicher Zuggattungen, der Ausbreitungsbedingungen im Boden und der baulastdynamischen Kenndaten von Gebäuden auf insgesamt 12 Untersuchungsquerschnitten im Stadtgebiet von Hanau
AUFTRAGGEBER:	DB Netz AG I.NG-MI-N Hahnstraße 49 60528 Frankfurt am Main
BEARBEITUNG:	KREBS+KIEFER FRITZ AG Hilpertstraße 20 64295 Darmstadt T 06151 885-383 F 06151 885-220
AKTENZEICHEN:	20178005-VME-8
DATUM:	Darmstadt, 09.06.2017

Dieser Bericht umfasst 17 Seiten und 12 Anhänge mit 120 Blättern.

Der Bericht ist nur für den Auftraggeber bestimmt. Jede darüberhinausgehende Verwendung unterliegt dem Urheberrecht. Eine Veröffentlichung – auch im Internet – ist nicht gestattet.

Inhaltsverzeichnis

1	Sachverhalt und Aufgabenstellung	5
2	Bearbeitungsgrundlagen	5
3	Messdurchführung	6
3.1	Beschreibung der Messquerschnitte	7
3.1.1	Immissionsorte	7
3.1.2	Ausbreitungsmessquerschnitte	7
3.2	Beschreibung der Messkette	8
3.2.1	Messgeräte	8
3.3	Anordnung der Sensoren	10
3.4	Messdurchführung	12
3.5	Auswertung der Messungen	13
3.5.1	Immissionsmessungen	13
3.5.2	Gebäudeübertragungsfunktionen	13
3.5.3	Abnahmekoeffizienten	14
3.5.4	Auswertung der Emissionsmessungen	15
4	Untersuchungsergebnisse	15
4.1	Immissionen	15
4.2	Gebäudeübertragungsfunktion	16
4.3	Ausbreitungsfunktionen	16
4.4	Emissionen	17

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prinzipskizze der Messanordnung	9
Abbildung 2:	Übertragung von Erschütterungen.....	11
Abbildung 3:	Auswertung im Frequenzbereich.....	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Komponenten des eingesetzten Messsystems	8
------------	--	---

Anhänge

Anhang 1	Messprotokoll Mendelssohnstraße 12, 63452 Hanau
Anhang 2	Messprotokoll Mendelssohnstraße 14, 63452 Hanau
Anhang 3	Messprotokoll Haydnstraße 26, 63452 Hanau
Anhang 4	Messprotokoll Haydnstraße 28, 63452 Hanau
Anhang 5	Messprotokoll Max-Reger-Straße 1b, 63452 Hanau
Anhang 6	Messprotokoll Auf der Aue 16, 63450 Hanau
Anhang 7	Messprotokoll Westbahnhofstraße 34, 63450 Hanau
Anhang 8	Messprotokoll Westbahnhofstraße 32, 63450 Hanau
Anhang 9	Messprotokoll Am Pedro-Jung-Park 7, 63450 Hanau
Anhang 10	Messprotokoll Am Pedro-Jung-Park 9, 63450 Hanau
Anhang 11	Messprotokoll-Ausbreitung Westbahnhof, 63450 Hanau
Anhang 12	Messprotokoll-Ausbreitung Frankfurter Landstraße, 63452 Hanau

Abkürzungsverzeichnis

GV	Güterverkehr, Güterzug
f	Frequenz [Hz]
FV	Personenfernverkehrszüge
Hz	Hertz, Schwingungen je Sekunde
ICE	InterCityExpress
KBFmax	maximale bewertete Schwingstärke [-]
KBFTi	Taktmaximalwerte [-]
KBFTm	Taktmaximal-Effektivwerte [-]
KBFT _r	Beurteilungsschwingstärke [-]
L _v	Schwingschnellepegel [dB(A)]
MP	Messpunkt / Messposition
MQ	Messquerschnitt
MW	Mittelwert
N	Anzahl von Zügen
NV	Personennahverkehrszüge
NVDS	Personennahverkehrszüge, doppelstöckig
r, R	Abstand
StAbw	Standardabweichung
T _e	Vorbeifahrtzeit
T ₀	Gemessene Zugvorbeifahrtzeit [s]
v ₀	Referenzwert für die Schwingschnelle [$5 \cdot 10^{-8}$ m/s]
v	Gemessene Geschwindigkeit von Zügen [km/h]

1 Sachverhalt und Aufgabenstellung

Die DB Netz 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 Ostbahnhofs Frankfurt/Main oberirdisch bis zum Hauptbahnhof Hanau. Die S-Bahngleise verlaufen parallel und in gleicher Höhenlage zur vorhandenen Bahnstrecke Frankfurt-Hanau.

