



Stellungnahme Erschütterungen aus Bautätigkeit

Rev	Name	Datum	Änderung

Planfeststellung nach § 11 LSeilbG

	Name	Datum	 KREBS+KIEFER KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH Heinrich Hertz-Straße 2 64295 Darmstadt	
erstellt	M. Gutsche	12-2022		
bearbeitet				
geprüft	A. Malizki	12-2022		
			Auftragsnummer	Plannummer
			20220475-808-ABE-1	
	Name	Datum	Verkehrsbetriebe Karlsruhe GmbH Tullastraße 71, 76131 Karlsruhe Telefon 07 21 / 61 07-0 Telefax 07 21 / 61 07-50 09 	
bearbeitet				
geprüft				
V2-PL	<i>Wagmann</i>	<i>12.22</i>		
V2-PA				
V1				
BL	<i>Stegle</i>	<i>12.22</i>		
Strecke:			Streckenummer VBK:	
Turmbergbahn, Karlsruhe-Durlach			TBB	
Maßnahme: Änderung der Turmbergbahn Barrierefreier Umbau und Verlängerung der Seilbahn in Karlsruhe-Durlach			V2-PL-Projekt-Nr.:	
			1105	
			Plan-Nr.:	
			7008.1	
			Anlage.:	
			7	

ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHE UNTERSUCHUNG DES BAUBETRIEBS

VORHABEN:	Änderung der Turmbergbahn - Barrierefreier Umbau und Verlängerung der Seilbahn
UMFANG:	Ermittlung und Beurteilung der aus dem Baubetrieb resultierenden Erschütterungsimmissionen
AUFTRAGGEBER:	VBK – Verkehrsbetriebe Karlsruhe GmbH Tullastraße 71 76131 Karlsruhe
BEARBEITUNG:	KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH Heinrich-Hertz-Straße 2 64295 Darmstadt T 06151 885-383 F 06151 885-220
AKTENZEICHEN:	20220475-808-ABE-1
DATUM:	Darmstadt, 01.12.2022

Dieser Bericht umfasst 27 Seiten und 7 Anhänge mit 39 Seiten. Gesamt: 66 Seiten

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

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Aufgabenstellung	5
2	Grundlagen	5
2.1	Bearbeitungsgrundlagen	5
2.2	Anforderungen an den Schwingungsschutz	6
2.2.1	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	6
2.2.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen	8
2.2.2.1	Allgemeines	8
2.2.2.2	Kurzzeitige Erschütterungen	9
2.2.2.3	Dauererschütterungen	10
2.3	Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise	10
2.3.1	Emissionen	11
2.3.2	Transmission	12
2.3.2.1	Transferfunktion T_1	12
2.3.2.2	Transferfunktionen T_2 und T_3	13
2.3.3	Immissionen	14
3	Örtliche Gegebenheiten	14
3.1	Beschreibung des Baustellenbetriebs	14
3.2	Einwirkungsbereiche	15
4	Untersuchungsergebnisse	15
4.1	Emissionen	15
4.2	Immissionen	16
4.2.1	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	16
4.2.1.1	Bodenstampfer	18
4.2.1.2	Vibrationsplatte	18
4.2.1.3	Meißelarbeiten	19
4.2.1.4	Verbau durch Bohrpfahlgründung	20
4.2.1.5	Vibrationsramme	21
4.2.1.6	Vermeidungsmaßnahmen	21
4.2.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen	22
4.2.2.1	Bodenstampfer	22
4.2.2.2	Vibrationsplatte	23
4.2.2.3	Meißelarbeiten	23
4.2.2.4	Verbau durch Bohrpfahlgründung	24
4.2.2.5	Vibrationsramme	24
5	Zusammenfassung	25
6	Anhänge	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Erschütterungstechnische Anhaltswerte für Baumaßnahmen	7
Tabelle 2:	Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen	8
Tabelle 3:	Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen auf Gebäude	9
Tabelle 4:	Anhaltswerte für Dauererschütterungen auf Gebäude	10
Tabelle 5:	Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen	17

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ursachen-Wirkungs-Prinzip	11
Abbildung 2:	Geometrische Abnahme der Schwingungsamplitude	13

Abkürzungsverzeichnis

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 [-]
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 [%]
EO	Einwirkungsorte
f	Frequenz [Hz]
f ₀	Deckeneigenfrequenz [Hz]
h	Stunde
Hb	Holzbalken
[Hz]	Hertz, Schwingung je Sekunde
I	impulsförmig
KB _{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke [-]
KB _{FTr}	Beurteilungsschwingstärke [-]
MI	Mischgebiet
n	Abnahmekoeffizient [-]
r	Radius um die Baumaßnahme / Abstand zur Baumaßnahme
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 Geschosdecken gemäß DIN 4150-3 [mm/s]
WA	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind

1 Anlass und Aufgabenstellung

Die Turmbergbahn in Karlsruhe-Durlach soll bis zu der Grötzinger Straße verlängert werden. Hierzu sind umfangreiche Sanierungs-, Rück- und Neubaumaßnahmen geplant. Die Planung beinhaltet zudem barrierefreie Zugänge zu der Bergbahn an den Stationen.

Im Rahmen dieses Bauvorhabens wird die bestehende Talstation vollständig zurückgebaut. Des Weiteren werden die bestehenden Gleise durch eine komplett neue Anlage ersetzt, die sich dann bis zu der Grötzinger Straße erstrecken soll. Dort entsteht eine neue Talstation. Die Bergstation wird zum Teil zurückgebaut und erweitert.

Aufgabenstellung der vorliegenden Untersuchung ist es, die Schwingungsmissionen, die aus den erforderlichen Bauaktivität resultiert, 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.

2 Grundlagen

2.1 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 Erschütterungsmissionen (Erschütterungs-Leitlinie), Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI), Mai 2018
- /3/ Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom 21.12.2010, Az: BVerwG 7 A 14.09
- /4/ DIN 4150, Teil 1 „Erschütterungen im Bauwesen: Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Juni 2001
- /5/ DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, Juni 1999
- /6/ DIN 4150, Teil 3 „Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf bauliche Anlagen“, Dezember 2016

- /7/ Verfügung zur baubedingten Erschütterung in der Planfeststellung des Eisenbahn-Bundesamtes, Stand 18.10.2017
- /8/ Rückbaukonzept Turmbergbahn für die VBK Revision 1, Anlage 4101, IBR Geotechnik, Stand 19.05.2022
- /9/ Logistikkonzept Neubau, Planfeststellung zu der Änderung der Turmbergbahn für die VBK, Anlage 4102, Garaventa AG, Stand 09.06.2022
- /10/ Terminprogramm, Vorabzug der Planfeststellung Barrierefreier Umbau und Verlängerung der Turmbergbahn für die VBK, Anlage 7001, Garaventa AG, Stand 21.07.2022
- /11/ Plan der Baustelleneinrichtung Turmbergbahn für die VBK von der Garaventa AG, Anlage 4103, Maßstab 1 : 500, Stand 01.06.2022
- /12/ Bebauungspläne Karlsruhe-Durlach Nr. 415 und Nr. 430, <https://geoportal.karlsruhe.de/bplan/>, aufgerufen am 30.09.2022
- /13/ Geoportal Baden-Württemberg, [https://www.geoportal-bw.de/#/\(sidenav:karten\)](https://www.geoportal-bw.de/#/(sidenav:karten)), aufgerufen am 30.09.2022

2.2 Anforderungen an den Schwingungsschutz

2.2.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Für die Ermittlung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden wird das in **DIN 4150-2** /5/ beschriebene Beurteilungsverfahren angewendet. Hierfür sind

- die maximale bewertete Schwingstärke $\mathbf{KB_{Fmax}}$ und
- die Beurteilungsschwingstärke $\mathbf{KB_{FTr}}$

als maßgebende Beurteilungsgrößen mit den Anhaltswerten der Norm zu vergleichen.

Zunächst erfolgt ein Vergleich, der für den Baubetrieb erwarteten maximalen bewerteten Schwingstärke $\mathbf{KB_{Fmax}}$ mit den Anhaltswerten $\mathbf{A_u}$ und $\mathbf{A_o}$ gemäß **DIN 4150-2**. Ist $\mathbf{KB_{Fmax}}$ kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert $\mathbf{A_u}$, dann ist die Anforderung der Norm eingehalten. Ist $\mathbf{KB_{Fmax}}$ größer als der obere Anhaltswert $\mathbf{A_o}$, dann ist die Anforderung der Norm nicht eingehalten.

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

Bei einer Einwirkdauer **D** zwischen einem Tag und sechs Tagen sind die Anhaltswerte entsprechend zu interpolieren.

Für die zeitlich begrenzten Erschütterungseinwirkungen durch Rückbau- und Baumaßnahmen werden die Anhaltswerte gemäß der Verfügung der baubedingten Erschütterungen in der Planfeststellung /7/ herangezogen. Hier ist, gemäß Absatz 2a bei Erschütterungseinwirkungen über 78 Tage auf die Stufe II der Tabelle 2 der **DIN 4150-2** /5/ abzielen. Dies bedeutet, dass hier die folgenden Anhaltswerte Anwendung finden.

Dauer	D ≤ 1 Tag			6 d < D ≤ 26 d			26 d < D ≤ 78 d		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spalte									
Anhaltswerte	A _u	A _o *)	A _r	A _u	A _o *)	A _r	A _u	A _o *)	A _r
Stufe II	1,2	5	0,8	0,8	5	0,6	0,6	5	0,4

*) 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, wobei zur Ermittlung der Beurteilungsschwingstärken zu beachten ist, 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.

