

Anlage 20.5

29333473



Erschütterungstechnische Untersuchung

VORHABEN:	RTW – Regionaltangente West
ABSCHNITT:	Planfeststellungsabschnitt Süd 1
UMFANG:	Ermittlung und Beurteilung der aus dem Baubetrieb resultierenden Erschütterungsimmissionen
AUFTRAGGEBER:	RTW Planungsgesellschaft mbH Stiftstraße 9 - 17 60313 Frankfurt am Main
BEARBEITUNG:	KREBS+KIEFER FRITZ AG Heinrich-Hertz-Straße 2 64295 Darmstadt T 06151 885-383 F 06151 885-220
AKTENZEICHEN:	20058001-ABE-2
DATUM:	Darmstadt, 21.05.2019

Dipl.-Phys. Peter Fritz
Vorstand

Dieser Bericht umfasst 29 Seiten und 4 Anhänge.

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

Inhaltsverzeichnis

29333473

1	Zusammenfassung	5
2	Sachverhalt und Aufgabenstellung	5
3	Bearbeitungsgrundlagen	6
4	Beschreibung des Planvorhabens	7
5	Anforderungen an den Schwingungsschutz	10
5.1	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	10
5.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen	12
5.2.1	Kurzzeitige Erschütterungen	12
5.2.2	Dauererschütterungen	14
6	Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise	15
6.1	Emissionen	15
6.2	Transmission	16
6.2.1	Transferfunktion T_1	16
6.2.2	Transferfunktionen T_2 und T_3	17
6.3	Immissionen	17
7	Untersuchungsergebnisse	18
7.1	Einwirkungsbereiche	18
7.2	Emissionen	19
7.2.1	Einbringen von Bohrpfählen	20
7.2.2	Verdichtungsarbeiten	20
7.2.3	Vibrationsramme	21
7.3	Immissionen	22
7.3.1	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	22
7.3.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen	26
8	Abschließende Bemerkungen	29

29333473

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Abschnitt Kelsterbach bis Gateway Gardens	8
Abbildung 2:	Abschnitt Bf Frankfurt Stadion bis Isenburger Schneise	9
Abbildung 3:	Abschnitt Neu-Isenburg - Dreieich	9
Abbildung 4:	Graphische Darstellung der Fundament-Anhaltswerte	13
Abbildung 5:	Ursachen-Wirkungs-Prinzip	15
Abbildung 6:	Geometrische Abnahme der Schwingungsamplitude	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Erschütterungstechnische Anhaltswerte für Baumaßnahmen	11
Tabelle 2:	Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen auf Gebäude	13
Tabelle 3:	Anhaltswerte für Dauererschütterungen auf Gebäude	14
Tabelle 4:	Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen	22
Tabelle 5:	Einschränkungen der reinen Einsatzdauer für Mörfelder Landstraße	24
Tabelle 6:	Einschränkungen der reinen Einsatzdauer Hbf Neu-Isenburg	24
Tabelle 7:	Einschränkungen der reinen Einsatzdauer von Rammarbeiten	25
Tabelle 8:	Einschränkungen der reinen Einsatzdauer Hbf Neu-Isenburg	25

Anhänge

Anhang 1	Transferfunktionen
Anhang 2	Beurteilung der Erschütterungsimmissionen durch Bohrpfahlgründung
Anhang 3	Beurteilung der Erschütterungsimmissionen durch Vibrationswalze
Anhang 4	Beurteilung der Erschütterungsimmissionen durch Vibrationsramme

Abkürzungsverzeichnis

29333473

A	Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-]
A _o	oberer 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 [mm/s]
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
C _p	Ausbreitungsgeschwindigkeit im Boden [m/s]
[d]	Tag
D	Dauer von Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen [d]
D	Dämpfungsgrad [%]
f	Frequenz [Hz]
f ₀	Deckeneigenfrequenz [Hz]
GE	Gebiete, in denen vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind
h	Stunde
HB	Holzbalken
[Hz]	Hertz, Schwingung je Sekunde
HS	harmonisch / stationär
I	impulsförmig
IP	Immissionspunkt
KB _{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke [-]
KB _{FTr}	Beurteilungsschwingstärke [-]
MI	Gebiete, in denen weder vorwiegend Wohnungen noch vorwiegend Anlagen untergebracht sind
n	Abnahmekoeffizient [-]
PQ	Punktquelle
r	Radius um die Baumaßnahme / Abstand zur Baumaßnahme
R	Raumwelle
Stb.	Stahlbeton
T	Übertragungsfunktion
T _E	Einsatzdauer [h]
T _r	Beurteilungszeit [h]
v ₀	Referenzwert für die Schwingschnelle [5 • 10 ⁻⁸ m/s]
v _i	Schwinggeschwindigkeit [mm/s]
v _{max}	maximale Schwinggeschwindigkeit [mm/s]
v _z	zulässige Schwinggeschwindigkeit auf Geschossdecken gemäß DIN 4150-3 [mm/s]
WA	Gebiete, in denen vorwiegend Wohnnutzungen untergebracht sind

1 Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit dem Bauvorhaben Regionaltangente West (PfA Süd I) wurde geprüft, ob die aus dem Baubetrieb resultierenden Erschütterungsimmissionen zu erheblichen Belästigungen von Menschen in Gebäuden im Sinne der DIN 4150-2 oder zu Schäden an baulichen Anlagen im Sinne der DIN 4150-3 führen können. Die Ergebnisse der Untersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- ❑ Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nach DIN 4150-3 sind aufgrund der Intensität der Erschütterungseinwirkungen durch die untersuchten Baumaßnahmen nicht zu erwarten.
- ❑ Während der schwingungsintensiven Baumaßnahmen, die im Tagzeitraum stattfinden, können erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden bei den gegebenen Abstandsverhältnissen unter Berücksichtigung der Maßnahmen a) bis e) der DIN 4150-2, Ziffer 6.5.4.3 ausgeschlossen werden.

2 Sachverhalt und Aufgabenstellung

Die RTW Planungsgesellschaft mbH beabsichtigt, den Schienenpersonennahverkehr im Ballungsraum Frankfurt durch die Regionaltangente West (RTW) als neue Stadtbahnverbindung weiter zu verbessern. Die RTW-Strecke verläuft mit je einem Linienast von Frankfurt-Praunheim bzw. von Bad Homburg kommend über den zentralen Abschnitt Eschborn – Höchst – Flughafen – Stadion bis nach Neu-Isenburg-Birkengewann bzw. nach Dreieich-Buchschlag. Über rund zwei Drittel der etwa 42 km langen Strecke können bereits vorhandene Gleisanlagen genutzt werden. Die bestehenden Streckenabschnitte der Deutschen Bahn AG werden dabei durch neu zu errichtende Bahnkörper und Gleise für die RTW ergänzt und mit diesen verknüpft.

Der hier behandelte Planfeststellungsabschnitt "Süd I" enthält einen Teilabschnitt, in dem die zukünftigen Verkehre der RTW auf oder parallel zu vorhandenen Bahnstrecken ab der Grenze zum Planfeststellungsabschnitt Mitte und dem Planfeststellungsende im Bahnhof Dreieich-Buchschlag abgewickelt werden.

Aufgabenstellung der vorliegenden Untersuchung ist es, die Schwingungsimmissionen, die aus den erforderlichen Bauaktivitäten resultieren, sowohl hinsichtlich der Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden als auch auf bauliche Anlagen im Umfeld der Baumaßnahmen zu ermitteln und zu beurteilen. So können mögliche Konfliktpotentiale infolge der baubetrieblichen Aktivitäten aufgezeigt werden. Soweit erforderlich, sind geeignete planerische, organisatorische und / oder bauliche Maßnahmen zur Vermeidung oder zumindest zur Minimierung dieser Immissionskonflikte zu erarbeiten.

3 Bearbeitungsgrundlagen

Der durchgeführten erschütterungstechnischen Untersuchung liegen die folgenden Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Planunterlagen und Fachbeiträge 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 Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom 21.12.2010, Az: BVerwG 7 A 14.09
- /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“, Dezember 2016
- /6/ Übertragung vom Erdreich auf das Gebäudefundament, Ankopplungsspektren für verschiedene Gebäudetypen, 18. Symposium-Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessungen, Ziegler Consultants, Empa Dübendorf, Stand vom Mai 2015
- /7/ Unterrichtungsschreiben des Regierungspräsidiums Darmstadt vom 27.08.2015: Planfeststellung gemäß §§ 28ff Personenbeförderungsgesetz (PBefG) i. V. m. §§ 72 ff Hessisches Verwaltungsverfahrensgesetz (HVwVfG); Neubau der Regionaltangente West, Unterrichtung über Inhalt und Umfang der nach § 6 UVPG voraussichtlich vorzulegenden Unterlagen über die Umweltauswirkungen des Vorhabens
- /8/ Regionaltangente West / Los 2, Genehmigungsplanung: Lagepläne Entwurfsplanung, Anlage 1, Blatt 1 bis 14, Maßstab 1:1.000, Planungsgemeinschaft Regionaltangente West, Stand April 2019
- /9/ Digitale Datengrundlagen, zur Verfügung gestellt von der Planungsgemeinschaft Regionaltangente West, Stand Juni 2016 bis Februar 2018
- /10/ Flächennutzungsplan, Planungsverband Ballungsraum Frankfurt/ Rhein-Main, Maßstab 1:10.000, Stand 2015, www.pvfrm.de
- /11/ Bebauungspläne der Stadt Frankfurt am Main, PlanAS Planungsauskunftssystem der Stadt Frankfurt am Main, www.planAS-frankfurt.de

- 29333473
- /12/ Bebauungspläne Nr. 9a, 92 und 94 der Stadt Neu-Isenburg, entnommen dem Internet-auftritt der Stadt Neu-Isenburg
 - /13/ Bebauungspläne Nr. B1, B2 und B4a der Stadt Dreieich, entnommen dem Bürger-GIS des Landkreises Offenbach
 - /14/ Angaben zum Geräteeinsatz auf Grundlage des aktuellen Planungsstandes, SWECO GmbH, erhalten per E-Mail am 29.04.2019
 - /15/ „Ermittlung der Gesamtverkehrslärmimmissionen aus dem öffentlichen Straßen- und Schienenverkehr sowie Fluglärm, RTW, Planfeststellungsabschnitt PfA Süd1“, Schalltechnische Untersuchung, KREBS + KIEFER FRITZ AG, Bericht-Nr. 20058001-VVG-4, vom 20.05.2019, Anlage 20.3

4 Beschreibung des Planvorhabens

Die Regionaltangente West ist in die drei Planfeststellungsabschnitte Nord, Mitte und Süd unterteilt. Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit dem Planfeststellungsabschnitt Süd 1, der bei Kelsterbach beginnt und in Dreieich-Buchschlag endet. Bis zum Bahnhof Frankfurt-Stadion verläuft die RTW-Strecke vom Abzweig Kelsterbach über den Flughafen Regionalbahnhof auf der vorhandenen DB-Strecke 3683. Hierbei werden einige Änderungen der Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik erforderlich sein.

Im Bereich des Bahnhofs Frankfurt-Stadion sind umfangreiche Umbaumaßnahmen aufgrund der Ausfädelung der RTW aus der Strecke 3683 vorgesehen. Die beiden für die RTW benötigten Gleise sind aufgrund ihrer gemeinsamen Führung in das Kreuzungsbauwerk in Mittellage zur S-Bahn geplant. Hierfür wird das neue S-Bahn-Gleis auf der nördlichen Seite des neuen Mittelbahnsteiges angeordnet. Die folgenden km-Angaben beziehen sich auf die Kilometrierung der RTW. Die Verschwenkung des Gleises beginnt bereits bei km 5,4 und endet bei km 6,8. Etwas weiter östlich, bei km 6,5 wird das neue RTW-Gleis in Richtung Süden ausgefädelt, das im Bahnhofsbereich auf dem bestehenden S-Bahn-Gleis verläuft. Die Einfädelung des neuen Gleises in Richtung Norden erfolgt bei km 6,55. Östlich des Bahnhofs laufen die beiden RTW-Gleise zusammen. Im weiteren Verlauf besteht die RTW-Strecke aus einem Gleis, das über ein Kreuzungsbauwerk über das Gleisfeld in Richtung Abzweig Forsthaus geführt wird. Ferner entsteht im Bahnhofsbereich ein Abstellgleis, das sowohl von der S-Bahn als auch von der RTW aus Richtung Osten angefahren werden kann.

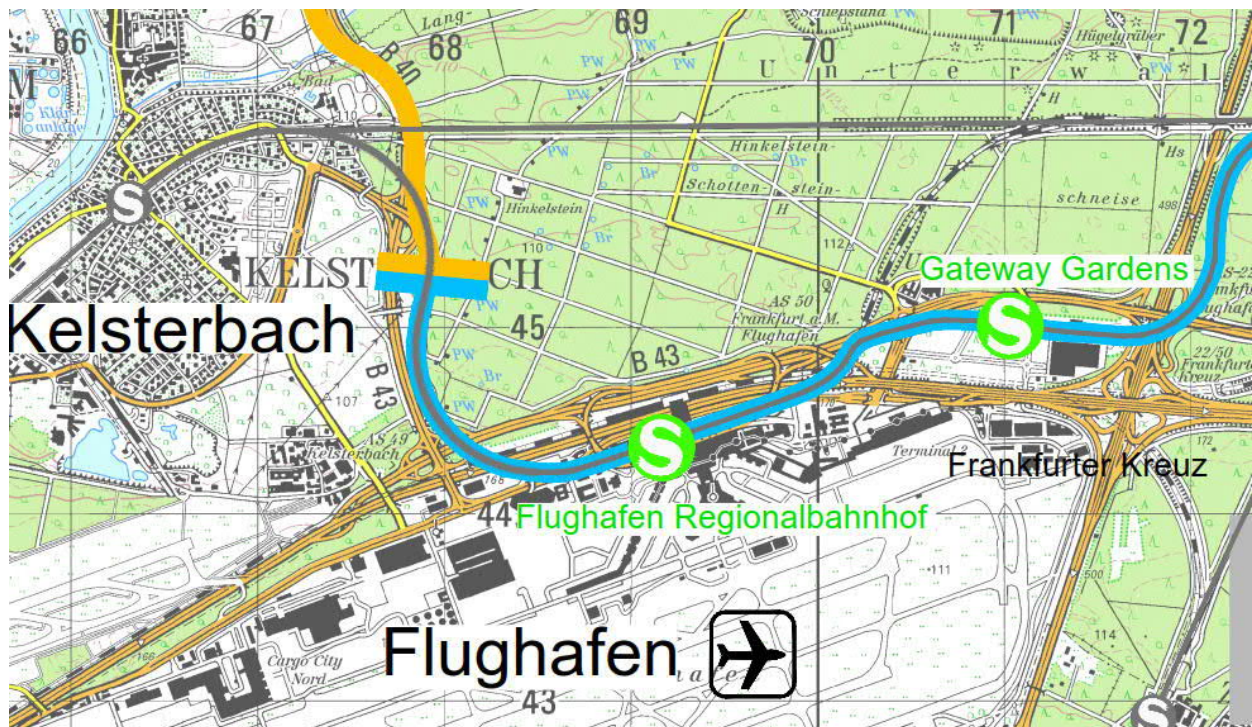


Abbildung 1: Abschnitt Kelsterbach bis Gateway Gardens

Zwischen dem Bahnhof Frankfurt Stadion und der Mörfelder Landstraße werden zwei neue RTW-Gleise parallel zur Bestandsstrecke 3650 vorgesehen. An der Mörfelder Landstraße wird ein neuer Haltepunkt errichtet. Weiter östlich zweigt die eingleisige Strecke 3651 aus der Strecke 3650 in Richtung Neu-Isenburg ab. Das zweite Gleis für die RTW wird in der Kurve parallel zum vorhandenen Streckengleis neu errichtet.

Im Abschnitt Bf Neu-Isenburg erfolgt der Neubau der Strecke der RTW eingleisig neben den vorhandenen Gleisen der Strecken 3688, 3601 und 3655. Die Züge der RTW befahren die Neubautrasse in nördlicher Richtung, in südlicher Richtung nutzen sie das vorhandene westliche Richtungsgleis der Strecke 3688.

Bei ca. km 5,4+05 (RTW-km) unterquert die Trasse der RTW die vorhandenen Bahnstrecken 3688, 3601 und 3655 in einem Tunnel. Östlich dieser Unterquerung teilt sich die Strecke in die Abschnitte, die nach Neu-Isenburg bzw. nach Dreieich-Buchschlag führen. Die Planfeststellungsgrenze des Abschnitt Süd 1 liegt auf dem Teilstück in Richtung Neu-Isenburg bei ca. km 5,8+30 (RTW-km). Dort beginnt der Planfeststellungsabschnitt Süd 2, der in das Stadtgebiet von Neu-Isenburg führt.

