

Unterlage für eine Entscheidung nach § 18 AEG

Anlage 15.4

Nur zur Information

ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHE UNTERSUCHUNG

Vorhaben:

Umbau des Knotens Frankfurt (Main)-Sportfeld,
2. Ausbaustufe

Abschnitt:

6-gleisiger Ausbau
Frankfurt (Main)-Sportfeld – Abzweig Gutleuthof

Untersuchungsumfang:

Ermittlung und Beurteilung der aus dem Baubetrieb
resultierenden Erschütterungsimmissionen

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.: **10225-ABE-1**
Datum: **30.03.2012**

Auftraggeber:

DB ProjektBau GmbH
Regionalbereich Mitte
Hahnstraße 52
60528 Frankfurt am Main

Sachbearbeiter:

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

Umfang des Dokumentes:

Textteil:	23	Seiten
Anhang 1:	3	Seiten
Anhang 2:	1	Seite
Anhang 3:	3	Seiten
Anhang 4:	5	Seiten
Anhang 5:	2	Seiten

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Sachverhalt und Aufgabenstellung	6
3	Bearbeitungsgrundlagen	6
4	Beschreibung des Baustellenbetriebs	7
5	Anforderungen an den Schwingungsschutz	8
5.1	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	8
5.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen	11
6	Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise	13
6.1	Emissionen	14
6.2	Transmission	14
6.2.1	Transferfunktion T1	14
6.2.2	Transferfunktionen T2 und T3	15
6.3	Immissionen	15
7	Untersuchungsergebnisse	16
7.1	Emissionen	16
7.2	Immissionen	17
7.2.1	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	18
7.2.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen	21
8	Abschließende Bemerkungen	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Graphische Darstellung der Fundament-Anhaltswerte	11
Abbildung 2	Ursachen-Wirkungs-Prinzip	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen	9
Tabelle 2	Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen	10
Tabelle 3	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke	12
Tabelle 4:	Maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} [-]	18
Tabelle 5:	maximale Schwinggeschwindigkeit v_{max} [mm/s]	21

Anhänge

Anhang 1	Lageplan
Anhang 2	Emissionen
Anhang 3	Transmission
Anhang 4	Beurteilung der Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
Anhang 5	Beurteilung der Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Abkürzungsverzeichnis

A	Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-]
A _r	Beurteilungs-Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-]
A _u	unterer Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-]
A _v	Anhaltswert für die Schwinggeschwindigkeit gemäß DIN 4150-3 [-]
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
c _p	Ausbreitungsgeschwindigkeit im Boden [m/s]
[d]	Tag
D	Dauer von Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen [d]
D	Dämpfungsgrad [%]
EÜ	Eisenbahnüberführung
[dB]	Dezibel
f	Frequenz [Hz]
f ₀	Deckeneigenfrequenz [Hz]
Hrsg.	Herausgeber
[Hz]	Hertz, Schwingung je Sekunde
KB _{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke [-]
KB _{FTr}	Beurteilungsschwingstärke [-]
Krbw	Kreuzungsbauwerk
LAI	Landesausschuss für Immissionsschutz
n	Abnahmekoeffizient [-]
s	Abstand [m]
T	Übertragungsfunktion
T _e	Einwirkzeit [h, min, s]
v ₀	Referenzwert für die Schwingschnelle [$5 \cdot 10^{-8}$ m/s]
v _i	Schwinggeschwindigkeit [mm/s]
v _z	zulässige Schwinggeschwindigkeit auf Geschossdecken gemäß DIN 4150-3 [mm/s]

1 Zusammenfassung

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für den 6-gleisigen Ausbau des Knotens Frankfurt (Main)-Sportfeld – Abzweig Gutleuthof wurde geprüft, ob die aus dem Baubetrieb resultierenden Erschütterungsimmissionen zu erheblichen Belästigungen von Menschen in Gebäuden oder zu Schäden an baulichen Anlagen führen können.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- ❑ Signifikante beurteilungsrelevante Erschütterungsimmissionen entstehen ausschließlich bei Vibrationsrammungen zur Herstellung der Verbauten im Umfeld der Güterzugrampe, der Stützwand an der EÜ Goldsteinstraße und im Bereich der EÜ Mainbrücke.
- ❑ Zur Vermeidung von Belästigungen von Menschen in Gebäuden sollten Rammgeräte zum Einsatz kommen, die über ein im Betrieb veränderliches statisches Moment verfügen. Dann ist gewährleistet, dass das statische Moment erst nach Erreichen der angestrebten Betriebsdrehzahl „eingeschaltet“ wird. Des Weiteren ist sicherzustellen, dass die eingesetzten Rammgeräte eine hinreichend hohe Leistung haben, um zu vermeiden, dass die Arbeitsfrequenz der Geräte auch unter Last nicht unter **35 Hz** fällt.
- ❑ Rammarbeiten werden ausschließlich tagsüber durchgeführt. Im Tagzeitraum sind bei den gegebenen Abstandsverhältnissen und unter Berücksichtigung der in der **DIN 4150-2**, Abschnitt 6.5.4.3 angegebenen Maßnahmen a) bis e) keine erheblichen Belästigungen von Menschen in Gebäuden zu erwarten.
- ❑ Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden sind aufgrund der Intensität der Erschütterungseinwirkungen durch Vibrationsrammungen **nicht** zu erwarten.

2 Sachverhalt und Aufgabenstellung

Der Ausbau des Schienenverkehrsknotens Frankfurt (Main)-Sportfeld ist als Teilmaßnahme im Projekt Frankfurt RheinMain^{plus} erfasst. Das Gesamtvorhaben besteht aus drei Ausbaustufen, wobei die 2. Ausbaustufe den Bau von zwei zusätzlichen Gleisen zwischen Frankfurt (Main)-Sportfeld und dem Abzweig Gutleuthof einschließlich der Umgestaltung des Ostkopfes des Bahnhofs Frankfurt (Main)-Sportfeld vorsieht.

Aufgabe der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung ist es, die durch die erforderlichen Bauaktivitäten resultierenden Schwingungsimmissionen im Umfeld der Baumaßnahme sowohl hinsichtlich der Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden als auch auf bauliche Anlagen zu ermitteln und zu beurteilen. So können bereits im Rahmen des Genehmigungsverfahrens mögliche Konfliktpotentiale infolge der baubetrieblichen Aktivitäten aufgezeigt und gegebenenfalls geeignete planerische, organisatorische oder bauliche Maßnahmen zur Vermeidung dieser Immissionskonflikte erarbeitet werden.

3 Bearbeitungsgrundlagen

Der durchgeführten erschütterungstechnischen Untersuchung liegen die folgenden Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Planunterlagen und Schriftsätze 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/ Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen (Erschütterungs-Leitlinie), Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI), Mai 2000
- /3/ DIN 4150, Teil 1 „Erschütterungen im Bauwesen – Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Juni 2001
- /4/ DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, Juni 1999

- /5/ DIN 4150, Teil 3 „Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf bauliche Anlagen“, Februar 1999
- /6/ Vibrationen: Ursachen, Messung, Analysen und Maßnahmen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Dokumentation zur D-A-CH-Studientagung 1991
- /7/ Bodendynamik, Grundlagen und Anwendungen, Hrsg. Wolfgang Haupt, 1986
- /8/ Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen, Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Bericht Nr. 107
- /9/ DB-Leitfaden für den Planer, Körperschall- und Erschütterungsschutz, August 1996
- /10/ Umbau Knoten Frankfurt (Main)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe, Sechsgleisiger Ausbau Frankfurt (Main)-Sportfeld – Abzweig Gutleuthof, Lagepläne Vorplanung und Erläuterungsbericht, DB ProjektBau GmbH, Niederlassung Mitte, Frankfurt am Main, Stand 2004
- /11/ Umbau Knoten Frankfurt (Main)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe, Sechsgleisiger Ausbau Frankfurt (Main)-Sportfeld – Abzweig Gutleuthof, Bauzustandsplanung, DB ProjektBau GmbH, Niederlassung Mitte, Frankfurt am Main, November 2011
- /12/ Tabellarische Zusammenstellung der Bauaktivitäten, Bauzeiten und Baugeräte, DB ProjektBau GmbH, Niederlassung Mitte, Frankfurt am Main, Februar 2012

4 Beschreibung des Baustellenbetriebs

Aus Sicht des Erschütterungsschutzes sind solche Bauaktivitäten von Bedeutung, bei denen hohe dynamische Wechselkräfte in den Untergrund eingeleitet werden. Im Rahmen der geplanten Baumaßnahme entstehen relevante Emissionen ausschließlich durch Vibrationsrammungen zur Herstellung der Verbauten.

Verbauarbeiten werden für nachfolgende Ingenieurbauwerke bzw. Bereiche erforderlich:

- ☐ EÜ Golfstraße – Kreuzungsbauwerk Gleisdreieck,
- ☐ Güterzugrampe,
- ☐ EÜ Goldsteinstraße – Stützwand, Längsverbau,
- ☐ Rückbau EÜ Schwanheimer Straße – Längsverbau,
- ☐ EÜ Niederräder Ufer,
- ☐ EÜ Mainbrücke,
- ☐ Kreuzungsbauwerk Gutleuthof,
- ☐ EÜ Ladestraße,
- ☐ Stellwerk.

Beurteilungsrelevante Erschütterungsemissionen im Nahbereich von schutzbedürftigen Nutzungen entstehen insbesondere durch Verbauarbeiten für die neue Güterzugrampe zwischen EÜ Golfstraße und EÜ Adolf-Miersch-Straße. Des Weiteren sind infolge der Verbauarbeiten zur Herstellung der Stützwand im Bereich der EÜ Goldsteinstraße relevante Emissionen zu erwarten. Im Umfeld der Mainbrücke werden Verbauarbeiten zur Herstellung der Baugruben der Widerlager und Pfeiler durchgeführt.

In den Lageplanausschnitten in **Anhang 1** sind die Bereiche gekennzeichnet, in denen die beurteilungsrelevanten Verbauarbeiten erforderlich sind. In allen anderen Bereichen sind Vibrationsrammungen zur Herstellung der Verbauten aufgrund der gegebenen Abstände zu den nächstgelegenen schutzbedürftigen Gebäuden als unkritisch einzustufen.

Die vorgenannten beurteilungsrelevanten Bauaktivitäten finden allesamt im Tagzeitraum (06.00 Uhr bis 22.00 Uhr) statt. Weitere erschütterungsrelevante baubetriebsbedingte Tätigkeiten sind nach derzeitigem Planungsstand nicht bekannt.

5 Anforderungen an den Schwingungsschutz

5.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Für die Ermittlung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden wird das in **DIN 4150-2** /4/ beschriebene Beurteilungsverfahren angewendet. Hierfür sind die Beurteilungsgrößen **KB_{Fmax}** und **KB_{FT}** mit den Anhaltswerten der Norm zu vergleichen. Zunächst erfolgt ein Vergleich der für den Baubetrieb erwarteten maximalen bewerteten Schwingstärke **KB_{Fmax}** mit den Anhaltswerten **A_u** und **A_o** in der DIN 4150-2. Ist **KB_{Fmax}** kleiner oder gleich dem Anhaltswert **A_u**, dann ist die Anforderung

der Norm eingehalten. Ist KB_{Fmax} größer als der Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung der Norm nicht eingehalten. Für Einwirkungen, bei denen KB_{Fmax} größer als A_u , aber kleiner als A_o ist, ist in einem weiteren Prüfschritt die Beurteilungsschwingstärke $KB_{FT,r}$ zu ermitteln und mit dem Anhaltswert A_r zu vergleichen. Ist $KB_{FT,r}$ kleiner oder gleich A_r , sind die Anforderungen der Norm eingehalten.

Für die zeitlich begrenzten Erschütterungen bei Baumaßnahmen werden die Anhaltswerte nach Tabelle 2 der **DIN 4150-2** /4/ herangezogen. Sie sind in **Tabelle 1** zusammengestellt und richten sich nach der Anzahl von Tagen, an denen die Erschütterungseinwirkungen stattfinden. Bei der Ermittlung der Dauer der einwirkenden Erschütterungen ist gemäß **DIN 4150-2**, Kapitel 6.5.4.2 nicht die gesamte Dauer der Baumaßnahme, sondern die zusammenhängende Anzahl der Tage zu verstehen, an denen tatsächlich relevanten Erschütterungseinwirkungen entstehen. Bei einer Einwirkdauer D zwischen einem Tag und sechs Tagen sind die Anhaltswerte entsprechend zu interpolieren.