Im Bereich von PfA 3 (Hanau) wurden bereits im Jahr 2008 bzw. 2013 Messungen im Rahmen von erschütterungstechnischen Untersuchungen durchgeführt. Hierbei wurden die durch den Bahnverkehr hervorgerufenen Immissionen an 9 Gebäuden untersucht. Weiterhin wurden die Emissions- und Ausbreitungsmessungen in einem Messquerschnitt im Bereich der Stadt Hanau durchgeführt.

Um alle möglicherweise entstehenden Konfliktpotentiale mit einer weiter erhöhten Genauigkeit abbilden zu können, sollen nun die erschütterungstechnischen Untersuchungen für 10 weitere Gebäude fortgeschrieben werden. Ziel der Erschütterungsmessungen ist es das erschütterungsrelevante baudynamische Verhalten der Gebäude zu bestimmen, um die Eingangsdaten für Prognoseberechnungen zu erhalten. Konkret wird das baudynamische Übertragungsverhalten der Gebäude in Form von Übertragungsfunktionen bestimmt, die ebenfalls Bestandteil des Prognosemodells sind.

Darüber hinaus sind zwei weitere Emissions- und Ausbreitungsmessungen im Stadtgebiet von Hanau durchzuführen. Ziel dieser Erschütterungsmessungen ist es die vorhandenen Ausbreitungsbedingungen der schienenverkehrsinduzierten Schwingungen im Einwirkungsbereich der geplanten Ausbaustrecke im PFA 3 messtechnisch zu erfassen. Die Messergebnisse dienen ebenfalls als Basis der Prognoseberechnungen für die erschütterungstechnische Untersuchung.

2 Bearbeitungsgrundlagen

Der durchgeführten schalltechnischen Untersuchung liegen die folgenden Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Planunterlagen und Schriftsätze zu Grunde:

-
- /1/ DIN 45669 Teil 1, „Messung von Schwingungsimmissionen“ – Schwingungsmesser – Anforderungen und Prüfungen, September 2010
 - /2/ DIN 45669 Teil 2, „Messung von Schwingungsimmissionen“ Messverfahren, Juni 2005
 - /3/ DIN 45672 Teil 1 „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen“ Teil 1 Messverfahren vom Dezember 2009
 - /4/ DIN 45672 Teil 2 „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen“ Teil 2: Auswerteverfahren vom Juli 1995
 - /5/ DIN 4150, Teil 1 „Erschütterungen im Bauwesen“, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
 - /6/ DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen“, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
 - /7/ „Zur Ermittlung der schienenverkehrsinduzierten Immissionen aus Erschütterungen und der baudynamischen Kenndaten für die Erschütterungsprognose“, Messbericht-Erschütterung, FRITZ GmbH, Bericht-Nr. 08500-VME-6 vom 26.09.2008
 - /8/ „Messtechnische Erfassung der Ausbreitungsbedingungen im Planfeststellungsabschnitt 3 Hanau“, Messbericht-Erschütterung, FRITZ GmbH, Bericht-Nr. 08500-VME-3 vom 18.01.2013

3 Messdurchführung

Die Messungen in insgesamt 10 Gebäuden einschließlich der Analyse von 2 Ausbreitungsquerschnitten im Stadtteil Hanau wurden im Zeitraum vom 06.03.2017 bis 16.03.2017 gemäß den Vorgaben der DIN 45672-1 /3/ durchgeführt. In den Anhängen (Anhang 1 bis Anhang 12) ist das Datum der Messdurchführung angegeben.

Auf der vorhandenen Bahnstrecke wurden Güterzüge (GV), Nahverkehrszüge (NV/NVDS) und Intercityexpresszüge (FV/ICE) messtechnisch erfasst.

Bei der vorhandenen Bahnstrecke handelt es sich um eine zweigleisig ausgebaute Schienenverkehrsstrecke mit konventionellem Schienenoberbau, d.h. Be-

tonschwellen auf Schotteroberbau. Auf der Strecke herrscht Mischbetrieb. Die Trasse verläuft weitestgehend ebenerdig. Nur im Bereich der Straße „Auf der Aue“ liegt die Strecke auf einem Damm.