Für nachts auftretende Erschütterungen durch Baumaßnahmen gelten die nächtlichen Anhaltswerte der aus **Tabelle 1** der **DIN 4150-2**. Diese Tabelle ist auszugsweise hinsichtlich der nächtlichen Werte in **Tabelle 2** zusammengestellt.

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.

Zeile	Einwirkungsort	Vergleich mit BauNVO	nachts		
			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	GI	0,30	0,60	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind	GE	0,20	0,40	0,10
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	MI, MK, MD, MU	0,15	0,30	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind	WA, WR, WB, WS	0,10	0,20	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	SK, SO	0,10	0,15	0,05

Tabelle 2: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen

2.2.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

2.2.2.1 Allgemeines

Zur Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen werden die Vorgaben der **DIN 4150-3** /6/ 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.

2.2.2.2 Kurzzeitige Erschütterungen

Für die Beurteilung der kurzzeitigen Erschütterungseinwirkungen auf das Gesamtbauwerk sowie auf die Geschosdecken nennt die **DIN 4150-3** Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schädigungen im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht zu erwarten sind. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 3 für unterschiedliche Gebäudearten zusammengefasst.

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ in mm/s				
		Fundament Frequenzen			Oberste Deckenebene, horizontal	Decken, vertikal
		1 Hz bis 10 Hz	10 Hz bis 50 Hz	50 Hz bis 100 Hz *	alle Frequenzen	alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40	20
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15	20
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 bis 8	8 bis 10	8	20
* Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden						

Tabelle 3: Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen auf Gebäude

2.2.2.3 Dauererschütterungen

Die maßgebenden Anhaltswerte für die Beurteilung der auftretenden Dauererschütterungen sind in **Tabelle 4** für unterschiedliche Gebäudearten angegeben. Vertikale Schwinggeschwindigkeiten bis 10 mm/s führen bei Geschossdecken erfahrungsgemäß nicht zu Schäden. Diese Schwingungen sind jedoch 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 4: Anhaltswerte für Dauererschütterungen auf Gebäude

2.3 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.

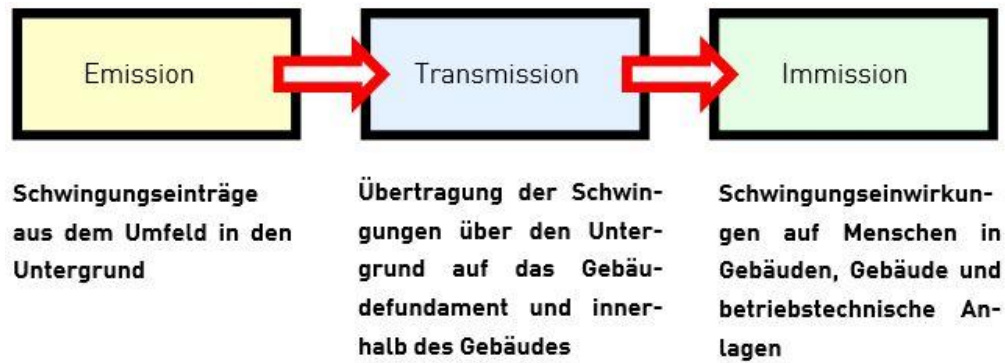


Abbildung 1: Ursachen-Wirkungs-Prinzip

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 1** dargestellten Ursachen-Wirkungs-Prinzip ausgegangen.

2.3.1 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 3.1, Anhang 4.1, Anhang 5.1, Anhang 6.1** und **Anhang 7.1** 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.

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.

2.3.2 Transmission

2.3.2.1 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** /4/ zu Grunde gelegt.

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).

In **Abbildung 2** wird die geometrische Abnahme der Schwingungsamplitude in Abhängigkeit von der Entfernung zur Quelle für verschiedenen Quellentypen und Wellenarten dargestellt.

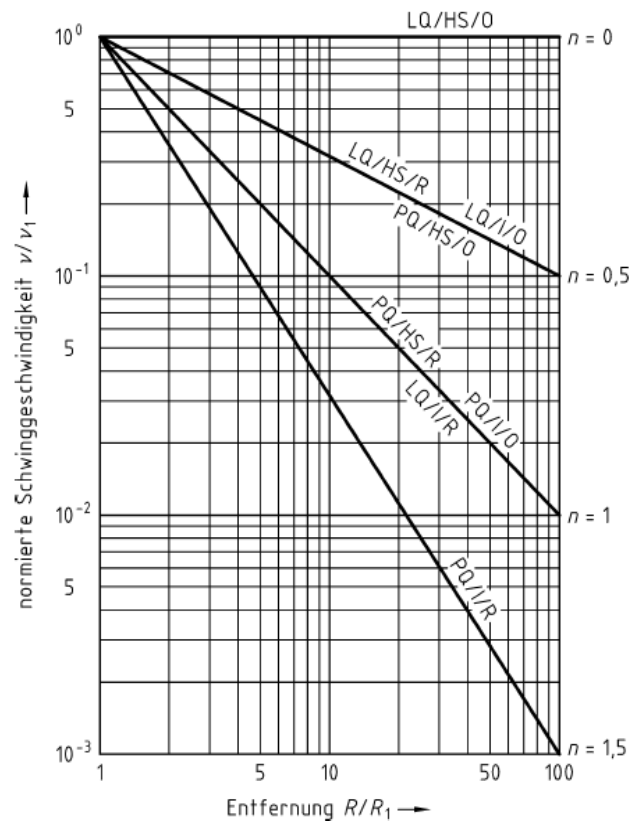


Abbildung 2: Geometrische Abnahme der Schwingungsamplitude

2.3.2.2 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 2.1.1** angegebenen standardisierten Übertragungsfunktion für Einfamilienhäuser ermittelt. Aufgrund der mehrstöckigen Gebäude an der zukünftigen Talstation, werden für die Prognose an dem Einwirkungsort **E0 04** die standardisierte T_2 -Funktion für Mehrfamilienhäuser herangezogen (**Anhang 2.1.2**).

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 Holzbalkendecken zwischen 10 Hz und 20 Hz, die von Stahlbetondecken liegen in der Regel zwischen 20 Hz und 40 Hz. Die der Berechnung zu Grunde gelegten Übertragungsfunktionen für die jeweils ungünstigste Geschossdeckenresonanzfrequenz sind für Holzbalkendecken in **Anhang 2.2.1** bis **Anhang 2.2.3** und für Stahlbetondecken in **Anhang 2.3.1** bis **Anhang 2.3.3** dargestellt. Hierbei wird jeweils der Mittelwert \pm Standardabweichung der T_3 -Funktion berücksichtigt.

2.3.3 Immissionen

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.

3 Örtliche Gegebenheiten

3.1 Beschreibung des Baustellenbetriebs

Planinhalt ist der Rückbau der bestehenden Gleisanlage und bestehenden Talstation, sowie der Neubau der Talstation an der Grötzingen Straße und einer neuen Gleisanlage. Die bestehende Bergstation wird zum Teil zurückgebaut und erweitert. In Summe beträgt die Länge der geplanten Anlage ca. 490 m. Dabei befindet sich die Gleisanlage inmitten eines Wohngebiets.

Nach der Entwurfsplanung des Baustellenbetriebs /11/ wird der gesamte Bereich in unterschiedliche Abschnitte unterteilt, an denen bestimmte Baumaschinen zum Einsatz kommen. Neben dem LKW-Verkehr und den Baggerarbeiten, finden auch Arbeiten statt, die deutliche Erschütterungen emittieren. Das betrifft den Bodenstampfer und die Vibrationsplatte. Durch die Baugrubenumschließung an der zukünftigen Talstation sind Arbeiten wie die Bohrpfehlgründung und den besonders erschütterungsintensiven Einsatz einer Vibrationsramme zu erwarten. Für den Rückbau werden ebenfalls erschütterungsintensive Meißelarbeiten in einem zeitlichen Rahmen von 4 Wochen durchgeführt. Die Arbeiten für den Neubau finden gemäß den gesetzlich geltenden

Rahmenbedingungen während des Tages statt. Nach dem Rückbaukonzept /8/ und dem Logistikkonzept Neubau /9/ ist der Zeitraum für die Arbeiten am Tag zwischen 07:00 Uhr und 17:00 Uhr mit einer täglichen Pause zwischen 12:00 Uhr und 14:00 Uhr festgelegt. Die Arbeiten werden also pro Tag 8 h durchgeführt.

3.2 Einwirkungsbereiche

Die Gebietsnutzungen im Untersuchungsgebiet wurden gemäß dem Geoportal Baden-Württemberg /13/ aus der augenscheinlich tatsächlich vorhandenen Nutzung abgeleitet und entsprechend, gegebenenfalls mit Hinblick auf den kritischeren Fall, angesetzt. Entlang der zukünftigen und bestehenden Gleisanlagen befinden sich ausschließlich Gebäude, welche zum Wohnen genutzt werden.