Tabelle 1 Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen

Dauer	D ≤ 1 Tag			6 d < D ≤ 26 d			26 d < D ≤ 78 d		
Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anhaltswerte	A_u	A_o *)	A_r	A_u	A_o *)	A_r	A_u	A_o *)	A_r
Stufe I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe II	1,2	5	0,8	0,8	5	0,6	0,6	5	0,4
Stufe III	1,6	5	1,2	1,2	5	1,0	0,8	5	0,6
*) Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt $A_o = 6$									

Die Anhaltswerte gelten ausschließlich für den Tagzeitraum (06.00 Uhr bis 22.00 Uhr), die Beurteilung erfolgt in 3 Stufen:

- ☐ **Stufe I:**
Bei Unterschreitung ist auch ohne besondere Vorinformation nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen.
- ☐ **Stufe II:**
Bei Unterschreitung ist ebenfalls noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen, falls Maßnahmen zur Minderung erheblicher Belästigungen im Sinne von Abschnitt 6.5.4.3 der **DIN 4150-2** er-

griffen werden. Bei zunehmender Überschreitung auch dieser Stufe werden mit wachsender Wahrscheinlichkeit erhebliche Belästigungen auftreten. Ist zu erwarten, dass Erschütterungseinwirkungen auftreten, die oberhalb der Stufe II liegen, so ist zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist.

□ **Stufe III:**

Bei Überschreitung sind die Einwirkungen unzumutbar. In diesem Fall wird die Vereinbarung besonderer Maßnahmen notwendig.

Tabelle 2 Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	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	6,0	0,20	0,30	0,60	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind	0,30	6,0	0,15	0,20	0,40	0,10
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	0,20	5,0	0,10	0,15	0,30	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind	0,15	3,0	0,07	0,10	0,20	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0,10	3,0	0,05	0,10	0,15	0,05

Bei Einwirkdauern von mehr als 78 Tagen muss nach **DIN 4150-2** eine Beurteilung nach den besonderen Gegebenheiten des Einzelfalles individuell erfolgen. Abweichend hierzu wird in der Erschütterungsleitlinie des Länderausschusses für Immissionsschutz /2/ für Einwirkdauern von mehr als 78 Tagen eine Beurteilung nach den Anhaltswerten aus Tabelle 1 der **DIN 4150-2**, die in **Tabelle 2** zusammengestellt sind, für zeitlich unbegrenzte Einwirkungen gefordert. Für im Nachtzeitraum (22.00 Uhr bis

06.00 Uhr) auftretende Erschütterungen gelten ebenfalls die Anhaltswerte nach Tabelle 1 der **DIN 4150-2**.

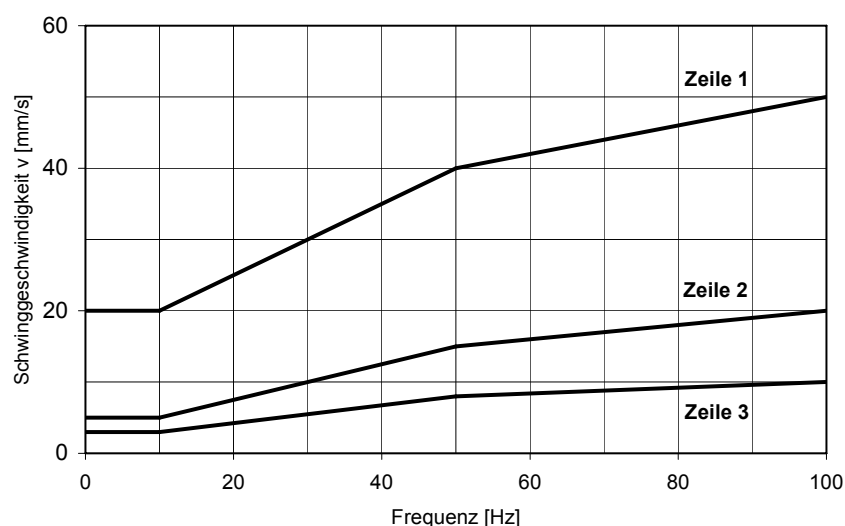
Bei der Ermittlung der Beurteilungsschwingstärken ist zu beachten, dass der Zeitraum von 06.00 Uhr bis 22.00 Uhr als Tagzeitraum anzusehen ist. Die Zeiträume von 06.00 Uhr bis 07.00 Uhr und von 19.00 Uhr bis 22.00 Uhr sind gemäß **DIN 4150-2**, Ziffer 3.7.4 als Ruhezeiten einzustufen.

Im Rahmen dieser Baumaßnahme sind keine erschütterungsrelevanten Bautätigkeiten mit einer durchgehenden Dauer von mehr als 78 Tagen geplant. Die beurteilungsrelevanten Bauarbeiten sollen ausschließlich im Tagzeitraum durchgeführt werden.

5.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen wird die **DIN 4150-3 /5/** herangezogen. Die Norm nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht zu erwarten sind.

Abbildung 1 Graphische Darstellung der Fundament-Anhaltswerte



Eine Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden oder Gebäudeteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne dieser Norm ist z. B. die Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und Bauteilen sowie die Verminderung der Tragfähigkeit von Decken. Bei Wohngebäu-

den wird auch bei Rissbildung in Putz und Wänden von einer Minderung des Gebrauchswertes ausgegangen.

Die maßgebenden Anhaltswerte für **kurzzeitige** Erschütterungen an Gebäudefundamenten sowie für die Deckenebene des obersten Vollgeschosses sind in **Tabelle 3** zusammengestellt. Die Interpolation der Anhaltswerte für verschiedene Erschütterungsfrequenzen ist in **Abbildung 1** dargestellt.

Tabelle 3 Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke

Zeile	Gebietsnutzung	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i [mm/s]			
		Fundament Frequenz [Hz]			oberste Deckenebene, horizontal
		< 10 Hz	10...50 Hz	50...100 Hz	alle Frequenzen
1	gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20...40	40...50	40
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und / oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5...15	15...20	15
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert sind (z. B. unter Denkmalschutz stehend)	3	3...8	8...10	8
* Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden					

Kurzzeitige Erschütterungen sind im Sinne der Norm Erschütterungen, deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungser-

scheinungen hervorzurufen, und deren zeitliche Abfolge nicht geeignet ist, um in der betroffenen Struktur Resonanz zu erzeugen. Als kurzzeitige Erschütterungen (instationäre Einwirkungen) sind Einwirkungen zu werten, die z. B. während der An- und Auslaufphase von Vibrationsrammen entstehen. Neben den in **Tabelle 3** genannten Anhaltswerten nennt die **DIN 4150-3** einen Anhaltswert von

$$v_z = 20 \text{ mm/s}$$

für das Auftreten **kurzzeitiger vertikaler** Deckenschwingungen.

Für **dauerhafte** Erschütterungen (stationäre Einwirkungen), die z. B. beim Betrieb von Vibrationsrammen entstehen, nennt die Norm entsprechend für das Auftreten **vertikaler** Deckenschwingungen einen Anhaltswert von

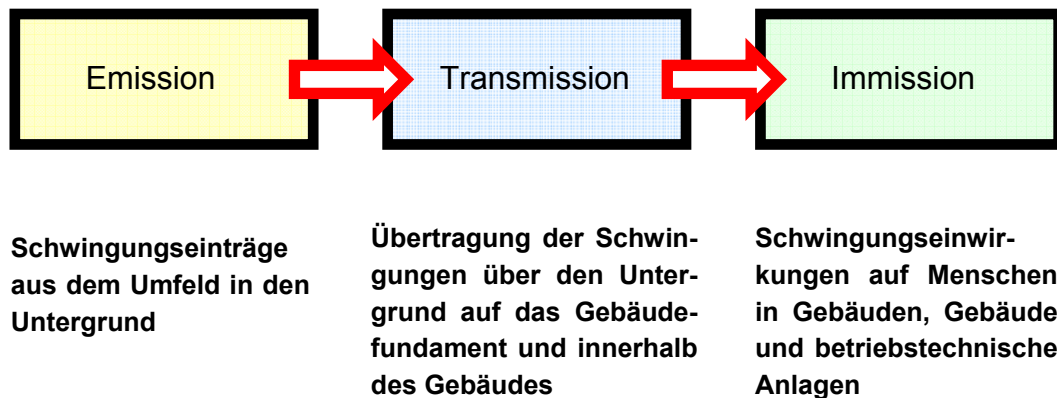
$$v_z = 10 \text{ mm/s.}$$

6 Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise

Die Ermittlung und Beurteilung der aus dem Baustellenbetrieb zu erwartenden Erschütterungsimmissionen wird für repräsentative Ausbreitungsbedingungen und typische Gebäudetypen durchgeführt. Da erschütterungsrelevante Bauaktivitäten in unterschiedlichen Abständen zu schutzwürdig genutzten Gebäuden stattfinden, werden die Erschütterungsimmissionen anhand von Ausbreitungskurven ermittelt, für die eine Beurteilung in beliebigen Abständen möglich ist. Zur Berechnung der Ausbreitungskurven werden für alle erschütterungstechnisch relevanten Bauaktivitäten empirisch ermittelte Emissionsspektren herangezogen und mit Hilfe von Ausbreitungs- und Übertragungsmodellen in Abhängigkeit des Abstandes zur Immissionsquelle ausgewertet.

Die Ermittlung der aus den Baumaßnahmen resultierenden Schwingungsimmissionen an und in Gebäuden erfolgt auf der Grundlage von Ausbreitungsberechnungen. Hierbei wird für die Übertragung der Schwingungen stets von dem in **Abbildung 2** dargestellten Ursachen-Wirkungsprinzip ausgegangen.

Abbildung 2 Ursachen-Wirkungs-Prinzip



6.1 Emissionen

Die erschütterungsrelevanten Bauaktivitäten werden in Abschnitt /10/ beschrieben und in **Anhang 2** als Emissionen mittels Terzbandspektren der Schwingschnelle dargestellt.

Erschütterungsemissionen sind hierbei Schwingungen, die von Baumaschinen in den Untergrund eingeleitet werden. Die angegebenen Schwingschnellen beziehen sich jeweils auf eine Messposition im Boden und in 8 m Abstand zum Emittenten (Bezugsabstand). Die Emissionsspektren sind keine exemplarischen Spektren, sondern stellen eine obere Einhüllende der bei unterschiedlichen Bodenverhältnissen anzutreffenden Emissionen dar. Da die dynamischen Beanspruchungen im Regelfall in vertikaler Richtung in den Untergrund eingeleitet werden und üblicherweise die Vertikalkomponenten der Schwingschnelle am Fundament und auf den Geschossdecken die Schwingschnellen in den übrigen beiden Raumrichtungen deutlich überschreiten, werden die Prognosebetrachtungen ausschließlich für die Vertikalkomponenten der Erschütterungseinwirkungen vorgenommen.

6.2 Transmission

6.2.1 Transferfunktion T1

Für die T1-Funktion wird die entfernungsbedingte Erschütterungsabnahme nach **DIN 4150-1** zu Grunde gelegt. Hierin ist die geometrische Amplitudenabnahme berücksichtigt, die durch die Verminderung der Energiedich-

te mit wachsender Entfernung von der Erschütterungsquelle hervorgerufen wird und die vom Quellentyp und der Ausbreitungsform (Wellenart) abhängig ist. Die zusätzliche Minderung der Amplituden durch Absorption der Schwingungsenergie im Boden (Materialdämpfung) erfolgt frequenzabhängig und wird durch den Dämpfungsgrad **D**, die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Boden und den Abnahmekoeffizienten **n** quantifiziert.

