

ANLAGE 12.4.2.0.2
- Nur zur Information -

S-Bahn Rhein-Main, Nordmainische S-Bahn
Planfeststellungsabschnitt 1 - Frankfurt

MESSBERICHT - ERSCHÜTTERUNGEN

Messtechnische Erfassung der Ausbreitungsbedingungen
im Planfeststellungsabschnitt 1 Frankfurt am Main (oberirdischer Streckenabschnitt)

Bericht-Nr.

08500-VME-5

Datum:

28.01.2013

Auftraggeber:

DB ProjektBau GmbH
Hahnstraße 49
60528 Frankfurt am Main

Bearbeitung:

ARGE S-E-Nordmainische S-Bahn

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

Dipl.- Ing. Rolf Schneider
Dipl.-Phys. Andreas Malizki

Umfang des Dokumentes:

Textteil: 11 Seiten

Anhänge: 40 Seiten

I N H A L T

1	Sachverhalt und Aufgabenstellung	4
2	Bearbeitungsgrundlagen	4
3	Messdurchführung	4
3.1	Messquerschnitte	4
3.2	Eingesetzte Messgeräte	5
3.3	Anordnung der Sensoren	7
3.4	Messdurchführung	7
3.5	Auswertung der Messungen	8
3.5.1	Abnahmekoeffizienten	8
3.5.2	Emissionsspektren	9
4	Messergebnisse	10
4.1	Ausbreitungsfunktionen	10
4.2	Terzschnellespektren	10

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prinzipskizze der Messanordnung	6
Abbildung 2:	Auswertung im Frequenzbereich	9

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Komponenten des eingesetzten Messsystems	5
Tabelle 2:	Summenpegel [dB] und Geschwindigkeiten [km/h]	11

Anhänge

Anhang 1.1-1.4	Dokumentation der Messsensoren und der Bahngleise
Anhang 1.5-1.6	Dokumentation der Zugvorbeifahrten
Anhang 2	Emissionsspektren Personennahverkehr
Anhang 3	Emissionsspektren Personenfernverkehr
Anhang 4	Emissionsspektren Güterverkehr
Anhang 5	Abnahme der Schwinggeschwindigkeit für den PNV
Anhang 6	Abnahme der Schwinggeschwindigkeit für den GV
Anhang 7	Abnahme der Schwinggeschwindigkeit für den PFV
Anhang 8	Abnahme der Schwinggeschwindigkeit gemittelt über alle Zuggattungen

Abkürzungsverzeichnis

dB	Dezibel
ΔL	Pegeldifferenz
f_s	Abtastrate [Hz]
f	Frequenz [Hz]
GHz	Gigahertz
GV	Güterverkehr
Hz	Hertz, Schwingungen je Sekunde
L_v	Schwingschnellepegel in dB
MK	Messkette
MP	Messpunkt
MQ	Messquerschnitt
MW	Mittelwert
NV	Nahverkehr
PFV	Personenfernverkehr
PNV	Personennahverkehr
StAbw	Standardabweichung
v_0	Referenzwert für die Schwingschnelle [$5 \cdot 10^{-8}$ m/s]
$v(t)$	Schwingschnelle

1 Sachverhalt und Aufgabenstellung

Im Rahmen der erschütterungstechnischen Untersuchung zur Nordmainischen S-Bahn wurden für den Planfeststellungsabschnitt 1 – Frankfurt (oberirdischer Streckenabschnitt), Ausbreitungsmessungen im Bereich der Gemarkung Fechenheim durchgeführt.

Ziel dieser Erschütterungsmessungen ist es die vorhandenen Ausbreitungsbedingungen der schienenverkehrsinduzierten Schwingungen im Einwirkungsbereich der geplanten Ausbaustrecke im oberirdischen Streckenabschnitt des PFA 1 messtechnisch zu erfassen. Die Messergebnisse dienen dann als Basis der Prognoseberechnungen für die erschütterungstechnische Untersuchung zur Planfeststellung. In dem vorliegenden Messbericht sind die Durchführung, die Auswertung und die Ergebnisse der durchgeführten Erschütterungsmessungen dokumentiert.

