

geänderte Anlage 12.4.1b

Nur zur Information

MESSBERICHT – ERSCHÜTTERUNGEN

Vorhaben:

S-Bahn Rhein-Main:

4-gleisiger Ausbau Frankfurt (M) West – Friedberg

Abschnitt:

S6 2. Baustufe: Friedberg – Bad Vilbel,
Strecke 3900 Kassel Hbf – Frankfurt (Main) Hbf,
km 165,900 bis km 183,095

Untersuchungsumfang:

Messtechnische Erhebung der Erschütterungsemissionen sämtlicher Zuggattungen, der Ausbreitungsbedingungen im Boden und der baudynamischen Kenndaten von Gebäuden auf insgesamt 60 Untersuchungsquerschnitten in den Ortslagen Dortelweil, Groß-Karben, Okarben, Nieder-Wöllstadt und Bruchenhäuserbrücken

Dieser Bericht ist nur für den Gebrauch des Auftraggebers bestimmt.
Eine darüber hinausgehende Verwendung, vor allem durch Dritte, unterliegt dem Schutz des Urheberrechts gemäß UrhG.

FRITZ GmbH

BERATENDE INGENIEURE VBI

SCHALLIMMISSIONSSCHUTZ

ERSCHÜTTERUNGSSCHUTZ

BAUDYNAMIK & BAUPHYSIK

TECHNISCHE AKUSTIK

Messstelle zur Ermittlung der Emission und Immission von Geräuschen und Erschütterungen nach § 26 BImSchG

Schallschutzprüfstelle DIN 4109
Zertifikat: VMPA-SPG-203-00-HE

Fehlheimer Str. 24 □ 64683 Einhausen
Telefon (06251) 9646-0
Telefax (06251) 9646-46

E-Mail: info@fritz-ingenieure.de
www.fritz-ingenieure.de

Bericht Nr.: **08160-VME-2**
Datum: **20.10.2014**
30.07.2019

Auftraggeber:

DB ProjektBau GmbH
Regionalbereich Mitte
Hahnstraße 52
60528 Frankfurt am Main

Sachbearbeiter:

Dipl.-Phys. Andreas Malizki

Qualitätskontrolle:

Dipl.-Ing. Rolf Schneider

Umfang des Dokumentes

Textteil: 18 Seiten

ANHÄNGE: 553 Seiten

**Berichtigungen in folgenden
Messprotokollen:**
**MP008, MP013, MP019,
MP029, MP043, MP060**

Inhaltsverzeichnis

1	Sachverhalt und Aufgabenstellung	4
2	Bearbeitungsgrundlagen	5
3	Messdurchführung	6
3.1	Messobjekte	6
3.2	Beschreibung der Messkette	7
3.2.1	Messgeräte	7
3.2.2	Anordnung der Sensoren	9
3.3	Messdurchführung	11
3.3.1	Schwingungsmessung Typ 1	11
3.3.2	Schwingungsmessungen Typ 2	12
3.4	Auswertung der Messungen	13
3.4.1	Schwingungsmessungen Typ 1	13
3.4.2	Schwingungsmessungen Typ 2	14
4	Messergebnisse	17
4.1	Gebäudeübertragungsfunktionen	17
4.2	Emissionen	18
4.3	Ausbreitungsfunktionen	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prinzipskizze der Messanordnung	8
Abbildung 2:	Übertragung von Erschütterungen	10
Abbildung 3:	Auswertung im Frequenzbereich	13
Abbildung 4:	Auswertung der Immissionsmessungen	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anzahl der durchgeführten Messungen nach Typen	7
Tabelle 2:	Komponenten des eingesetzten Messsystems	9

Anhänge

Anhang 1 - 19	Messprotokolle Ortslage Dortelweil
Anhang 20 - 27	Messprotokoll – Ortslage Groß-Karben
Anhang 28 – 43	Messprotokoll – Ortslage Okarben
Anhang 44 - 56	Messprotokoll – Ortslage Nieder-Wöllstadt
Anhang 57 - 60	Messprotokoll – Ortslage Bruchengraben
Anhang 61	Auflistung der Messobjekte mit Angabe des Messtyps

Abkürzungsverzeichnis

dB	Dezibel
ΔL	Pegeldifferenz
f_s	Abtastrate [Hz]
f	Frequenz [Hz]
f_0	Deckeneigenfrequenz [Hz]
GHz	Gigahertz
GZ	Güterzug
Hz	Hertz, Schwingungen je Sekunde
IC	InterCity
KB_{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke [-]
KB_{FTi}	Taktmaximalwert [-]
KB_{FTm}	Taktmaximal-Effektivwert [-]
L_v	Schwingschnellepegel in dB
MP	Messpunkt
MW	Mittelwert
N	Anzahl der Takte
NVDS	Nahverkehrszüge, doppelstock
NVZ	Nahverkehrszüge
S	S-Bahn
StAbw	Standardabweichung
$v / v(t)$	Schwingschnelle [mm/s]
v_0	Referenzwert für die Schwingschnelle [$5 \cdot 10^{-8}$ m/s]