3.1 Beschreibung der Messquerschnitte

3.1.1 Immissionsorte

Die Erschütterungsmessungen wurden in insgesamt 10 repräsentativ ausgewählten Gebäuden durchgeführt, die sich alle im direkten Einwirkungsbereich der Bahnstrecke befinden. Im Einzelnen wurden Messungen an den folgenden Gebäuden durchgeführt:

MP H-10	Mendelssohnstraße 12, 63452 Hanau
MP H-11	Mendelssohnstraße 14, 63452 Hanau
MP H-12	Haydnstraße 26, 63452 Hanau
MP H-13	Haydnstraße 28, 63452 Hanau
MP H-14	Max-Reger-Straße 1b, 63452 Hanau
MP H-15	Auf der Aue 16, 63450 Hanau
MP H-16	Westbahnhofstraße 34, 63450 Hanau
MP H-17	Westbahnhofstraße 32, 63450 Hanau
MP H-18	Am Pedro-Jung-Park 7, 63450 Hanau
MP H-19	Am Pedro-Jung-Park 9, 63450 Hanau

Die Nummerierung der Immissionsorte wurde fortgeschrieben. In den Anhängen (Anhang 10.1 bis Anhang 19.1) erfolgt eine Beschreibung der Messobjekte. Bei den messtechnisch untersuchten Gebäuden handelt es sich um Wohngebäude in Massivbauweise.

3.1.2 Ausbreitungsmessquerschnitte

Die Ausbreitungsmessungen wurden an der Strecke 3660 bei ca. Bahn-km 16,8 auf einer landwirtschaftlichen Nutzfläche in der Nähe der Frankfurter Landstraße (MQ2) und bei ca. Bahn-km 18,0 im Bereich einer öffentlichen Parkanlage am Westbahnhof (MQ1) durchgeführt. Es wurden jeweils 2 Messquerschnitte mit je 4 Messpositionen senkrecht zur Bahnstrecke installiert. Die Messungen wurden am 08.03.2017 im Zeitraum von 8.00 Uhr bis 13.00 Uhr bzw. 13:30 Uhr bis 19:00 Uhr gemäß den Vorgaben der DIN 45672-1 /3/ durchgeführt. Die Trasse verläuft im Bereich der Messquerschnitte ebenerdig.

3.2 Beschreibung der Messkette

3.2.1 Messgeräte

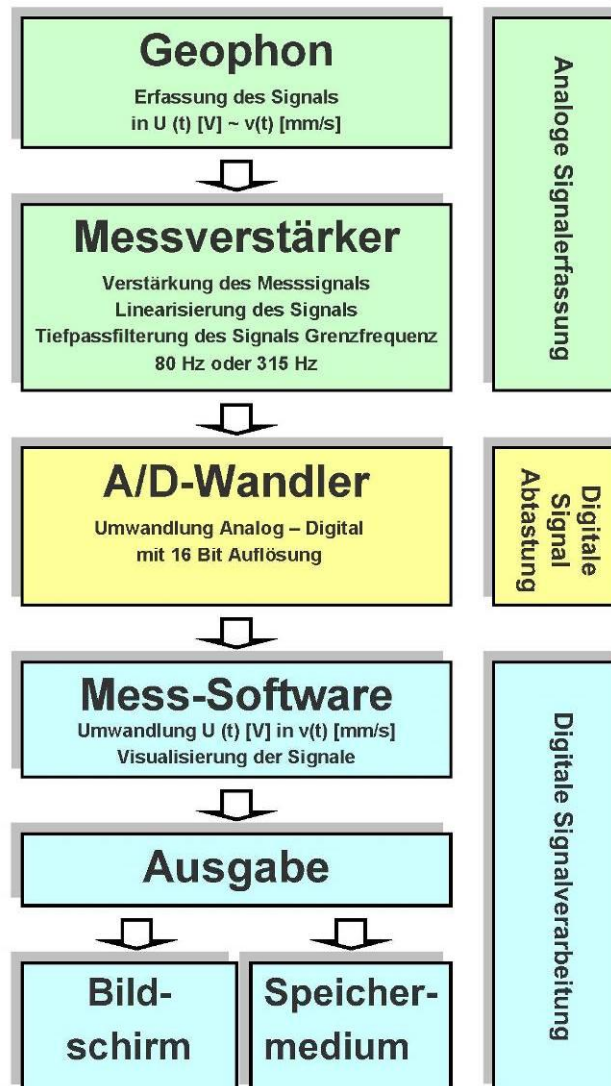
Die Durchführung der Erschütterungsmessungen erfolgte mit einer Messanlage, die der Genauigkeitsklasse 1 gemäß DIN 45669-1 /1/ entspricht. Die Komponenten der Messanlage sind in der Prinzipskizze in Abbildung 1 dargestellt.