Die Lage der einzelnen durchzuführenden Bautätigkeiten ist gemäß dem aktuellen Planungsstand berücksichtigt. Es wurden repräsentative Einwirkungsorte betrachtet, die den geringsten Abstand zur Baumaßnahme aufweisen. Bei den untersuchten Einwirkungsorten handelt es sich um die folgenden Immissionsorte (jeweils mit Gebietsnutzung und Abstand zur Baumaßnahme in Metern):

- EO 01 – Wolfweg 6a (WA), 6 m
- EO 02 – Posseltstraße 3 (WA), 11 m
- EO 03 – Wolfweg 10 (WA), 28 m
- EO 04 – Grötzingen Straße 14 (MI), 9 m

Die Lage der Einwirkungsorte sowie die Lage der Baubereiche ist **Anhang 1** zu entnehmen

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Emissionen

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

Im vorliegenden Fall sind die geplanten Bauaktivitäten als erschütterungstechnisch relevant eingestuft. Insbesondere bei den Meißelarbeiten während des Rückbaus und den Rammarbeiten mittels Vibrationsramme könnten Erschütterungen bemerkbar sein.

Bei Erschütterungen infolge von Meißelarbeiten, der Bohrpfahlgründung und durch den Bodestampfer, handelt es sich um Punktquellen. Sie führen zu impulsartigen Schwingungsanregung im Untergrund und an nahe gelegenen Bauwerken. In den Ausbreitungsberechnungen wurde daher ein Exponent

$$n = 1$$

berücksichtigt. Bei der Vibrationsplatte und der Vibrationsramme ist der Quellentyp harmonisch/stationär, deshalb wird bei diesen Arbeiten ein Exponent von

$$n = 0,5$$

angesetzt. Die bewerteten Arbeiten sind aufgrund ihrer Wirkungsweise nicht geeignet, um Resonanzerscheinungen an den Bauwerken hervorzurufen und ist daher als Kurzzeitschütterungen einzustufen. Der Rückbau der bestehenden Gleisanlage und der derzeitigen Talstation, sowie große Teile der Bergstation ist gemäß dem Rückbaukonzept /8/ über einen Gesamtzeitraum von 4 Wochen vorgesehen. Es muss damit gerechnet werden, dass die Meißelarbeiten durchgängig stattfinden. Jedoch werden diese Arbeiten über den genannten Zeitraum entlang der gesamten Strecke durchgeführt. Das bedeutet, dass die Erschütterungseinwirkungen auf ein Einwirkungs-ort deutlich geringer sind. Unter Berücksichtigung aller erschütterungsintensiven Baumaßnahmen ist davon auszugehen, dass diese Arbeiten in einem Zeitraum von **6 Tage** < D ≤ **26 Tage** stattfinden. Die Arbeiten sind ausschließlich im Tagzeitraum vorgesehen.

Das der Berechnung zugrunde gelegte Emissionsspektrum für die Arbeiten mit dem Bodestampfer ist in **Anhang 3.1**, mit der Vibrationsplatte ist in **Anhang 4.1** und für die Meißelarbeiten ist in **Anhang 5.1** dargestellt. Des Weiteren werden an der zukünftigen Talstation voraussichtlich zur Ausführung der Baugrubenumschließung Arbeiten mittels Trägerbohlverbau stattfinden. Hierbei wird entsprechend eine Bohrpfahlgründung als Emissionsquelle angesetzt (**Anhang 6.1**). Des Weiteren muss derzeit mit dem Einsatz einer Vibrationsramme gerechnet werden, dessen Emissionsspektrum findet sich in **Anhang 7.1**.

4.2 Immissionen

4.2.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Als erschütterungsintensive Einwirkungen sind im vorliegenden Fall die im Rahmen des Rückbaus zu erwartenden Meißelarbeiten zu betrachten.

Dabei handelt es sich jeweils um Arbeiten, welche an der gesamten bestehenden Anlage entlang, auftreten werden. Dem Rückbaukonzept /8/ kann entnommen werden, dass für den Rückbau beider Stationen und der Gleisanlage ein Zeitraum von 4 Wochen vorgesehen ist. Dabei sind alle anfallenden Arbeiten, die zum Abbruch erforderlich sind, innerhalb dieser Zeit durchzuführen. Eine detaillierte Angabe, an wie vielen Tagen tatsächlich Abbrucharbeiten durchzuführen sind und welche den Einsatz des Abbruchmeißels zur Folge haben könnten, ist nicht gegeben. Es wurde daher zur Beurteilung ein Zeitraum von 7 - 26 Tagen herangezogen. Über eine Dauer von 4 Wochen sind die ebenfalls besonders erschütterungsintensive Arbeiten mit der Vibrationsramme zu untersuchen, die für die Baugrubenumschließung zum Einsatz kommen könnte.

Folglich sind die Anhaltswerte gemäß **DIN 4150-2**, Bild 3 entsprechend der genannten Einwirkdauer heranzuziehen. Die in der vorliegenden Untersuchung der Beurteilung zu Grunde zu liegenden Anhaltswerte der Stufe II (gemäß EBA-Richtlinie) sind in **Tabelle 5** dargestellt.

Dauer	D = 7 - 26 Tage		
	1	2	3
Anhaltswerte	A_u	A_o	A_r
Stufe II	0,8	5	0,6

Tabelle 5: Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen

Die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen der Baumaßnahme erfolgt für die jeweils ungünstigsten Deckeneigenfrequenzen für Holzbalken- bzw. Stahlbetondecken, die in **Anhang 2.2.1** bis **Anhang 2.2.3** und **Anhang 2.3.1** bis **Anhang 2.3.3** grafisch und tabellarisch dargestellt sind. Dabei wurden als ungünstigste Deckeneigenfrequenzen beim Einsatz des untersuchten Bodensampfers, der Vibrationsplatte und der Meißelarbeiten, sowie den Arbeiten mit der Vibrationsramme

- $f_0 = 20,0$ Hz bei Holzbalkendecken bzw.
- $f_0 = 40,0$ Hz bei Stahlbetondecken

herangezogen. Für den Verbau mit einer Bohrpfahlgründung an der zukünftigen Talstation sind hingegen folgende Deckeneigenfrequenzen am ungünstigsten und für die Immissionen herangezogen worden:

- $f_0 = 16,0$ Hz bei Holzbalkendecken bzw.
- $f_0 = 25,0$ Hz bei Stahlbetondecken

Für die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen aus dem Baubetrieb wurden sowohl Holzbalken- als auch Stahlbetondecken untersucht, um Fehleinschätzungen bei der Festlegung der Deckenart zu vermeiden. Zudem wurden die Deckeneigenfrequenzen ausgewählt, die aufgrund der spezifischen Emissionen von unterschiedlichen Baumaschinen das höchste Konfliktpotential

aufweisen. Die Festlegung von Erschütterungsminderungsmaßnahmen erfolgt dabei dann jeweils ausgelegt auf die ungünstige Deckenkonstruktion.

4.2.1.1 Bodenstampfer

Die Schwingstärken für die durchzuführenden Arbeiten wurden anhand der Ausbreitungskurven in **Anhang 3.2** dargestellt. Demnach kann der obere Anhaltswert am Tag $A_{o,Tag}$ (5,0 bei Wohn- und Mischgebieten) unabhängig von der Deckenkonstruktion bei den Arbeiten mit dem Bodenstampfer, bereits bei einem Abstand von

$$r > 1 \text{ m}$$

zum Baufeld eingehalten werden. Der untere Anhaltswert $A_{u,Tag}$ der **Stufe II**, welcher gemäß EBA-Verfügung /7/ zumutbar ist und auf welchen demnach abzustellen ist, wird ab Abständen von

$$r_{Tag, Stufe II} \geq 3 \text{ m} / 5 \text{ m (Hb/Stb)}$$

unterschritten.

Bei den gegebenen Abstandsverhältnissen zu den exemplarisch untersuchten Einwirkungsorten für die Bauarbeiten **EO 01** (6 m), **EO 02** (11 m) und **EO 03** (28 m) werden die oberen Anhaltswerte $A_{o,Tag}$ unabhängig von der Deckenkonstruktion unterschritten. Der untere Anhaltswert $A_{u,Tag}$ der Stufe II kann am **EO 01**, **EO 02** und **EO 03** uneingeschränkt eingehalten werden. Folglich wird der 2. Beurteilungsschritt gemäß **DIN 4150-2**, die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} , nicht erforderlich.

Die Beurteilungsschwingstärke für die Arbeiten mit dem Bodenstampfer ist im **Anhang 3.3.1** für Holzbalkendecken und **Anhang 3.3.2** für Stahlbetondecken in Abhängigkeit von der tatsächlichen Einwirkzeit während des Tagzeitraumes dargestellt. Es kann diesem Diagramm entnommen werden, dass zur Einhaltung der **Stufe II** der **DIN 4150-2** an dem untersuchten Einwirkungsorten die Dauer der reinen Bauarbeiten auf maximal

$$T_E \leq 14 \text{ h Stunden pro Tag (EO 01)}$$

zu begrenzen ist. Jedoch werden die Bauarbeiten durch das Logistikkonzept Neubau auf 8 h pro Tag begrenzt.

4.2.1.2 Vibrationsplatte

Die Schwingstärken für die durchzuführenden Arbeiten wurden anhand der Ausbreitungskurven in **Anhang 4.2** dargestellt. Demnach kann der obere Anhaltswert am Tag $A_{o,Tag}$ (5,0 bei Wohn- und Mischgebieten) unabhängig von der Deckenkonstruktion bei den Arbeiten mit dem Bodenstampfer, bereits bei einem Abstand von

$r > 1 \text{ m}$

zum Baufeld eingehalten werden. Der untere Anhaltswert **$A_{u,Tag}$** der **Stufe II**, welcher gemäß EBA-Verfügung /7/ zumutbar ist und auf welchen demnach abzustellen ist, wird ab Abständen von

$r_{\text{Tag, Stufe II}} \geq 4 \text{ m} / 10 \text{ m (Hb/Stb)}$

unterschritten.