1 Sachverhalt und Aufgabenstellung

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für das Vorhaben S 6 2. Baustufe wurde bereits eine erschütterungstechnische Untersuchung /8/ erstellt, die auch bereits im Rahmen der ersten Auflage der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wurde. Nachdem sich zwischenzeitlich der Verwaltungsgerichtshof Kassel mit einer Klage gegen das Vorhaben S 6 1. Baustufe, Planfeststellungsabschnitt Frankfurt am Main, befasst hat und in diesem Zusammenhang die Anforderungen an erschütterungstechnische Untersuchungen für Bahnanlagen hinsichtlich der Repräsentativität der untersuchten Gebäude konkretisiert hat, wurde nun eine weitere erschütterungstechnische Untersuchungen unter Berücksichtigung einer erhöhten Anzahl von Gebäuden durchgeführt.

Die im Vorfeld durchgeführte Analyse der Bebauungsstruktur der Siedlungsflächen in den Ortslagen entlang der geplanten Ausbaustrecke /7/ zeigte, dass im gesamten Streckenabschnitt des Vorhabens etwa **475** Gebäude mit schutzwürdiger Nutzung im erschütterungstechnisch kritischen 60-Meter-Korridor befinden. Im Jahr 2008 wurden bereits erschütterungstechnische Untersuchung /8/ an insgesamt 20 Gebäuden durchgeführt. Diese Gebäudezahl ist im Lichte der Rechtsauffassung des VGH Hessen nunmehr als zu gering einzuschätzen, so dass weitere Gebäude zur statistischen Absicherung der Untersuchungsergebnisse in den Untersuchungsumfang miteinzubeziehen sind. Die statistische Auswertung der an der Strecke gelegenen Ortslagen, Siedlungsstrukturen und des jeweiligen Gebäudebestandes führte zu dem Ergebnis, dass in zusätzlich **55** weiteren Gebäuden ergänzende messtechnische Untersuchungen durchgeführt werden sollten, um die in den jeweiligen Ortslagen vorhandene Bebauungsstruktur repräsentativ berücksichtigen zu können. Somit würden in der Summe insgesamt **75** Gebäude entlang der Strecke messtechnisch untersucht. In diesem Zusammenhang werden auch zur Berücksichtigung der Bodenverhältnisse der einzelnen Ortslagen Ausbreitungsmessungen durchgeführt um die spezifischen erschütterungstechnischer Ausbreitungsbedingungen bei den prognostischer Betrachtungen zur Prüfung möglicher Schutzansprüche auf erschütterungstechnischer Vorsorgemaßnahmen berücksichtigen zu können.

2 Bearbeitungsgrundlagen

Für die Durchführung und Auswertung der Erschütterungsmessungen werden die folgenden Normen herangezogen.

- /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: Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Juni 2001
- /6/ DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, Juni 1999
- /7/ Durchführung ergänzender erschütterungstechnischer Untersuchungen zur Umsetzung der Vorgaben des Verwaltungsgerichtshofes Kassel im Zusammenhang mit der Klage gegen den Planfeststellungsbeschluss der 1. Baustufe im Zusammenhang mit dem 4-gleisigen Ausbau der Strecke 3900 zwischen Frankfurt/M.-West und Friedberg, Planfeststellungsabschnitt Friedberg – Bad Vilbel, FRITZ GmbH, Bericht Nr. 08160-VVE-3 vom 24.01.2014
- /8/ Ermittlung der schienenverkehrsinduzierten Erschütterungen in 20 exemplarischen Gebäude an der Strecke zur Ermittlung der baulastdynamischen Kenndaten für die Erschütterungsprognose im Zusammenhang mit dem 4-gleisigen Ausbau der Strecke 3900 zwischen Frankfurt/M.-West und Friedberg, Planfeststellungsabschnitt Friedberg – Bad Vilbel, FRITZ GmbH, Bericht Nr. 08160-VME-1 vom 10.07.2009

3 Messdurchführung

Die Messungen in insgesamt 58 Gebäuden und auf 2 unbebauten Grundstücken einschließlich der Analyse von 7 Ausbreitungsquerschnitten in den einzelnen Ortslagen wurden im Zeitraum vom 13.05.2014 bis 13.08.2014 gemäß den Vorgaben der **DIN 45672-1** /3/ durchgeführt. Es wurden insgesamt 5 Messquerschnitte mehr untersucht als ursprünglich geplant. Eine Auflistung der messtechnisch untersuchten Gebäude findet sich in **Anhang 61.1** bis **61.2**. In den Anhängen (**Anhang 1** bis **Anhang 60**) ist das Datum der Messdurchführung für die entsprechenden Gebäude angeben. Die messtechnisch untersuchten Gebäude befinden sich in den folgenden Ortslagen:

- ☐ Dortelweil
- ☐ Groß-Karben
- ☐ Okarben
- ☐ Nieder-Wöllstadt
- ☐ Bruchenbrücken

3.1 Messobjekte

Es wurden 2 Typen von Schwingungsmessungen durchgeführt:

- ☐ Typ 1: Bestimmung von Gebäudeübertragungsfunktionen
- ☐ Typ 2: Immissions- und / oder Emissions- und Ausbreitungsmessung

Eine genaue Beschreibung der beiden Messtypen findet sich in Kapitel 3.3 Messdurchführung. In der nachfolgenden **Tabelle 1** ist für jede Ortslage jeweils die Anzahl der Messquerschnitte (Gebäude) getrennt nach den beiden Typen von Messungen zusammengestellt.

In **Anhang 61** sind für alle Ortslagen die messtechnisch untersuchten Gebäude mit Angabe des Messtyps tabellarisch dargestellt. Ferner ist die Messpunktnummer sowie die zugehörige Gebäude- und Immissionspunktnummer angeben.

In den Anhängen (**Anhang 1.1** bis **Anhang 60.1**) erfolgt eine Beschreibung der Messobjekte. Bei den messtechnisch untersuchten Gebäuden handelt es sich vorrangig um Wohngebäude. Alle untersuchten Gebäude

sind in Massivbauweise mit Stahlbeton- oder Holzbalkendecken ausgeführt.

Tabelle 1: Anzahl der durchgeführten Messungen nach Typen

Ortslage	Anzahl			Messpunkt
	Typ 1	Typ 2	Σ	Nr.
Dortelweil	17	2	19	MP001-MP019
Groß-Karben	7	1	8	MP020-MP027
Okarben	14	2	16	MP028-MP043
Nieder-Wöllstadt	12	1	13	MP044-MP056
Bruchenbrücken	3	1	4	MP057-MP060
Summe	53	7	60	

3.2 Beschreibung der Messkette

3.2.1 Messgeräte

Die einzelnen Kanäle der 12-kanaligen 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 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 500 Hz spektral auszuwerten. Die in der Messkette eingesetzten Komponenten sind in **Tabelle 2** aufgeführt.