Für die Rammarbeiten werden unter Berücksichtigung der Vorgaben der **DIN 4150-1** folgende Parameter berücksichtigt:

$$\begin{aligned} D &= 1 \% \\ c_p &= 200 \text{ m/s} \\ n &= 0,5 \end{aligned}$$

6.2.2 Transferfunktionen T2 und T3

Die Übertragung von Erschütterungen vom Boden auf ein Gebäudefundament (T2-Funktion) wird mit der in **Anhang 3.1** angegebenen Übertragungsfunktion ermittelt. Der Berechnung wird hierbei die T2-Funktion von ein- bis zweigeschossigen Gebäuden zu Grunde gelegt.

Innerhalb von Gebäuden unterscheidet sich das Übertragungsverhalten je nach Bauart der Geschossdecken. Da im vorliegenden Fall nicht ausgeschlossen werden kann, dass die im Einwirkungsbereich der Baumaßnahme befindlichen Gebäude sowohl Holzbalkendecken als auch Deckenkonstruktionen aus Stahlbeton aufweisen, werden im Sinne einer oberen Abschätzung für beide Deckenkonstruktionen Berechnungen durchgeführt.

Die Eigenfrequenzen von Stahlbetondecken liegen in der Regel zwischen 20 Hz und 31,5 Hz, die von Holzbalkendecken zwischen 10 Hz und 20 Hz. In **Anhang 3.2** bzw. **Anhang 3.3** sind die der Berechnung zu Grunde gelegten Übertragungsfunktionen der Geschossdecken dargestellt. Hierbei wird jeweils der Mittelwert der **T3**-Funktion berücksichtigt.

6.3 Immissionen

Die von Vibrationsrammen induzierten Schwingungen wirken sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Raumrichtung. Da im Regelfall die in vertikaler Richtung in Bauwerke eingeleiteten dynamischen Beanspruchungen bedingt durch das Übertragungsverhalten der Gebäude zu ma-

ximalen Schwinggeschwindigkeiten führen, werden hier ausschließlich die vertikalen Schwingungskomponenten betrachtet. Die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen aus dem Baustellenbetrieb erfolgt hinsichtlich

- ☐ Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden und
- ☐ Einwirkungen auf bauliche Anlagen.

Für die beurteilungsrelevanten erschütterungstechnischen **Einwirkungen** wird unter Zugrundelegung der angegebenen Transferfunktionen die gemäß **DIN 4150-2** relevante Beurteilungsgröße, die maximale bewertete Schwingstärke **KB_{Fmax}** ermittelt.

Zur Beurteilung der Einwirkungen auf bauliche Anlagen ist gemäß **DIN 4150-3** der Maximalwert der unbewerteten Schwingschnelle **v_{max}** [mm/s] zu bestimmen.

Zur Beurteilung der Einwirkungen werden unter Berücksichtigung der oben angegebenen Parameter zunächst Ausbreitungsberechnungen durchgeführt. Anhand von Ausbreitungskurven in Abhängigkeit von den Abstandsverhältnissen können für die jeweiligen Baumaßnahmen differenziert für typische Räume in Gebäuden **Grenzabstände** ermittelt werden, innerhalb denen nicht ausgeschlossen werden kann, dass es zu Überschreitungen der relevanten Anforderungswert kommen wird. Soweit sich Objekte außerhalb der rechnerisch ermittelten Grenzabstände befinden, kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass aus Sicht des Erschütterungsschutzes keine Konflikte zu erwarten sind.

7 Untersuchungsergebnisse

7.1 Emissionen

Bei der Durchführung von Baumaßnahmen können durch die Anwendung bestimmter Bauverfahren verfahrensbedingt nennenswerte Erschütterungen auftreten. Hierbei sind solche Bauverfahren von Bedeutung, die mit dem Einleiten hoher Wechselkräfte in den Untergrund verbunden sind. Diese Emissionsquellen lassen sich in der Regel als impulsförmige oder stationäre Punktquellen charakterisieren.

Erschütterungstechnische relevante Bauaktivitäten stellen im vorliegenden Fall die Vibrationsrammungen zur Herstellung des Verbaus im Bereich der neuen Eisenbahnüberführungen oder von Stützwänden dar.

Beim Einsatz von Vibrationsrammen werden stationäre Erschütterungen erzeugt. Aus erschütterungstechnischer Sicht sind für den Einsatz von Vibrationsrammen in der Regel hohe Arbeitsfrequenzen ($f > 35 \text{ Hz}$) günstiger als tiefe, da damit der Resonanzbereich von Geschossdecken in Gebäuden im Allgemeinen nicht erreicht wird. Vibratoren mit tiefer Arbeitsfrequenz ($f < 35 \text{ Hz}$) können, insbesondere beim Auftreffen von Rammwiderständen, durch das Absenken der Betriebsfrequenz in den Deckenresonanzbereich und durch die stärkere Energieabstrahlung auch in größerer Entfernung noch starke Erschütterungen hervorrufen. Im Nahbereich zu schutzwürdig genutzten Gebäuden werden daher in der Regel nur hochfrequente Vibratoren ($f > 35 \text{ Hz}$) mit regelbarer Frequenz und ausreichender Leistung eingesetzt, um das Absinken der Betriebsfrequenz in den Deckenresonanzbereich zu verhindern.

Beim Anfahren und Abschalten von Vibratoren mit einem unveränderlichen statischen Moment können beim Durchfahren von Deckeneigenfrequenzen kurzzeitig Resonanzüberhöhungen auftreten. Das Durchlaufen von Resonanzfrequenzen beim Anfahren und Abschalten kann durch die Verwendung moderner Geräte mit im Betrieb regelbarem, veränderlichem statischen Moment verhindert werden.

In der vorliegenden Untersuchung wird davon ausgegangen, dass eine Vibrationsramme mit einem veränderlichen statischen Moment zum Einsatz kommt, was dem derzeitigen Stand der Technik entspricht. Die Arbeitsfrequenz wird mit

$$f \approx 35 \text{ Hz}$$

angenommen. In **Anhang 2** ist das Emissionsspektrum in grafischer Form dargestellt.

7.2 Immissionen

Im direkten Einwirkungsbereich der beurteilungsrelevanten Rammarbeiten sind folgende Abstände zu den nächstgelegenen schutzwürdigen Nutzungen gegeben:

- ☐ Güterzugrampe: $s \geq 40 \text{ m}$,
- ☐ EÜ Goldsteinstraße: $s = 8 \text{ m}$,
- ☐ EÜ Mainbrücke: $s \geq 60 \text{ m}$.

7.2.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen aus dem Betrieb von Vibrationsrammen werden zunächst die maximalen beurteilten Schwingstärken (KB_{Fmax}) unter Berücksichtigung möglicher Deckenkonstruktionen ermittelt. Es wird geprüft, ob der obere Anhaltswert nach **DIN 4150-2 /4/** eingehalten werden kann. Die Ergebnisse sind in **Anhang 4.1** für Stahlbeton- und Holzbalkendeckenkonstruktionen dargestellt.

Für den **Tagzeitraum** gilt nach **Tabelle 1** unabhängig von der Einwirkdauer ein oberer Anhaltswert

$$A_{o, Tag} = 5,0.$$

Die unter Berücksichtigung der oben genannten Abstandsverhältnisse aus **Anhang 4.1** resultierenden maximalen bewerteten Schwingstärken sind in **Tabelle 4** zusammengestellt:

Tabelle 4 Maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}

Bereich	$KB_{Fmax} [-]$	
	Stahlbetondecke	Holzbalkendecke
Güterzugrampe	0,55	0,20
EÜ Goldsteinstraße (Stützwand)	1,60	0,70
EÜ Mainbrücke	0,36	0,16

Somit wird der obere Anhaltswert A_o während der Vibrationsrammungen selbst bei minimalen Abständen in allen relevanten Einwirkungsbereichen für beide Deckenkonstruktionen unterschritten.

Der untere Anhaltswert A_u ist von der Dauer der zu beurteilenden Bauaktivitäten abhängig. Hierbei ist zu beachten, dass die Vibrationsrammungen für die Güterzugrampe und die Stützwand immer nur von kurzer Dauer im direkten Nahbereich der schutzwürdigen Gebäude durchgeführt werden. Die Baustelle ist vielmehr als Wanderbaustelle zu sehen. Daher wird da-

von ausgegangen, dass die Rammungen im direkten Einwirkungsbereich des einzelnen schutzwürdigen Gebäudes in einem Zeitraum

$$1 \text{ Tag} \leq D$$

durchgeführt werden können. Für die Tätigkeiten zum Baugrubenverbau an der Mainbrücke ist eine Dauer von

$$D = 60 \text{ Tagen}$$

angegeben.

Bei Verbauarbeiten im Bereich der Güterzugrampe (Einwirkdauer ≤ 1 Tag) kann selbst der untere Anhaltswert A_u der **Stufe I** von

$$A_{u, \text{Tag}, I} = 0,8$$

eingehalten werden. Dies bedeutet, dass die Rammarbeiten im Umfeld der Güterzugrampe bei den gegebenen Abstandsverhältnissen als unkritisch im Sinne der **DIN 4150-2** einzustufen sind.

Die beurteilungsrelevanten Vibrationsrammungen werden ausschließlich im Tagzeitraum (06.00 Uhr bis 22.00 Uhr, vgl. **Anhang 4.2** und **Anhang 4.3**) durchgeführt. Es wird angestrebt, dass bei den hier gegebenen Abstandsverhältnissen die Anhaltswerte der **Stufe II** für den Tagzeitraum eingehalten werden können. Dann ist im Tagzeitraum noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen, falls die in Abschnitt 6.5.4.3 der **DIN 4150-2** aufgeführten Maßnahmen a) bis e) ergriffen werden. Demnach können die psychischen Auswirkungen von Erschütterungseinwirkungen vermindert werden durch

- a) umfassende Informationen der Betroffenen über die Baumaßnahmen, die Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Baubetrieb;
- b) Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen und die damit verbundenen Belästigungen;
- c) zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen (Pausen, Ruhezeiten, Betriebsweise der Erschütterungsquelle usw.);

- d) Benennung einer Ansprechstelle, an die sich Betroffene wenden können, wenn sie besondere Probleme durch Erschütterungseinwirkungen haben;
- e) Information der Betroffenen über die Erschütterungseinwirkungen auf das Gebäude.

Im Umfeld der EÜ Mainbrücke (Einwirkdauer $26 \text{ Tage} < D \leq 78 \text{ Tage}$) und entlang der Stützwand EÜ Goldsteinstraße ($D \leq 1 \text{ Tag}$) wird der jeweils maßgebende untere Anhaltswert überschritten. Daher wird als 2. Schritt der Beurteilung gemäß **DIN 4150-2** die Bildung der Beurteilungsschwingstärke **KB_{FT}** erforderlich.

Im Tagzeitraum gilt für die **Stufe II** bei einer Einwirkdauer bis zu maximal einem Tag ein Beurteilungsanhaltswert

$$A_{r, \text{Tag, II}} = 0,8.$$

Bei Rammarbeiten zur Herstellung des Verbaus für die Stützwände kann dieser Beurteilungsanhaltswert der **Stufe II** bei Stahlbetondecken in minimalen Abständen von ca. **8 m** eingehalten werden, sofern die **reine** Rammdauer im Tagzeitraum

$$T_e \leq 5,0 \text{ h}$$

nicht übersteigt. Bei Holzbalkendecken sind keine zeitlichen Restriktionen der zulässigen reinen Rammdauer erforderlich. Allerdings sind in beiden Fällen grundsätzlich die in der **DIN 4150-2**, Abschnitt 6.5.4.3 dargestellten Maßnahmen a) bis e) zur Minderung erheblicher Belästigungen zu ergreifen.

Für eine Einwirkdauer von mehr als 26 Tagen, jedoch weniger als 78 Tagen gilt für die **Stufe II** ein Beurteilungsanhaltswert

$$A_{r, \text{Tag, II}} = 0,4.$$

Bei Rammarbeiten im Bereich der Mainbrücke sind bei einem minimalen Abstand von **60 m** zur Einhaltung des Beurteilungsanhaltswertes der **Stufe II** weder bei Stahlbetondecken noch bei Holzbalkendecken zeitliche Restriktionen der **reinen** Rammdauer erforderlich. Vielmehr kann bei Holzbalkendecken grundsätzlich und bei Stahlbetondecken mit einer maximalen reinen Rammdauer im Tagzeitraum von

$$T_e \leq 5,0 \text{ h}$$

noch der Beurteilungsanhaltswert der **Stufe I** mit

$$A_{r, \text{Tag, I}} = 0,2.$$

unterschritten werden, so dass auch ohne besondere Vorinformation der betroffenen Anwohner nicht mit erheblichen Belästigungen durch die Rammarbeiten zu rechnen ist.