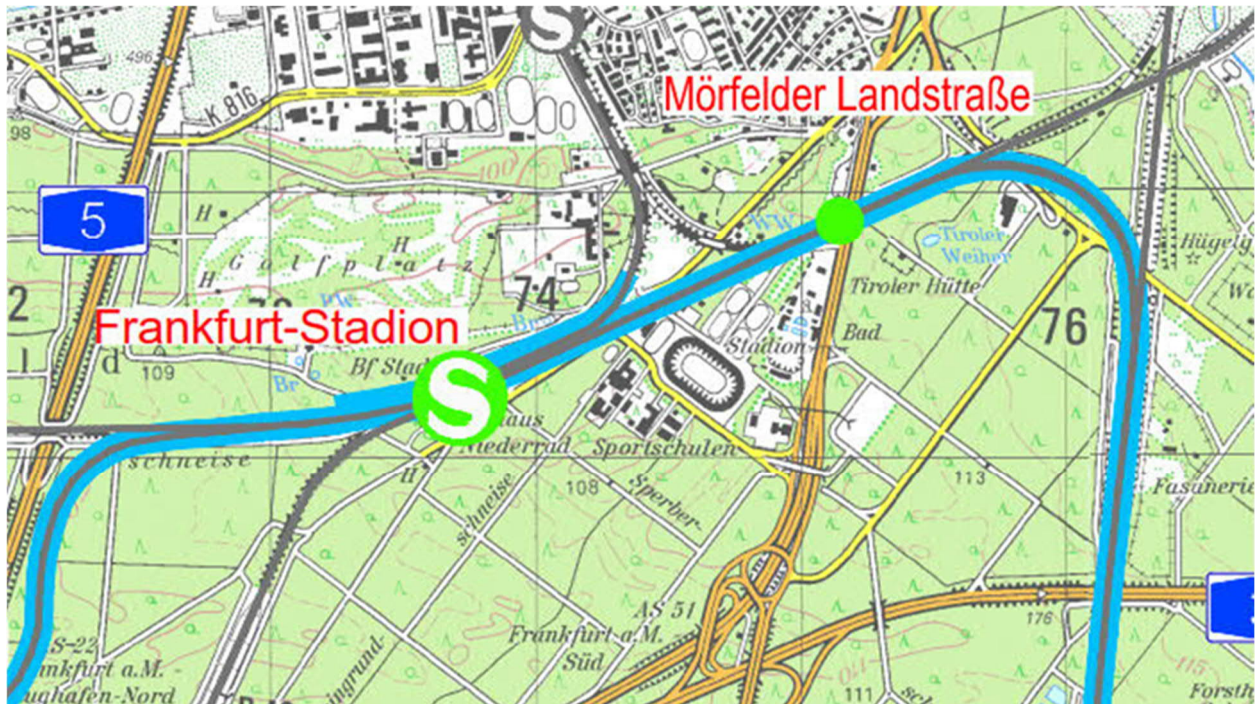


Abbildung 2: Abschnitt Bf Frankfurt Stadion bis Isenburger Schneise

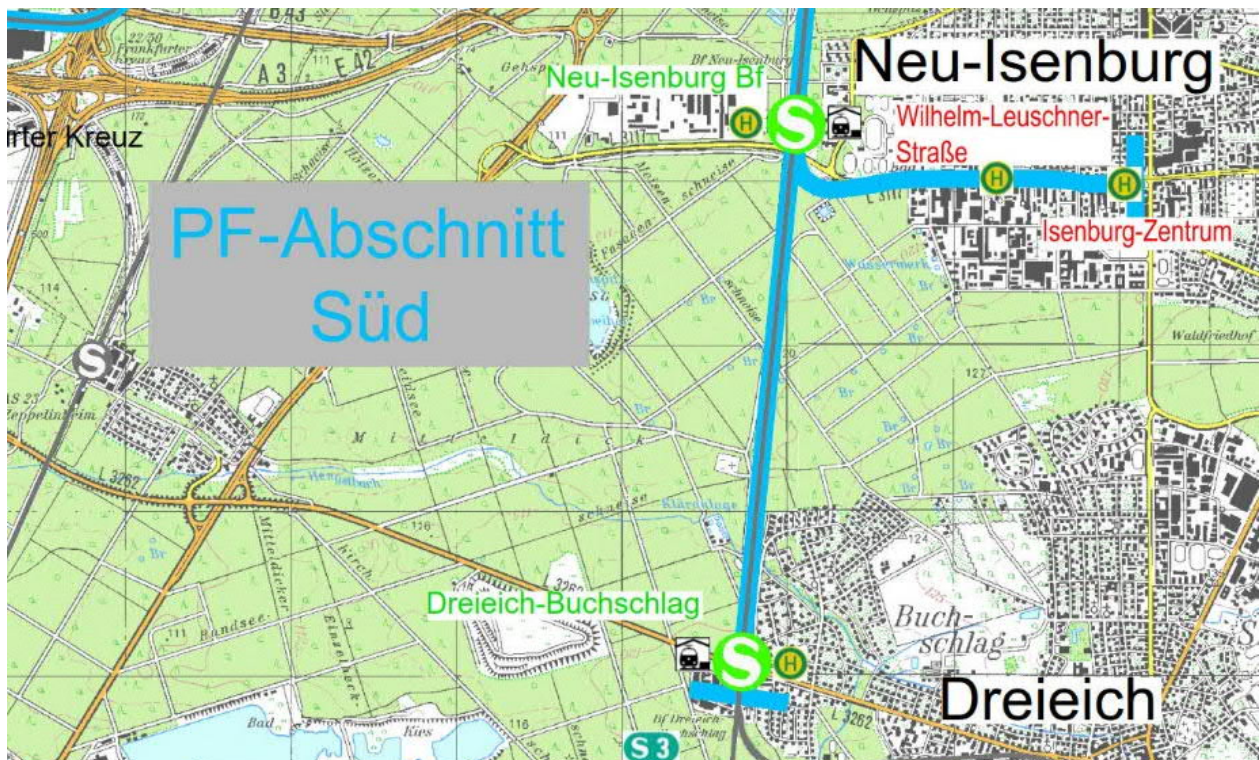


Abbildung 3: Abschnitt Neu-Isenburg - Dreieich

Zwischen km 6,0+70 und km 8,0+00 befahren die Züge der RTW das Gleis der vorhandenen Strecke 3655. Im Bereich des Bf Dreieich-Buchschlag (südlich RTW-km 8,0+00 bis Bauende) wird ein

vorhandenes Bahnhofsgleis verschoben und verlängert. Außerdem erhält es eine Oberleitung, um den Fahrbetrieb mit RTW-Zügen zu ermöglichen.

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 maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} und
- ☐ die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}

als maßgebende Beurteilungsgrößen 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 gemäß DIN 4150-2. Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert A_u , dann ist die Anforderung der Norm eingehalten. Ist KB_{Fmax} größer als der obere Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung der Norm nicht eingehalten.

Für Einwirkungen, bei denen KB_{Fmax} größer als A_u , jedoch kleiner als A_o ist, ist in einem weiteren Prüfschritt die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} zu ermitteln und mit dem Beurteilungsanhaltswert A_r zu vergleichen. Ist KB_{FTr} kleiner oder gleich A_r , so sind die Anforderungen der Norm eingehalten.

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

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

Tabelle 1: Erschütterungstechnische Anhaltswerte für Baumaßnahmen

Die in Tabelle 1 benannten Anhaltswerte gelten ausschließlich für den Tagzeitraum (06.00 Uhr bis 22.00 Uhr), die Beurteilung erfolgt in drei 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 ergriffen 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.

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.

Es ist geplant die Baumaßnahmen ausschließlich während des Tagzeitraumes, also in der Zeit zwischen 06.00 Uhr und 22.00 Uhr durchzuführen.

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 für zeitlich unbegrenzte Einwirkungen gefordert.

5.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Zur Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen werden die Vorgaben der DIN 4150-3 /5/ herangezogen. Die Norm nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung keine Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden zu erwarten sind.

Eine Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden oder Gebäudeteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne dieser Norm stellt z. B. die Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und Bauteilen sowie die Verminderung der Tragfähigkeit von Decken dar. Bei Wohngebäuden wird auch bei Rissbildung in Putz und Wänden von einer Minderung des Gebrauchswertes ausgegangen.

Gemäß DIN 4150-3 ist hinsichtlich Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude zwischen „kurzzeitigen Erschütterungen“ und „Dauererschütterungen“ zu unterscheiden. Kurzzeitige Erschütterungen sind Erschütterungen, deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungserscheinungen hervorzurufen, und deren zeitliche Abfolge nicht geeignet ist, um in der betroffenen Gebäudestruktur Resonanzen zu erzeugen. Unter Dauererschütterungen versteht die DIN 4150-3 Erschütterungen, auf die die obige Definition für kurzzeitige Erschütterungen nicht zutrifft.

5.2.1 Kurzzeitige Erschütterungen

Die DIN 4150-3 nennt für kurzzeitige Erschütterungen Anhaltswerte für zulässige Schwinggeschwindigkeiten am Fundament, bei deren Einhaltung Schädigungen im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht zu erwarten sind. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 2 für unterschiedliche Gebäudearten zusammengefasst. Die Interpolation der Anhaltswerte für verschiedene Erschütterungsfrequenzen ist in Abbildung 4 dargestellt.

29333473

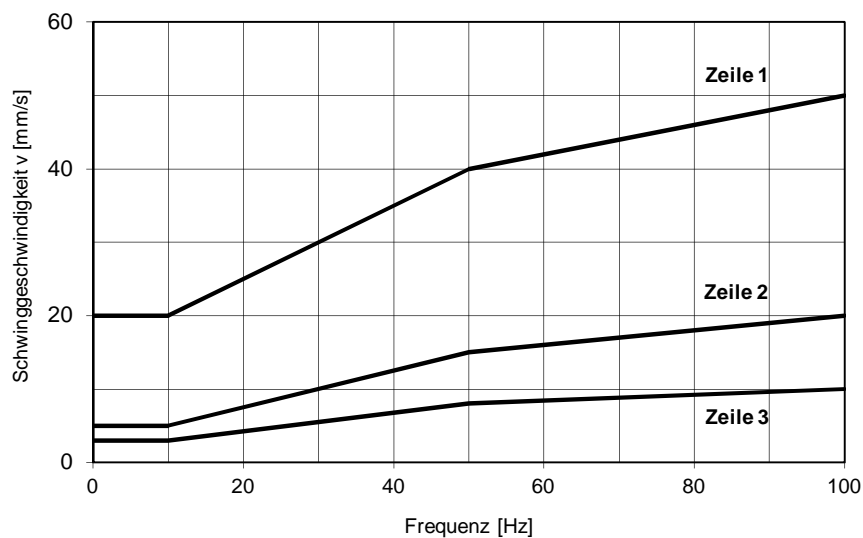


Abbildung 4: Graphische Darstellung der Fundament-Anhaltswerte

Zeile	Gebietsnutzung	Anhaltswerte für $v_{i,max}$ [mm/s]			
		Fundament Frequenz [Hz]			oberste Deckenebene, horizontal
		<10 Hz	10...50	50...100*	alle Frequenzen
1	gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20...40	40...50	40
2	Wohngebäude und in ihrer Kon- struktion und / oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5...15	15...20	15
3	Bauten, die wegen ihrer beson- deren Erschütterungsempfind- lichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und be- sonders erhaltenswert sind (z. B. unter Denkmalschutz ste- hend)	3	3...8	8...10	8
* Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden					

Tabelle 2: Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen auf Gebäude

Neben den in Tabelle 2 genannten Anhaltswerten nennt die DIN 4150-3 einen Anhaltswert von

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

für das Auftreten kurzzeitiger vertikaler Deckenschwingungen.

5.2.2 Dauererschütterungen

Für die Beurteilung der auftretenden Dauererschütterungen sind die größten horizontalen Schwinggeschwindigkeiten maßgebend, da diese in der Regel in der obersten Deckenebene auftreten. Vertikale Schwinggeschwindigkeiten bis 10 mm/s führen bei Geschossdecken erfahrungsgemäß nicht zu Schäden. Diese Schwingungen sind sehr stark spürbar.

Zeile	Gebietsnutzung	Anhaltswerte für $v_{i,max}$ [mm/s]	
		oberste Deckenebene, horizontal	Decken, vertikal
		alle Frequenzen	alle Frequenzen
1	gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und / oder Nutzung gleichartige Bauten	5	10
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert sind (z. B. unter Denkmalschutz stehend)	2,5	10 ^a
^a Zur Verhinderung leichter Schäden kann eine deutliche Abminderung notwendig sein			

Tabelle 3: Anhaltswerte für Dauererschütterungen auf Gebäude

Die DIN 4150-3 nennt für Dauererschütterungen keine expliziten Anhaltswerte für zulässige Schwinggeschwindigkeiten in vertikaler Richtung am Fundament. Da jedoch in der Regel am Gebäudefundament keine Resonanzerscheinungen resultieren, werden die Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen auch zur Beurteilung von Dauererschütterungen herangezogen. Diese sind in Tabelle 2 für unterschiedliche Gebäudearten zusammengefasst.

6 Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise

Die Ermittlung und Beurteilung der aus dem Baustellenbetrieb zu erwartenden Erschütterungsimmissionen wird für repräsentative Ausbreitungsbedingungen und 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 die 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 5 dargestellten Ursachen-Wirkungs-Prinzip ausgegangen.

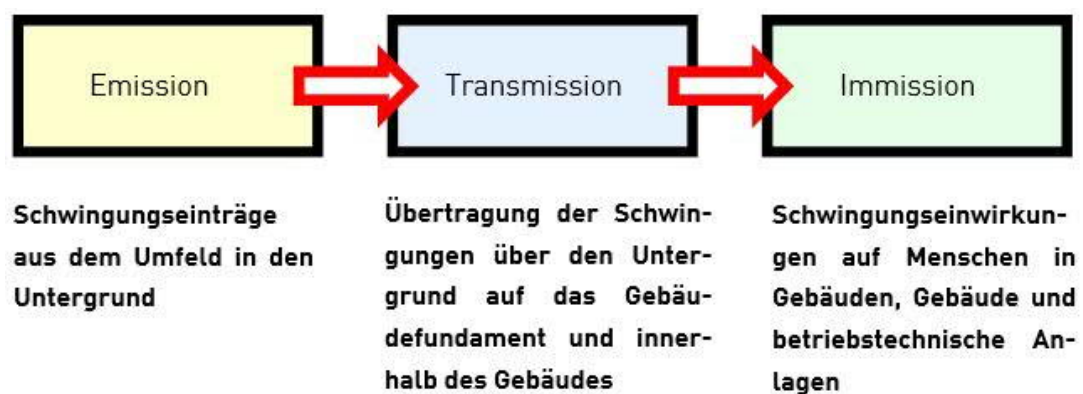


Abbildung 5: Ursachen-Wirkungs-Prinzip

6.1 Emissionen

Erschütterungsemissionen sind Schwingungen, die von Baumaschinen in den Untergrund eingeleitet werden. 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.

Die im vorliegenden Fall maßgebenden erschütterungsrelevanten Bauaktivitäten werden in Anhang 2.1 bis Anhang 4.1 als Emissionen mittels Terzbandspektren der Schwingschnelle grafisch dargestellt. Die angegebenen Schwingschnellen beziehen sich in der Regel jeweils auf

eine Messposition im Boden in einem bestimmten Abstand. Die Emissionsspektren sind keine exemplarischen Spektren, sondern stellen eine obere Einhüllende der bei unterschiedlichen Bodenverhältnissen anzutreffenden Emissionen dar.

6.2 Transmission

6.2.1 Transferfunktion T_1

Die Transferfunktion T_1 beschreibt die geometrische Amplitudenabnahme, die durch die Verminderung der Energiedichte mit wachsender Entfernung von der Erschütterungsquelle hervorgerufen wird und die vom Quellentyp und der Ausbreitungsform (Wellenart) abhängig ist. Für die T_1 -Funktion wird die entfernungsbedingte Erschütterungsabnahme nach DIN 4150-1 /3/ zu Grunde gelegt.

In Abbildung 6 wird die geometrische Abnahme der Schwingungsamplitude in Abhängigkeit von der Entfernung zur Quelle für verschiedenen Quellentypen und Wellenarten dargestellt.

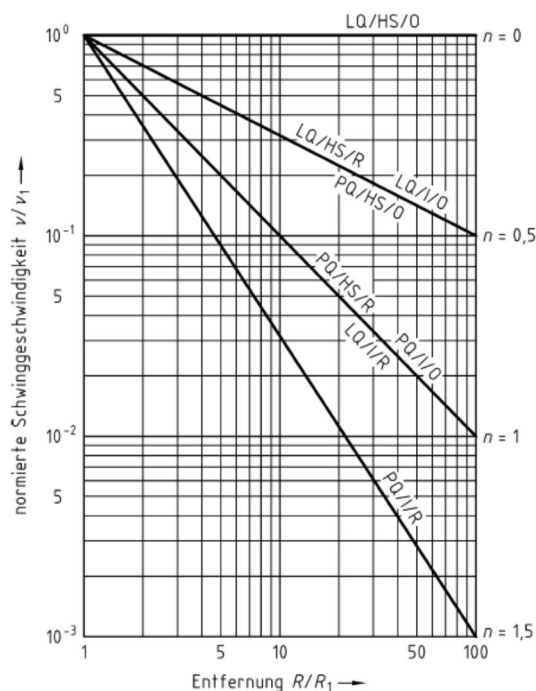


Abbildung 6: Geometrische Abnahme der Schwingungsamplitude

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 Abnahmeexponent n quantifiziert. Unter Berücksichtigung der Vorgaben der DIN 4150-1 werden dabei folgende Parameter berücksichtigt:

$$D = 1 \%$$

$$c_p = 200 \text{ m/s}$$

Der Abnahmeexponent n ergibt sich aus

- ☐ dem geometrischen Quellentyp: Punktquelle (PQ) oder Linienquelle (LQ);
- ☐ dem zeitlichen Quellentyp: harmonisch / stationär (HS) oder impulsförmig (I);
- ☐ der Wellenart: Raumwelle (R) oder Oberflächenwelle (O).

6.2.2 Transferfunktionen T_2 und T_3

Die Übertragung von Erschütterungen vom Boden auf ein Gebäudefundament (T_2 -Funktion) wird im Sinne einer oberen Abschätzung mit der in Anhang 1.1 angegebenen standardisierten Übertragungsfunktion für ein- bis zweigeschossige Gebäude ermittelt.

Innerhalb von Gebäuden unterscheidet sich das Übertragungsverhalten je nach Bauart der Geschossdecken. Es wird davon ausgegangen, dass die im Einwirkungsbereich der Baumaßnahme befindlichen Gebäude sowohl Holzbalkendecken als auch Deckenkonstruktionen aus Stahlbeton aufweisen. Daher werden die erforderlichen Berechnungen für beide Deckenkonstruktionen 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. Die der Berechnung zu Grunde gelegten Übertragungsfunktionen für die jeweils ungünstigste Geschossdeckenresonanzfrequenz sind für Stahlbetondecken in Anhang 1.2 und für Holzbalkendecken in Anhang 1.3 dargestellt. Hierbei wird jeweils der Mittelwert \pm Standardabweichung der T_3 -Funktion berücksichtigt.

6.3 Immissionen

Die z. B. durch Verdichtungsarbeiten 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 maximalen Schwinggeschwindigkeiten führen, werden hier ausschließlich die vertikalen Schwingungskomponenten betrachtet.

Die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen aus dem Baustellenbetrieb erfolgt hinsichtlich

- ☐ Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden gemäß DIN 4150-2 und
- ☐ Einwirkungen auf bauliche Anlagen gemäß DIN 4150-3.