Abbildung 1: Prinzipskizze der Messanordnung

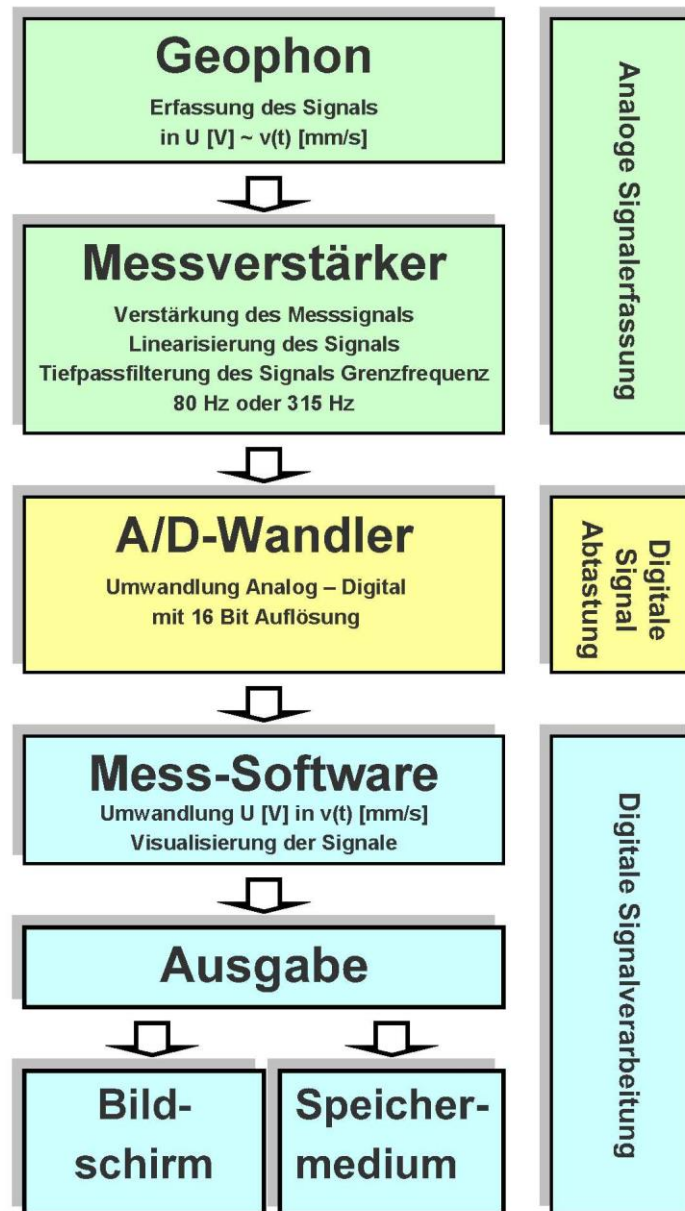


Tabelle 2: Komponenten des eingesetzten Messsystems

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:	2013-1

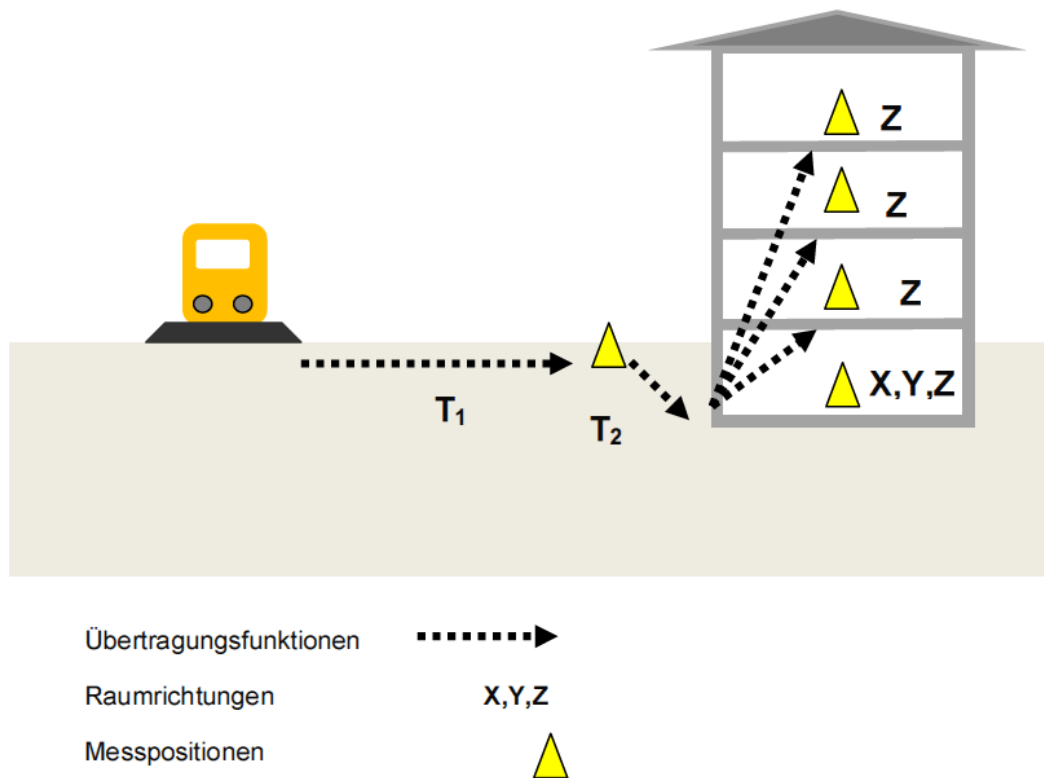
3.2.2 Anordnung der Sensoren

3.2.2.1 Schwingungsmessungen Typ 1

Die Erschütterungsmessungen "Typ 1" dienen im Wesentlichen dazu das baudynamische Verhalten des Bauwerkes auf dem Baugrund sowie des Bauwerkes selbst bei verkehrsinduzierten Erschütterungseinträgen von außen zu erheben und zu analysieren. Zur Ermittlung der Gebäudeübertragungsfunktionen T_1 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 Erdspeer 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 Messrich-

tung **Y** quer zur Bahn verläuft. Die Ankopplung der Sensoren erfolgte gemäß **DIN 45669-2 /2/**.

Abbildung 2: Übertragung von Erschütterungen



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.

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 59.1** angegeben. Eine Photodokumentation der Messpositionen sowie Angaben zu den verwendeten Sensoren findet sich in **Anhang 1.2** bis **Anhang 59.2**.