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

3 Messdurchführung

3.1 Messquerschnitte

Die Ausbreitungsmessungen wurden an der Strecke 3660 bei ca. Bahn-km 8,6 auf einer landwirtschaftlichen Nutzfläche in der Nähe der Hanauer

Landstraße durchgeführt. Es wurden 2 Messquerschnitte mit jeweils 4 Messpositionen senkrecht zur Bahnstrecke installiert. Die Messquerschnitte hatten einen Abstand von ca. 25 m untereinander. Die Messungen wurden am 11.12.2012 im Zeitraum von 11.29 Uhr bis 15.30 Uhr gemäß den Vorgaben der **DIN 45672-1 /3/** durchgeführt. Die Trasse verläuft im Bereich der beiden Messquerschnitte ebenerdig. Die Durchschnittstemperatur während der Messung lag bei 8°C. Der Boden war nicht tiefgefroren.

3.2 Eingesetzte Messgeräte

Die einzelnen Kanäle der 12-kanaligen Messanlage wurden vor Durchführung der Messungen im Labor mit einem Referenzaufnehmer im Kopf an Kopf Verfahren für den relevanten Frequenzbereich kalibriert.

Tabelle 1: Komponenten des eingesetzten Messsystems

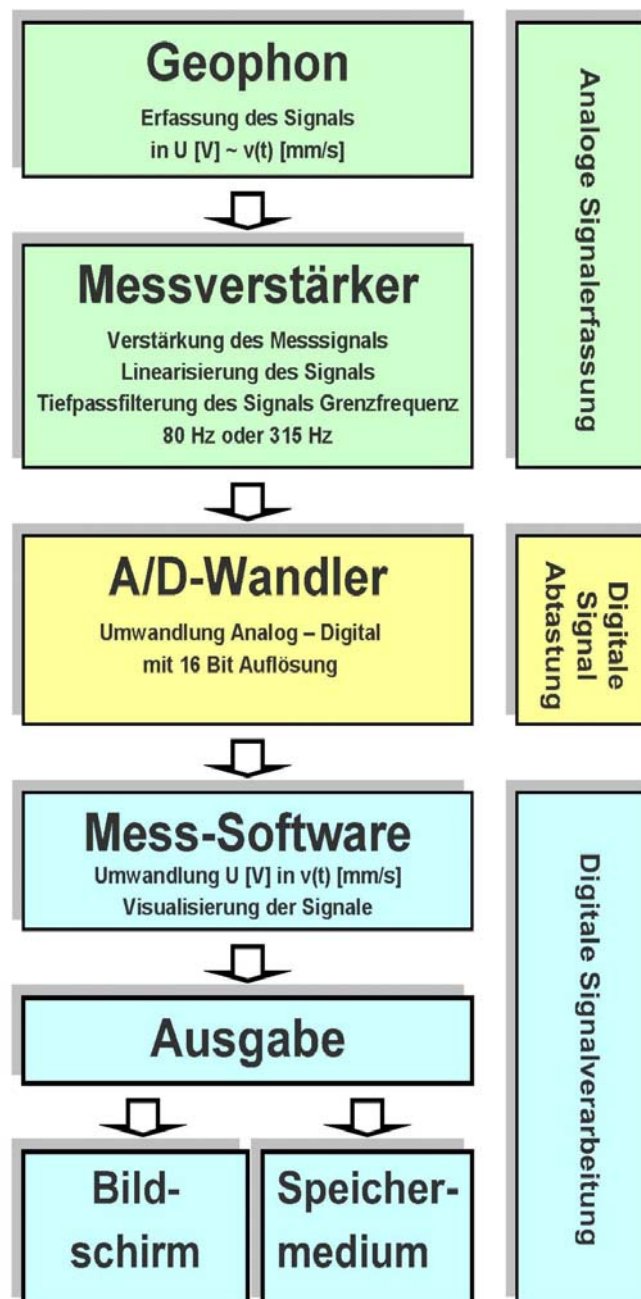
GEOPHONE:	Absolut Geschwindigkeitsaufnehmer
Hersteller:	Western Data Systems
Kennfrequenz:	4,5 + 0,5 Hz
Empfindlichkeit:	0,29 + 5% V/cm/s
MESSVERSTÄRKER:	SMK-1201; 12 Kanäle
Hersteller:	Dr. Kebe Scientific Instruments GmbH
Frequenzbereich:	1 ... 315 Hz
Meßbereich:	Schwinggeschwindigkeit 0,1 ... 500 mm/s
Nachweisgrenze:	besser 0,0002 mm/s
Genauigkeitsklasse:	DIN 45669-1 im genannten Frequenzbereich
LAPTOP	
Hersteller:	Acer
CPU:	Intel Centrino 1,7 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:	9.1

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 1** aufgeführt. Nachfolgend ist die Prinzipskizze der Messanordnung dargestellt.