Für die beurteilungsrelevanten erschütterungstechnischen Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden werden unter Zugrundelegung der angegebenen Transferfunktionen die gemäß DIN

4150-2 relevanten Beurteilungsgrößen KB_{Fmax} und KB_{FTr} ermittelt. Zur Beurteilung der Einwirkungen auf bauliche Anlagen ist gemäß DIN 4150-3 der Maximalwert der unbewerteten Schwingschnelle v_{max} [mm/s] zu bestimmen.

Unter Berücksichtigung der oben angegebenen Parameter werden zunächst flächendeckende 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 derer nicht ausgeschlossen werden kann, dass es zu Überschreitungen der relevanten Anforderungswerte 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 Einwirkungsbereiche

Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit den Erschütterungseinwirkungen aus den Baumaßnahmen der Teilabschnitte der RTW-Strecke im Planfeststellungsabschnitt Süd 1, in denen Umbau- und Neubaumaßnahmen geplant sind.

In näherer Umgebung zu diesen Baumaßnahmen befinden sich die folgenden schutzbedürftigen Nutzungen:

- ❑ Bebauungen im Außenbereich südlich der Bahnanlage an der Flughafenstraße, zwischen ca. RTW-km -0,2 und RTW-km 0,3, Abstand der Nutzungen (IP364 bis IP370,/15/) zur Trasse

$$r > 60 \text{ m}$$

- ❑ Betriebsgebäude (Wintersporthalle usw.) in einem Sondergebiet Sportanlagen, zwischen RTW-km 0,6 und RTW-km 0,9, Abstand der Nutzungen zur Trasse

$$r > 5 \text{ m}$$

- ❑ Bebauungen an der Mörfelder Landstraße im Außenbereich nördlich der RTW-Strecke, zwischen km 1,1 und km 2,0, Abstand der Nutzungen

$$r > 30 \text{ m}$$

- 29333473 ☐ Hotelgebäude an der Isenburger Schneise 40 bei ca. RTW-km 2,2, Abstand der Nutzung /15/ (IP373 bis IP380) zur Trasse

$$r \approx 110 \text{ m}$$

- ☐ Bebauung im Außenbereich bei ca. RTW-km 2,9, Abstand der Nutzung zur Trasse

$$r > 80 \text{ m}$$

- ☐ Wohnbebauungen in Allgemeinen Wohngebieten im Bereich des Bahnhofs Neu-Isenburg, km 4,6 bis km 5,3, Abstand der Nutzungen (IP83 bis IP111, /15/) zur Trasse

$$r > 140 \text{ m}$$

- ☐ Bebauungen am Bahnhof Neu-Isenburg (Stellwerk, Empfangsgebäude), bei ca. RTW-km 4,9, Abstand der Nutzungen zur Trasse

$$r > 12 \text{ m}$$

- ☐ Wohnbebauungen in Allgemeinen Wohngebieten im Bereich des Bahnhofs Dreieich-Buchschlag, ab ca. km 8,0 bis km 8,3, Abstand der Nutzungen (IP209 bis IP221, /15/) zur Trasse

$$r > 50 \text{ m}$$

7.2 Emissionen

Bei dem hier untersuchten Bauvorhaben sind die geplanten Baumaßnahmen in der Regel dynamisch. Das bedeutet, dass die eingesetzten Baumaschinen aufgrund der Ausdehnung der Baustelle nicht punktuell eingesetzt werden, sondern sich mit der Fortschreitung der Baumaßnahmen bewegen. Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass sich die Erschütterungsimmissionen innerhalb einer Bauphase abhängig von der Position der schwingungsintensiven Baumaschinen entsprechend verändern.

Bei der Durchführung von Baumaßnahmen können durch die Anwendung bestimmter Baumeethoden 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.

Bei den geplanten Baumaßnahmen sind die Erschütterungsimmissionen, die durch Bohrgründungen hervorgerufen wurden, gemäß DIN 4150-3 als kurzzeitige Erschütterungen (instationäre Einwirkungen) einzustufen. Zu den Dauererschütterungen zählt der Normalbetrieb und die An- und Auslaufphase der Vibrationswalze sowie der Betrieb der Vibrationsramme. Beim Betrieb dieser Baumaschinen erfolgt ein Eintrag harmonischer Schwingungen in den Untergrund und somit auch in nahe gelegene Bauwerke. Diese sind grundsätzlich geeignet, Resonanzerscheinungen an Bauwerken hervorzurufen. Daher sind diese Einwirkungen als Dauererschütterungen einzustufen.

Nachfolgend werden erschütterungsrelevante Baumaschinen beschrieben.

7.2.1 Einbringen von Bohrpfählen

Die Bohrarbeiten sind im Allgemeinen erschütterungsarm. Nur beim Aufsetzen der Bohrpfähle werden impulshaltige Schwingungen in den Boden eingeleitet. In den Ausbreitungsberechnungen wurde daher ein Exponent

$$n = 1,0$$

berücksichtigt. Das der Berechnung zugrunde gelegte Emissionsspektrum ist in Anhang 2.1 dargestellt.

7.2.2 Verdichtungsarbeiten

Erschütterungstechnisch relevante Bauaktivitäten stellen zudem Verdichtungsarbeiten beim Neubau einiger Bauwerke sowie als Grundlage für den Gleisbau dar. Hierbei handelt es sich um einen fortschreitenden dynamischen Baubetriebsbereich. Im Emissionsansatz wird vorausgesetzt, dass die Vibrationswalze mit einer Arbeitsfrequenz von

$$f \approx 40 - 60 \text{ Hz}$$

betrieben wird. Das Emissionsspektrum ist in Anhang 3.1 dargestellt.

Bei der Vibrationswalze handelt es sich ebenfalls um eine Punktquelle, die zu einer harmonisch-stationären Schwingungsanregung führt. In den Ausbreitungsberechnungen wurde daher ein Exponent

$$n = 0,5$$

berücksichtigt.

7.2.3 Vibrationsramme

29333473

Beim Einsatz von Vibrationsrammen werden stationäre Erschütterungen erzeugt. Aus erschütterungstechnischer Sicht sind für den Einsatz von Vibrationsrammen normalerweise hohe Arbeitsfrequenzen ($f > 35 \text{ Hz}$) günstiger als tiefe, da damit der Resonanzbereich von Geschossdecken in Gebäuden im Allgemeinen und insbesondere der schwingungsempfindlichen Holzbalkendecken 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 grundsätzlich nur hochfrequente Vibratoren ($f \geq 35 \text{ Hz}$) mit regelbarer Frequenz und ausreichender Leistung eingesetzt, um das Absinken der Betriebsfrequenz in den Deckenresonanzbereich zu verhindern und deshalb sowieso zur Anwendung kommen muss, um dem Minimierungsgebot gerecht zu werden.

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. Das der Berechnung zugrunde gelegte Emissionsspektrum ist in Anhang 4.1 dargestellt.

Es handelt es sich auch hier um eine Punktquelle, die jedoch harmonische Schwingungsanregung in den Raum erzeugt. In den Ausbreitungsberechnungen wurde daher ein Exponent

$$n = 1,0$$

berücksichtigt.

7.3 Immissionen

7.3.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Bei dem betrachteten Bauvorhaben kann davon ausgegangen werden, dass die Gesamtdauer der hier untersuchten Baumaßnahmen mehr als 78 Tage beträgt. Es wird im Sinne einer oberen Abschätzung jedoch davon ausgegangen, dass die erschütterungsintensiven Bautätigkeiten, die im vorherigen Kapitel beschrieben wurden, punktuell nicht mehr als 2 Tage andauern. Folglich sind die Anhaltswerte gemäß DIN 4150-2, Bild 3 entsprechend der genannten Einwirkdauer zu interpolieren. Die in der vorliegenden Untersuchung der Beurteilung zu Grunde zu legenden interpolierten Anhaltswerte sind in Tabelle 4 dargestellt.

Dauer	D = 4 Tage		
Spalte	1	2	3
Anhaltswerte	A_u	A_o	A_r
Stufe I	0,73	5	0,38
Stufe II	1,13	5	0,77
Stufe III	1,53	5	1,17

Tabelle 4: Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen

Die Beurteilungen der Erschütterungseinwirkungen der Baumaßnahmen erfolgen für die jeweils ungünstigsten Deckeneigenfrequenzen für Stahlbeton- bzw. Holzbalkendecken, die in Anhang 1.2 bzw. Anhang 1.3 grafisch und tabellarisch dargestellt sind:

- ☐ $f_0 = 25 \text{ Hz}$ bei Stahlbetondecken bzw.
- ☐ $f_0 = 16 \text{ Hz}$ bei Holzbalkendecken.

7.3.1.1 Bohrgründungen

Die maximalen bewerteten Schwingstärken für diese Baumaßnahmen im Tagzeitraum wurden anhand der Ausbreitungskurven in Anhang 2.2 dargestellt. Demnach kann der obere Anhaltswert am Tag $A_{o, \text{Tag}}$ (6,0 bei Gewerbegebieten, 5,0 bei Wohnnutzungen) unabhängig von der Deckenkonstruktion selbst bei geringen Abständen zum Baufeld eingehalten werden. Die unteren Anhaltswerte A_u, Tag werden ab einem Abstand von

- ☐ Stufe III: $r_{\text{Tag}} \geq 5 / 8 \text{ m}$ (Holzbalken /Stahlbeton)
- ☐ Stufe II: $r_{\text{Tag}} \geq 7 / 10 \text{ m}$ (Holzbalken /Stahlbeton)
- ☐ Stufe I: $r_{\text{Tag}} > 10,2 / 10,5 \text{ m}$ (Holzbalken /Stahlbeton)

eingehalten.

29333473

Der Vergleich mit den Abständen zu den nächstgelegenen schutzbedürftigen Nutzungen, die in Kapitel 7.1 zusammengestellt wurden, liefert die Erkenntnis, dass bei den meisten betrachteten Immissionsorten der untere Anhaltswert der Stufe I eingehalten wird. Dementsprechend wird der 2. Schritt der Beurteilung gemäß DIN 4150-2, die Bildung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} im Tagzeitraum nicht erforderlich. Die Darstellung in Anhang 2.3 (Holzbalkendecken) und Anhang 2.4 (Stahlbetondecken) erfolgt rein informativ.

Somit ist für diese Immissionsorte auch ohne besondere Vorinformation (Stufe I) nicht mit erheblichen Belästigungen durch Erschütterungseinwirkungen infolge der Bohrgründungsarbeiten zu rechnen.

7.3.1.2 Verdichtungsarbeiten

Die Schwingstärken für diese Baumaßnahmen im Tagzeitraum wurden anhand der Ausbreitungskurven in Anhang 3.2 dargestellt. Demnach kann der obere Anhaltswert am Tag $A_{o, Tag}$ (6,0 bei Gewerbegebieten, 5,0 bei Wohnnutzungen) unabhängig von der Deckenkonstruktion selbst bei geringen Abständen zum Baufeld eingehalten werden. Die unteren Anhaltswerte $A_{u, Tag}$ werden ab einem Abstand von

- ☐ Stufe III: $r_{Tag} \geq 2 / 15 \text{ m}$ (Holzbalken / Stahlbeton)
- ☐ Stufe II: $r_{Tag} \geq 5 / 23 \text{ m}$ (Holzbalken / Stahlbeton)
- ☐ Stufe I: $r_{Tag} > 10 / 40 \text{ m}$ (Holzbalken / Stahlbeton)

eingehalten.

Für die meisten im Kapitel 4 betrachteten Immissionsort wird Stufe I eingehalten. Somit ist für diese Immissionsorte auch ohne besondere Vorinformation (Stufe I) nicht mit erheblichen Belästigungen durch Erschütterungseinwirkungen infolge der Verdichtungsarbeiten zu rechnen.

Für die schutzbedürftigen Nutzungen an der Mörfelder Landstraße wird dagegen nur die Stufe II eingehalten. Dementsprechend ist der 2. Schritt der Beurteilung gemäß DIN 4150-2, die Bildung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} für den Tag erforderlich. Der KB_{FTr} -Wert wird in Anhang 3.3 (Holzbalkendecken) und Anhang 3.4 (Stahlbetondecken) für die maßgeblichen Deckenkonstruktionen in Abhängigkeit von der tatsächlichen Einwirkzeit während des Tagzeitraums ermittelt und mit den entsprechenden Anhaltswerten gemäß Tabelle 4 verglichen.

In den unteren Tabellen sind die Dauer der reinen Verdichtungsarbeiten zu den nächstgelegenen schutzbedürftigen Nutzungen in 30 m Entfernung ausgewiesen. Aus der ermittelten Einwirkdauer wird ersichtlich, dass bei Holzbalkendecken die zulässige Verdichtungsdauer ≥ 16 Stunden

29333473 beträgt. Damit der Beurteilungsanhaltswert der Stufe II bei Stahlbetondecken eingehalten wird, darf die Verdichtungsdauer nicht mehr als 10 Stunden betragen.

Deckenart	Stufe		
	I	II	III
Holzbalken	16 h	-	-
Stahlbeton	2,5 h	10 h	16 h

Tabelle 5: Einschränkungen der reinen Einsatzdauer für Mörfelder Landstraße

Für die schutzwürdigen Nutzungen bei RTW-km 4,9 werden die unteren Anhaltswerte überschritten. Ausgehend von der Annahme, dass das Gebäude des Stellwerkes aus Stahlbetondecken besteht, ergeben sich die in der unteren Tabelle zusammengestellten Einsatzdauer für die Verdichtungsarbeiten. Damit die Stufe II eingehalten werden kann, dürfen die Verdichtungsmaßnahmen nicht länger als 2,5 Stunden an einem Arbeitstag dauern. Unter Berücksichtigung, dass solche Baumaßnahmen dynamisch sind, d. h. sich während der andauernden Maßnahmen von dem Einwirkungsort entfernen, ist davon auszugehen, dass der Anhaltswert der Stufe II eingehalten wird.

Deckenart	Stufe		
	I	II	III
Stahlbeton	0,7 h	2,5 h	6 h

Tabelle 6: Einschränkungen der reinen Einsatzdauer Hbf Neu-Isenburg

7.3.1.3 Rammarbeiten

Die Schwingstärken für diese Baumaßnahmen im Tagzeitraum wurden anhand der Ausbreitungskurven in Anhang 4.2 dargestellt. Demnach kann der obere Anhaltswert am Tag $A_{0, \text{Tag}}$ (6,0 bei Gewerbegebieten, 5,0 bei Wohnnutzungen) unabhängig von der Deckenkonstruktion bei Abständen > 7 m zum Baufeld eingehalten werden. Die unteren Anhaltswerte $A_{u, \text{Tag}}$ ab einem Abstand von

- ☐ Stufe III: $r_{\text{Tag}} \geq 6,5 / 19$ m (Holzbalken /Stahlbeton)
- ☐ Stufe II: $r_{\text{Tag}} \geq 8,2 / 23$ m (Holzbalken /Stahlbeton)
- ☐ Stufe I: $r_{\text{Tag}} > 12 / 31$ m (Holzbalken /Stahlbeton)

eingehalten.

Entsprechend den Ergebnissen für die Verdichtungsmaßnahmen wird für die meisten im Kapitel 4 betrachteten Immissionsort Stufe I eingehalten. Somit ist für diese Immissionsorte auch ohne besondere Vorinformation (Stufe I) nicht mit erheblichen Belästigungen durch Erschütterungseinwirkungen infolge der Rammarbeiten zu rechnen.

Für die schutzbedürftigen Nutzungen an der Mörfelder Landstraße wird dagegen die Stufe I knapp überschritten. Dementsprechend ist der 2. Schritt der Beurteilung gemäß DIN 4150-2, die Bildung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} für den Tag erforderlich. Der KB_{FTr} -Wert wird in Anhang 4.3 (Holzbalkendecken) und Anhang 4.4 (Stahlbetondecken) für die maßgeblichen Deckenkonstruktionen in Abhängigkeit von der tatsächlichen Einwirkzeit während des Tagzeitraums ermittelt und mit den entsprechenden Anhaltswerten gemäß Tabelle 4 verglichen.

In Tabelle 7 ist die Dauer der reinen Rammarbeiten zu den nächstgelegenen schutzbedürftigen Nutzungen in 30 m Entfernung ausgewiesen. Aus der ermittelten Einwirkdauer wird ersichtlich, dass bei Holzbalkendecken die zulässige Verdichtungsdauer ≥ 16 Stunden beträgt. Damit der Beurteilungsanhaltswert der Stufe II bei Stahlbetondecken eingehalten wird, dürfen die Rammmaßnahmen nicht mehr als 13 Stunden betragen. Somit ergeben sich keine zeitlichen Restriktionen im Hinblick auf die Einsatzdauer der Rammgeräte, um die Anforderungen der DIN 4150-2 zu erfüllen.

Deckenart	Stufe		
	I	II	III
Holzbalken	16 h	-	-
Stahlbeton	3 h	13 h	16 h

Tabelle 7: Einschränkungen der reinen Einsatzdauer von Rammarbeiten

Für die schutzwürdigen Nutzungen bei RTW-km 4,9 werden die unteren Anhaltswerte überschritten. In der unteren Tabelle sind die reinen Einsatzdauern der Rammarbeiten zusammengestellt. Damit die Stufe II eingehalten werden kann, dürfen die reinen Verbaumaßnahmen nicht länger als 1,5 Stunden an einem Arbeitstag dauern.

Deckenart	Stufe		
	I	II	III
Stahlbeton	-	1,5 h	3,5 h

Tabelle 8: Einschränkungen der reinen Einsatzdauer Hbf Neu-Isenburg

7.3.1.4 Maßnahmen

Aufgrund der gegebenen Abstandsverhältnisse werden die Beurteilungsanhaltswerte der Stufe I bei allen Baumaßnahmen in den meisten Einwirkungsbereichen eingehalten. Im Einwirkungsbereich Mörfelder Landstraße kann dahingegen nur der Anhaltswert der Stufe II eingehalten werden.

Demgemäß wird empfohlen, dass die in Abschnitt 6.5.4.3 der DIN 4150-2 aufgeführten Maßnahmen a) bis e) vor Beginn der erschütterungsverursachenden Baumaßnahme 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;*

7.3.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

7.3.2.1 Bohrgründungen

Die Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeiten vom Abstand der herabfallenden Massen zu den Gebäuden sind für Holzbalkendecken in Anhang 2.5 und für Stahlbetondecken in Anhang 2.6 dargestellt.