7.2.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Die Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Abstand der Gebäude zu den Vibrationsrammungen sind für Stahlbetondecken in **Anhang 5.1**, für Holzbalkendecken in **Anhang 5.2** dargestellt. Die Ergebnisse für die relevanten Einwirkungsbereiche sind in **Tabelle 5** zusammengefasst.

Tabelle 5 Maximale Schwinggeschwindigkeiten v_{\max}

Bereich	v_{\max} [mm/s]		
	Fundament	Geschossdecke	
		Stahlbeton	Holzbalken
Güterzugrampe	0,3	0,9	0,4
EÜ Goldsteinstraße (Stützwand)	0,8	2,8	1,3
Mainbrücke	0,2	0,6	0,3

Der zulässige Anhaltswert gemäß **DIN 4150-3** für kurzzeitige Erschütterungen am Gebäudefundament von Wohngebäuden wird somit um mindestens den Faktor 6 **unterschritten**. Selbst der Anforderungswert für besonders schwingungsempfindliche Gebäude wird um mindestens den Faktor 2 unterschritten.

Der Betrieb der Vibrationsramme stellt im Sinne der **DIN 4150-3** jedoch keine kurzzeitige, sondern eine stationäre Erschütterung dar. Die am Gebäudefundament ermittelten Schwinggeschwindigkeiten sind auf Grund allgemeiner Erfahrungsgrundsätze dennoch als unkritisch zu sehen.

Für die Geschossdecken (Stahlbeton / Holzbalken) ergeben sich maximale Schwinggeschwindigkeiten infolge der Vibrationsrammungen zur Her-

stellung des Verbaus für die Stützwand im Bereich der EÜ Goldsteinstraße von

$$v_{\max} = 2,8 / 1,3 \text{ mm/s.}$$

Der Vergleich mit dem Anhaltswert gemäß **DIN 4150-3** für dauerhafte Erschütterungen auf Geschossdecken mit

$$v_z = 10 \text{ mm/s}$$

belegt, dass beim Betrieb der Vibrationsrammen in keinem der relevanten Einwirkungsbereiche mit Gebäudeschäden durch baubedingte Erschütterungen zu rechnen ist.

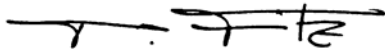
8 Abschließende Bemerkungen

Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (**BImSchG**) /1/ soll jede Baustelle so geplant, eingerichtet und betrieben werden, dass Erschütterungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind. Demgemäß sind die mit Bauleistungen beauftragten Unternehmen dahingehend zu verpflichten, dass sie ausschließlich Bauverfahren und Baugeräte einsetzen, die den (fortschreitenden) Stand der Technik beachten.

Die durchgeführte erschütterungstechnische Untersuchung belegt, dass erhebliche Belästigungen durch Vibrationsrammungen zur Herstellung von Verbauten im Bereich der Stützwand EÜ Goldsteinstraße und im Umfeld der EÜ Mainbrücke bei den gegebenen Abstandsverhältnissen unter Beachtung bestimmter zeitlicher Restriktionen zur reinen Rammdauer und unter Berücksichtigung der in der **DIN 4150-2**, Abschnitt 6.5.4.3 angegebenen Maßnahmen a) bis e) ausgeschlossen werden können. Dies umfasst insbesondere eine umfassende Vorinformation der Betroffenen über die Baumaßnahme, das Bauverfahren, deren Dauer und die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahme.

Bei Verbauarbeiten im Bereich der Güterzugrampe sind für die nächstgelegenen schutzbedürftigen Gebäude unter Berücksichtigung der gegebenen Abstandsverhältnisse **keine** erheblichen Belästigungen infolge der resultierenden Erschütterungsimmissionen zu erwarten.

Gebäudeschäden im Sinne der **DIN 4150-3** sind in allen Einwirkungs-
reichen nicht zu erwarten.



Dipl.-Phys. Peter Fritz



Dipl.-Ing. Rolf Schneider

ANHANG

Projekt:

10225-ABE-1 □ 30.03.2012 □ Umbau Knoten Sportfeld 2. Baustufe

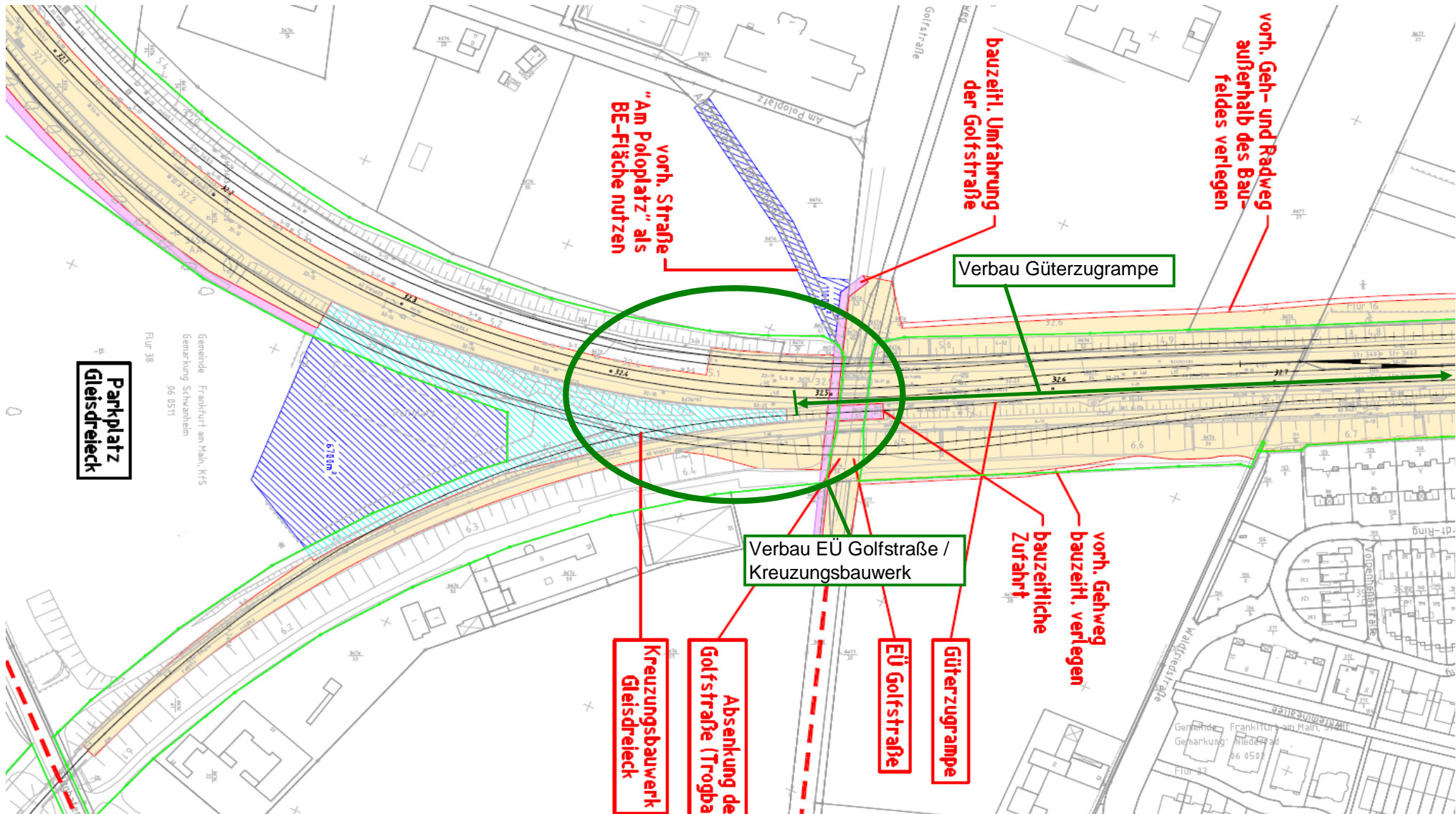
Auftraggeber:

DB ProjektBau GmbH □ Hahnstraße 52 □ 60528 Frankfurt am Main

Lageplanausschnitt - Umbau Knoten Frankfurt (M) - Sportfeld

Bereiche mit Verbauarbeiten

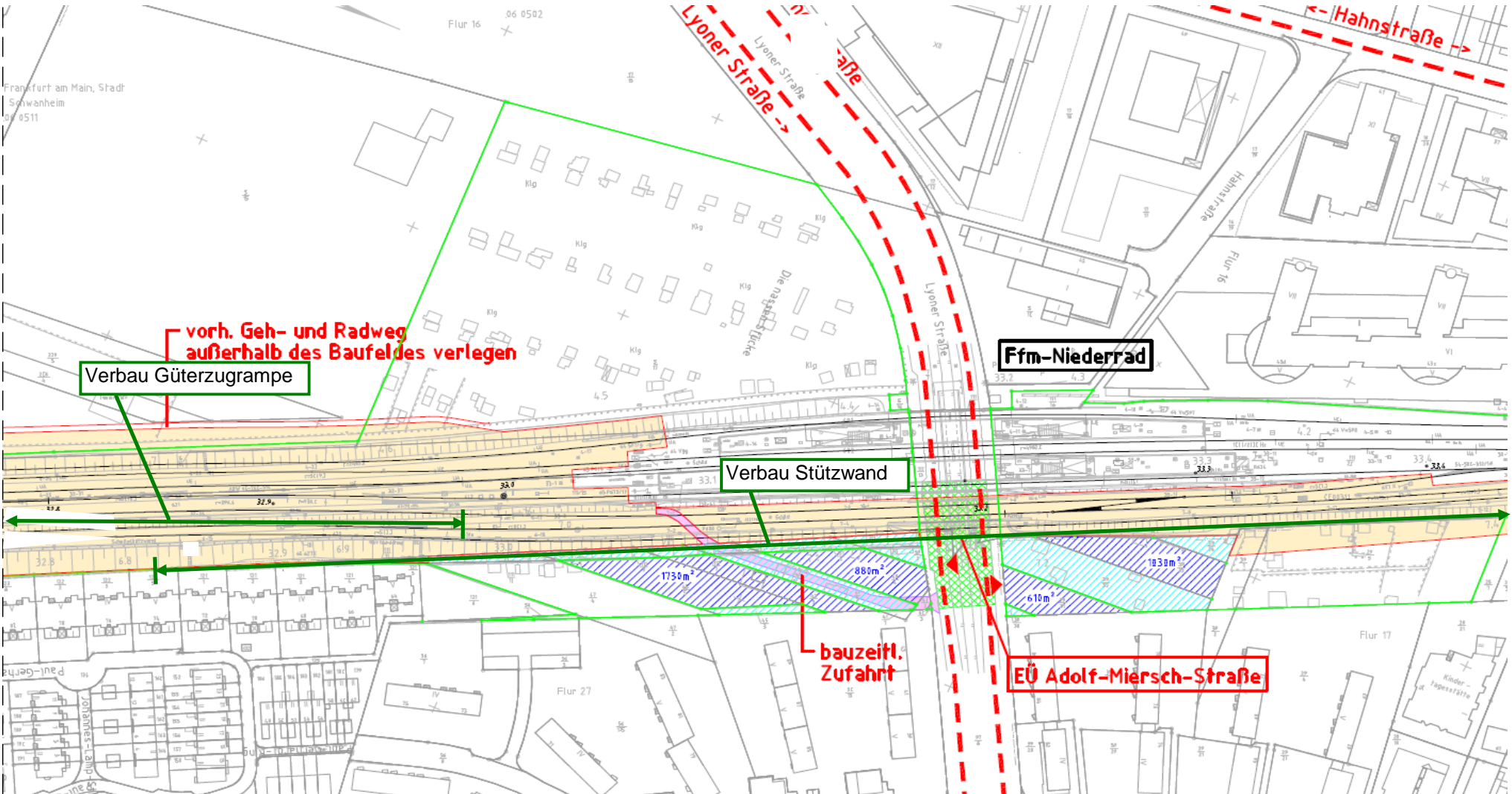
X:\Projekte\2010\10225-VVSE-DBPB-Knoten Sportfeld 2. Ausbaustufe\1C-Bearbeitung\Erschütterungen\Bauerschütterungen\Lageplan.xls\Bereich 1