3.2.2.2 Schwingungsmessungen Typ 2

Die Erschütterungsmessungen "Typ 2" sind umfangreicher als die Messungen vom "Typ 1". Neben der Erhebung und Analyse baudynamischer Kenndaten des jeweiligen Gebäudes im Untersuchungsquerschnitt, wie sie bei den Schwingungsmessungen "Typ 1" erfolgen, werden ebenfalls die Ausbreitung der Schwingungen im Boden und auch die Emissionen sämtlicher verkehrenden Zuggattungen messtechnisch erhoben. Demgemäß erstreckten sich in diese Messungen über einen Zeitraum von jeweils ca. 8 Stunden. Die Anordnung der Sensoren sowie die Ankopplung im und vor dem Gebäude erfolgte wie bei den Messungen von "Typ 1" und sind in **Anhang 4.1, Anhang 26.1, Anhang 43.1, Anhang 48.1** und **Anhang 60.1** angegeben. Zusätzlich wurden im Ausbreitungsweg vom Gleis zum Gebäude Sensoren auf Erdspießen installiert. Je nach örtlichen Gegebenheiten wurden diese in Abständen von 8 m bzw. 10 m, 16 m, 32 m, 64 m bzw. 50 m und 128 m zur nächstgelegenen Gleisachse vorgesehen. Diese Messpositionen der Ausbreitungsuntersuchung sind in **Anhang 4.2, Anhang 19.2, Anhang 26.2, Anhang 29.1, Anhang 43.2, Anhang 48.2** und **Anhang 60.2** angegeben, Die Photodokumentation der Messpositionen sowie Angaben zu den verwendeten Sensoren findet sich in **Anhang 4.3** bis **4.4, Anhang 19.3** bis **19.4, Anhang 26.3** bis **26.4, Anhang 29.2** bis **29.3, Anhang 43.3** bis **43.4, Anhang 48.3** bis **48.4** und **Anhang 60.3** bis **60.4**.

3.3 Messdurchführung

3.3.1 Schwingungsmessung Typ 1

Messungen des Typs 1 erfolgten an 53 Gebäuden in den vorgenannten Ortslagen. Sie dienen ausschließlich der messtechnischen Analyse der Baudynamik des im Untersuchungsquerschnitt gelegenen Gebäudes. Als Schwingungsquelle dient hierbei der Schienenverkehr auf der Bestandsstrecke. Bei diesen sogenannten „Kurzzeitmessungen“ wurden über einen Zeitraum von ca. 2 Stunden die Schwingungsimmissionen innerhalb der Gebäude an den in Kapitel 3.2.2.1 beschriebenen Messpositionen erfasst. Des Weiteren wurden bei diesen Messungen auch die schienenverkehrs-

induzierten Schwingungen im Freifeld vor dem Gebäude messtechnisch erhoben. Diese Messungen dienen ausschließlich der Erhebung der bauphysikalischen Kenndaten, d.h. der Übertragungsfunktion des jeweiligen Gebäudes auf dem Baugrund und insbesondere der Übertragungsverhältnisse der Geschossdecken. Hierbei wurden in der Regel ca. 10 - 15 Vorbeifahrten von Zügen gemessen. Es erfolgte die Registrierung der Schwingungssignale $v(t)$ an allen Messpositionen zeitgleich. 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 oder Untersteuerungen für einzelne Kanäle auftraten, wurden die Messungen verworfen, die Aussteuerung angepasst und eine erneute Messung durchgeführt.

3.3.2 Schwingungsmessungen Typ 2

Die Messungen vom „Typ 2“ wurden an insgesamt 7 Untersuchungsquerschnitten in den vorgenannten Ortslagen durchgeführt. Diese dienen zur Ermittlung der Emissionen des Schienenverkehrs auf der Bestandsstrecke, der Ausbreitungsbedingungen im Boden zwischen der Bahnanlage und dem im Querschnitt liegenden Gebäude, sowie der Immissionen innerhalb des Gebäudes. Die Durchführung der Messungen erfolgte stets im Nahbereich der Messobjekte, sodass im Rahmen dieser Messungen auch die baudynamische Bestandsanalyse des Gebäudes erfolgte. Hierbei wurden die durch den Schienenverkehr auf den Strecke 3900 resultierenden Erschütterungen für jede einzelne Zugvorbeifahrt messtechnisch erfasst. Es erfolgte die Registrierung der Schwingungssignale $v(t)$ an allen in Kapitel 3.2.2.2 aufgeführten Messpositionen zeitgleich. Die mit der Messkette registrierten Schwingungsereignisse werden den verkehrenden Zuggattungen und der jeweils befahrenen Gleislage im Protokoll zugeordnet.

Des Weiteren wurde mit einer Radarpistole die Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Fahrzeuge registriert. Eine Zusammenstellung der messtechnisch erfassten Zugereignisse mit Angabe des befahrenen Gleises sowie der gefahrenen Geschwindigkeit findet sich in **Anhang 4.5 bis 4.6, Anhang 19.5 bis 19.7, Anhang 26.5 bis 26.6, Anhang 29.4 bis 29.5, Anhang 43.5 bis 43.6, Anhang 48.5 bis 48.6 und Anhang 60.5 bis 60.6**. Eine statistische Auswertung der gemessenen Fahrzeuge ist in **Anhang 4.7, Anhang 19.8, Anhang 26.7, Anhang 29.6, Anhang 43.7, Anhang 48.7 und Anhang 60.7** tabellarisch dargestellt.