Bei den gegebenen Abstandsverhältnissen zu den exemplarisch untersuchten Einwirkungsorten für die Bauarbeiten **EO 01** (6 m), **EO 02** (11 m) und **EO 03** (28 m) werden die oberen Anhaltswerte **$A_{o,Tag}$** unabhängig von der Deckenkonstruktion unterschritten. Der untere Anhaltswert **$A_{u,Tag}$** der Stufe II kann am **EO 02** und **EO 03** uneingeschränkt eingehalten werden. Folglich wird der 2. Beurteilungsschritt gemäß **DIN 4150-2**, die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärke **KB_{Fr}** , an **EO 01** erforderlich.

Die Beurteilungsschwingstärke für die Arbeiten mit dem Bodenstampfer ist im **Anhang 4.3.1** für Holzbalkendecken und **Anhang 4.3.2** für Stahlbetondecken in Abhängigkeit von der tatsächlichen Einwirkzeit während des Tagzeitraumes dargestellt. Es kann diesem Diagramm entnommen werden, dass zur Einhaltung der **Stufe II** der **DIN 4150-2** an dem untersuchten Einwirkungsorten die Dauer der reinen Bauarbeiten auf maximal

$T_E \leq 4,5 \text{ h Stunden pro Tag (EO 01)}$

zu begrenzen ist.

4.2.1.3 Meißelarbeiten

Die Schwingstärken für die durchzuführenden Arbeiten wurden anhand der Ausbreitungskurven in **Anhang 5.2** dargestellt. Demnach kann der obere Anhaltswert am Tag **$A_{o,Tag}$** (5,0 bei Wohn- und Mischgebieten) unabhängig von der Deckenkonstruktion bei den erschütterungsintensivsten Arbeiten, den Meißelarbeiten, bereits bei einem Abstand von

$r > 2 \text{ m}$

zum Baufeld eingehalten werden. Der untere Anhaltswert **$A_{u,Tag}$** der **Stufe II**, welcher gemäß EBA-Verfügung /7/ zumutbar ist und auf welchen demnach abzustellen ist, wird ab Abständen von

$r_{\text{Tag, Stufe II}} \geq 7 \text{ m} / 9 \text{ m (Hb/Stb)}$

unterschritten.

Bei den gegebenen Abstandsverhältnissen zu den exemplarisch untersuchten Einwirkungsorten für die Rückbauarbeiten **EO 01** (6 m), **EO 02** (11 m) und **EO 03** (28 m) werden die oberen Anhaltswerte $A_{o,Tag}$ unabhängig von der Deckenkonstruktion unterschritten. Der untere Anhaltswert $A_{u,Tag}$ der Stufe II kann am **EO 02** und **EO 03** uneingeschränkt eingehalten werden. Folglich wird der 2. Beurteilungsschritt gemäß **DIN 4150-2**, die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} , für **EO 01** erforderlich.

Die Beurteilungsschwingstärke für die Meißelarbeiten ist im **Anhang 5.3.1** für Holzbalkendecken und **Anhang 5.3.2** für Stahlbetondecken in Abhängigkeit von der tatsächlichen Einwirkzeit während des Tagzeitraumes dargestellt. Somit kann diesem Diagramm entnommen werden, dass zur Einhaltung der **Stufe II** der **DIN 4150-2** an dem untersuchten Einwirkungsorten die Dauer der reinen Rückbauarbeiten auf maximal

$$T_E \leq 3,5 \text{ Stunden pro Tag (EO 01)}$$

zu begrenzen ist.

4.2.1.4 Verbau durch Bohrpfehlgründung

Die Schwingstärken für die durchzuführenden Arbeiten wurden anhand der Ausbreitungskurven in **Anhang 6.2** dargestellt. Demnach kann der obere Anhaltswert am Tag $A_{o,Tag}$ (5,0 bei Wohn- und Mischgebieten) unabhängig von der Deckenkonstruktion bei den erschütterungsintensivsten Arbeiten, dem Verbau, bereits bei einem Abstand von

$$r > 1 \text{ m}$$

zum Baufeld eingehalten werden. Der untere Anhaltswert $A_{u,Tag}$ der **Stufe II**, welcher gemäß EBA-Verfügung /7/ zumutbar ist und auf welchen demnach abzustellen ist, wird ab Abständen von

$$r_{Tag, Stufe II} \geq 6 \text{ m} / 5 \text{ m (Hb/Stb)}$$

unterschritten.

Bei den gegebenen Abstandsverhältnissen zu dem exemplarisch untersuchten Einwirkungsort für den Verbau für die zukünftige Talstation **EO 04** (9 m) werden die oberen Anhaltswerte $A_{o,Tag}$ unabhängig von der Deckenkonstruktion unterschritten. Der untere Anhaltswert $A_{u,Tag}$ der Stufe II kann am **EO 04** uneingeschränkt eingehalten werden. Folglich wird der 2. Beurteilungsschritt gemäß **DIN 4150-2**, die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} , für **EO 04** nicht erforderlich.

Die Beurteilungsschwingstärke für den Verbau ist im **Anhang 6.3.1** für Holzbalkendecken und **Anhang 6.3.2** für Stahlbetondecken in Abhängigkeit von der tatsächlichen Einwirkzeit während

des Tagzeitraumes dargestellt. Es kann diesem Diagramm entnommen werden, dass zur Einhaltung der **Stufe II** der **DIN 4150-2** an dem untersuchten Einwirkungsorten die Dauer der reinen Bauarbeiten nicht zu beschränken ist. Jedoch werden die Bauarbeiten durch das Logistikkonzept Neubau auf 8 h pro Tag begrenzt.

4.2.1.5 Vibrationsramme

Die Schwingstärken für die durchzuführenden Arbeiten wurden anhand der Ausbreitungskurven in **Anhang 7.2** dargestellt. Demnach kann der obere Anhaltswert am Tag $A_{o,Tag}$ (5,0 bei Wohn- und Mischgebieten) unabhängig von der Deckenkonstruktion bei den erschütterungsintensivsten Arbeiten, den Rammarbeiten, bereits bei einem Abstand von

$$r > 2 \text{ m}$$

zum Baufeld eingehalten werden. Der untere Anhaltswert $A_{u,Tag}$ der **Stufe II**, welcher gemäß EBA-Verfügung /7/ zumutbar ist und auf welchen demnach abzustellen ist, wird ab Abständen von

$$r_{Tag, Stufe II} \geq 15 \text{ m} / 40 \text{ m (Hb/Stb)}$$

unterschritten.

Bei den gegebenen Abstandsverhältnissen zu dem exemplarisch untersuchten Einwirkungsort für die Rammarbeiten **EO 04** (9 m) werden die oberen Anhaltswerte $A_{o,Tag}$ unabhängig von der Deckenkonstruktion unterschritten. Der 2. Beurteilungsschritt gemäß **DIN 4150-2**, die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärke KB_{Ftr} , wird für **EO 04** demnach erforderlich.

Die Beurteilungsschwingstärke für die Rammarbeiten ist im **Anhang 7.3.1** für Holzbalkendecken und **Anhang 7.3.2** für Stahlbetondecken in Abhängigkeit von der tatsächlichen Einwirkzeit während des Tagzeitraumes dargestellt. Somit kann diesem Diagramm entnommen werden, dass zur Einhaltung der **Stufe II** der **DIN 4150-2** an dem untersuchten Einwirkungsorten die Dauer der reinen Rammarbeiten auf maximal

$$T_E \leq 1 \text{ Stunde pro Tag (EO 04)}$$

zu begrenzen ist.

4.2.1.6 Vermeidungsmaßnahmen

Während der Bautätigkeiten können erhebliche Belästigungen infolge von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden ausgeschlossen werden. Die Anhaltswerte können uneingeschränkt eingehalten werden. Lediglich am **EO 01** und an den Gebäuden mit einem Abstand von bis zu 8 m, sowie am **EO 04** durch die Rammarbeiten ist darauf zu achten, dass die Erschütterungsintensiven Arbeiten nicht den folgend angegebenen Zeitraum überschreiten.

- ⇒ Vibrationsplatte / Meißelarbeiten am EO 01 < 4,5 h / 3,5 h
- ⇒ Vibrationsplatte / Meißelarbeiten bei EO 's in 8 m Entfernung < 6,5 h / 7 h
- ⇒ Vibrationsramme am EO 04 ≤ 1 h

Somit kann der Anhaltswert der Stufe II eingehalten werden.

Um die psychischen Auswirkungen von Erschütterungseinwirkungen zu vermindern können weitere Maßnahmen zur Minderung erheblicher Belästigungen ergriffen werden. Hierzu empfiehlt es sich, dass die im Abschnitt 6.5.4.3 der **DIN 4150-2** aufgeführten Maßnahmen a) bis e) vor Beginn der erschütterungsverursachenden Baumaßnahme ergriffen werden.