Für das einstöckige Betriebsgebäude der Sportanlage bei RTW-km 0,8 ($r \approx 5 \text{ m}$) ergeben sich am Fundament maximalen Schwinggeschwindigkeiten von

$$v_{\max} = 0,7 \text{ mm/s.}$$

Für die nächstgelegenen Bebauungen ergeben sich am Fundament maximalen Schwinggeschwindigkeiten von unter

$$v_{\max} = 0,3 \text{ mm/s (} r = 12 \text{ m)}$$

$$v_{\max} < 0,2 \text{ mm/s (} r = 30 \text{ m).}$$

Gemäß DIN 4150-3 /5/ liegt der Beurteilung von kurzzeitigen Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude am Fundament ein Anhaltswert von

$$v_{\text{Fundament}} = 5 \text{ mm/s}$$

zu Grunde. Der Anhaltswert wird somit deutlich unterschritten.

Für die maßgebenden Geschossdecken an den nächstgelegenen Bebauungen (Holzbalken / Stahlbeton) werden maximale Werte von

$$V_{\max, \text{HB/Stb}} \leq 1,8 / 1,4 \text{ mm/s (r = 12 m)}$$

$$V_{\max, \text{HB/Stb}} \leq 0,7 / 0,5 \text{ mm/s (r = 30 m)}.$$

ausgewiesen. Der Vergleich mit dem Anhaltswert

$$V_{\text{Geschossdecke}} = 15 \text{ mm/s}$$

gemäß DIN 4150-3 für kurzzeitige Erschütterungen auf Geschossdecken belegt, dass während der Bohrgründungen nicht mit Gebäudeschäden durch baubedingte Erschütterungen zu rechnen ist.

7.3.2.2 Verdichtungsmaßnahmen

Die Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Abstand der Verdichtungsarbeiten zu den Gebäuden sind für Holzbalkendecken in Anhang 3.5 und für Stahlbetondecken in Anhang 3.6 dargestellt.

Der Betrieb der Vibrationswalze stellt im Sinne der DIN 4150-3 eine stationäre Erschütterung dar. Für das einstöckige Betriebsgebäude bei RTW-km 0,8 ergeben sich am Fundament maximalen Schwinggeschwindigkeiten von

$$V_{\max} = 1,9 \text{ mm/s.}$$

Für die nächstgelegenen Bebauungen ergeben sich am Fundament maximalen Schwinggeschwindigkeiten von unter

$$V_{\max} = 1,0 \text{ mm/s (r = 12 m)}$$

$$V_{\max} = 0,4 \text{ mm/s (r = 30 m)}.$$

Die Anforderung wird somit selbst bei geringsten Abständen deutlich unterschritten.

Für die maßgebenden Geschossdecken an den nächstgelegenen Immissionsorten (Holzbalken (HB) / Stahlbeton (Stb)) werden maximale Werte von

$$V_{\max, \text{HB/Stb}} \leq 1,8 / 4,1 \text{ mm/s (r = 12 m)}$$

$$V_{\max, \text{HB/Stb}} \leq 1,1 / 2,2 \text{ mm/s (r = 30 m)}$$

ausgewiesen. Schwinggeschwindigkeiten oberhalb des für Dauererschütterungen benannten Anforderungswertes

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

werden demnach selbst in geringsten Abständen zu Gebäuden nicht erreicht. Bauschäden im Sinne der DIN 4150-3 infolge der Verdichtungsarbeiten können somit ausgeschlossen werden.

7.3.2.3 Rammarbeiten

Die Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Abstand der Rammarbeiten zu den Gebäuden sind für Holzbalkendecken in Anhang 4.5 und für Stahlbetondecken in Anhang 4.6 dargestellt.

Der Betrieb des Rammgerätes stellt im Sinne der DIN 4150-3 ebenfalls eine stationäre Erschütterung dar. Für das einstöckige Betriebsgebäude bei RTW-km 0,8 ergeben sich am Fundament maximalen Schwinggeschwindigkeiten von

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

Für die nächstgelegenen Bebauungen ergeben sich am Fundament maximalen Schwinggeschwindigkeiten von unter

$$v_{\max} = 0,9 \text{ mm/s (r = 12 m)}$$

$$v_{\max} = 0,3 \text{ mm/s (r = 30 m).}$$

Die Anforderung wird somit selbst bei geringsten Abständen deutlich unterschritten.

Für die maßgebenden Geschossdecken an den nächstgelegenen Immissionsorten (Holzbalken (HB) / Stahlbeton (Stb)) werden maximale Werte von

$$v_{\max, \text{HB/Stb}} \leq 2,2 / 7,4 \text{ mm/s (r = 12 m)}$$

$$v_{\max, \text{HB/Stb}} \leq 0,8 / 2,6 \text{ mm/s (r = 30 m)}$$

ausgewiesen. Schwinggeschwindigkeiten oberhalb des für Dauererschütterungen benannten Anforderungswertes

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

werden demnach nicht erreicht. Bauschäden im Sinne der DIN 4150-3 infolge der Rammarbeiten können somit ausgeschlossen werden.

8 Abschließende Bemerkungen

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

Die durchgeführte erschütterungstechnische Untersuchung belegt, dass erhebliche Belästigungen im Sinne der DIN 4150-2 bei den gegebenen Abstandsverhältnissen ausgeschlossen werden können. Es ist jedoch zu empfehlen für die benachbarten, schutzwürdigenden Nutzungen vor dem Beginn der schwingungsintensiven Bauarbeiten die Maßnahmen a) bis e) gemäß DIN 4150-2 zu ergreifen.

Gebäudeschäden im Sinne der DIN 4150-3 sind während der geplanten Baumaßnahmen nicht zu erwarten.

AUFGESTELLT:



Dipl.-Phys. Andreas Malizki

GEPRÜFT:



Vanessa Hölz, M. Sc.

ANHANG

T₂-Funktion

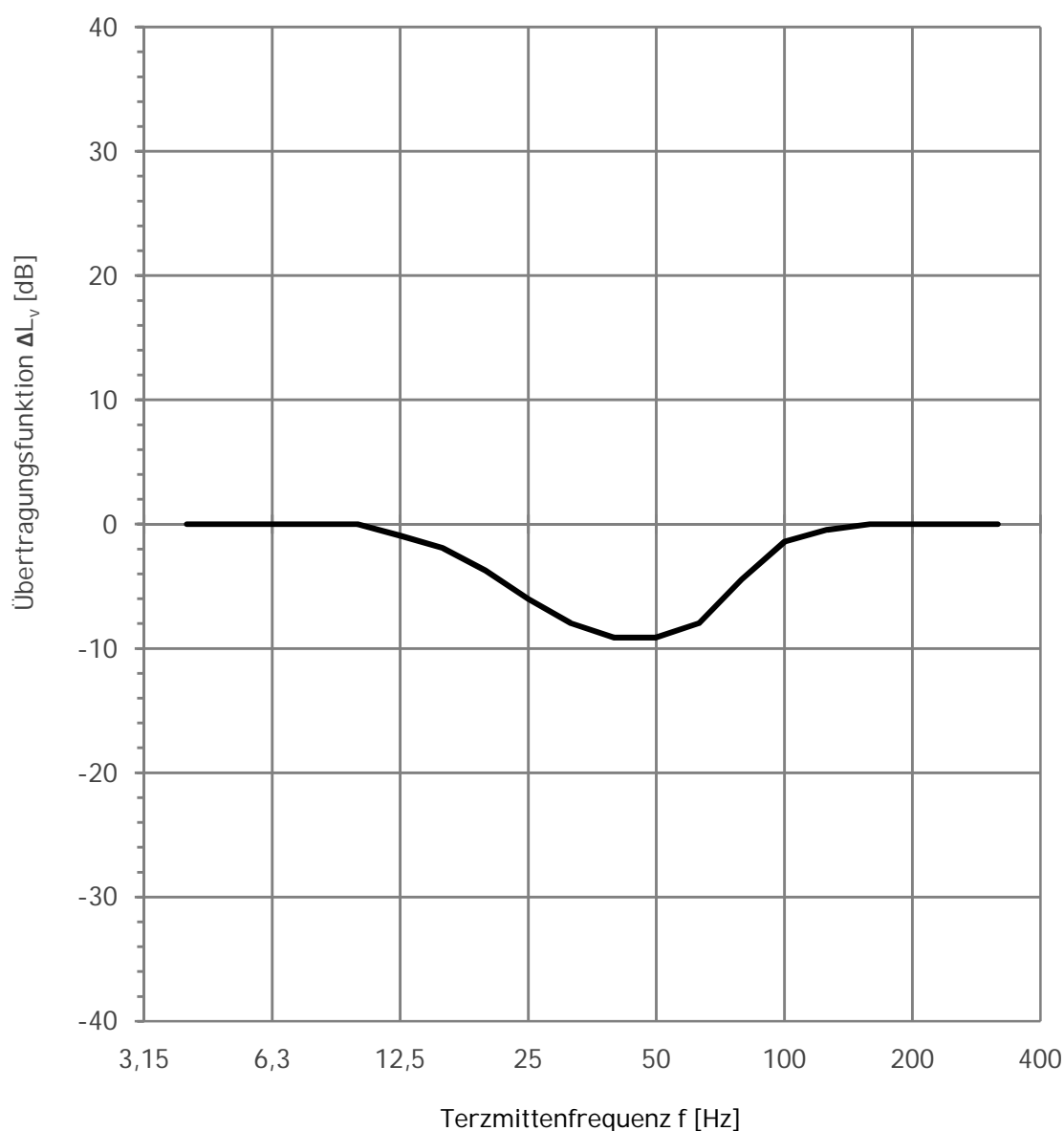
Übertragung Erdreich - Fundament

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\Vibrationswalze.xlsxJT2

29333473

Quelle: 18. Symposium - Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessungen
ZIEGLER CONSULTANTS
an der Empa Dübendorf, 29. Mai 2015
Bild 4.1 Ankopplungsspektren für verschiedene Gebäudetypen
Übertragung vom Erdreich auf das Gebäudefundament

Gebäudetyp: Einfamilienwohnhäuser
Schwingrichtung: vertikal (z)



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

T₃-Funktion

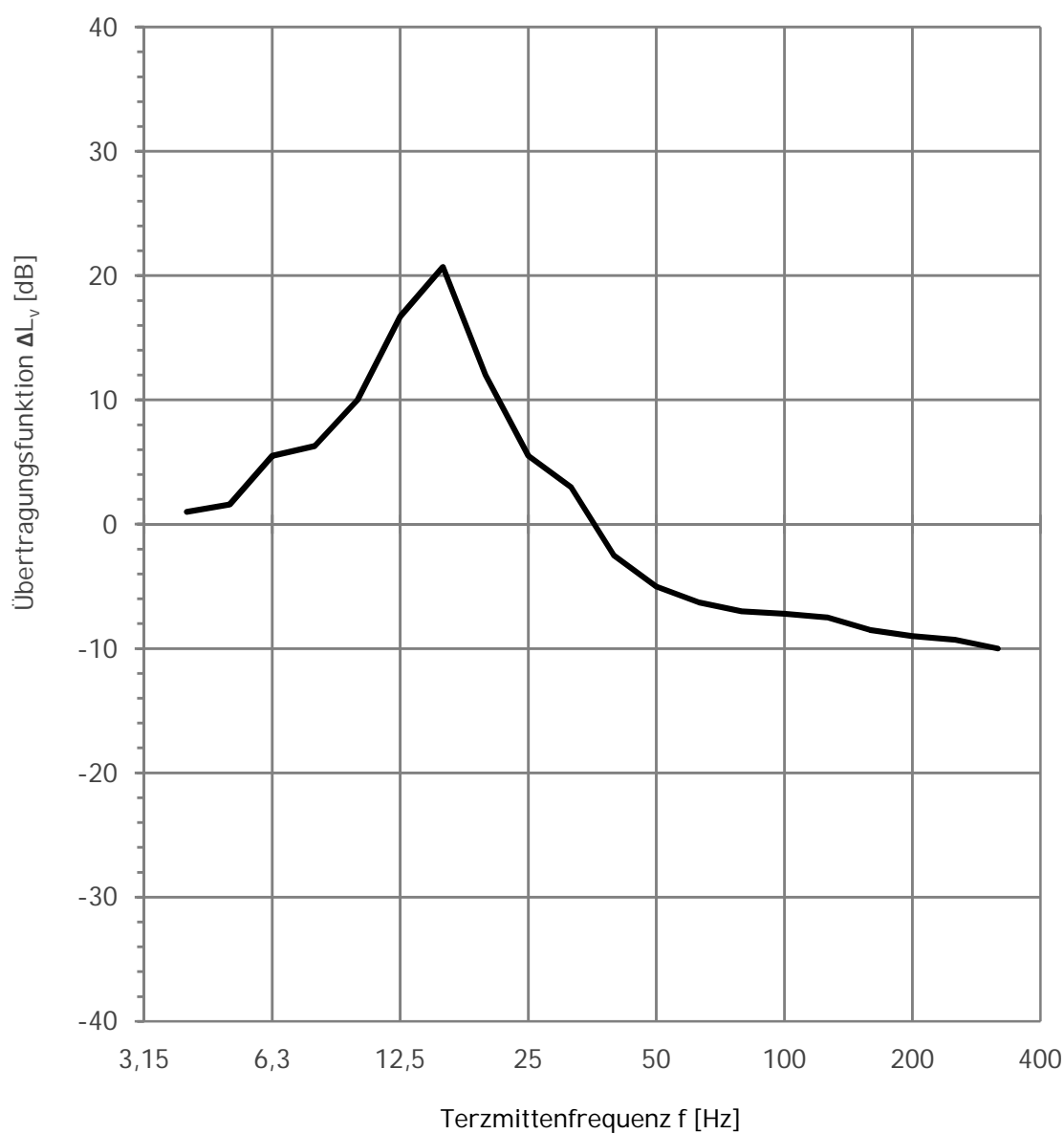
Übertragung Fundament - Geschossdecke

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\[Vibrationswalze.xlsx]T3-Holz

29333473

Deckenart: Holzbalkendecke
 Schwingrichtung: z
 Quelle: DB Leitfaden für den Planer
 Körperschall- und Erschütterungsschutz

Deckeneigenfrequenz: $f = 16 \text{ Hz}$



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

09.07.2018

T₃-Funktion

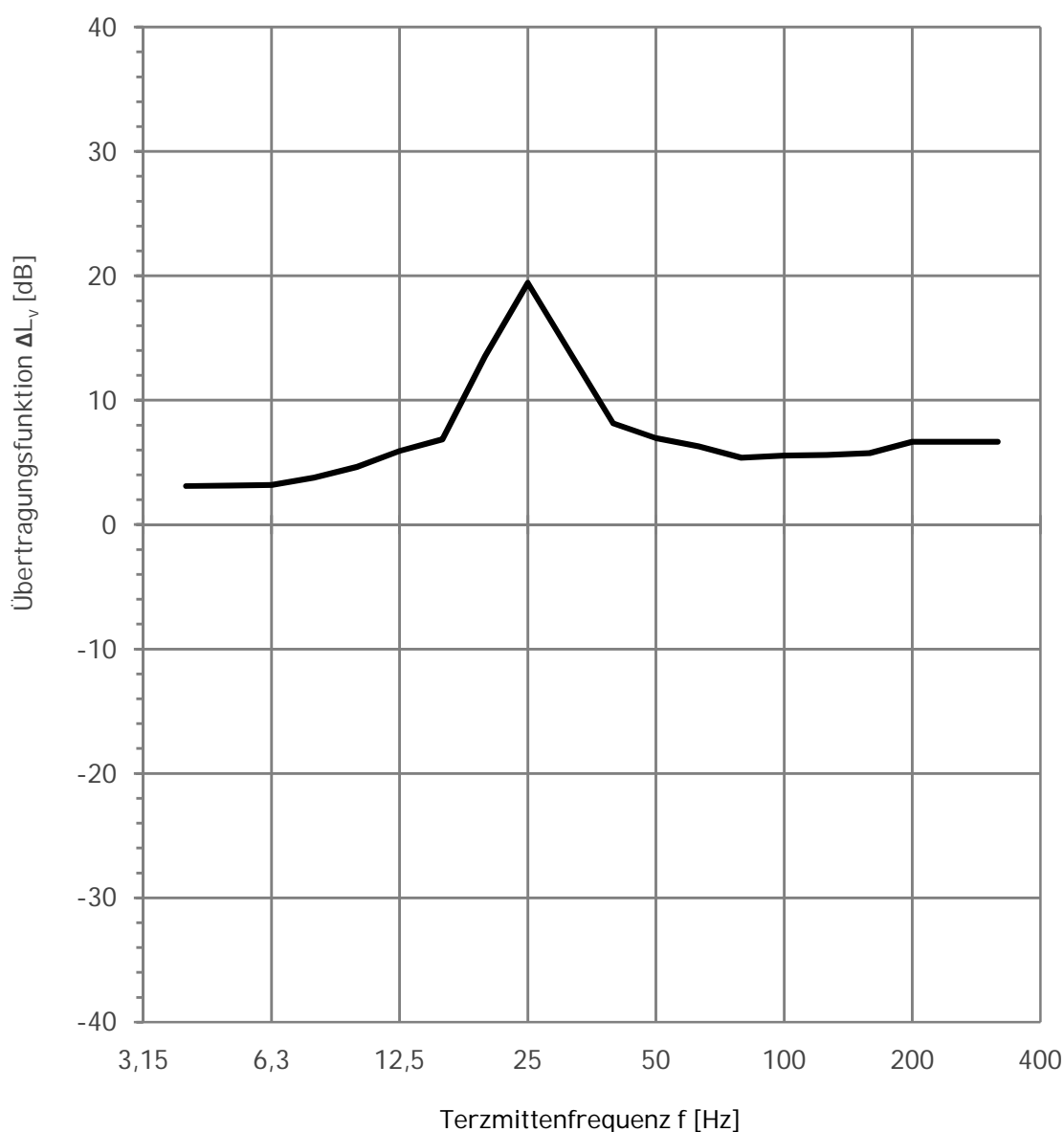
Übertragung Fundament - Geschossdecke

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\[Vibrationswalze.xlsx]T3-Beton

29333473

Deckenart: Stahlbetondecke
 Schwingrichtung: z
 Quelle: DB Leitfaden für den Planer
 Körperschall- und Erschütterungsschutz