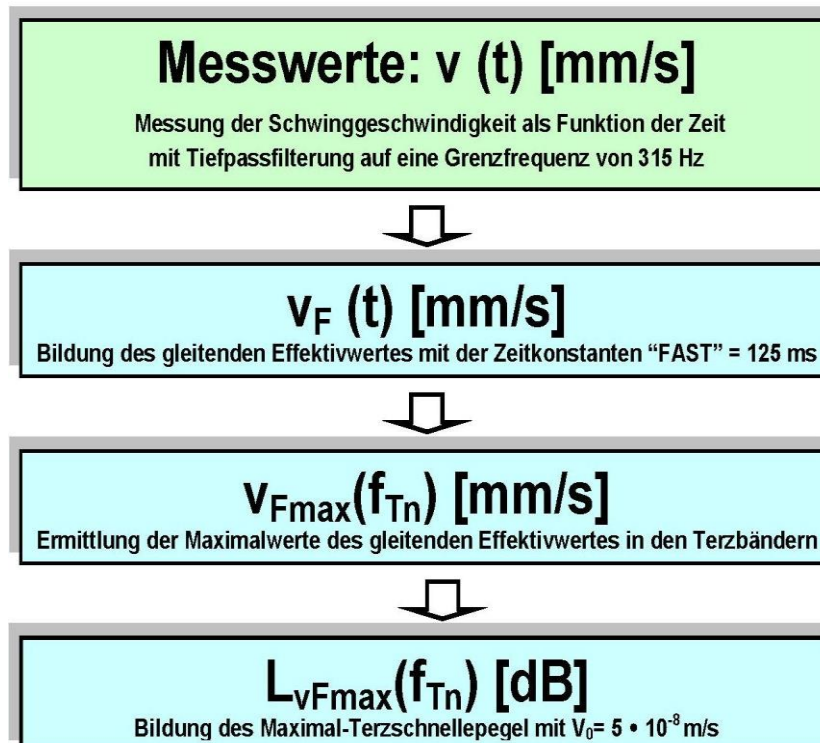
Die Signale wurden, wie auch beim Typ 1 praktiziert, für jedes Ereignis unmittelbar nach Durchführung der Messung auf dem Bildschirm des Messrechners angezeigt und auf Plausibilität geprüft. Soweit Störungen festgestellt wurden, wurde die jeweilige Messung verworfen. Sofern Übersteuerungen für einzelne 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.

3.4 Auswertung der Messungen

3.4.1 Schwingungsmessungen Typ 1

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/.

Abbildung 3: Auswertung im Frequenzbereich



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 vorgenannten Frequenzbereich Verhältniswerte der einzelnen Messpositionen auf den Geschosdecken zu der am Gebäudfundament und vom Fundament zum Freifeldpunkt vor dem Gebäude gebildet. Hieraus erhält man die Transferfunktion 3 (T_3 ; siehe **Abbildung 2**) und die Transferfunktion 2 (T_2).

3.4.2 Schwingungsmessungen Typ 2

3.4.2.1 Emissionsspektren

Zusätzlich zu der in Kapitel 3.4.1 beschriebenen Ermittlung der Transferfunktionen erfolgen für die Ausbreitungsmesspunkte im Feifeld zwischen Gleisanlage und Gebäudebereich gemäß den Vorgaben der **DIN 45672-2** /4/. Hierbei wird der der Gleisanlage nächstgelegene Messpunkt für die Ermittlung der Emissionsspektren verwendet. Die Systematik der Auswertung entspricht ebenfalls der **Abbildung 2**.

Entsprechend den Empfehlungen der **DIN 45672** /3/ und /4/ erfolgt im Rahmen der Auswertung der Signale, durch eine entsprechende Bandpassfilterung eine Bandbegrenzung auf den Frequenzbereich

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

Nach dem Max-Hold-Mittelungsverfahren werden die Terzschnellepegel der einzelnen Zugvorbeifahrten basierend auf der Bezugsschwingschnelle ($v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ m/s) gebildet. Die Emissionsspektren werden anschließend einer statistischen Auswertung unterzogen, indem die einzelnen ver-

gleichbaren Messsignale gemittelt werden. Die Mittelung erfolgt Zuggattungs- und gleisweise. Die graphische Darstellung der Spektren als Mittelwert +/- Standardabweichung findet sich in **Anhang 4.18 bis 4.37, Anhang 19.9 bis 19.28, Anhang 26.18 bis 26.37, Anhang 29.7 bis 29.31, Anhang 43.17 bis 43.36, Anhang 48.18 bis 48.42 und Anhang 60.18 bis 60.37.**