- 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.*

4.2.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

4.2.2.1 Bodenstampfer

Die Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Abstand der Bauarbeiten zu den nächstgelegenen Gebäuden sind für Holzbalkendecken in **Anhang 3.4.1** und für Stahlbetondecken in **Anhang 3.4.2** dargestellt. Für die maßgebenden Geschossdecken an den exemplarischen Einwirkungsorten (Holzbalken/Stahlbeton) werden maximale Werte

$$v_{\max} \leq 0,8 / 1,2 \text{ mm/s (EO 01)}$$

$$v_{\max} \leq 0,4 / 0,6 \text{ mm/s (EO 02)}$$

$$v_{\max} \leq 0,1 / 0,2 \text{ mm/s (EO 03)}$$

ausgewiesen. Der Vergleich mit dem Anhaltswert

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

gemäß **DIN 4150-3** für kurzzeitige Erschütterungen auf Geschossdecken belegt, dass während den Arbeiten mit dem Bodenstampfer **nicht mit Gebäudeschäden** durch baubedingte Erschütterungen in Sinne der **DIN 4150-3** zu rechnen ist.

4.2.2.2 Vibrationsplatte

Die Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Abstand der Bauarbeiten zu den nächstgelegenen Gebäuden sind für Holzbalkendecken in **Anhang 4.4.1** und für Stahlbetondecken in **Anhang 4.4.2** dargestellt. Für die maßgebenden Geschossdecken an den exemplarischen Einwirkungsorten (Holzbalken/Stahlbeton) werden maximale Werte

$$v_{\max} \leq 1,2 / 2,0 \text{ mm/s (EO 01)}$$

$$v_{\max} \leq 0,8 / 1,4 \text{ mm/s (EO 02)}$$

$$v_{\max} \leq 0,4 / 0,8 \text{ mm/s (EO 03)}$$

ausgewiesen. Der Vergleich mit dem Anhaltswert

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

gemäß **DIN 4150-3** für kurzzeitige Erschütterungen auf Geschossdecken belegt, dass während den Arbeiten mit der Vibrationsplatte **nicht mit Gebäudeschäden** durch baubedingte Erschütterungen in Sinne der **DIN 4150-3** zu rechnen ist.

4.2.2.3 Meißelarbeiten

Die Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Abstand der Rückbauarbeiten zu den nächstgelegenen Gebäuden sind für Holzbalkendecken in **Anhang 5.4.1** und für Stahlbetondecken in **Anhang 5.4.2** dargestellt. Für die maßgebenden Geschossdecken an den exemplarischen Einwirkungsorten (Holzbalken/Stahlbeton) werden maximale Werte

$$v_{\max} \leq 1,8 / 2,2 \text{ mm/s (EO 01)}$$

$$v_{\max} \leq 0,8 / 1,2 \text{ mm/s (EO 02)}$$

$$v_{\max} \leq 0,3 / 0,4 \text{ mm/s (EO 03)}$$

ausgewiesen. Der Vergleich mit dem Anhaltswert

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

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

4.2.2.4 Verbau durch Bohrpfahlgründung

Die Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Abstand der Bauarbeiten zu den nächstgelegenen Gebäuden sind für Holzbalkendecken in **Anhang 6.4.1** und für Stahlbetondecken in **Anhang 6.4.2** dargestellt. Für die maßgebenden Geschossdecken an den exemplarischen Einwirkungsorten (Holzbalken/Stahlbeton) werden maximale Werte

$$v_{\max} \leq 1,0 / 0,8 \text{ mm/s (EO 04)}$$

ausgewiesen. Der Vergleich mit dem Anhaltswert

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

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

4.2.2.5 Vibrationsramme

Die Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Abstand der Rammarbeiten zu den nächstgelegenen Gebäuden sind für Holzbalkendecken in **Anhang 6.4.1** und für Stahlbetondecken in **Anhang 6.4.2** dargestellt. Für die maßgebenden Geschossdecken an den exemplarischen Einwirkungsorten (Holzbalken/Stahlbeton) werden maximale Werte

$$v_{\max} \leq 1,8 / 3,8 \text{ mm/s (EO 04)}$$

ausgewiesen. Der Vergleich mit dem Anhaltswert

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

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

5 Zusammenfassung

Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (**BImSchG, /1/**) soll jede Baustelle so geplant oder eingerichtet und betrieben werden, dass Erschütterungen 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.

Im Zusammenhang mit den Baumaßnahmen, die für das Vorhaben „Turmbergbahn Karlsruhe-Durlach“, hier speziell mit dem Rückbau der Gleisanlage und sowie den Arbeiten zur Errichtung der Talstation anfallen, 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:

- Die erschütterungsintensiven Arbeiten durch den Bodenstampfer, durch die Rüttelplatte und durch die Meißelarbeiten, sowie der Bohrpfahlgründung und der Vibrationsramme, die während des Neubaus oder des Rückbaus der bestehenden Gleisanlage der Turmbergbahn evtl. zu erschütterungstechnischen Einwirkungen um Umfeld führen könnten, wurden untersucht.
- Erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden durch die erschütterungsintensiven Arbeiten während der Abbrucharbeiten sind ab einen Abstand von 10 m, unabhängig von der Deckenkonstruktion, auszuschließen.
- Bei den gegebenen Abstandsverhältnissen ist bei den Meißelarbeiten am **EO 01** und unter der Voraussetzung, dass dieser nächstgelegene Einwirkungsort mit Stahlbetondecken ausgestattet ist, die durchzuführenden Arbeiten zeitlich zu begrenzen. Sofern hier aber innerhalb eines Zeitraums von weniger als 3,5 Stunden gearbeitet wird, kann auch hier davon ausgegangen werden, dass keine Belästigungen von Menschen in Gebäuden entstehen.
- Erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden durch die erschütterungsintensiven Arbeiten während des Einsatzes der Vibrationsramme sind ab einen Abstand von 40 m, unabhängig von der Deckenkonstruktion, auszuschließen.

- Bei den gegebenen Abstandsverhältnissen ist bei den Rammarbeiten am **EO 04** die durchzuführenden Arbeiten zeitlich zu begrenzen. Sofern hier aber in einem Zeitraum von maximal 1 Stunde pro Tag gearbeitet wird, kann auch hier davon ausgegangen werden, dass keine erheblichen Belästigungen von Menschen in Gebäuden vorliegen werden.
- Unabhängig von der Konfliktfreiheit wird grundsätzlich empfohlen die Maßnahmen a) bis e) der **DIN 4150 -2** für die nächstgelegenen Gebäude umzusetzen.
- Gebäudeschäden im Sinne der **DIN 4150-3** sind während der geplanten Arbeiten nicht zu erwarten.


6 Anhänge

Anhang 1	Übersichtslageplan
Anhang 2	Gebäudeübertragungsfunktionen
Anhang 3	Untersuchungsergebnisse des Bodenstumpfers
Anhang 4	Untersuchungsergebnisse der Vibrationsplatte
Anhang 5	Untersuchungsergebnisse der Meißelarbeiten
Anhang 6	Untersuchungsergebnisse der Bohrpfahlgründung
Anhang 7	Untersuchungsergebnisse der Vibrationsramme

AUFGESTELLT:


B. Eng. Mikis Gutsche

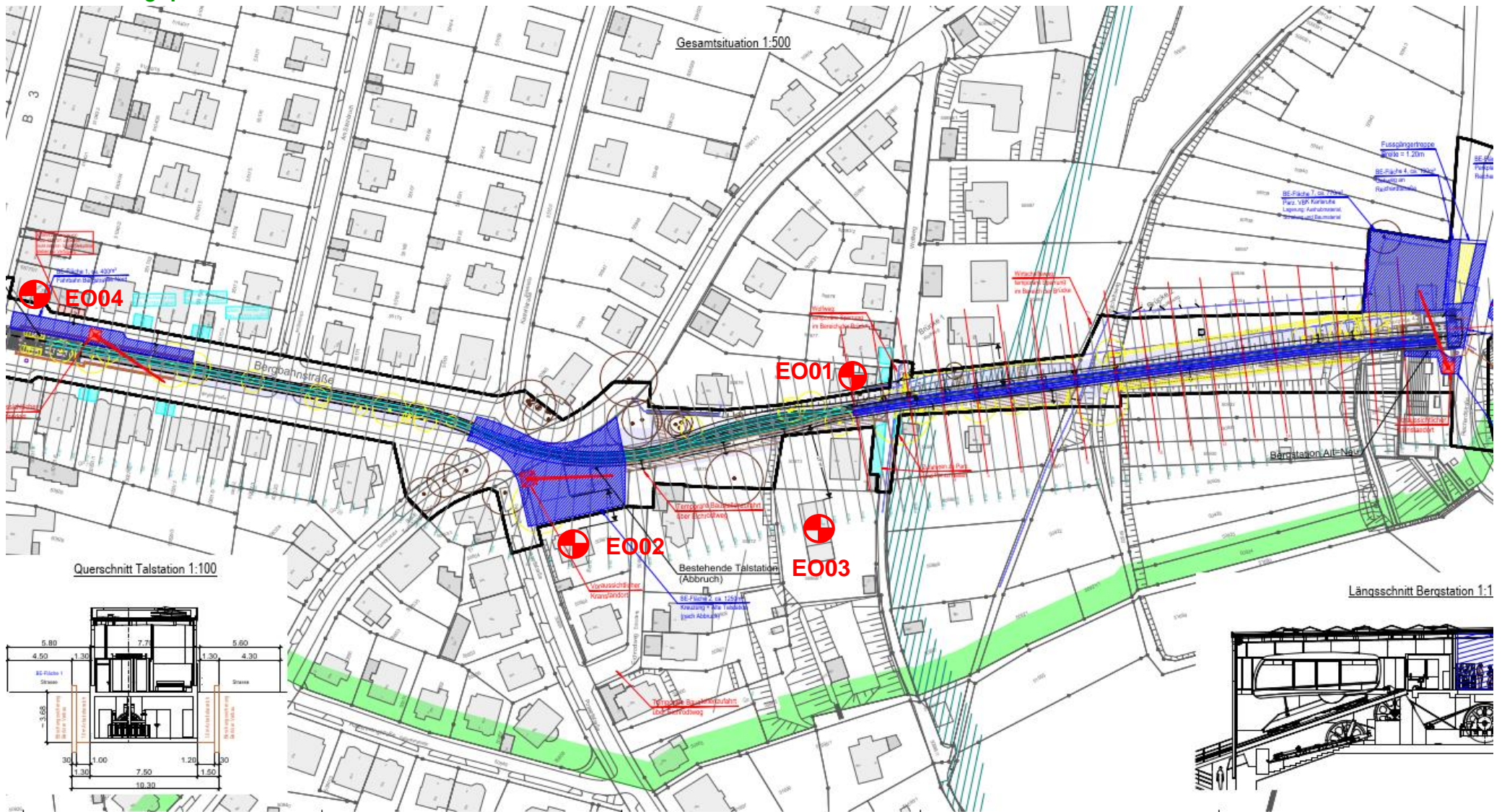
GEPRÜFT UND FREIGEgeben:



Dipl.-Phys. Andreas Malizki

ENDE DES BERICHTS

ANHANG

Übersichtslageplan



 Einwirkungsorte (E0)

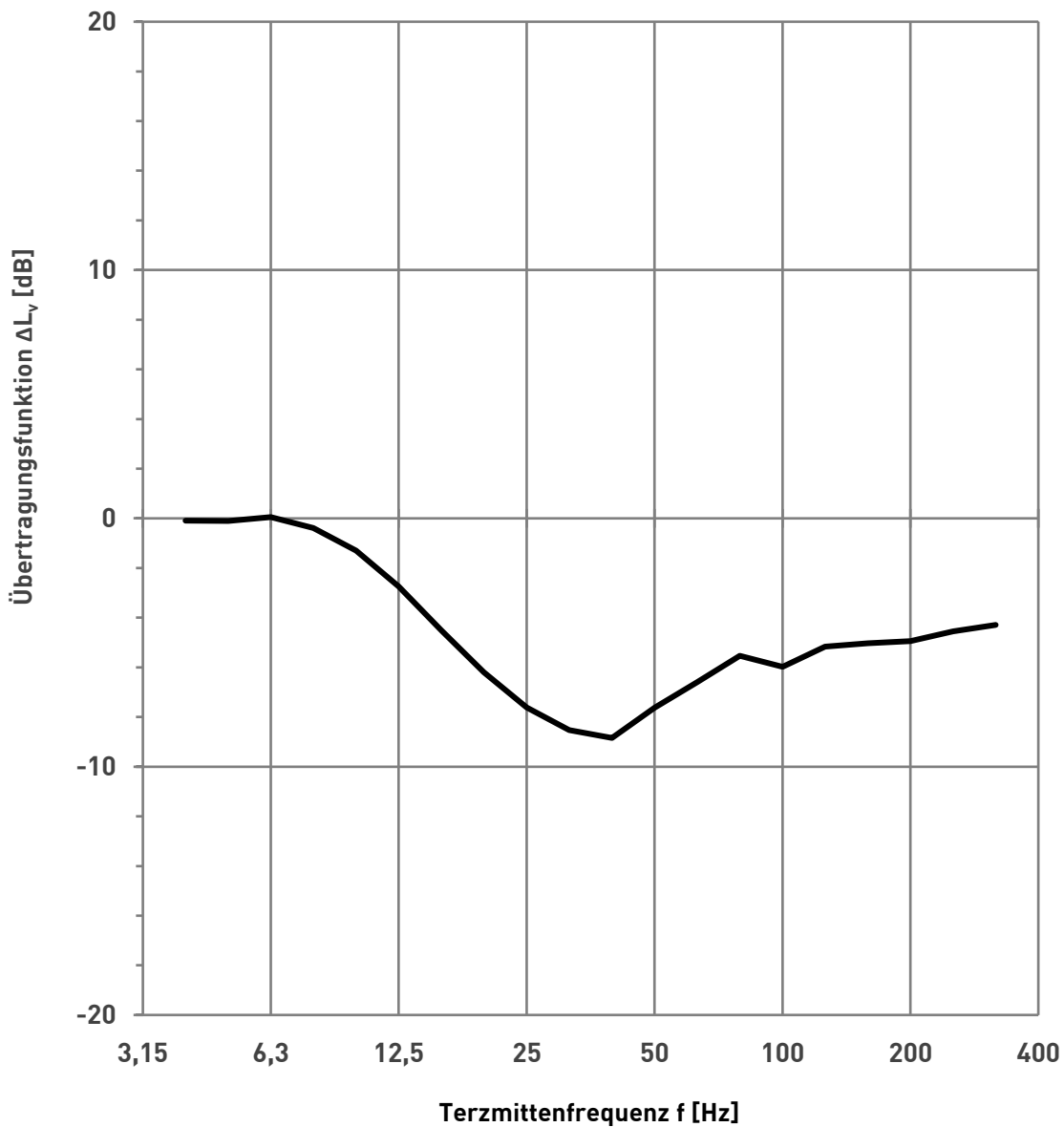
T₂-Funktion Übertragung Erdreich - Fundament

Quelle: Statistische Auswertung der vorliegenden Messergebnisse
für insgesamt 112 Bebauungen
KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Übertragung vom Erdreich auf das Gebäudefundament

Gebäudetyp: Einfamilienhäuser

Schwingrichtung: vertikal (z)



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

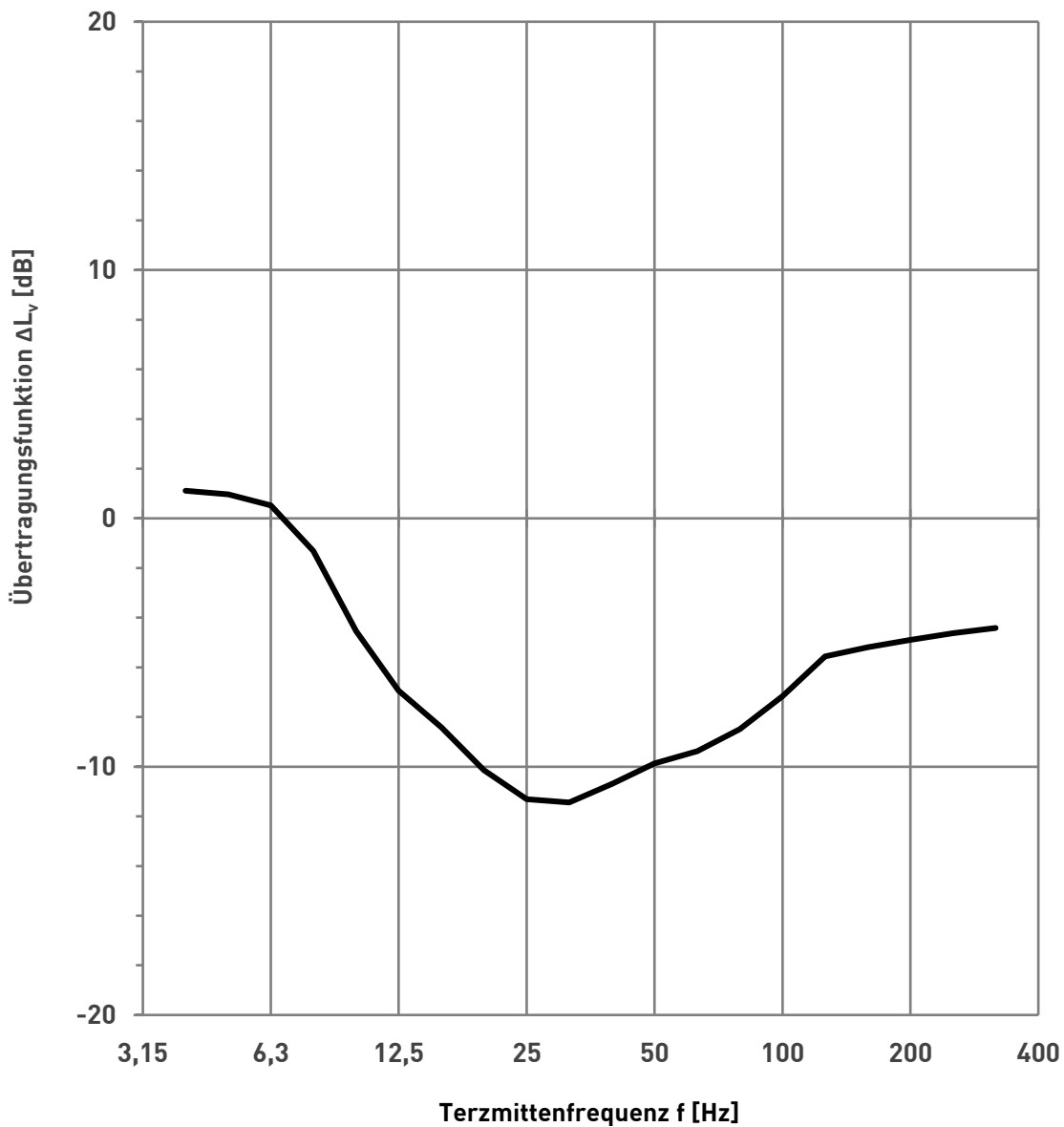
T₂-Funktion Übertragung Erdreich - Fundament