Tabelle 1: Komponenten des eingesetzten Messsystems

GEOPHONE:	elektrodynam. Absolutschwingungsaufnehmer
Hersteller:	Western Data Systems
Kennfrequenz:	4,5 ± 0,5 Hz für alle 3 Komponenten
Empfindlichkeit:	0,29 ± 5% V/cm/s für alle 3 Komponenten
MESSVERSTÄRKER:	SMK-4812; 12 Kanäle
Hersteller:	Dr. Kebe Scientific Instruments GmbH
Frequenzbereich:	1 ... 315 Hz
Messbereich:	Schwinggeschwindigkeit 0,1 ... 500 mm/s
Nachweisgrenze:	besser 0,002 mm/s (gem. DIN 45669)
Genauigkeitsklasse:	DIN 45669-1 im genannten Frequenzbereich
LAPTOP	
Hersteller:	Samsung
CPU:	Intel Pentium M 2,0 GHz
A/D-WANDLER	DAQ-Card 6036-E , 16 Kanäle
Hersteller:	National Instruments
Auflösung:	16 Bit
SOFTWARE:	MEDA-AD
Hersteller:	Wölfel Messsysteme Software GmbH + Co. KG
Version:	2016-1

Die einzelnen Kanäle der 6-kanäligen Messanlage wurden letztmalig am 16.01.2014 im Labor mit einem rückführbar kalibrierten Referenzaufnehmer im Kopf an Kopf Verfahren für den relevanten Frequenzbereich kalibriert. Vor der Durchführung der Messungen wurde die Funktionsfähigkeit der Messgeräte durch kurze Stoßanregungen an den Sensoren auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft. Die in der Messkette eingesetzten Komponenten sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Abbildung 1: Prinzipskizze der Messanordnung



Die Abtastung der analogen Messsignale erfolgte mit einer Abtastrate von

$$f_s = 1024 \text{ Hz.}$$

Somit bietet die Abtastung die Möglichkeit die Signale bis zu einer Frequenz von 400 Hz spektral auszuwerten. Im Rahmen der Auswertung der Signale erfolgt anschließend eine Bandbegrenzung auf

$$f = 4 \dots 315 \text{ Hz}$$

durch eine entsprechende digitale Bandpassfilterung.

3.3 Anordnung der Sensoren

Bei der Prognose der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall wird im Allgemeinen von der in Abbildung 2 skizzierten Übertragungskette ausgegangen. Diese berücksichtigt neben der Ausbreitung der Schwingungen im Erdreich (Transmission T_1) das Schwingungsverhalten der zu untersuchenden Gebäude (Transmission T_2 und T_3).

Die schienenverkehrsinduzierten Schwingungsemissionen werden im Erdreich in der Regel in einem Referenzabstand von 8 m zur nächstgelegenen Gleisachse messtechnisch erfasst. Im Rahmen dieser Erschütterungsmessungen war, durch die gegebenen Örtlichkeiten, der Referenzabstand von 8 m nur bei MQ 2 möglich. Bei MQ 1 hatten die der 1. Gleisachse nächstgelegenen Messpunkte einen Abstand von 10 m. Die Sensoren wurden für die beiden Messquerschnitte in folgenden Abständen installiert:

Messquerschnitt 1: 10 m, 20,5 m, 32 m, 64 m bzw. 65 m

Messquerschnitt 2: 8 m, 16 m, 32 m und 64 m

Die Ankopplung der Sensoren (Messpositionen) erfolgte auf ca. 45 cm bzw. 60 cm langen Erdspießen an das Erdreich gemäß den Vorgaben der DIN 45669-2 /2/. Die Erdspieße weisen einen x-förmigen Querschnitt und in dem hier relevanten Frequenzbereich im Boden, keine Eigenschwingungen auf. Um Kontaktresonanzen zu vermeiden, wurden die Sensoren mittels Gewinden, die mit Spannringen gesichert waren, an die Pflöcke befestigt. Der Abstand der 2 Messketten untereinander betrug an MQ1 ca. 36 m und an MQ2 ca. 50 m.