3.4.2.2 Ausbreitungsbedingungen

Für die Ermittlung der Ausbreitungsbedingungen werden auf Basis der Messwerte an den einzelnen Messpositionen im Außenbereich (8 m, 16 m, 32 m, 64 m und 128 m) Regressionsanalysen durchgeführt. Es wird für jede Terzmittenfrequenz die Abnahme der Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Abstand mit der nachfolgenden Gleichung bestimmt:

$$\log KB_{FTi} = \text{const} - n \cdot \log r$$

Hierbei bedeuten:

r	Abstand der Gebäude zur Gleisanlage
const	Achsenabschnitt
n	Steigung der Regressionsgeraden

Durch die Vielzahl an einzelnen Messwerten und Abständen erhält man dann eine frequenzabhängige exponentielle Abnahmebeziehung mit einer hinreichenden statistischen Sicherheit. Die Dokumentation der Ergebnisse erfolgt in **Anhang 4.40 bis 4.42, Anhang 19.29 bis 19.31, Anhang 26.41 bis 26.43, Anhang 29.32 bis 29.34, Anhang 43.39 bis 43.41, Anhang 48.45 bis 48.47 und Anhang 60.40 bis 60.42.**

3.4.2.3 Immissionsmessung

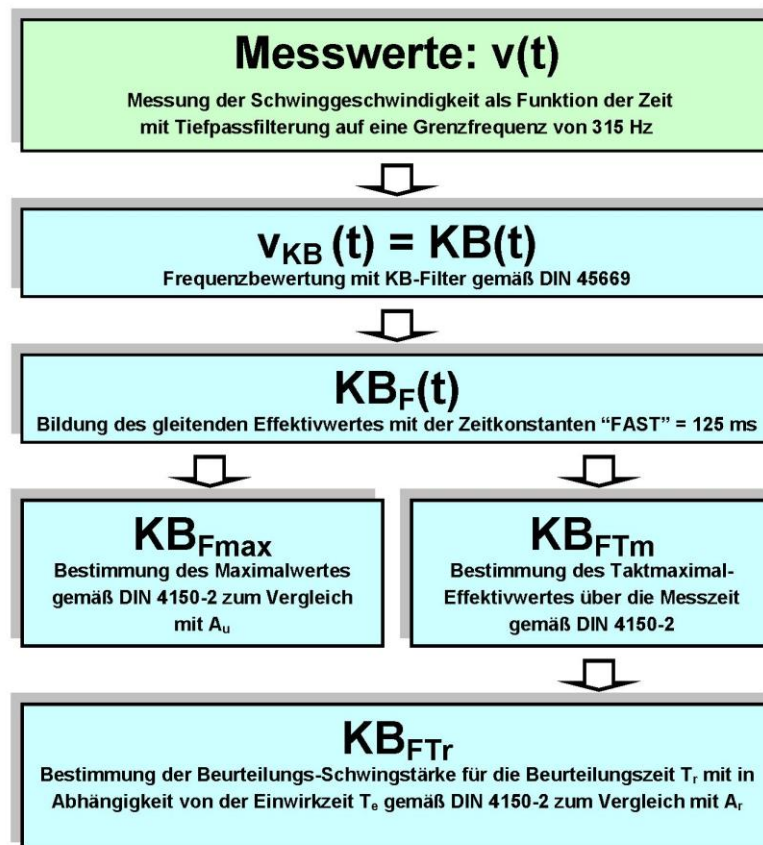
Bei der Auswertung werden für die Gebäude in denen Immissionsmessungen durchgeführt wurden die nach **DIN 4150-2** maßgebenden Größen gemäß **Abbildung 4** ermittelt. Die **DIN 4150-2 /6/** geht bei der Beurteilung von Erschütterungsimmissionen von der Schwingschnelle $v(t)$ aus, aus der sich die frequenz- und zeitbewertete Schwingstärke ableiten lässt.