Deckeneigenfrequenz: $f = 25$ Hz



ΔL_v [dB]	f [Hz]
3,1	4
3,2	5
3,2	6,3
3,8	8
4,6	10
5,9	12,5
6,9	16
13,5	20
19,4	25
13,8	31,5
8,2	40
7,0	50
6,3	63
5,4	80
5,6	100
5,6	125
5,7	160
6,7	200
6,7	250
6,7	315

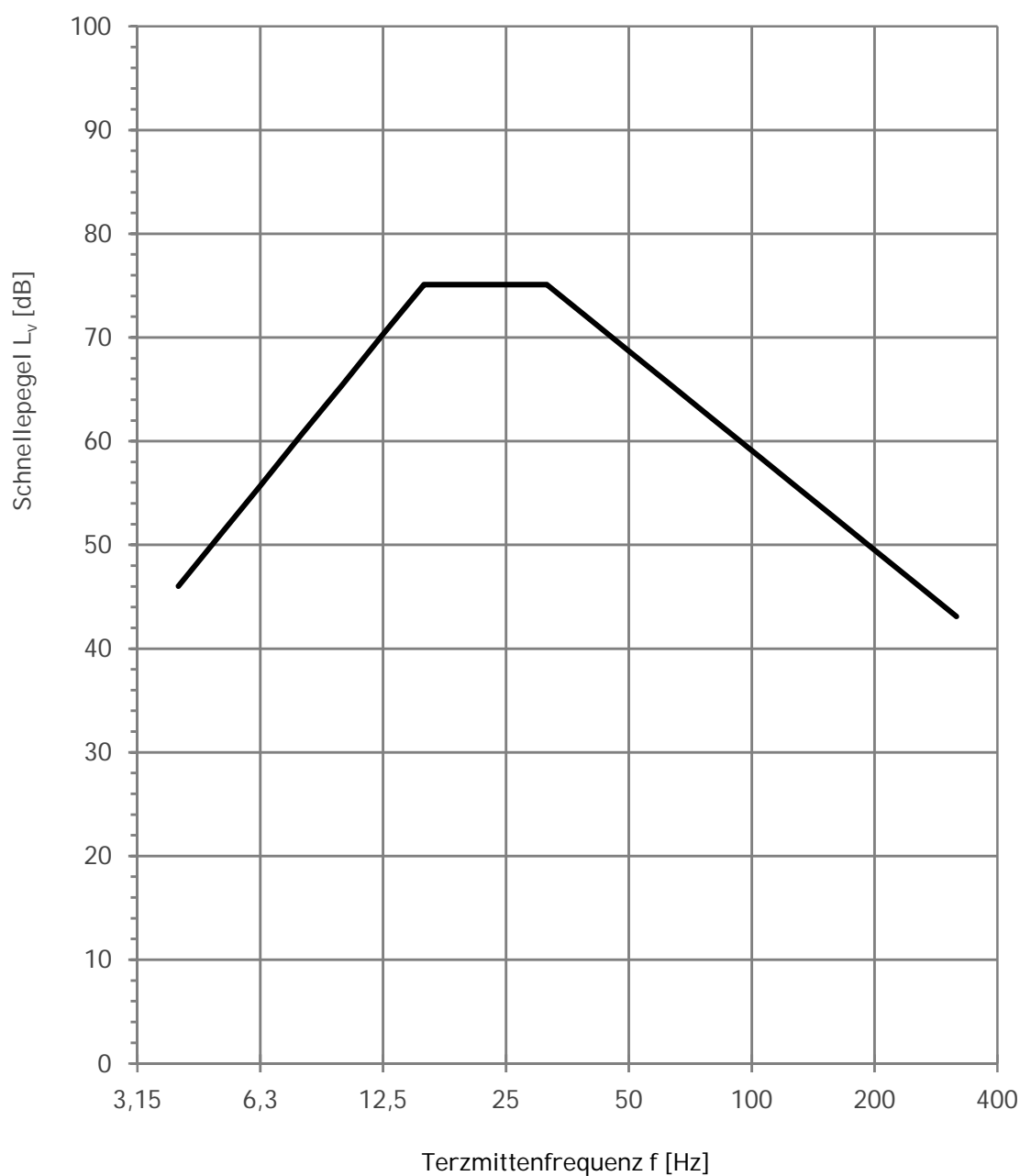
Emissionsspektrum

Einbringen v. Bohrpfählen (aufsetzen d. Bohrröhre)

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\VC-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\Bohrpfahl.xlsx\Emission

29333473

Messpunkt (Abstand): 7 m
 Arbeitsfrequenz: - Hz
 Schwingrichtung: z
 Quelltyp: Punktquelle (PQ)
 impulsartig (I)
 Wellenart: Oberflächenwelle (O)



L _v [dB]	f [Hz]
46,0	4
50,9	5
55,7	6,3
60,6	8
65,4	10
70,3	12,5
75,1	16
75,1	20
75,1	25
75,1	31,5
71,9	40
68,7	50
65,5	63
62,3	80
59,1	100
55,9	125
52,7	160
49,5	200
46,3	250
43,1	315
82,4	S
0,66	v _{Fmax}

10.07.2018

KB_{Fmax} in typischen Geschossbauten

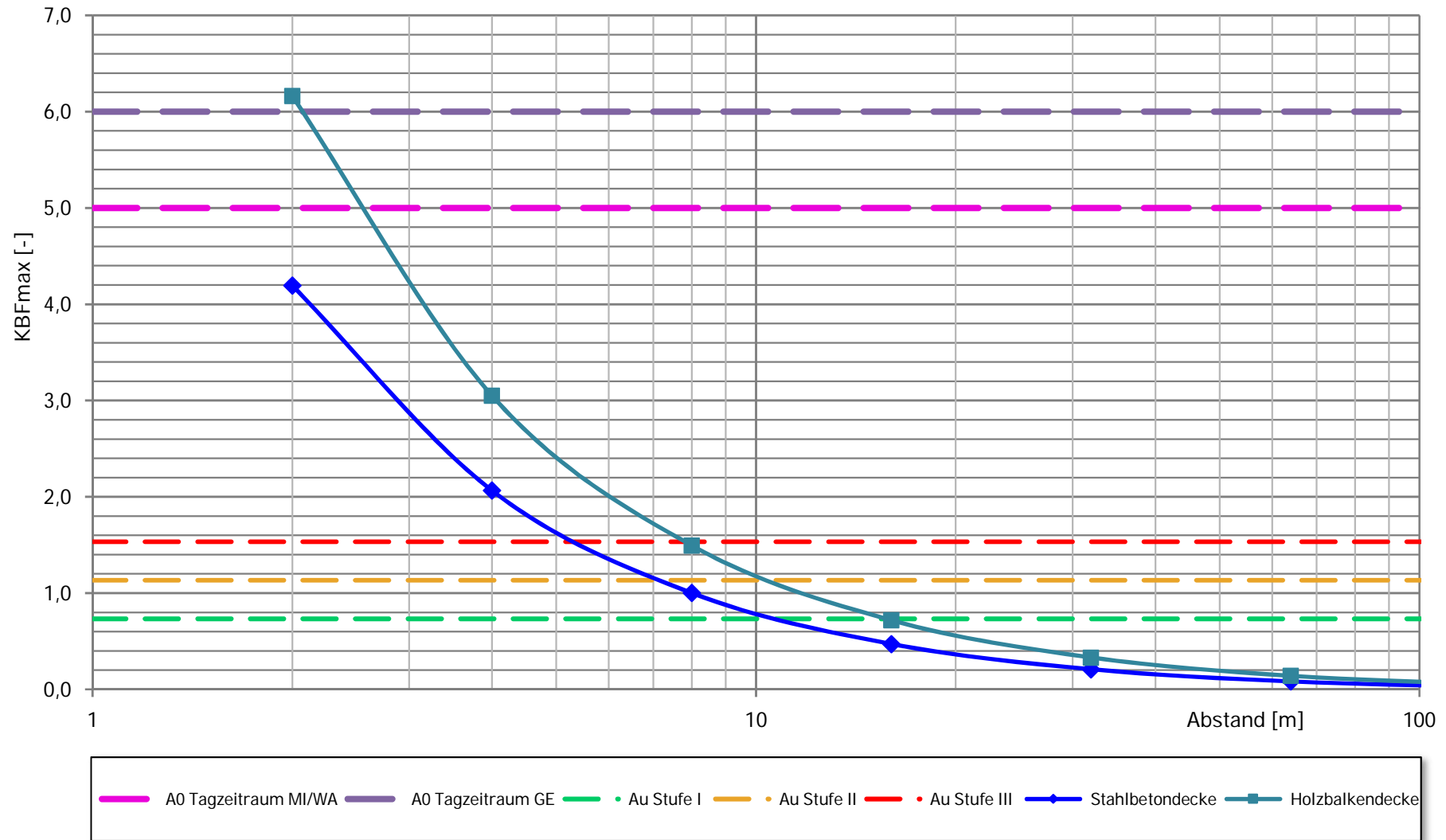
Tagzeitraum

Einbringen v. Bohrpfählen

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\Bohrpfahl.xlsx\KB_{Fmax}T

29333473

maximale Schwingstärke KB_{Fmax}



10.07.2018

KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

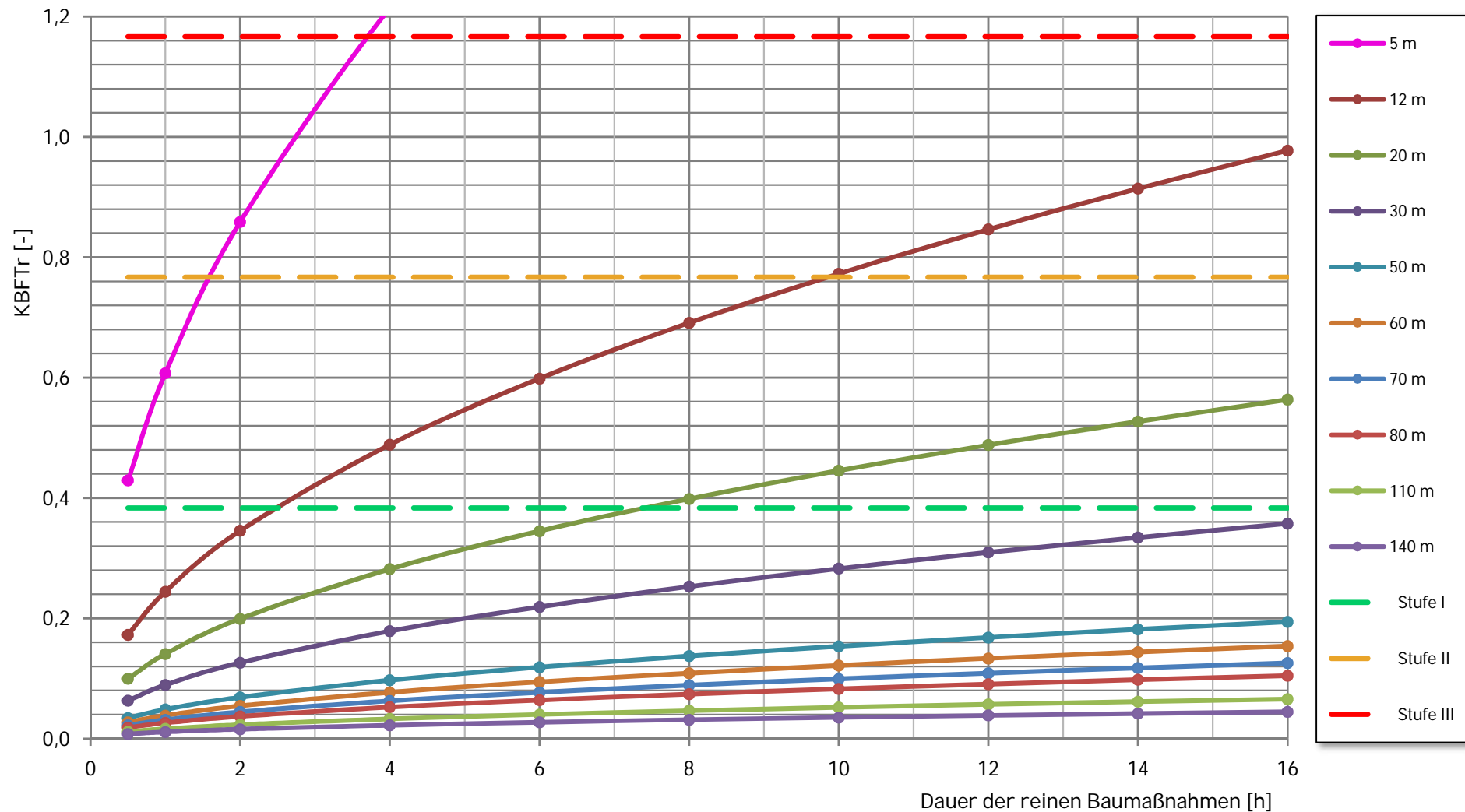
Holzbalkendecken

Einbringen v. Bohrpfählen

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\Bohrpfahl.xlsx\KB_{FTr}_Holz_T

29333473

Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}



10.07.2018

KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

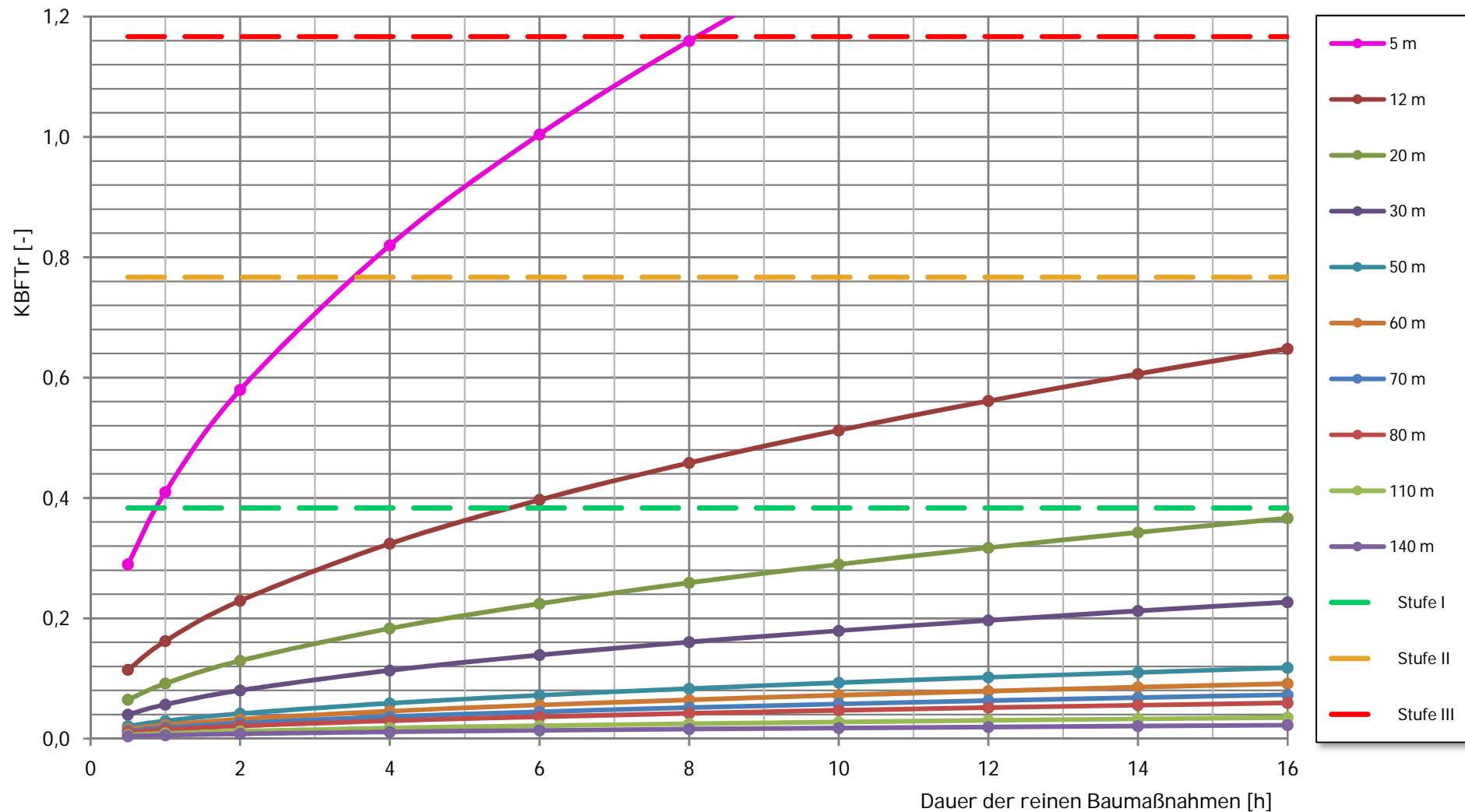
Stahlbetondecken

Einbringen v. Bohrpfählen

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\Bohrpfahl.xlsx\KB_{FTr}_Beton_T