Abbildung 1: Prinzipskizze der Messanordnung



3.3 Anordnung der Sensoren

Die schienenverkehrsinduzierten Schwingungsemissionen werden im Erdreich in der Regel in einem Referenzabstand von 8 m zur nächstgelegenen Gleisachse messtechnisch erfasst. Im Rahmen dieser Erschütterungsmessungen wurden für die beiden Messquerschnitte die Sensoren in folgenden Abständen installiert:

Messquerschnitt 1: 8 m, 16 m, 32 m, und 50 m

Messquerschnitt 2: 8 m, 16 m, 32 m und 50 m

Die Ankopplung der Sensoren (Messpositionen) erfolgte auf ca. 60 cm langen Erdspeissen an das Erdreich gemäß den Vorgaben der **DIN 45669-2 /2/**. Die Erdspeisse 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 Messquerschnitte untereinander betrug 25 m.

Die Anordnung der Sensoren sowie die Ankopplungsbedingungen der Sensoren an den Messpositionen sind in **Anhang 1.1** bis **Anhang 1.2** angegeben. Eine Photodokumentation der Messpositionen sowie Angaben zu den verwendeten Sensoren findet sich in **Anhang 1.3** bis **Anhang 1.4**.

3.4 Messdurchführung

Die Ausbreitungsmessungen wurden im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzfläche in der Nähe der Hanauer Landstraße durchgeführt. Diese dienen vorrangig zur Ermittlung der Ausbreitungsbedingungen im Boden im Bereich der Bahnstrecke. Zusätzlich werden die Emissionen des Schienenverkehrs auf den Gleisen der Strecke 3660 ermittelt. Hierbei wurden die durch den Schienenverkehr resultierenden Erschütterungen für jede einzelne Zugvorbeifahrt messtechnisch erfasst. Es erfolgte die Registrierung der Schwingungssignale $v(t)$ an allen Messpositionen gleichzeitig. Die mit der Messkette registrierten Schwingungsereignisse werden den verkehrenden Zuggattungen und der jeweils befahrenen Gleisen im Protokoll zugeordnet.

Ferner wurde mit einer Radarpistole die Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Fahrzeuge registriert. Eine Zusammenstellung der messtechnisch

erfassten Zugereignisse mit Angabe des befahrenen Gleises und der gefahrenen Geschwindigkeit sowie eine statistische Auswertung der gemessenen Fahrzeuge finden sich in **Anhang 1.5** bis **Anhang 1.6**.

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. 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.

3.5 Auswertung der Messungen

3.5.1 Abnahmekoeffizienten

Für die Ermittlung der Ausbreitungsbedingungen werden auf Basis der Messwerte an den einzelnen Messpositionen (8 m, 16 m, 32 m, und 50 m) 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 Gebäude 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. Die Dokumentation der Ergebnisse erfolgt in **Anhang 5.1** bis **Anhang 8**

3.5.2 Emissionsspektren

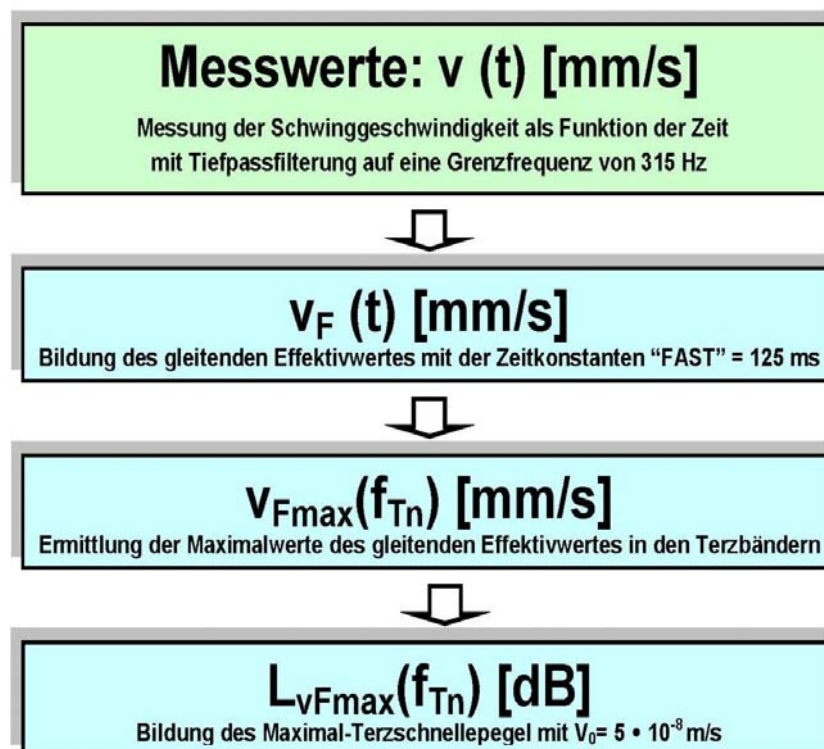
Zur Ermittlung der Schwingungsanregung im Erdreich erfolgt die Auswertung der Schwingschnelle $v(t)$ im Frequenzbereich gemäß **DIN 45672-2 /4/**. Die Auswertung im Frequenzbereich erfolgt mit Hilfe von Terzanalysen. Hierbei wird der gleitende Effektivwert in Terzbändern mit einer konstanten relativen 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.