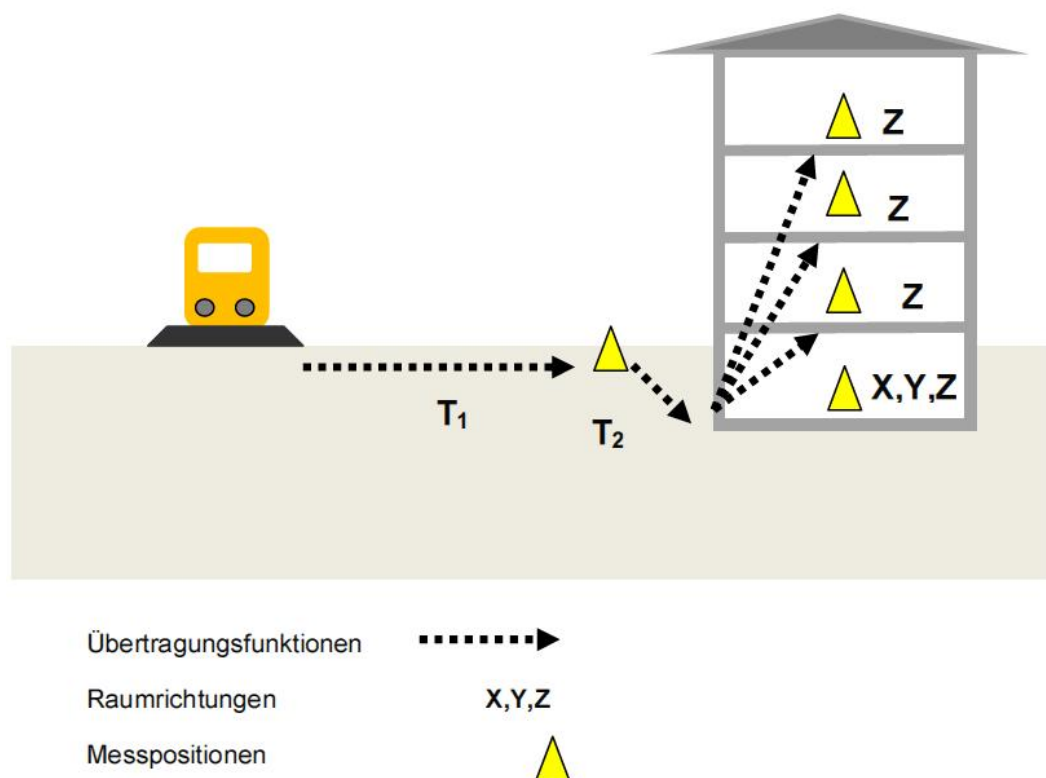
Die Anordnung der Sensoren sowie die Ankopplungsbedingungen der Sensoren an den Messpositionen sind in Anhang 11.1 bis Anhang 12.2 angegeben. Eine Fotodokumentation der Messpositionen sowie Angaben zu den verwendeten Sensoren findet sich in Anhang 11.3 bis Anhang 12.4.

Zur Ermittlung der Gebäudeübertragungsfunktionen (Transmission T_2 und T_3) wird es zunächst erforderlich den Übertragungsweg der Schwingungen vom Erdreich auf das Gebäudefundament messtechnisch zu erfassen. Hierzu wurde vor dem Gebäude ein Sensor auf einem ca. 60 cm langen Erdspieß an das Erdreich angekoppelt. Zusätzlich wurde eine weitere Messposition im Bereich des der Bahntrasse zugewandten Gebäudefundaments eingerichtet. Hier wurden Schwinggeschwindigkeiten in drei Raumrichtungen gemessen. Das gewählte

Koordinatensystem wurde an den Gebäudeachsen ausgerichtet. Es wurde darauf geachtet, dass möglichst die Messrichtung X parallel zur Bahnstrecke, die Messrichtung Y quer zur Bahn verläuft. Die Ankopplung der Sensoren erfolgte gemäß DIN 45669-2 /2/.

In Anbetracht des Sachverhaltes, dass die am Sensor anstehenden Schwingbeschleunigungen stets deutlich unterhalb der Erdbeschleunigung liegen, reicht die Gravitationskraft aus, um den Sensor in Position zu halten. Kontaktresonanzen werden durch Beachtung der Vorgaben in /2/ vermieden.

Abbildung 2: Übertragung von Erschütterungen



Des Weiteren wurde der Übertragungsweg vom Fundament auf die Geschossdecken messtechnisch ermittelt. Konkret wurden also die in Abbildung 2 schematisch skizzierten Übertragungsfunktionen T_3 erhoben und analysiert. Dazu erfolgte zusätzlich die Installation der Schwingungsaufnehmer in Fußbodenmitte der einzelnen schutzwürdigen Räume. Nach Möglichkeit wurden in 3 Räumen in unterschiedlichen Geschosslagen die Schwingungsimmissionen in vertikaler Richtung erfasst.