29333473

Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}



10.07.2018

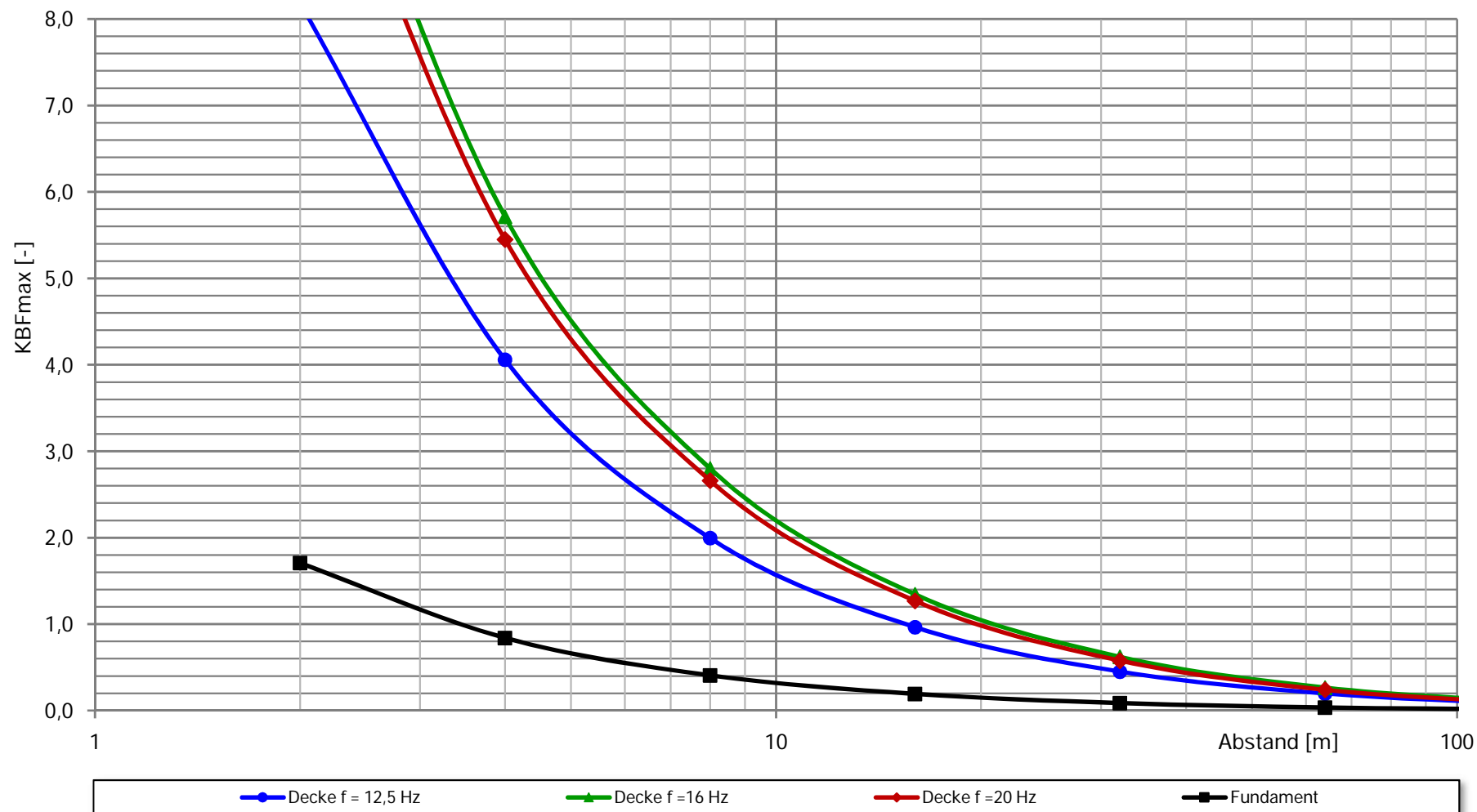
Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Holzbalkendecken

Einbringen v. Bohrpfählen

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\Bohrpfahl.xlsx\Vmax_Holz

29333473

maximale Schwingstärke KB_{Fmax}



10.07.2018

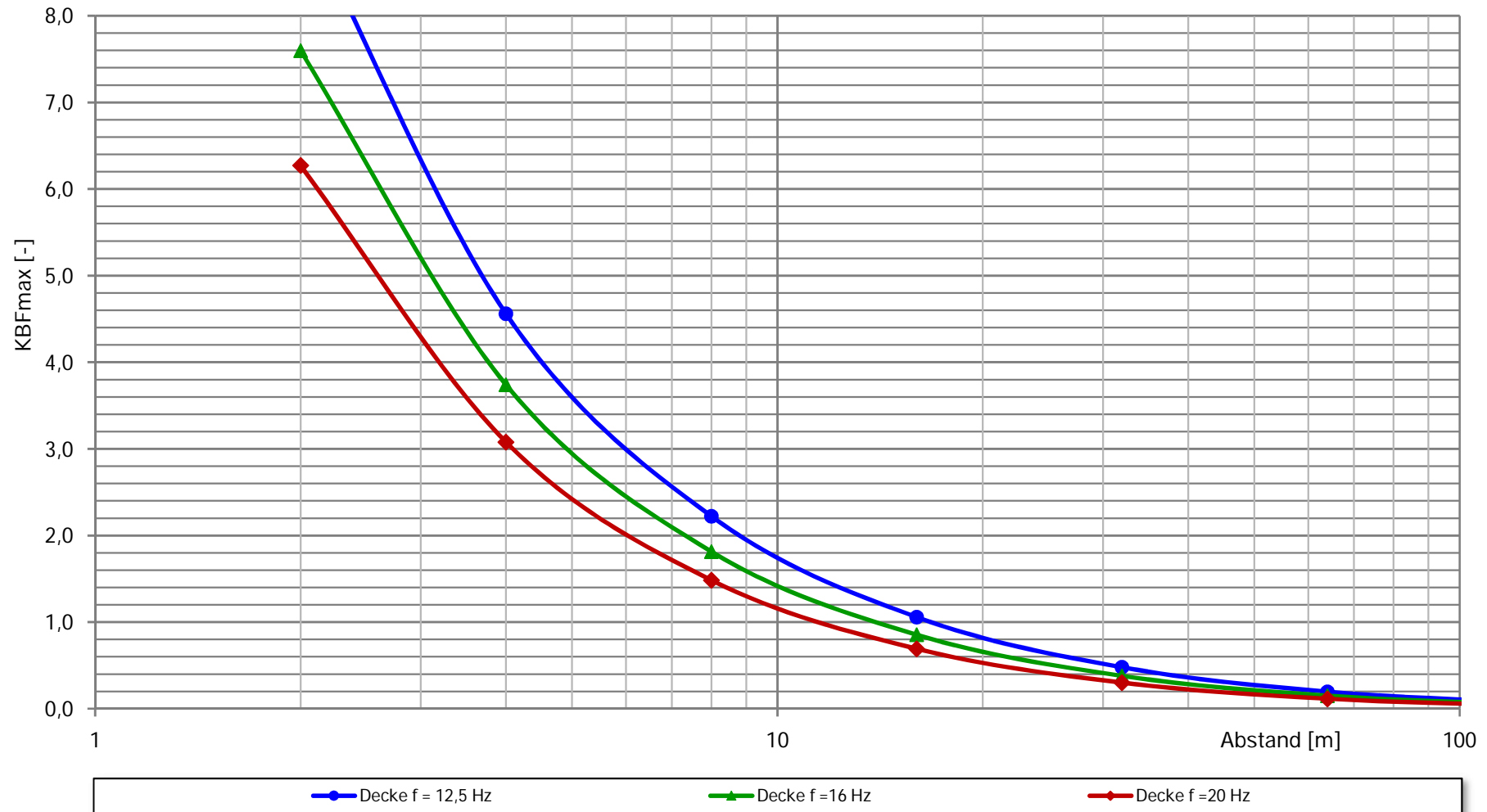
Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Stahlbetondecken

Einbringen v. Bohrpfehlen

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\Bohrpfahl.xlsx\Vmax_Stb

29333473

maximale Schwingstärke KB_{Fmax}



10.07.2018

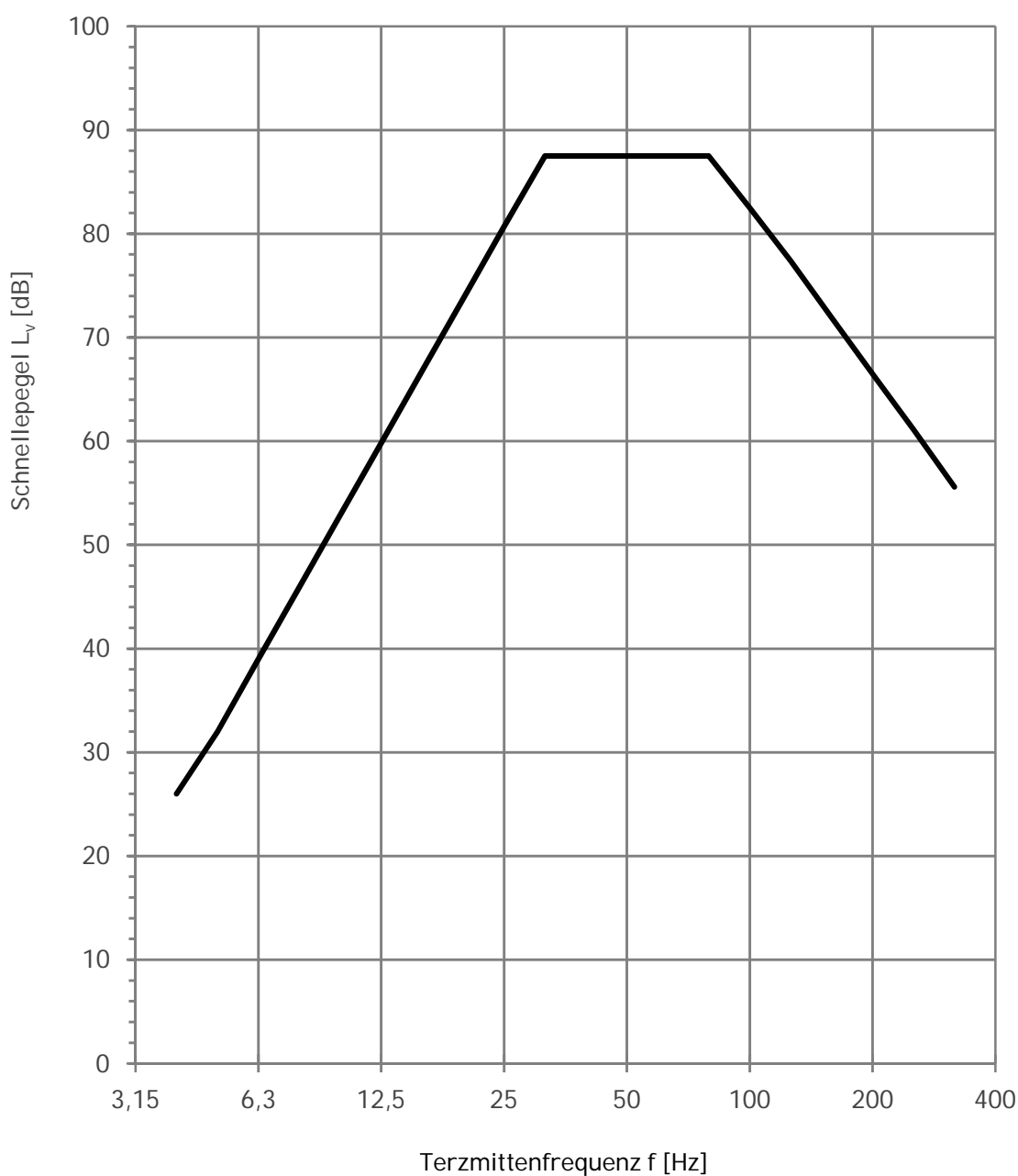
Emissionsspektrum

Vibrationswalze

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\VC-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\([Vibrationswalze.xlsx])Emission

29333473

Messpunkt (Abstand): 8 m
 Arbeitsfrequenz: 40-60 Hz
 Schwingrichtung: z
 Quelletyp: Punktquelle (PQ)
 harmonisch/stationär (HS)
 Wellenart: Oberflächenwelle (O)



L_v [dB]	f [Hz]
26,0	4
32,0	5
39,0	6,3
45,9	8
52,9	10
59,8	12,5
66,8	16
73,7	20
80,7	25
87,5	31,5
87,5	40
87,5	50
87,5	63
87,5	80
82,5	100
77,4	125
71,9	160
66,5	200
61,1	250
55,6	315
95,1	S
2,83	v_{Fmax}

10.07.2018

KB_{Fmax} in typischen Geschossbauten

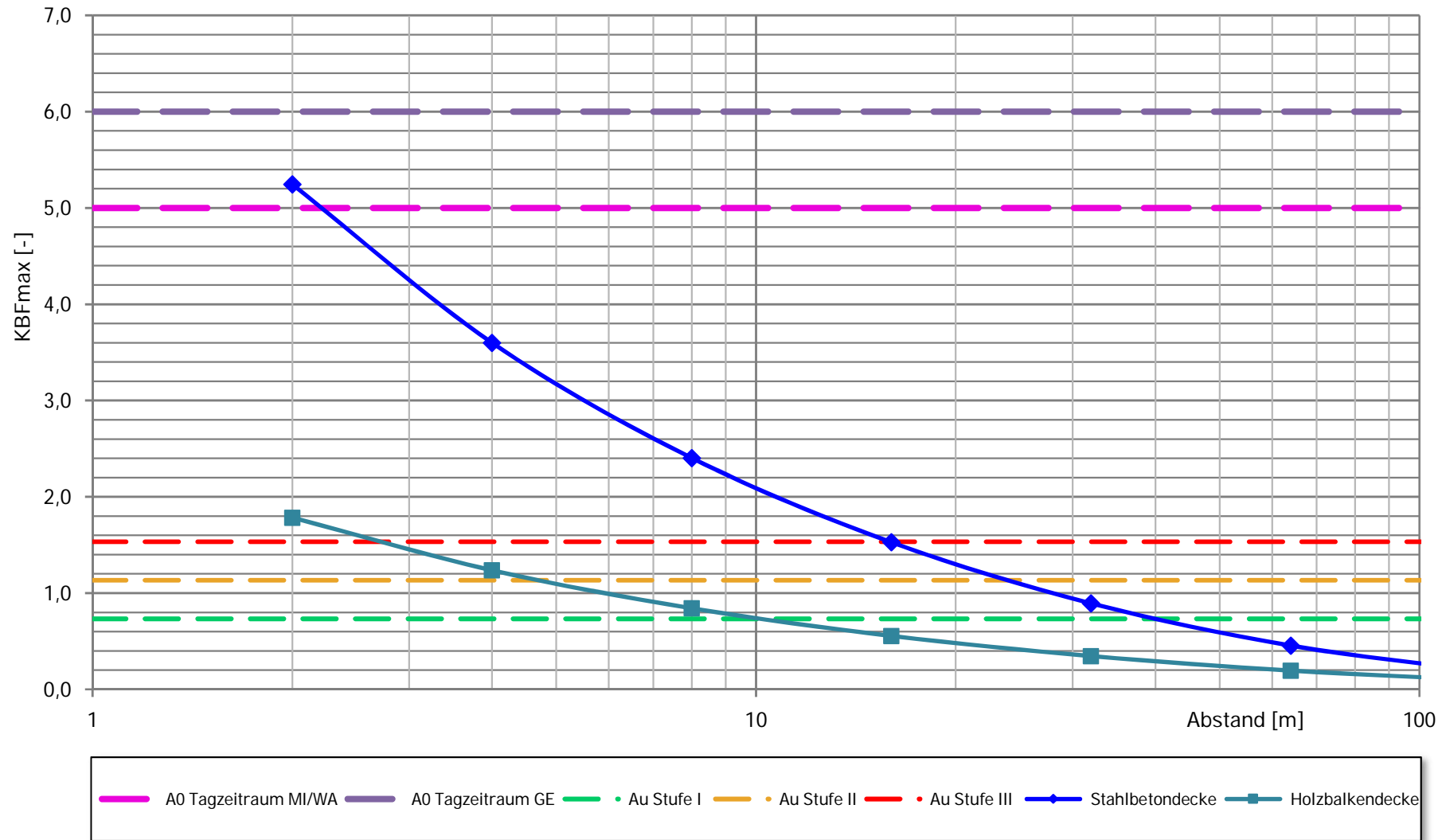
Tagzeitraum

Vibrationswalze

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\[Vibrationswalze.xls]KB_{Fmax}T

29333473

maximale Schwingstärke KB_{Fmax}



10.07.2018

KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

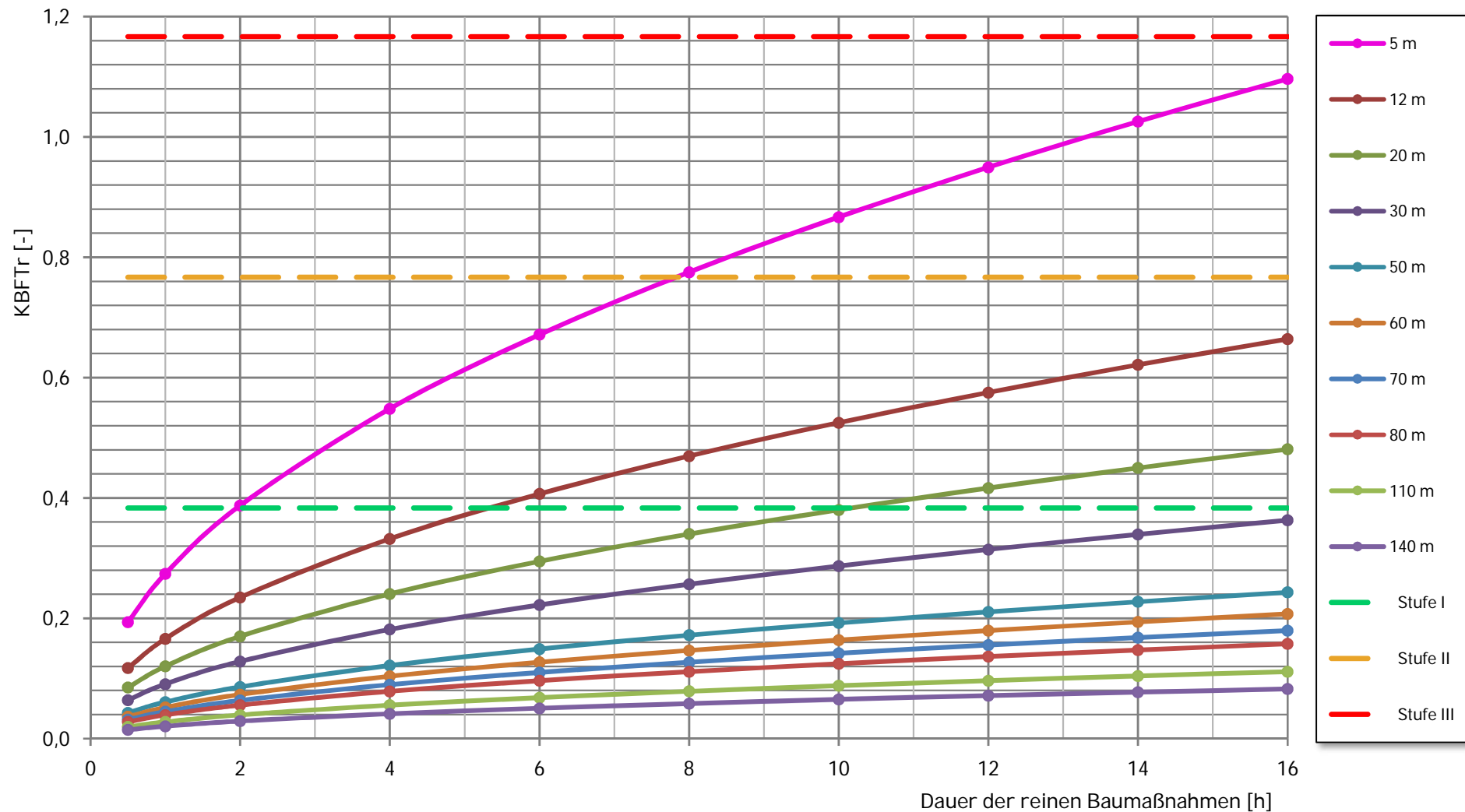
Holzbalkendecken

Vibrationswalze

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\[Vibrationswalze.xlsx]KB_{FTr}_Holz_T