Lageplanausschnitt - Umbau Knoten Frankfurt (M) - Sportfeld

Bereiche mit Verbauarbeiten

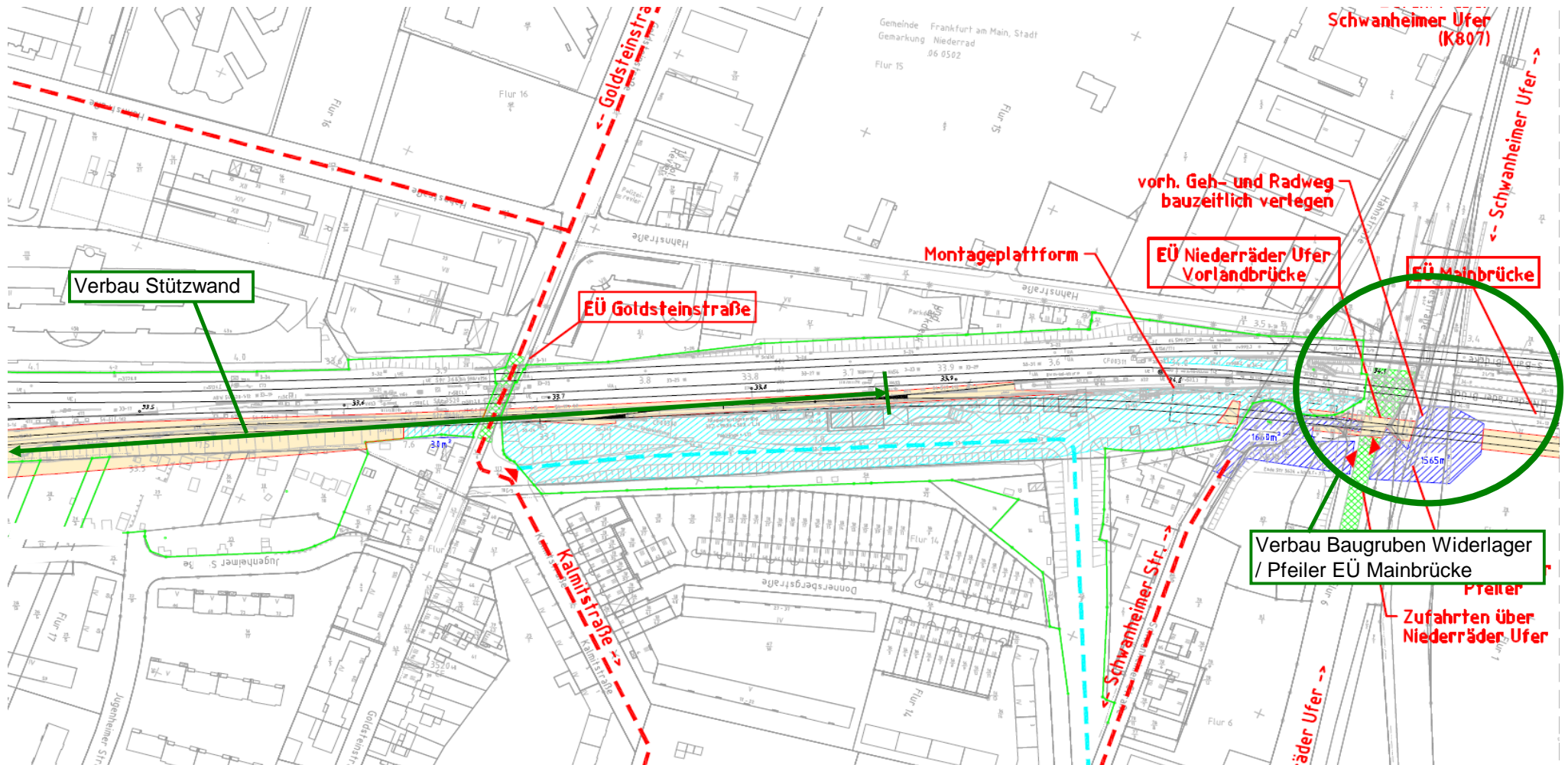
X:\Projekte2\2010\10225-VVSE-DBPB-Knoten Sportfeld 2. Ausbaustufe\C-Bearbeitung\Erschütterungen\Bauerschütterungen\[Lageplan.xls]Bereich 2



Lageplanausschnitt - Umbau Knoten Frankfurt (M) - Sportfeld

Bereiche mit Verbauarbeiten

X:\Projekte\2010\10225-VVSE-DBPB-Knoten Sportfeld 2. Ausbaustufe\1-C-Bearbeitung\Erschütterungen\Bauerschütterungen\Lageplan.xls\Bereich 3

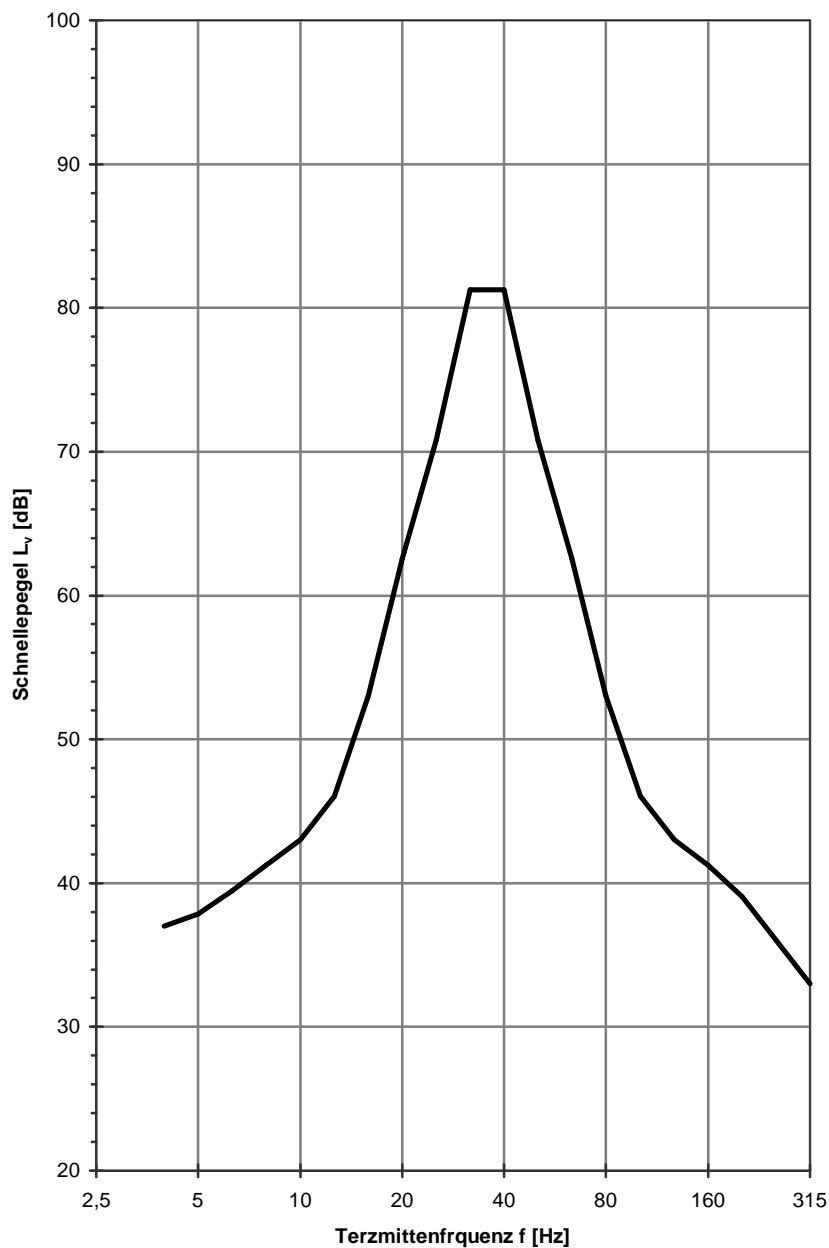


Emissionsspektrum

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

X:\Projekte\2010\10225-VVSE-DBPB-Knoten Sportfeld 2. Ausbaustufe\1C-Bearbeitung\Erschütterungen\Bauerschütterungen\[V_Ramme-Tag.xls]V-RammeN

Messpunkt (Abstand): 20 m
Arbeitsfrequenz: 35 Hz
Schwingrichtung: z
Quellentyp: Punktquelle (PQ) harmonisch/stationär (HS)
Wellenart: Oberflächenwelle (O)



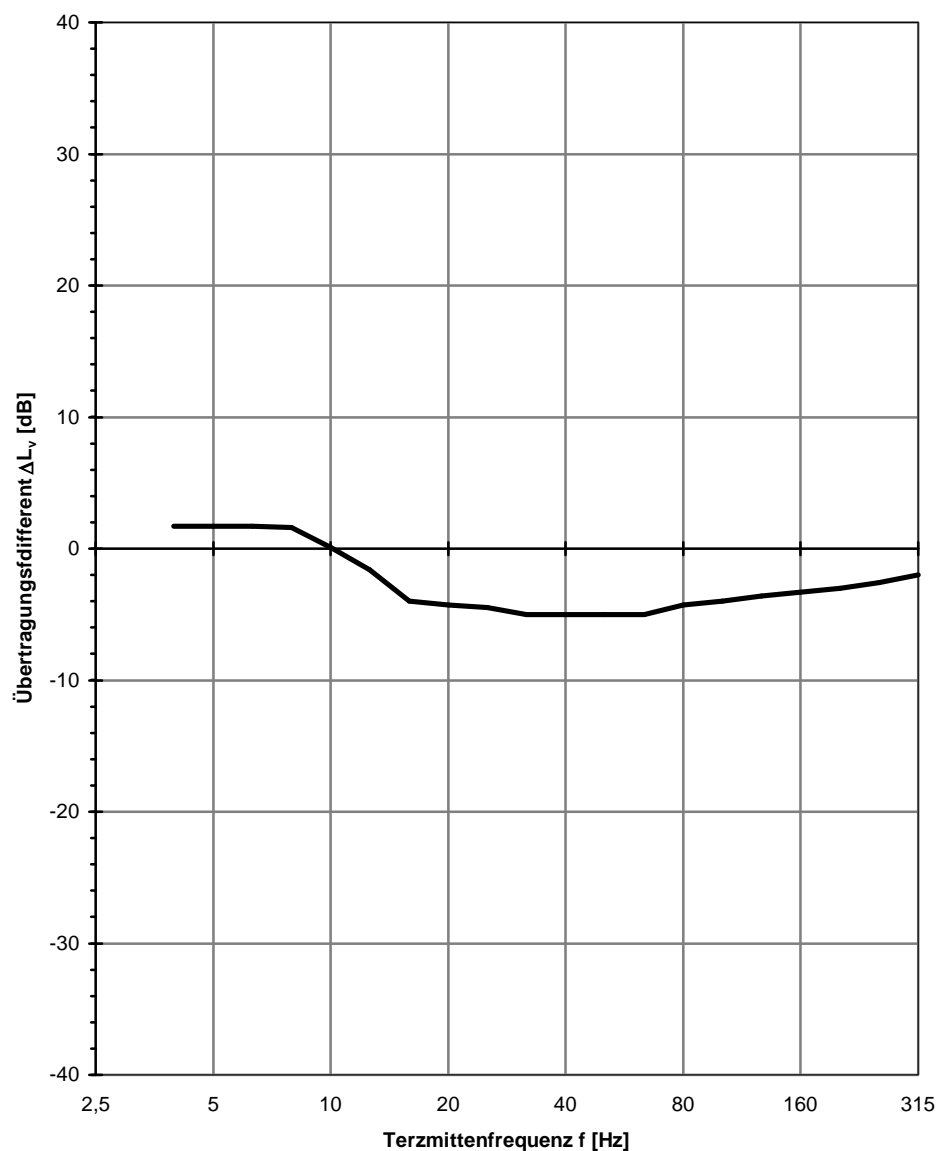
L _v [dB]	f [Hz]
37,0	4
37,8	5
39,4	6,3
41,3	8
43,0	10
46,0	12,5
53,0	16
62,6	20
70,8	25
81,3	31,5
81,3	40
70,8	50
62,6	63
53,0	80
46,0	100
43,0	125
41,3	160
39,0	200
36,0	250
33,0	315
84,7	Σ
0,86	v_{Fmax}