Die Anordnung der Sensoren sowie die Ankopplungsbedingungen der Sensoren an den Messpositionen, die von der Oberflächenbeschaffenheit des Bodens bzw. der Bodenbeläge in den jeweiligen Räumen, abhängen, sind in Anhang 1.1 bis Anhang 10.1 angegeben. Eine Photodokumentation der Messpositionen sowie Angaben zu den verwendeten Sensoren findet sich in Anhang 1.2 bis Anhang 10.2.

3.4 Messdurchführung

Sowohl bei den Ausbreitungsmessungen als auch bei den Messungen der Gebäudeübertragungsfunktionen wurden die durch den Schienenverkehr auf den Strecke 3660 resultierenden Erschütterungen für jede einzelne Zugvorbeifahrt messtechnisch erfasst. Es erfolgte die Registrierung der Schwingungssignale $v(t)$ an allen in Kapitel 3.3 aufgeführten Messpositionen zeitgleich. Die mit der Messkette registrierten Schwingungsereignisse wurden den verkehrenden Zuggattungen und der jeweils befahrenen Gleislage im Protokoll zugeordnet.

Des Weiteren wurde mit einer Radarpistole die Geschwindigkeit bzw. mit einer Stoppuhr die Vorbeifahrtzeit der vorbeifahrenden Fahrzeuge registriert. Die Signale wurden für jedes Ereignis unmittelbar nach Durchführung der Messung auf dem Bildschirm des Messrechners angezeigt und auf Plausibilität geprüft. Soweit Störungen festgestellt wurden, wurde die jeweilige Messung verworfen. Sofern Übersteuerungen für einzelne Kanäle auftraten, wurden die Messungen verworfen, die Aussteuerung angepasst und eine erneute Messung durchgeführt. Die zur Auswertung verwertbaren Messergebnisse wurden direkt nach der Plausibilitätsprüfung der $v(t)$ -Signale für die spätere Auswertung digital abgespeichert.

Die Signale wurden dann nach Absolvierung des Messprogramms im Labor gemäß DIN 45672-2 /4/ ausgewertet. Eine Zusammenstellung der messtechnisch erfassten Zugereignisse mit Angabe des befahrenen Gleises sowie der gefahrenen Geschwindigkeit findet sich in Anhang 1.3 bis Anhang 10.3 und Anhang 11.4 bis Anhang 12.4. Eine statistische Auswertung der gemessenen Fahrzeuge ist in Anhang 1.4 bis Anhang 10.4 und Anhang 11.6 bis Anhang 12.6 tabellarisch dargestellt.

3.5 Auswertung der Messungen

Zur Ermittlung der bauphysikalischen Kenndaten der Gebäude sowie der Übertragung der Schwingungen auf das Gebäude erfolgt die Auswertung der Schwingschnelle $v(t)$ im Frequenzbereich gemäß DIN 45672-2 /4/.

3.5.1 Immissionsmessungen

Die DIN 4150-2 /6/ geht bei der Beurteilung von Erschütterungsimmissionen von der Schwingschnelle $v(t)$ aus. Unter Berücksichtigung einer Frequenz- und Zeitbewertung der Schwinggeschwindigkeit $v(t)$ werden die Taktmaximalwerte für jede Zugvorbeifahrt (KB_{FTi}) ermittelt. Hierbei belegt jede Zugvorbeifahrt unter Berücksichtigung des 30-Sekunden-Taktverfahrens einen Takt. Aus diesen KB_{FTi} -Werten werden die Mittelwerte, d.h. die Taktmaximal-Effektivwerte (KB_{FTm}) berechnet. Bei dieser Mittelung werden gemäß DIN 4150-2, Abschnitt 3.6 alle Taktmaximalwerte unterhalb von

$$KB_{FTi} < 0,1$$

mit Null berücksichtigt. Diese Ereignisse werden jedoch bei der Taktanzahl mitgezählt. Der höchste KB_{FTi} -Wert aller Einzelereignisse ergibt die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} . Die Berechnung der KB_{FTm} -Werte erfolgt mit Hilfe der nachfolgenden Gleichung:

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

Hierin bedeutet N die Anzahl der Takte. Der KB_{FTm} -Wert ist die Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte KB_{FTi} .