29333473

Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}



10.07.2018

KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

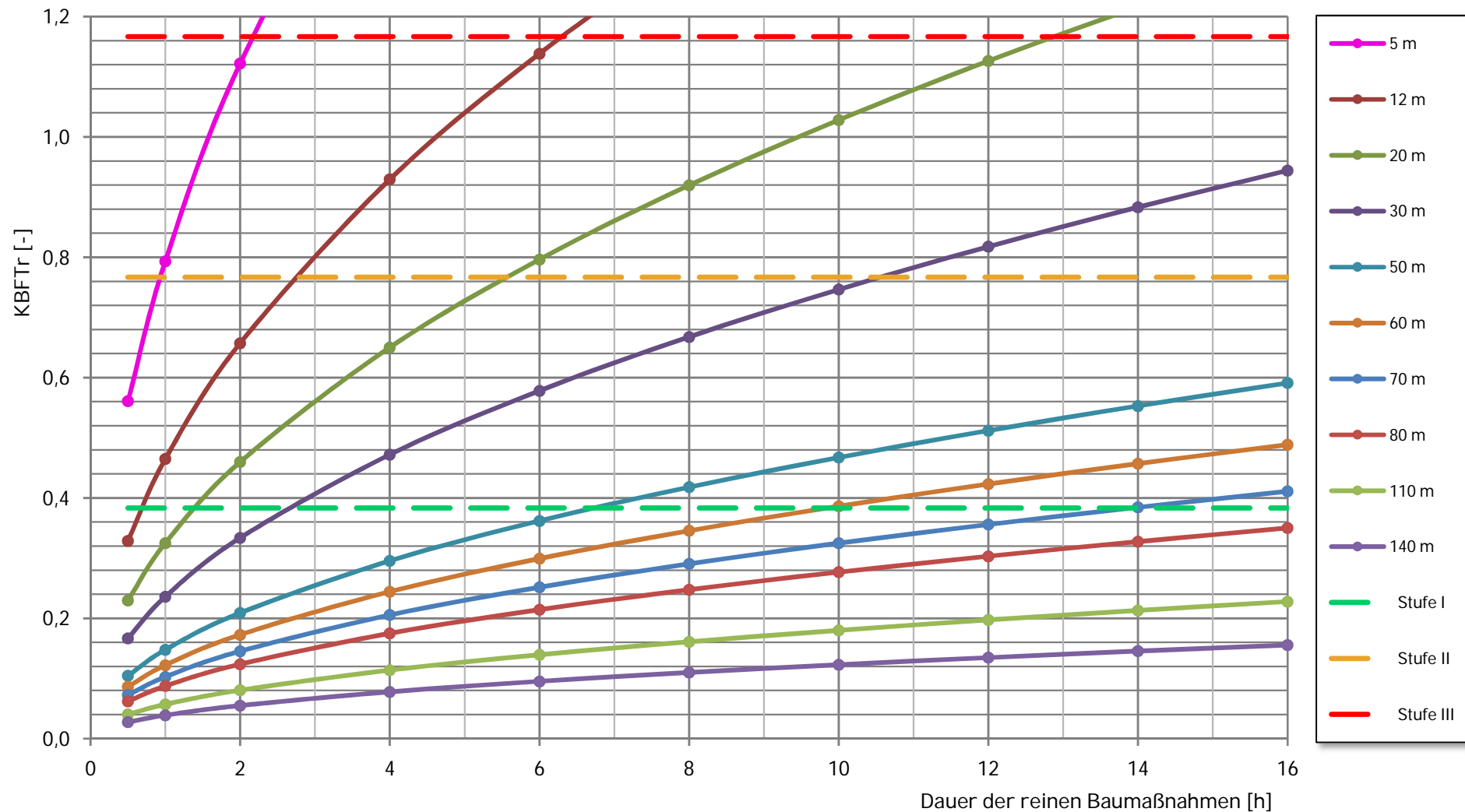
Stahlbetondecken

Vibrationswalze

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\([Vibrationswalze.xlsx]KB_{FTr}_Beton_T

29333473

Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}



10.07.2018

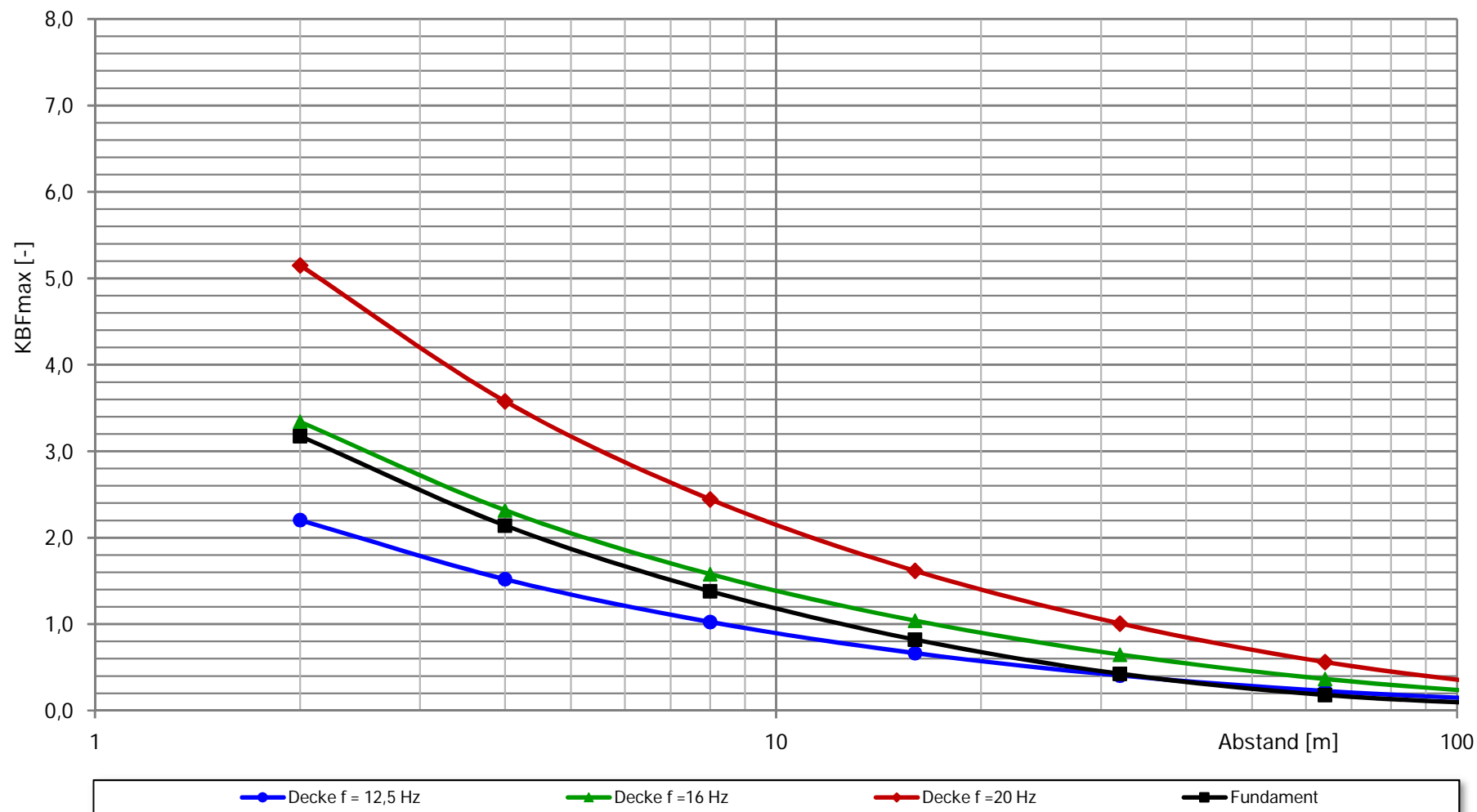
Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Holzbalkendecken

Vibrationswalze

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\Vibrationswalze.xlsx\Vmax_Holz

29333473

maximale Schwingstärke KB_{Fmax}



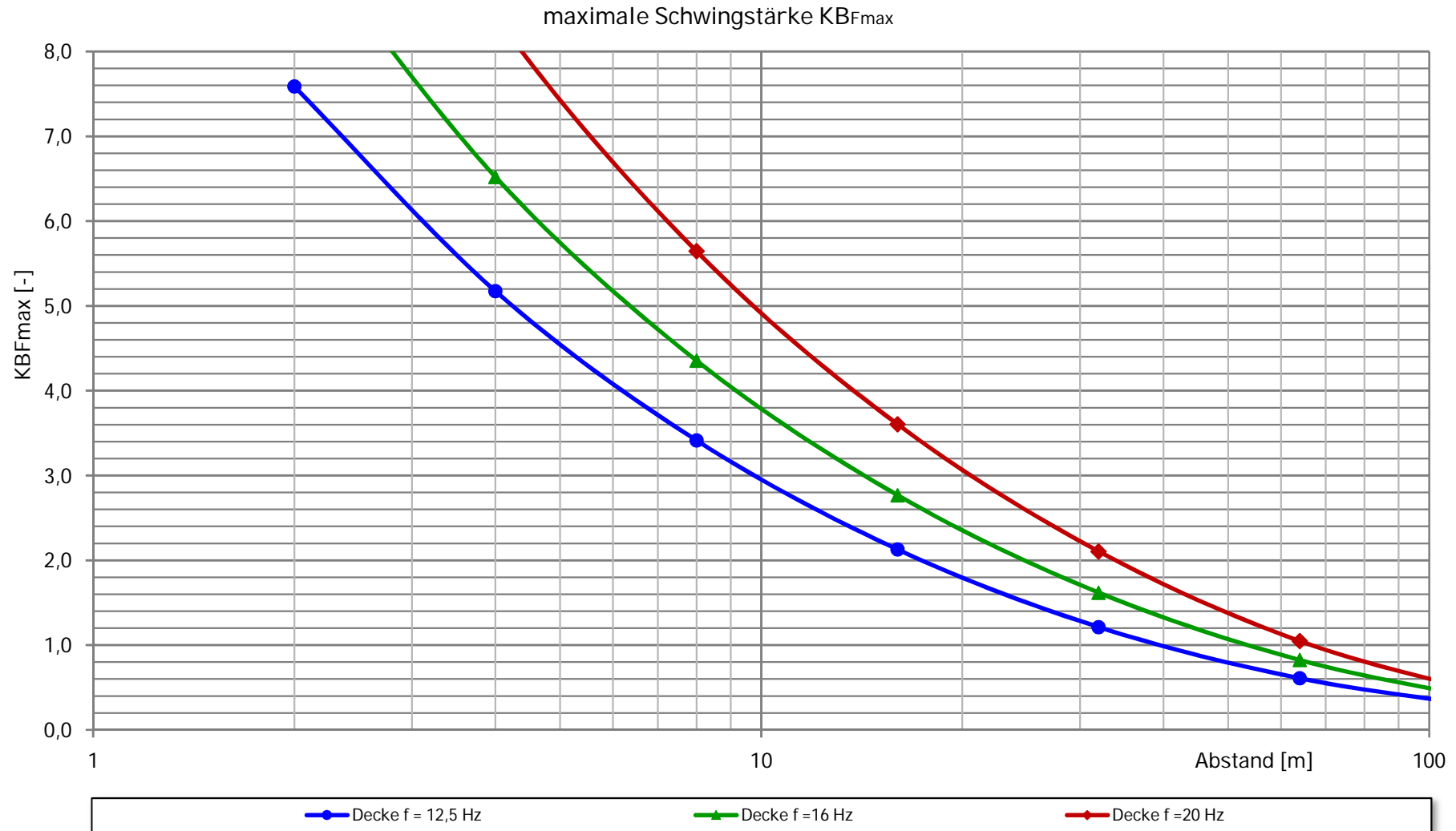
10.07.2018

Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Stahlbetondecken

Vibrationswalze

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\[Vibrationswalze.xlsx]Vmax_Stb

29333473



10.07.2018

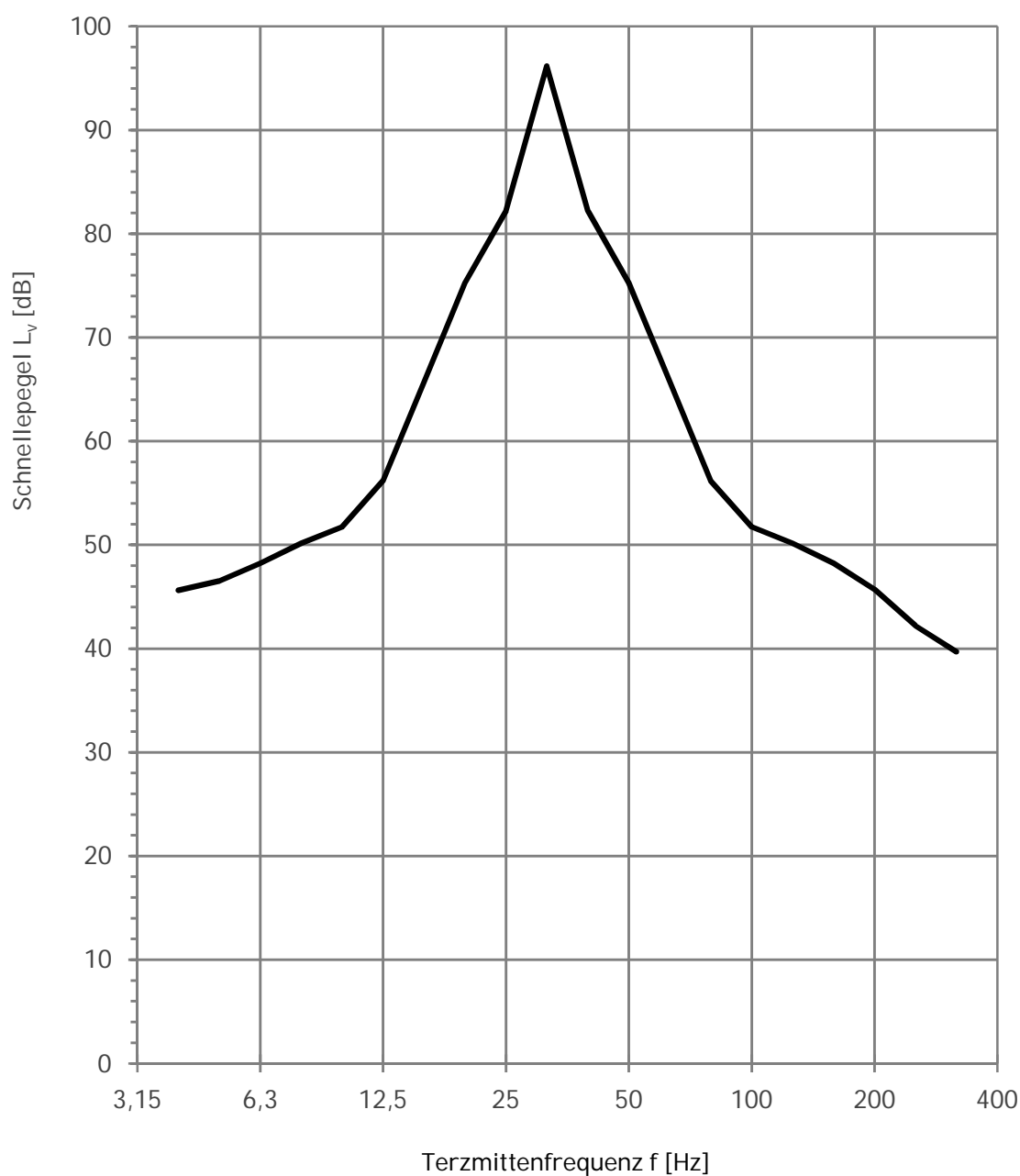
Emissionsspektrum

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\VC-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\[V-Ramme.xlsx]Emission

29333473

Messpunkt (Abstand): 9 m
 Arbeitsfrequenz: 31,5 Hz
 Schwingrichtung: z
 Quelletyp: Punktquelle (PQ)
 harmonisch/stationär (HS)
 Wellenart: Raumwelle



L_v [dB]	f [Hz]
45,6	4
46,5	5
48,2	6,3
50,2	8
51,7	10
56,2	12,5
65,7	16
75,3	20
82,2	25
96,2	31,5
82,2	40
75,3	50
65,7	63
56,2	80
51,7	100
50,2	125
48,2	160
45,7	200
42,2	250
39,7	315
96,6	S
3,37	v_{Fmax}