T2-Funktion

Übertragung Erdreich - Fundament

X:\Projekte\2010\10225-VVSE-DBPB-Knoten Sportfeld 2. Ausbaustufe\C-Bearbeitung\Erschütterungen\Bauerschütterungen\V_Ramme-Tag.xls\T2

Gebäudetyp: ein- und zweigeschossige Gebäude in Massivbauweise
Schwingrichtung: z
Quelle: LIS Nr. 107 Nordrhein-Westfalen, Bild 7.8a
 typische Minderung von Erschütterungen vom Erdreich
 auf das Gebäudefundament



ΔL_v [dB]	f [Hz]
1,7	4
1,7	5
1,7	6,3
1,6	8
0,1	10
-1,6	12,5
-4,0	16
-4,3	20
-4,5	25
-5,0	31,5
-5,0	40
-5,0	50
-5,0	63
-4,3	80
-4,0	100
-3,6	125
-3,3	160
-3,0	200
-2,6	250
-2,0	315

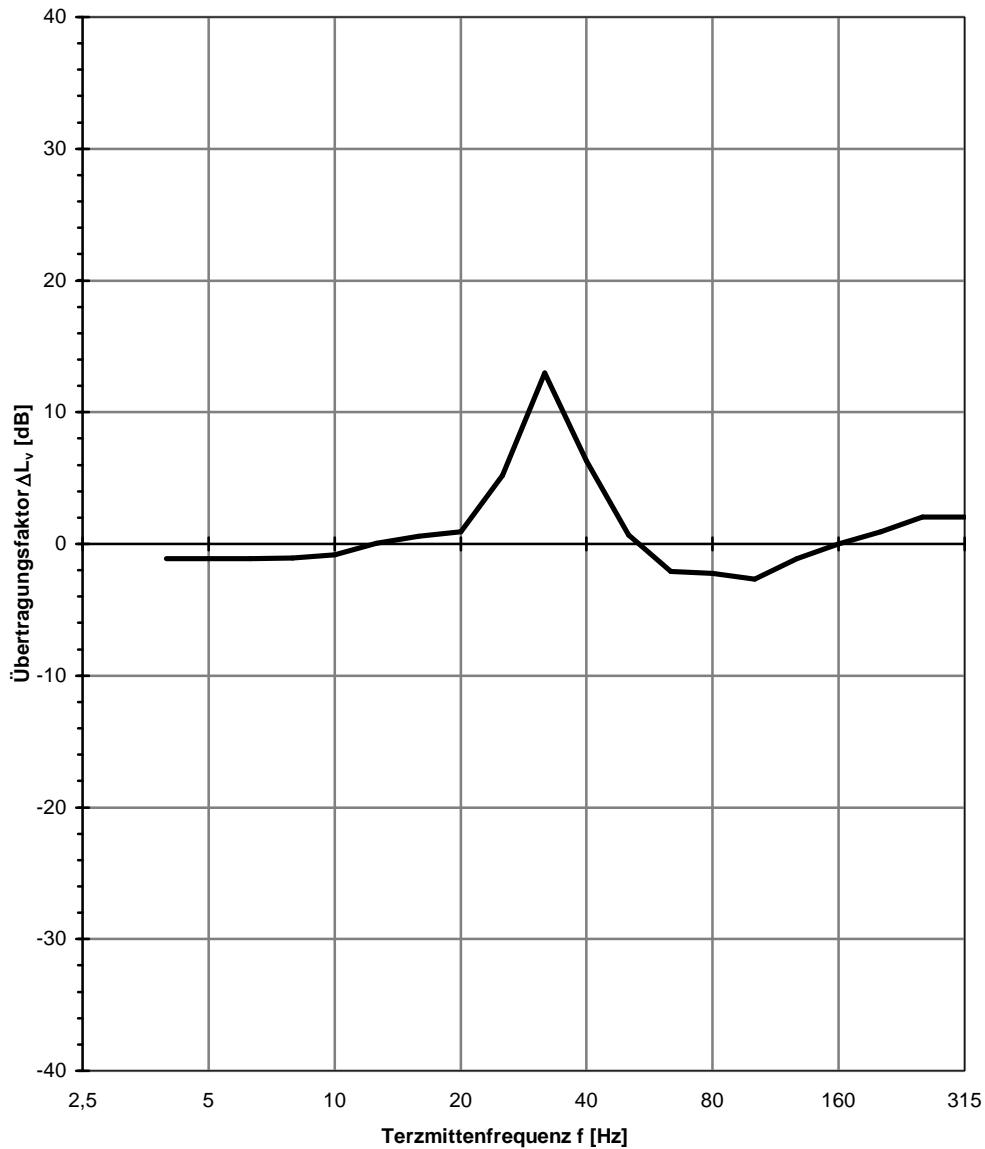
T3-Funktion

Übertragung Fundament - Geschossdecke

X:\Projekte\2010\10225-VVSE-DBPB-Knoten Sportfeld 2. Ausbaustufe\C-Bearbeitung\Erschütterungen\Bauerschütterungen[V_Ramme-Tag.xls]T3_Stb

Deckenart: Stahlbetondecke
Schwingrichtung: z
Quelle: DB Leitfaden für den Planer
Körperschall- und Erschütterungsschutz
Resonanzfrequenz der Decke: f = 31,5 Hz

Mittelwert



ΔL_v [dB]	f [Hz]
-1,1	4
-1,1	5
-1,1	6,3
-1,1	8
-0,9	10
0,0	12,5
0,6	16
0,9	20
5,2	25
13,0	31,5
6,3	40
0,7	50
-2,1	63
-2,2	80
-2,7	100
-1,1	125
0,0	160
0,9	200
2,0	250
2,0	315

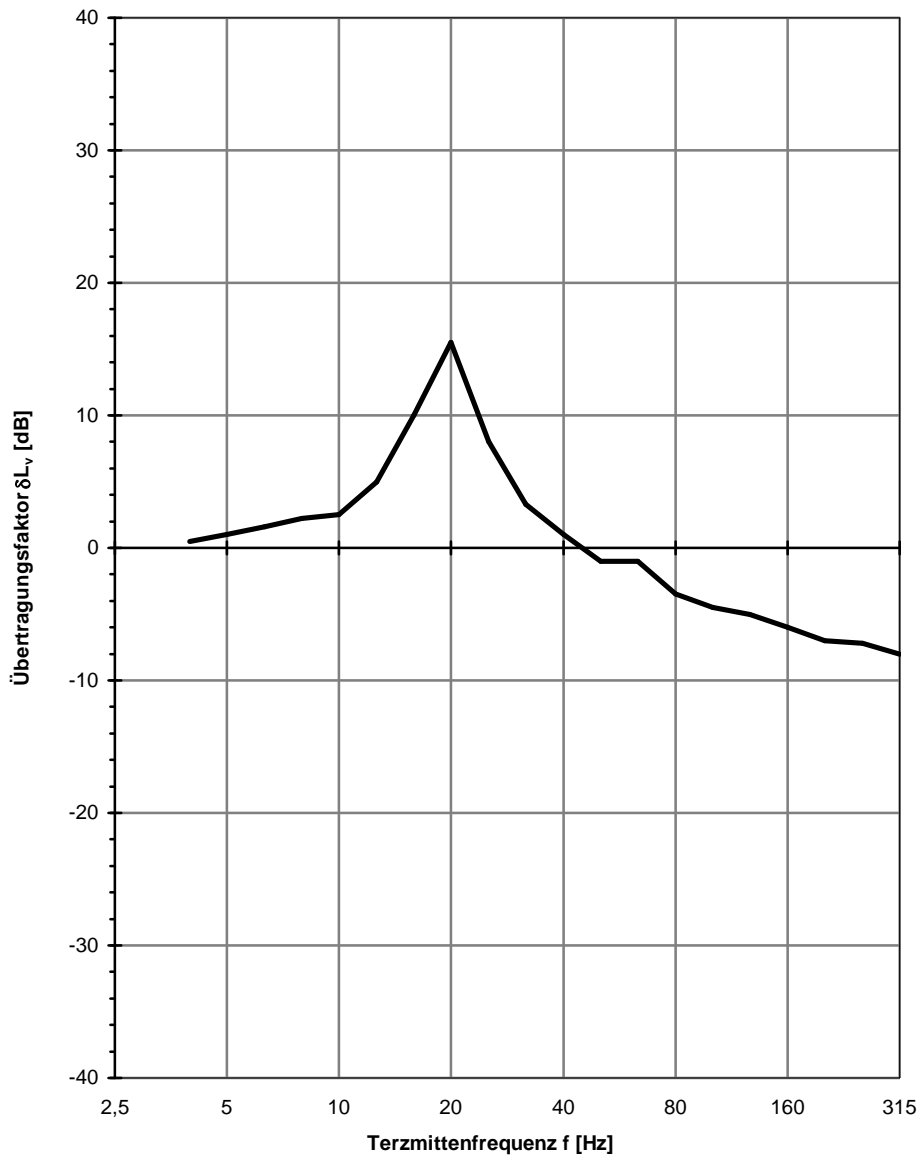
T3-Funktion

Übertragung Fundament - Geschossdecke

X:\Projekte\2010\10225-VVSE-DBPB-Knoten Sportfeld 2. Ausbaustufe\C-Bearbeitung\Erschütterungen\Bauerschütterungen\V_Ramme-Tag.xls\KBfmaxN

Deckenart: Holzbalkendecke
Schwingrichtung: z
Quelle: DB Leitfaden für den Planer
 Körperschall- und Erschütterungsschutz
Resonanzfrequenz der Decke: f = 20 Hz