Quelle: Statistische Auswertung der vorliegenden Messergebnisse
für insgesamt 112 Bebauungen
KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Übertragung vom Erdreich auf das Gebäudefundament

Gebäudetyp: Mehrfamilienhäuser

Schwingrichtung: vertikal (z)



ΔL_v [dB]	f [Hz]
1,1	4
1,0	5
0,5	6,3
-1,3	8
-4,5	10
-6,9	12,5
-8,4	16
-10,1	20
-11,3	25
-11,4	31,5
-10,7	40
-9,9	50
-9,4	63
-8,5	80
-7,2	100
-5,6	125
-5,2	160
-4,9	200
-4,6	250
-4,4	315

T₃-Funktion

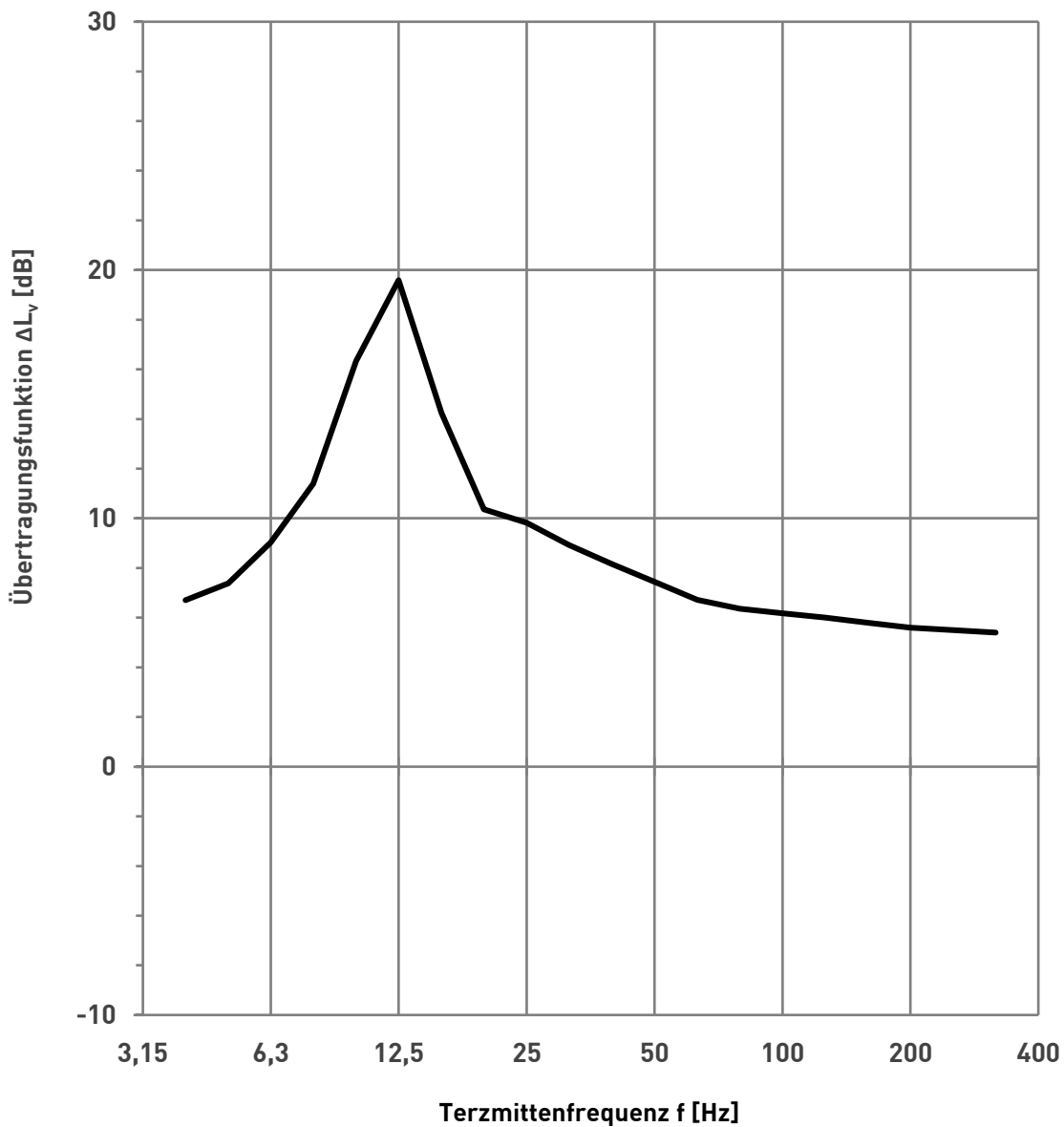
Übertragung Fundament - Geschossdecke

Quelle: Statistische Auswertung der vorliegenden Messergebnisse
für 79 Bebauungen
KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Deckenart: Holzbalkendecke

Schwingrichtung: z

Deckeneigenfrequenz: f = 12,5 Hz



ΔL _v [dB]	f [Hz]
6,7	4
7,4	5
9,0	6,3
11,4	8
16,3	10
19,6	12,5
14,3	16
10,4	20
9,8	25
8,9	31,5
8,2	40
7,4	50
6,7	63
6,4	80
6,2	100
6,0	125
5,8	160
5,6	200
5,5	250
5,4	315

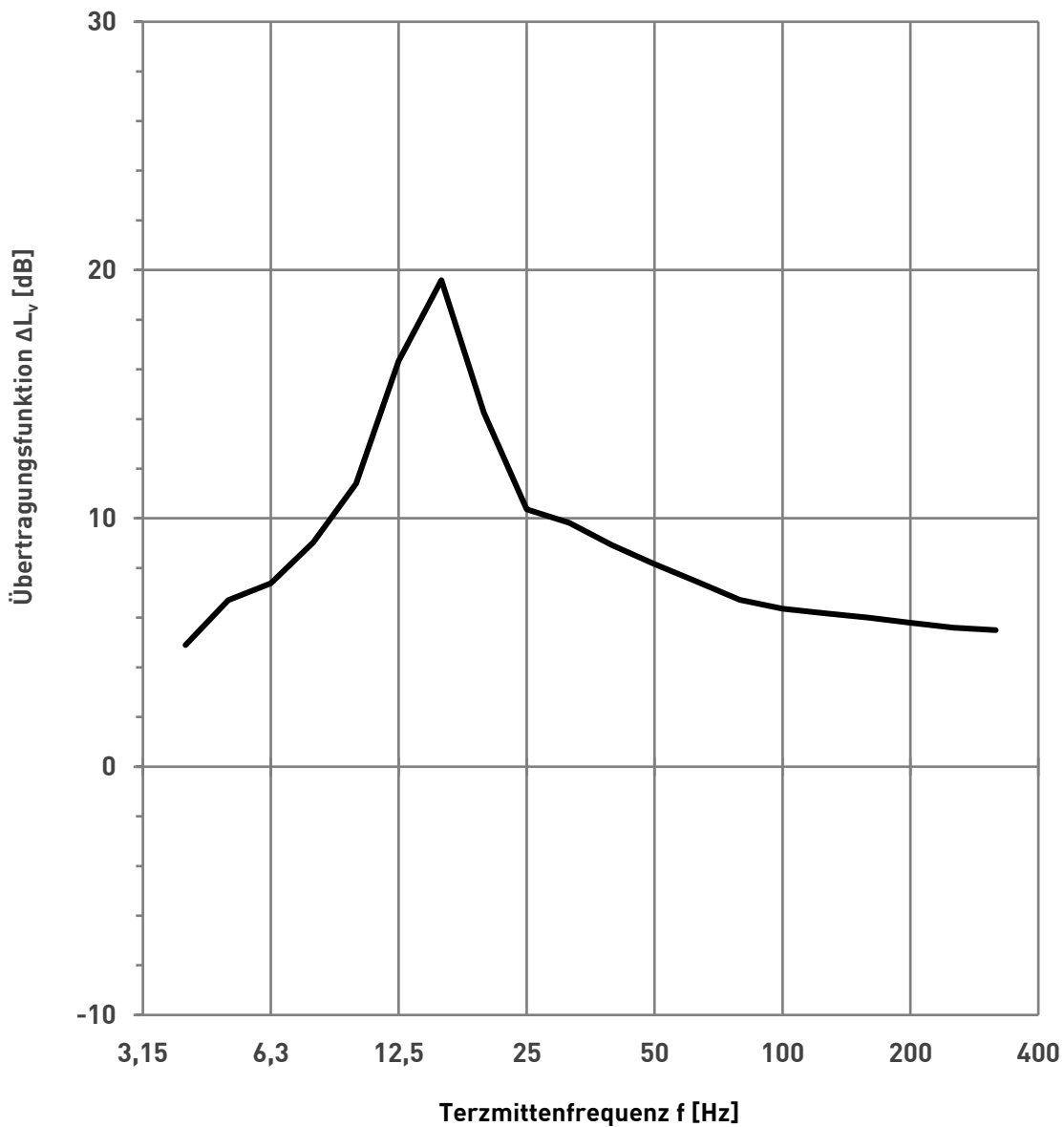
T₃-Funktion Übertragung Fundament - Geschossdecke

Quelle: Statistische Auswertung der vorliegenden Messergebnisse
 für 79 Bepauungen
 KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Deckenart: Holzbalkendecke