10.07.2018

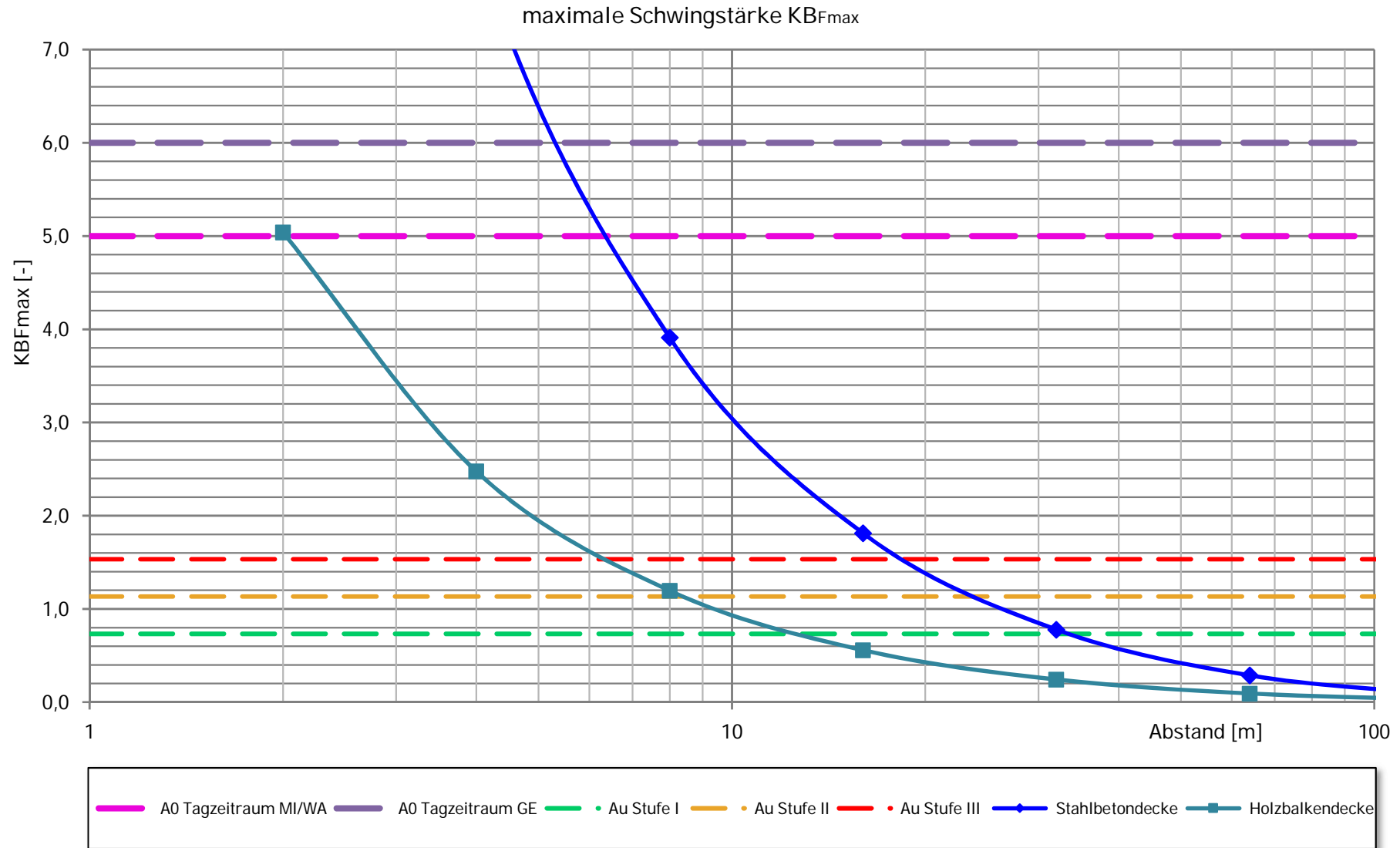
KB_{Fmax} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\[V-Ramme.xlsx]KB_{Fmax}T

29333473



10.07.2018

KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

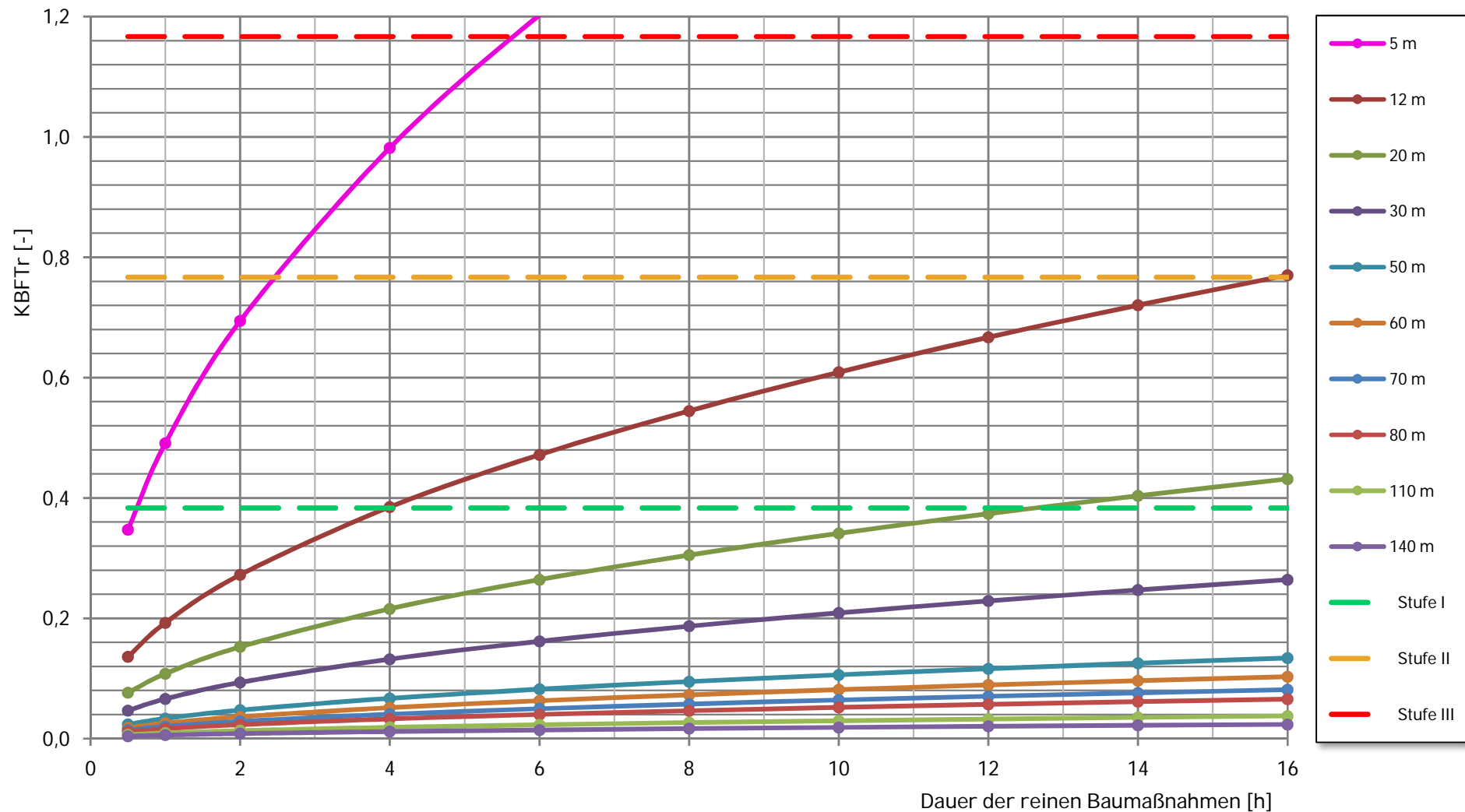
Holzbalkendecken

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\[V-Ramme.xlsx]KB_{FTr}_Holz_T

29333473

Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}



10.07.2018

KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

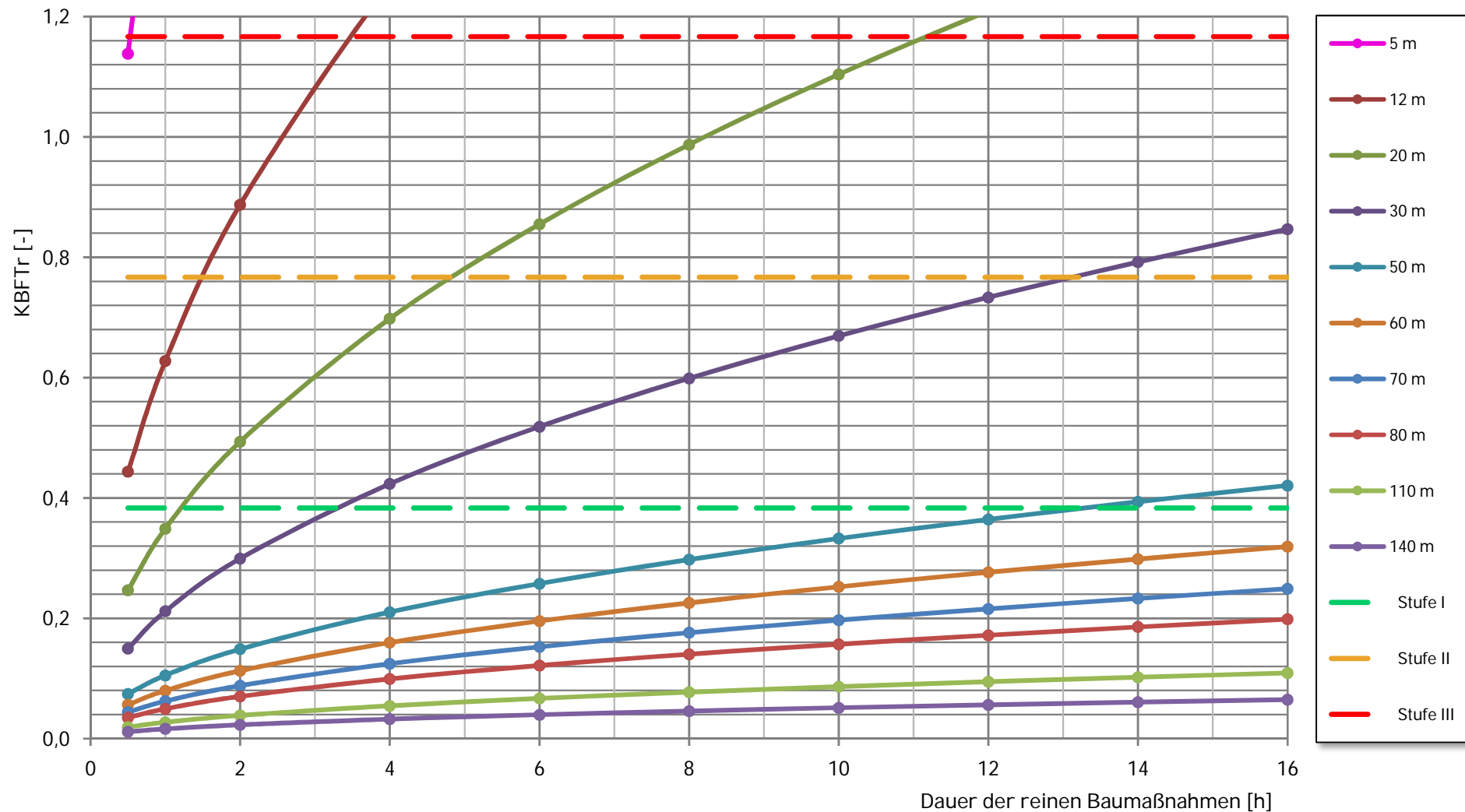
Stahlbetondecken

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\{V-Ramme.xlsx\KB_{FTr}_Beton_T

29333473

Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}



10.07.2018

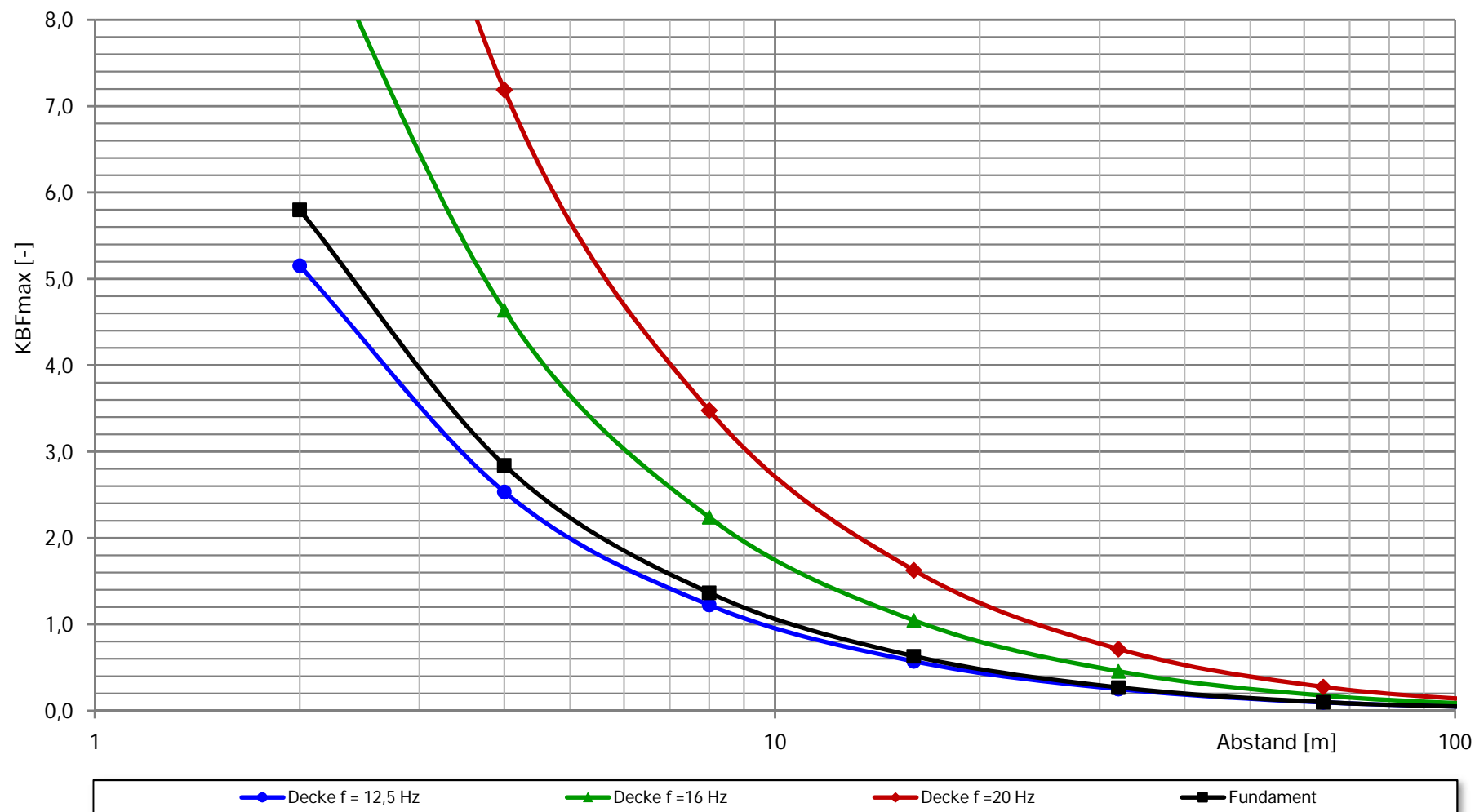
Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Holzbalkendecken

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\[V-Ramme.xlsx]Vmax_Holz

29333473

maximale Schwingstärke KB_{Fmax}



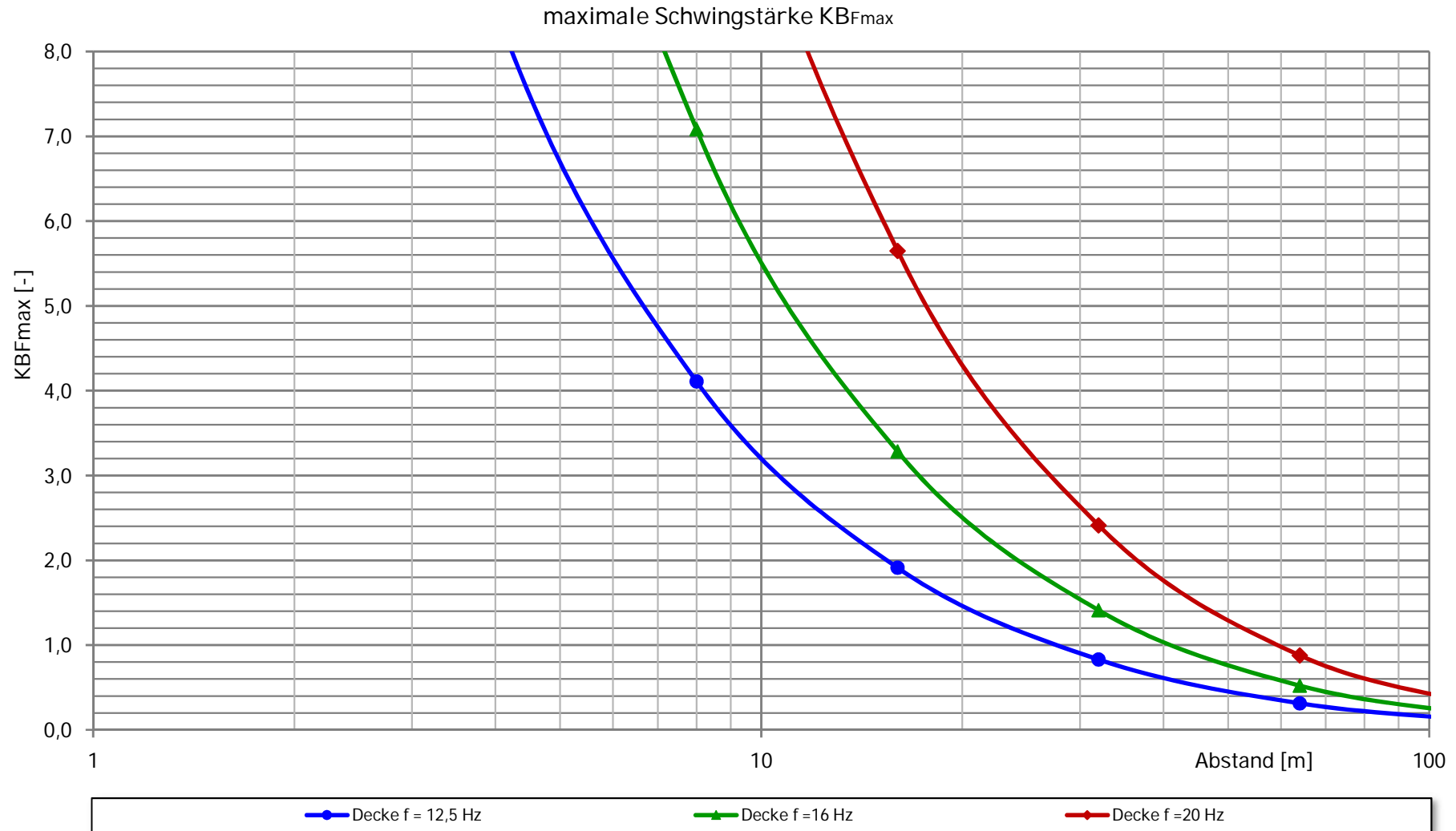
10.07.2018

Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Stahlbetondecken

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B_Projekte\2005\8001-RTW-Regionaltangente-West\C-Bearbeitung\Bauerschütterungen_PFA_Sued1\A-Emissionen\[V-Ramme.xlsx]Vmax_Stb

29333473



10.07.2018