Mittelwert

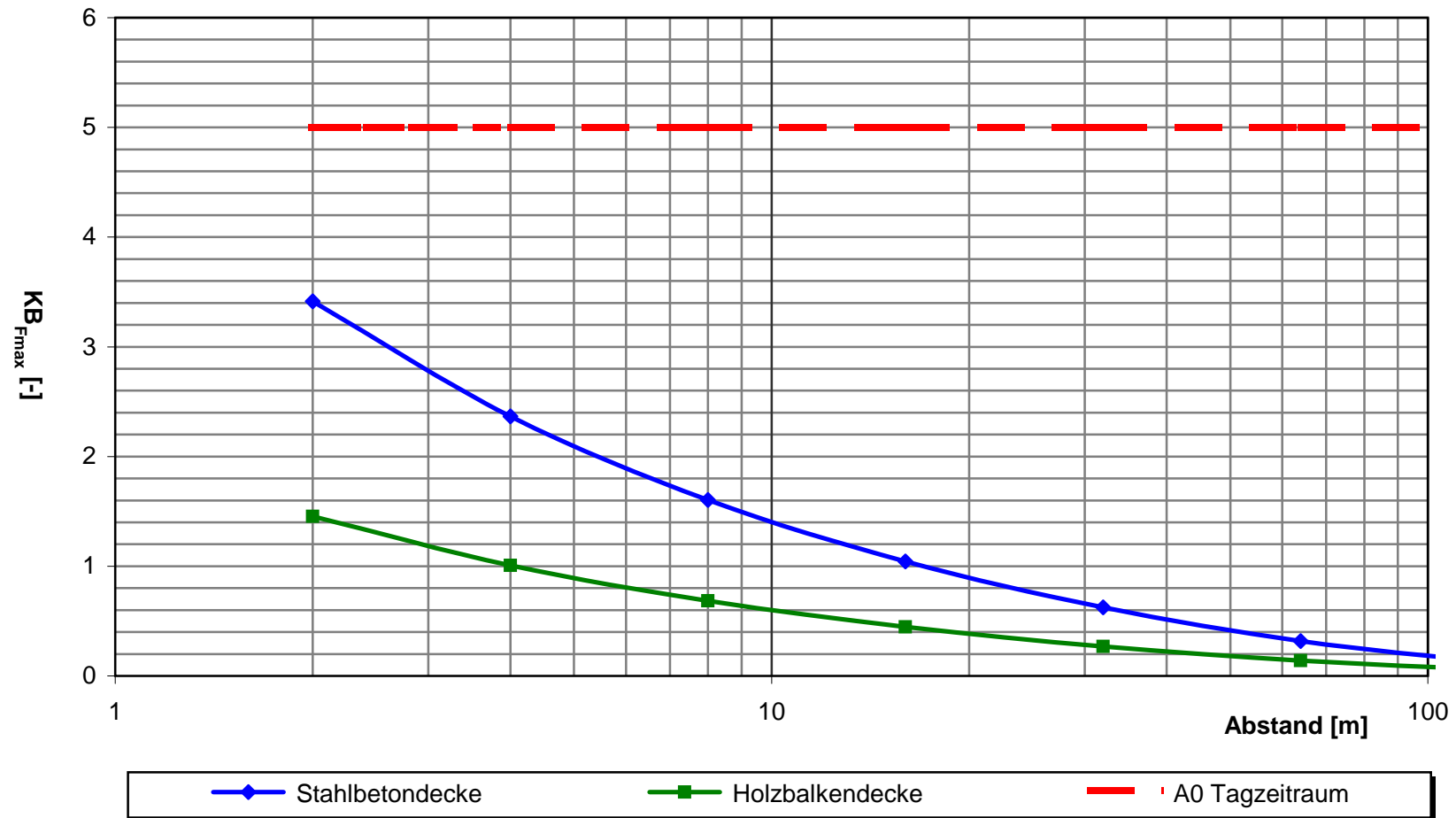


ΔL_v [dB]	f [Hz]
0,5	4
1,0	5
1,6	6,3
2,2	8
2,5	10
5,0	12,5
10,0	16
15,5	20
8,0	25
3,3	31,5
1,0	40
-1,0	50
-1,0	63
-3,5	80
-4,5	100
-5,0	125
-6,0	160
-7,0	200
-7,2	250
-8,0	315

KB_{Fmax} in typischen Geschossbauten durch Vibrationsramme

X:\Projekte2\2010\10225-VVSE-DBPB-Knoten Sportfeld 2. Ausbaustufe\IC-Bearbeitung\Erschütterungen\Bauerschütterungen\V_Ramme-Tag.xls\KBFmaxN

maximale Schwingstärke KB_{Fmax}



ANHANG 4.1

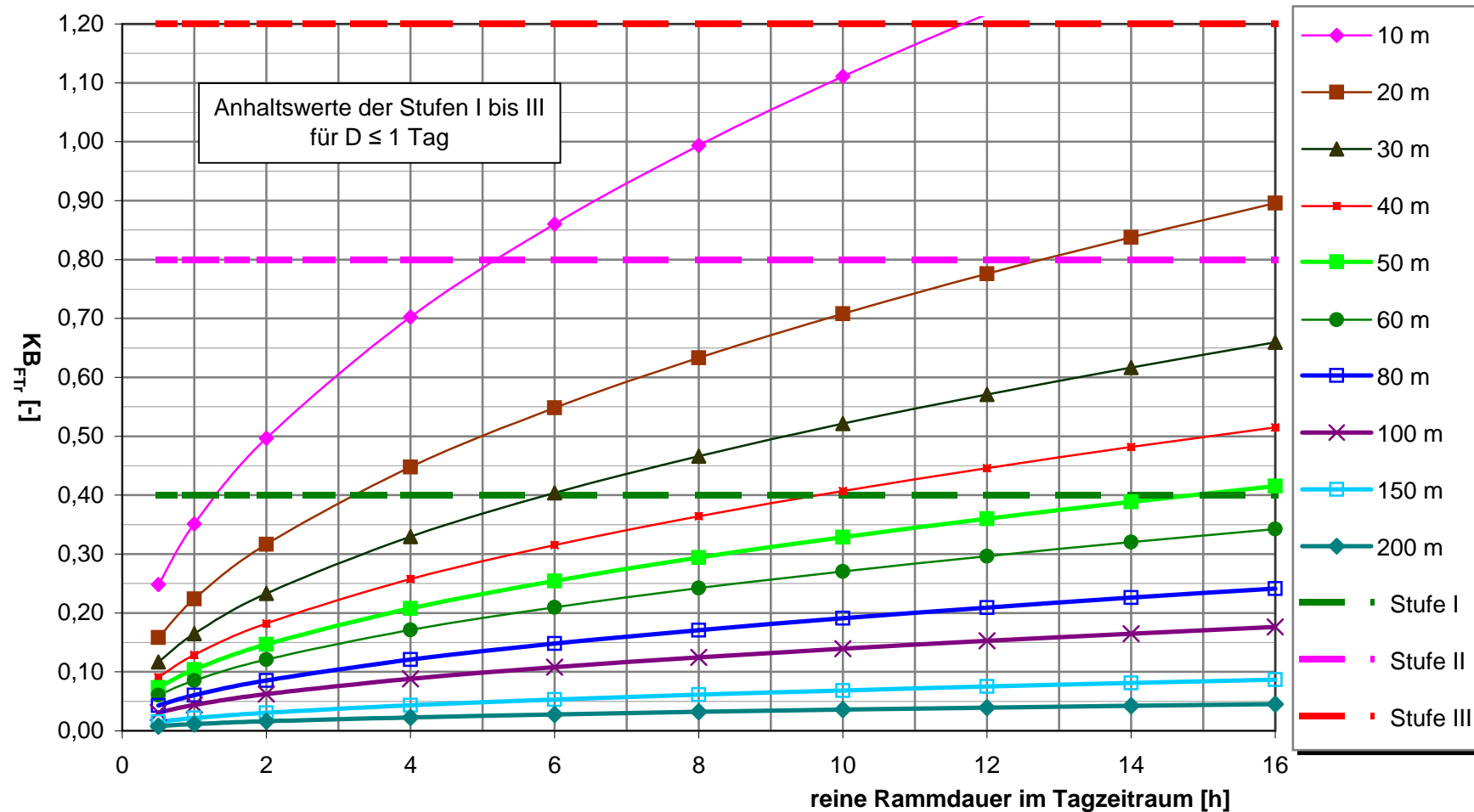
KB_{FT_r} in typischen Geschossbauten durch Vibrationsramme

Tagzeitraum - Stahlbetondecken

N:\2006\06133-VVS-DBPB - EÜ Eisingen-Fils\2008-07 Baubetrieb\Bauerschütterungen[V_Ramme.xls]KBfmaxA

(Vibrationsramme mit einem im Betrieb veränderlichen statischen Moment)

Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r}



ANHANG 4.2

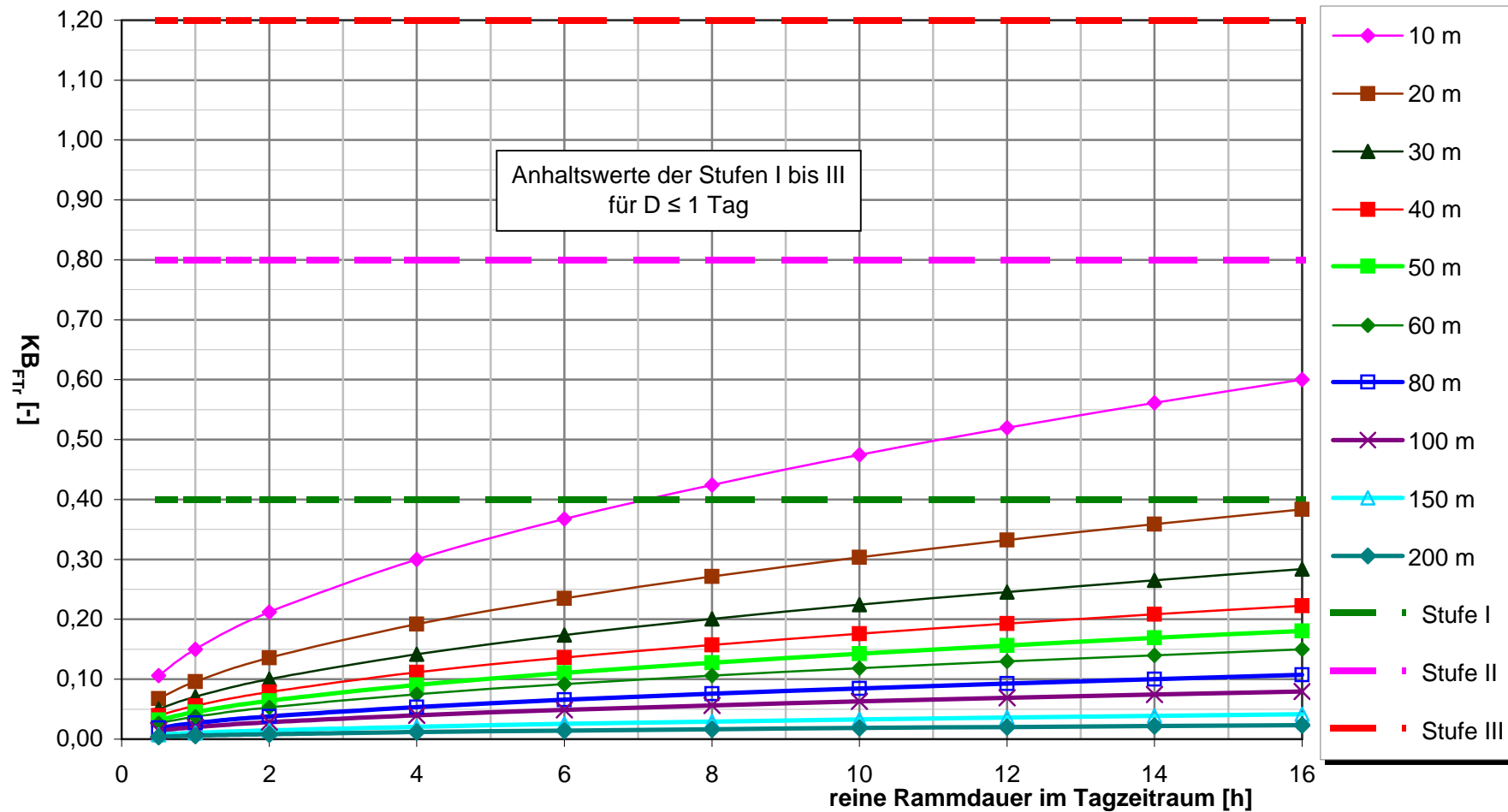
KB_{FT_r} in typischen Geschossbauten durch Vibrationsramme

Tagzeitraum - Holzbalkendecken

N:\2006\06133-VVS-DBPB - EÜ Eisingen-Fils\2008-07 Baubetrieb\Bauerschütterungen\IV_Ramme.xls\KBfmaxA

(Vibrationsramme mit einem im Betrieb veränderlichen statischen Moment)

Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r}



ANHANG 4.3

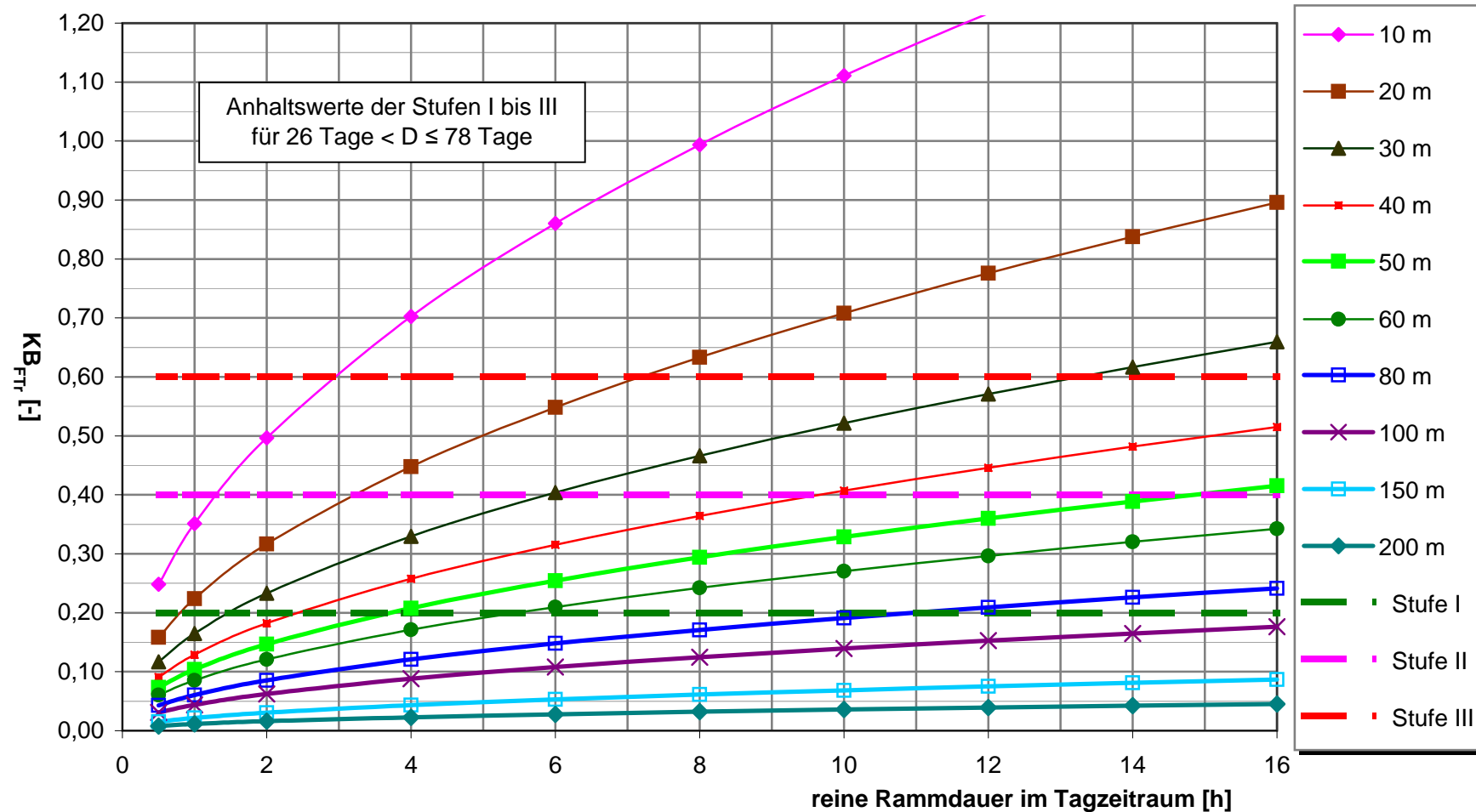
KB_{FT_r} in typischen Geschossbauten durch Vibrationsramme

Tagzeitraum - Stahlbetondecken

N:\2006\06133-VVS-DBPB - EÜ Eisingen-Fils\2008-07 Baubetrieb\Bauerschütterungen\V_Ramme.xls\KB_{FT_r}maxA

(Vibrationsramme mit einem im Betrieb veränderlichen statischen Moment)

Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r}



ANHANG 4.4

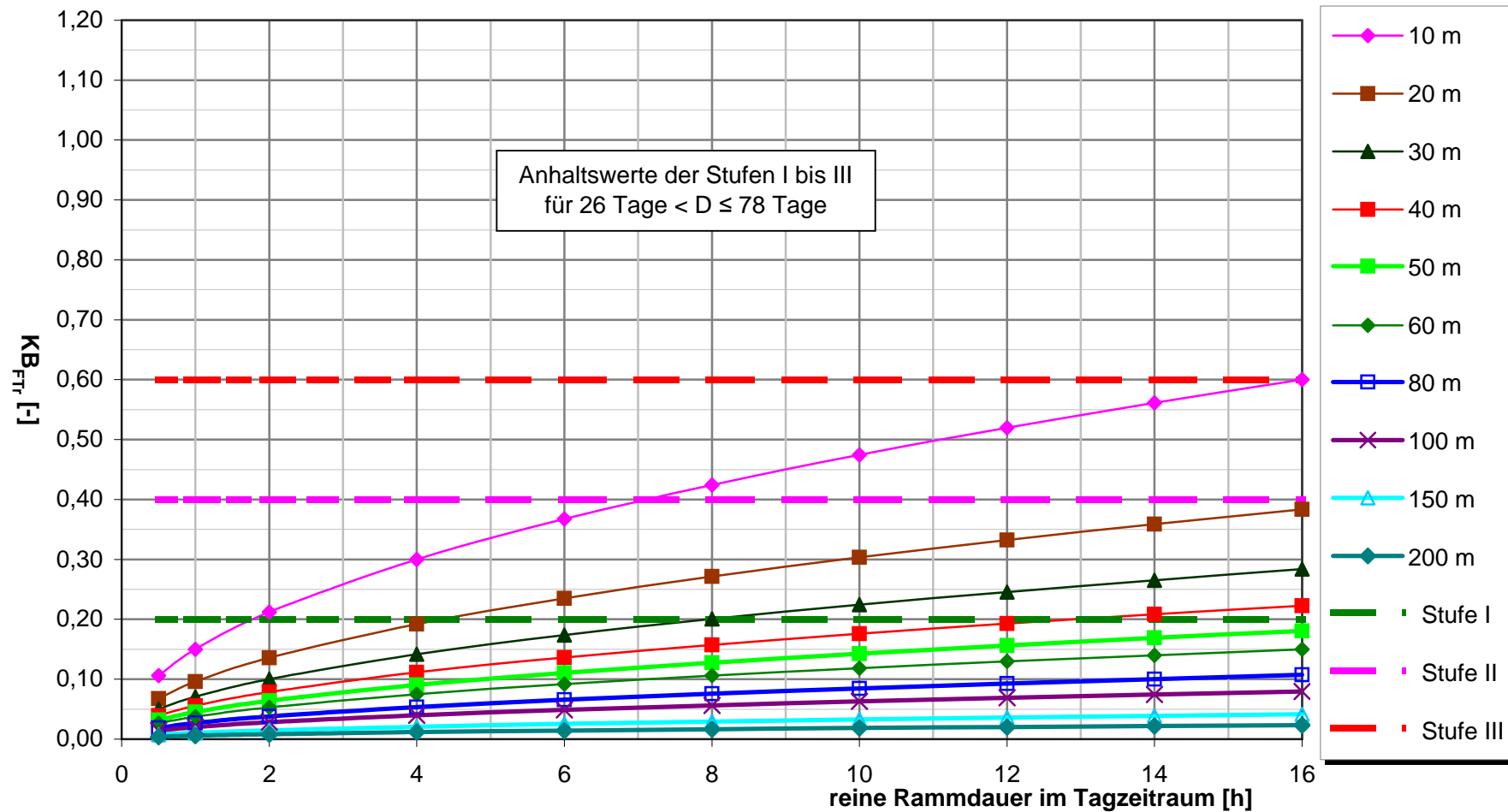
KB_{FT_r} in typischen Geschossbauten durch Vibrationsramme

Tagzeitraum - Holzbalkendecken

N:\2006\06133-VVS-DBPB - EÜ Eisingen-Fils\2008-07 Baubetrieb\Bauerschütterungen\IV_Ramme.xls\KB_{FmaxA}

(Vibrationsramme mit einem im Betrieb veränderlichen statischen Moment)

Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r}



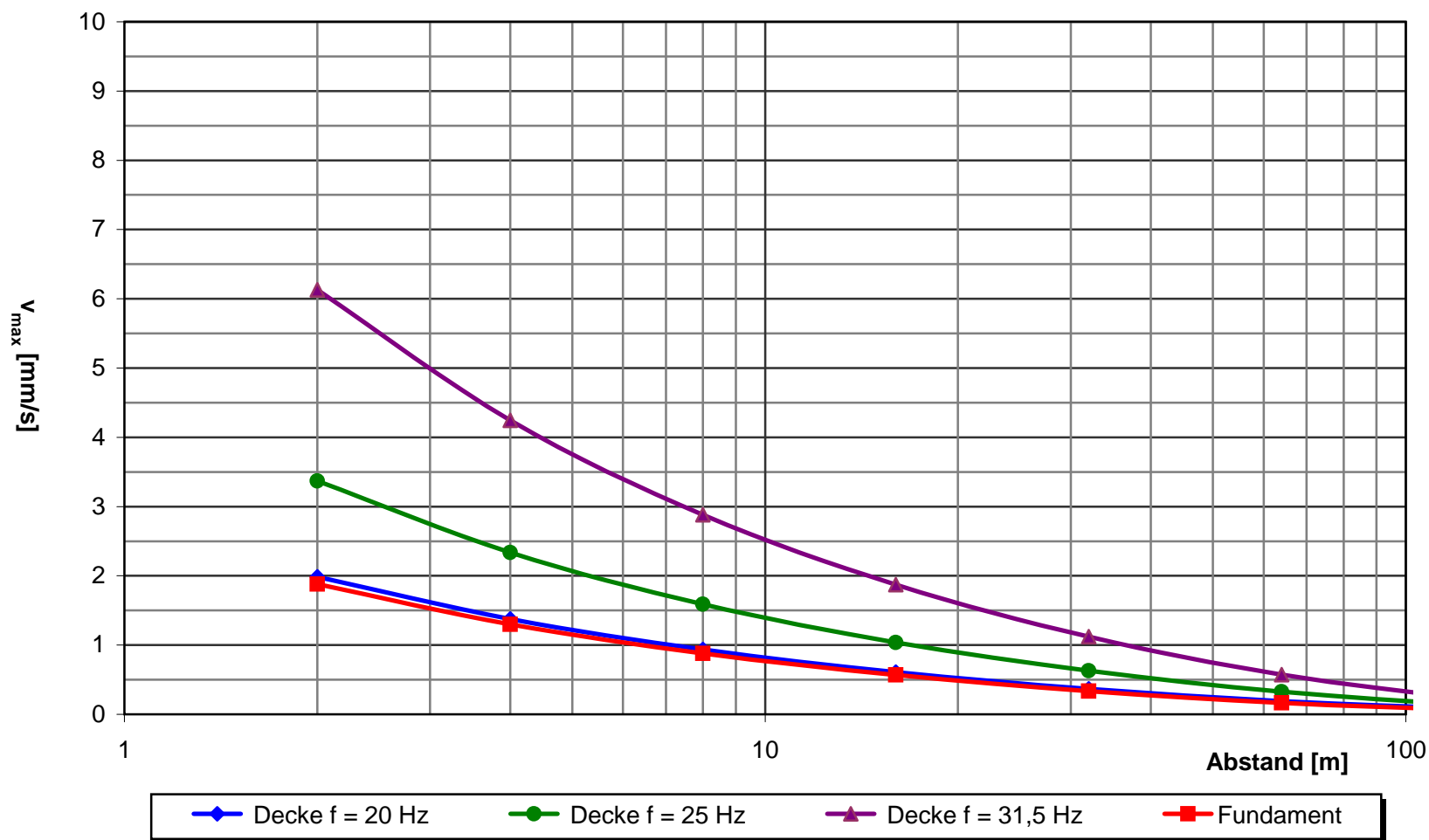
ANHANG 4.5

Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Stahlbetondecken durch Vibrationsramme

X:\Projekte\2010\10225-VVSE-DBPB-Knoten Sportfeld 2. Ausbaustufe\C-Bearbeitung\Erschütterungen\Bauerschütterungen\[V_Ramme-Tag.xls]vmaxN_Stb

(Vibrationsramme mit einem im Betrieb veränderlichen statischen Moment)

maximale Schwinggeschwindigkeit (im Normalbetrieb)



ANHANG 5.1

Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Holzbalkendecken durch Vibrationsramme

X:\Projekte2\2010\10225-VVSE-DBPB-Knoten Sportfeld 2. Ausbaustufe\C-Bearbeitung\Erschütterungen\Bauerschütterungen\V_Ramme-Tag.xls\jmaxN_Holz

(Vibrationsramme mit einem im Betrieb veränderlichen statischen Moment)

maximale Schwinggeschwindigkeit (im Normalbetrieb)