3.5.2 Gebäudeübertragungsfunktionen

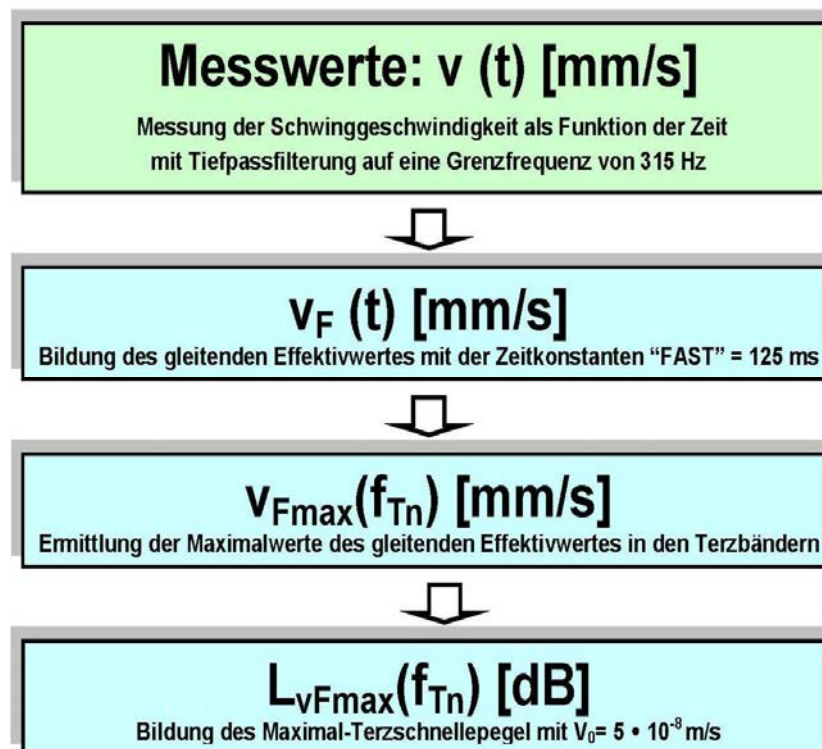
Die Auswertung im Frequenzbereich erfolgt mit Hilfe von Terzanalysen. Hierbei wird der gleitende Effektivwert in Terzbändern mit einer konstanten relativen Breite von 23 % gebildet.

Mit Hilfe der Terzanalyse wird das Spektrum $L_{vFmax}(f_{Tn})$ des Maximal-Terzschnellepegels nach der folgenden Gleichung für jede Sensorposition und jedes Zugereignis ermittelt:

$$L_{vFmax}(f_{Tn}) = 20 \cdot \lg (v_{Fmax}(f_{Tn})/v_0)$$

mit Bezugswert $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ m/s. Danach werden die Terzschnellespektren der Einzelereignisse gemittelt. Der Bereich der Terzmittenfrequenz erstreckt sich von 4 Hz bis 315 Hz. Die Vorgehensweise bei der Auswertung im Frequenzbereich ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Anschließend werden für den vorgeannten Frequenzbereich Verhältnisswerte der einzelnen Messpositionen auf den Geschossdecken zu der am Gebäudefundament und vom Fundament zum Freifeldpunkt vor dem Gebäude gebildet. Hieraus erhält man die Transferfunktionen T_3 und T_2 (siehe Abbildung 2).

Abbildung 3: Auswertung im Frequenzbereich



3.5.3 Abnahmekoeffizienten

Für die Ermittlung der Ausbreitungsbedingungen werden auf Basis der Messwerte an den einzelnen Messpositionen Regressionsanalysen durchgeführt. Es wird für jede Terzmittenfrequenz die Abnahme der Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Abstand mit der nachfolgenden Gleichung bestimmt:

$$\log KB_{FTI} = c - n \cdot \log r$$

Hierbei bedeuten:

r	Abstand der Messposition zur Gleisanlage
c	Achsenabschnitt
n	Steigung der Regressionsgeraden

Durch die Vielzahl an einzelnen Messwerten und Abständen erhält man dann eine frequenzabhängige exponentielle Abnahmebeziehung für jede Zuggattung mit einer hinreichenden statistischen Sicherheit.

3.5.4 Auswertung der Emissionsmessungen

Zur Ermittlung der Schwingungsanregung im Erdreich erfolgt die Auswertung der Schwingschnelle $v(t)$ im Frequenzbereich gemäß DIN 45672-2 /4/. Die Systematik ist in Abbildung 3 dargestellt und in Kapitel 3.5.2 bereits beschrieben.