Im Rahmen der Auswertung der Erschütterungsmessungen in den Gebäuden werden zunächst unter Berücksichtigung einer Frequenz- und Zeitbewertung der Schwinggeschwindigkeit $v(t)$ die Taktmaximalwerte (KB_{FTi}) für jede Zugvorbeifahrt ermittelt. Aus diesen KB_{FTi} -Werten werden die Mittelwerte, d.h. die Taktmaximal-Effektivwerte (KB_{FTm}) je Zuggattung

und Gleis berechnet. Der höchste KB_{FTi} -Wert aller Einzelereignisse je Zuggattung ergibt die jeweilige maximale bewertete Schwingstärke **KB_{max}** . Die Berechnung der KB_{FTm} -Werte erfolgt mit Hilfe der nachfolgenden Gleichung:

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

Abbildung 4: Auswertung der Immissionsmessungen



Hierin bedeutet N die Anzahl der Takte. Der KB_{FTm} -Wert ist die Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte KB_{FTi} . Hierbei werden gemäß **DIN 4150-2** Abschnitt 3.6 KB_{FTi} -Werte $\leq 0,1$ zu null gesetzt. Sie werden bei der Anzahl N der Takte jedoch mit berücksichtigt.

Die Dokumentation der Einzelmessungen, aufgelöst nach Gleis und Zuggattung, erfolgt in **Anhang 4.8 bis 4.17**, **Anhang 26.8 bis 26.17**, **Anhang 43.8 bis 43.16**, **Anhang 48.8 bis 48.17** und **Anhang 60.8 bis 60.17**.

4 Messergebnisse

4.1 Gebäudeübertragungsfunktionen

Die Untersuchungsergebnisse für die **60** ausgewählten Gebäude im Bereich der bestehenden Gleisanlage und der hierin ausgewählten Deckenfelder sind in **Anhang 1.4 bis Anhang 28.6, Anhang 30.4 bis Anhang 59.5 (Typ 1)** und in **Anhang 4.38 bis 4.39, Anhang 26.38 bis 26.39, Anhang 43.37 bis 43.38, Anhang 48.43 bis 48.44 und Anhang 60.38 bis 60.39 (Typ 2)** dokumentiert. Für jedes Messobjekt sind die ermittelten T2-Funktionen sowie die T3-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 T3-Funktion ist das Übertragungsmaß jeweils für mindestens 1 Geschossdecke je Messobjekt angegeben. Die Graphiken zeigen die Resonanzfrequenzen der Geschossdecken als Mittelwert.

Bei einigen Messobjekten erfolgte die Messung auf dem Boden im Kellergeschoss auf einem schwimmenden Bodenaufbau. Der schwimmende Bodenaufbau erzeugte zusätzlich eine Resonanz im Bereich um 100 Hz. Dieser Effekt ist für die Immissionsbelastung in den Aufenthaltsräumen ohne Belang, da diese Resonanzerscheinungen keine Rückwirkungen auf das gesamte Bauwerk und somit auch keine Rückwirkungen auf die Übertragung der Schwingungen auf einzelne Deckenfelder haben. Folglich sind die resonanzbedingt überhöhten Messwerte bei 80 Hz, 100 Hz und 125 Hz für die Bildung der Übertragungsfunktionen nicht geeignet und wurden daher auf Grund von Erfahrungswerten korrigiert.

Die vorgenommenen Korrekturen sind hinsichtlich ihrer Auswirkung für die Belange des Erschütterungsschutzes im Prinzip ohne Belang, da für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden entsprechend der normativen Regelungen lediglich die Schwinggeschwindigkeiten im Frequenzbereich bis 80 Hz relevant sind. Soweit die Korrekturen nicht vorgenommen werden, führt dies jedoch zu einer Verfälschung der Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der Belange des sekundären Luftschallschutzes.

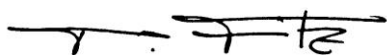
Die Dokumentation der vorgenommenen Korrekturen findet sich in **Anhang 2.6, Anhang 5.6, Anhang 20.6, Anhang 32.6, Anhang 38.6** und **Anhang 55.6**.

4.2 Emissionen

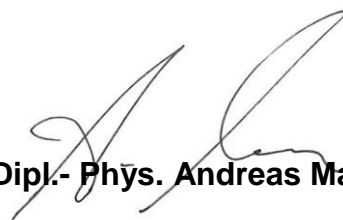
Die Ergebnisse für die Messquerschnitte bei denen Erschütterungsmessungen des Typs 2 (siehe hierzu **Anhang 61** und **Kapitel 3.4.2.1**) durchgeführt wurden, sind graphisch und tabellarisch dargestellt. Hierbei werden für jede Zuggattung, Gleis und Abstandspunkt die Spektren im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz als Mittelwert +/-Standardabweichung angegeben. Zusätzlich werden die mittlere Geschwindigkeit und die Anzahl der messtechnisch erfassten Zugvorbeifahrten ausgewiesen.

4.3 Ausbreitungsfunktionen

Die Abnahme der Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Abstand wird für jede Terzmittenfrequenz graphisch als Regressionsgerade (siehe hierzu **Kapitel 3.4.2.2**) 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.



Dipl.-Phys. Peter Fritz



Dipl.- Phys. Andreas Malizki



ANHÄNGE