Abbildung 2: Auswertung im Frequenzbereich



Die Emissionsspektren werden anschließend einer statistischen Auswertung unterzogen, indem die einzelnen vergleichbaren Messsignale gemittelt werden. Die Mittelung erfolgt Zuggattungs- und gleisweise. Die graphische Darstellung der Spektren als Mittelwert findet sich in **Anhang 2.1** bis **Anhang 4.9**. Der Bereich der Terzmittenfrequenz erstreckt sich von 4 Hz

bis 315 Hz. Die Vorgehensweise bei der Auswertung im Frequenzbereich ist in **Abbildung 2** schematisch dargestellt.

4 Messergebnisse

4.1 Ausbreitungsfunktionen

Die Abnahme der Schwinggeschwindigkeit bei der Ausbreitung im Boden in Abhängigkeit vom Abstand wird für jede Terzmittenfrequenz graphisch als Regressionsgerade in **Anhang 5.1 bis Anhang 7.3** zunächst getrennt für den Personennahverkehr, Personenfernverkehr und den Güterverkehr 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 Abnahmeexponenten findet sich dann in **Anhang 5.3** für Personennahverkehr, in **Anhang 6.3** für Personenfernverkehr und in **Anhang 7.3** für Güterverkehr in Tabellen- und Graphikform als Exponent für jede Terzmittenfrequenz. In Anbetracht des Sachverhaltes, dass die erschütterungstechnischen Ausbreitungsbedingungen im Boden nicht maßgeblich von der Zugart abhängen, ist es sinnvoll die Ergebnisse zusammenzufassen. In **Anhang 8** ist der arithmetische Mittelwert über alle Zuggattungen dargestellt.

4.2 Terzschnellespektren

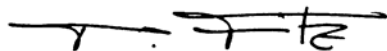
Die Ergebnisse für die Messpunkte bei denen Erschütterungsmessungen durchgeführt wurden sind in **Anhang 2.1 bis Anhang 4.9** graphisch und tabellarisch dargestellt. Hierbei werden für jede Zuggattung, Gleis, Messquerschnitt und Abstandspunkt sowie für die Mittelwerte über den gleichen Abstand die Spektren 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.

In **Tabelle 2** sind die über 2 Messquerschnitte gemittelten Summenpegel für jede Zuggattung in Abhängigkeit vom Abstand zusammengefasst. Außerdem sind die mittleren Geschwindigkeiten der vorbeifahrenden Züge ausgewiesen.

Tabelle 2: Summenpegel [dB] und Geschwindigkeiten [km/h]

Zuggat- tung	Gleis Nr.	L _v [dB]				v [km/h]
		8 m	16 m	32 m	64 m	
PNV	1	71,1	66,7	63,6	61,4	99
	2	65,9	63,1	61,2	59,6	105
PFV	1	74,3	68,4	64,2	61,9	141
	2	66,4	64,0	62,6	61,9	148
GV	1	74,5	70,0	68,4	66,5	76
	2	74,8	72,9	71,8	70,2	87

Die höchsten Summenpegel wurden sowohl für Gleis 1 als auch für Gleis 2 für den Güterverkehr ermittelt.



Dipl.-Phys. Peter Fritz



Dipl.-Ing. Rolf Schneider

ANHANG