Die angewandten Emissionsspektren werden mit Hilfe der durchgeführten Emissions- und Ausbreitungsmessungen gewonnen. Die Emissionsspektren beziehen sich allesamt auf den Referenzabstand von 8 m zur nächstgelegenen Gleisachse, die mit Hilfe der aus einer Regressionsanalyse bestimmte spektrale Abnahmeexponent „n“ umgerechnet wurden. Ferner beziehen sich die angegebenen Emissionen auf die von den einzelnen Zuggattungen im Bereich der oben beschriebenen Messquerschnitte gefahrenen Geschwindigkeiten. Die Emissionen ergeben sich aus der statistischen Auswertung aller unter Berücksichtigung der ermittelten Abnahmeexponenten auf den Referenzabstand zurückgerechneten Terzspektren für einzelne Zuggattungen. Die dargestellten Emissionsspektren sind also sowohl hinsichtlich der Schwankungen einzelner Zugereignisse einer Zuggattung als auch hinsichtlich der Schwankungen auf Grund der individuellen Bodenverhältnisse im Plangebiet gemittelt.

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Immissionen

In Anhang 1.5 bis Anhang 10.5 sind die Messergebnisse für die einzelnen Zugereignisse dargestellt. Hier ist für jedes gemessene Vorbeifahrtseignis das Gleis des vorbeifahrenden Zuges mit den Messergebnissen als KBFTi-Werte dargestellt. Die Angabe des Gleises bezieht sich auf die Lage relativ zum Gebäude, hierbei ist Gleis 1 das nächstgelegene Gleis, Gleis 2 das nächst weiter entfernt

gelegene. Zusätzlich ist für jede Zuggattung und Messposition getrennt der KBFTm Wert angegeben.

Zusätzlich sind die ermittelten Immissionen graphisch und tabellarisch in Anhang 1.8 bis Anhang 10.10 dargestellt. Hierbei werden für jede Zuggattung, Gleis und Abstandspunkt die Spektren im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz als Mittelwert angegeben. Ferner werden die mittlere Geschwindigkeit bzw. Vorbeifahrtzeit und die Anzahl der messtechnisch erfassten Zugvorbeifahrten ausgewiesen.

4.2 Gebäudeübertragungsfunktion

Die Untersuchungsergebnisse für die 10 ausgewählten Gebäude im Bereich der bestehenden Gleisanlage und der hierin ausgewählten Deckenfelder sind in Anhang 1.6 bis Anhang 10.8 dokumentiert. Für jedes Messobjekt sind die ermittelten T_2 -Funktionen sowie die T_3 -Funktionen graphisch und numerisch dargestellt.

Für die Übertragungsfunktionen ist das Übertragungsmaß ΔL_v in dB für den Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz ausgewiesen. Für die T_3 -Funktion ist das Übertragungsmaß jeweils für mindestens eine Geschossdecke je Messobjekt angegeben. Die Graphiken zeigen die Resonanzfrequenzen der Geschossdecken als Mittelwert.

4.3 Ausbreitungsfunktionen

Die Dokumentation der Ergebnisse erfolgt in Anhang 11.7 bis Anhang 12.9. Die Abnahme der Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Abstand wird für jede Terzmittenfrequenz graphisch als Regressionsgerade ausgewertet und dokumentiert. In jedem Graphen sind die Messwerte als rote Quadrate und die Regressionsgerade blau gekennzeichnet. Die graphische Darstellung erfolgt hierbei doppelt logarithmisch. Eine Zusammenfassung der frequenzabhängigen exponentiellen Abnahmebeziehung findet sich dann am Ende des jeweiligen Anhangs numerisch in Tabellenform als Exponent für jede Terzmittenfrequenz.

4.4 Emissionen

Die Ergebnisse der Emissionsermittlung sind in Anhang 11.10 bis Anhang 12.11 graphisch und tabellarisch dargestellt. Hierbei werden die auf den Referenzabstand von 8 m normierten Spektren im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz als Mittelwert für jede Zuggattung und gleisweise angegeben. Zusätzlich werden jeweils die Anzahl der erfassten Zugereignisse, die mittlere Geschwindigkeit der Fahrzeuge und die mittleren Summenpegel angegeben.

AUFGESTELLT:


Dipl.-Phys. Andreas Malizki

GEPRÜFT:


Dipl.-Phys. Peter Fritz

ANHANG