Schwingrichtung: z

Deckeneigenfrequenz: f = 16 Hz



ΔL _v [dB]	f [Hz]
4,9	4
6,7	5
7,4	6,3
9,0	8
11,4	10
16,3	12,5
19,6	16
14,3	20
10,4	25
9,8	31,5
8,9	40
8,2	50
7,4	63
6,7	80
6,4	100
6,2	125
6,0	160
5,8	200
5,6	250
5,5	315

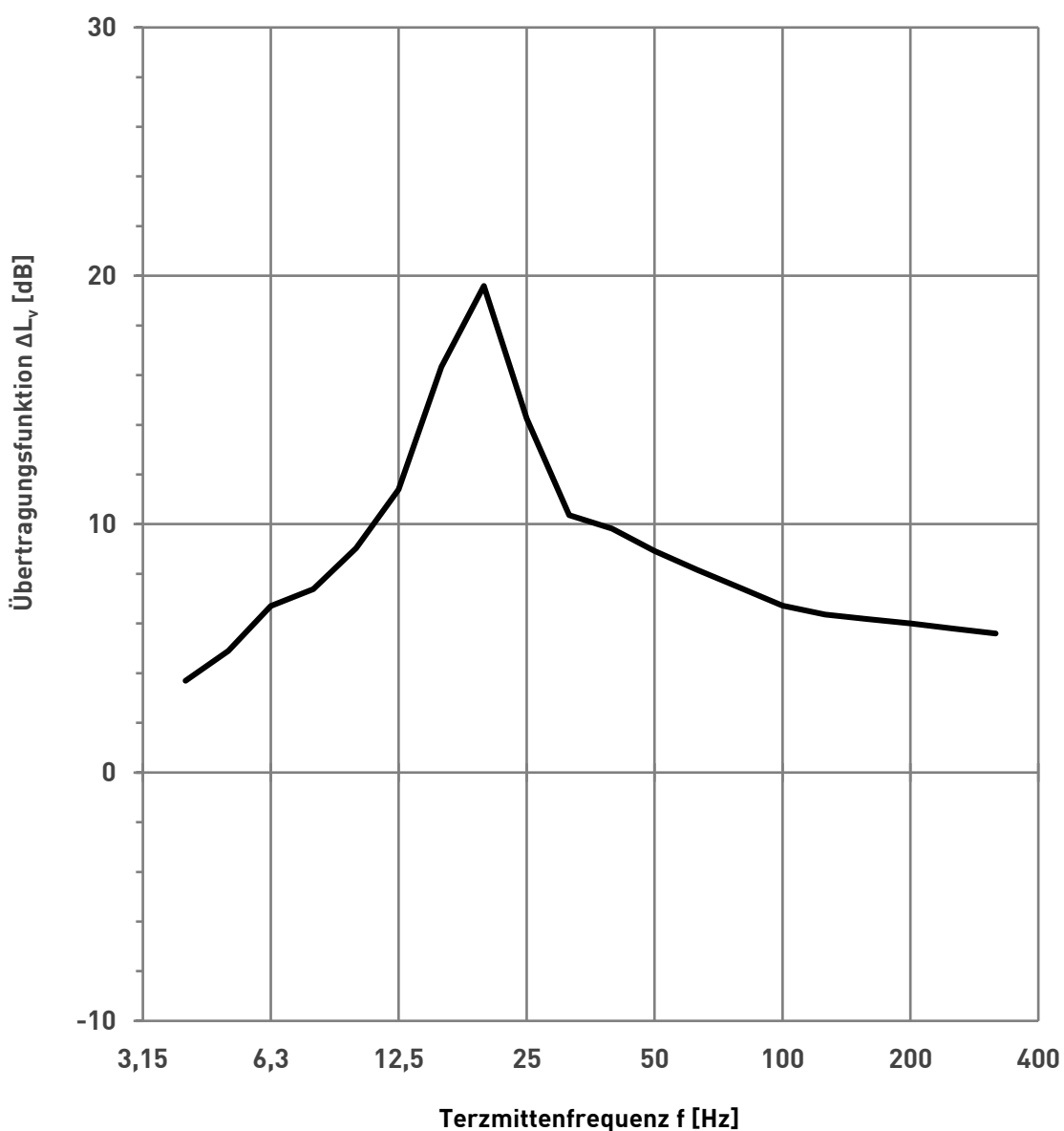
T₃-Funktion Übertragung Fundament - Geschossdecke

Quelle: Statistische Auswertung der vorliegenden Messergebnisse
 für 79 Bebauungen
 KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Deckenart: Holzbalkendecke

Schwingrichtung: z

Deckeneigenfrequenz: f = 20 Hz



ΔL_v [dB]	f [Hz]
3,7	4
4,9	5
6,7	6,3
7,4	8
9,0	10
11,4	12,5
16,3	16
19,6	20
14,3	25
10,4	31,5
9,8	40
8,9	50
8,2	63
7,4	80
6,7	100
6,4	125
6,2	160
6,0	200
5,8	250
5,6	315

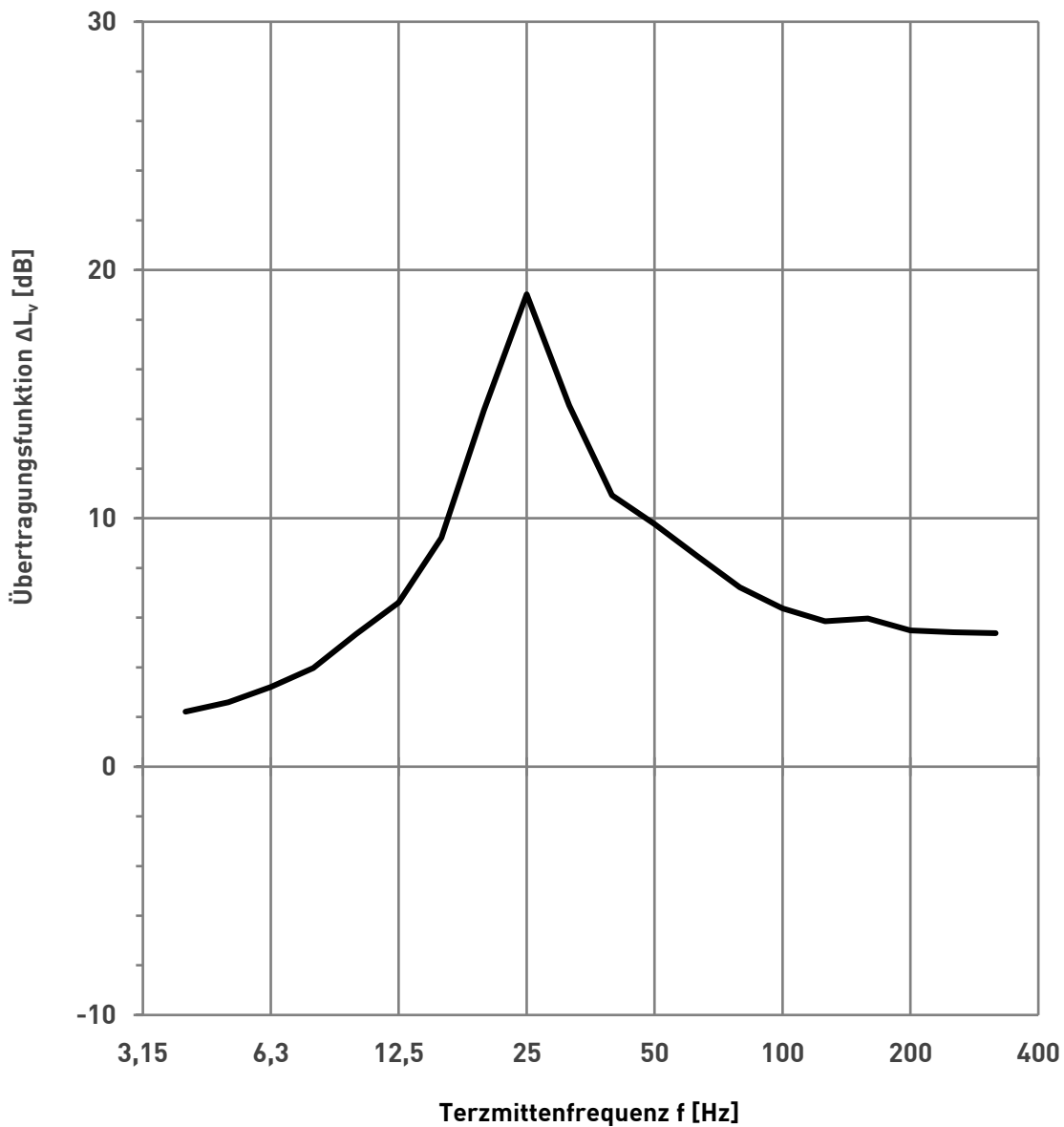
T₃-Funktion Übertragung Fundament - Geschossdecke

Quelle: Statistische Auswertung der vorliegenden Messergebnisse
 für 413 Bebauungen
 KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Deckenart: Stahlbetondecke

Schwingrichtung: z

Deckeneigenfrequenz: f = 25 Hz



ΔL_v [dB]	f [Hz]
2,2	4
2,6	5
3,2	6,3
4,0	8
5,3	10
6,6	12,5
9,2	16
14,4	20
19,0	25
14,6	31,5
10,9	40
9,8	50
8,5	63
7,2	80
6,4	100
5,9	125
6,0	160
5,5	200
5,4	250
5,4	315

T₃-Funktion

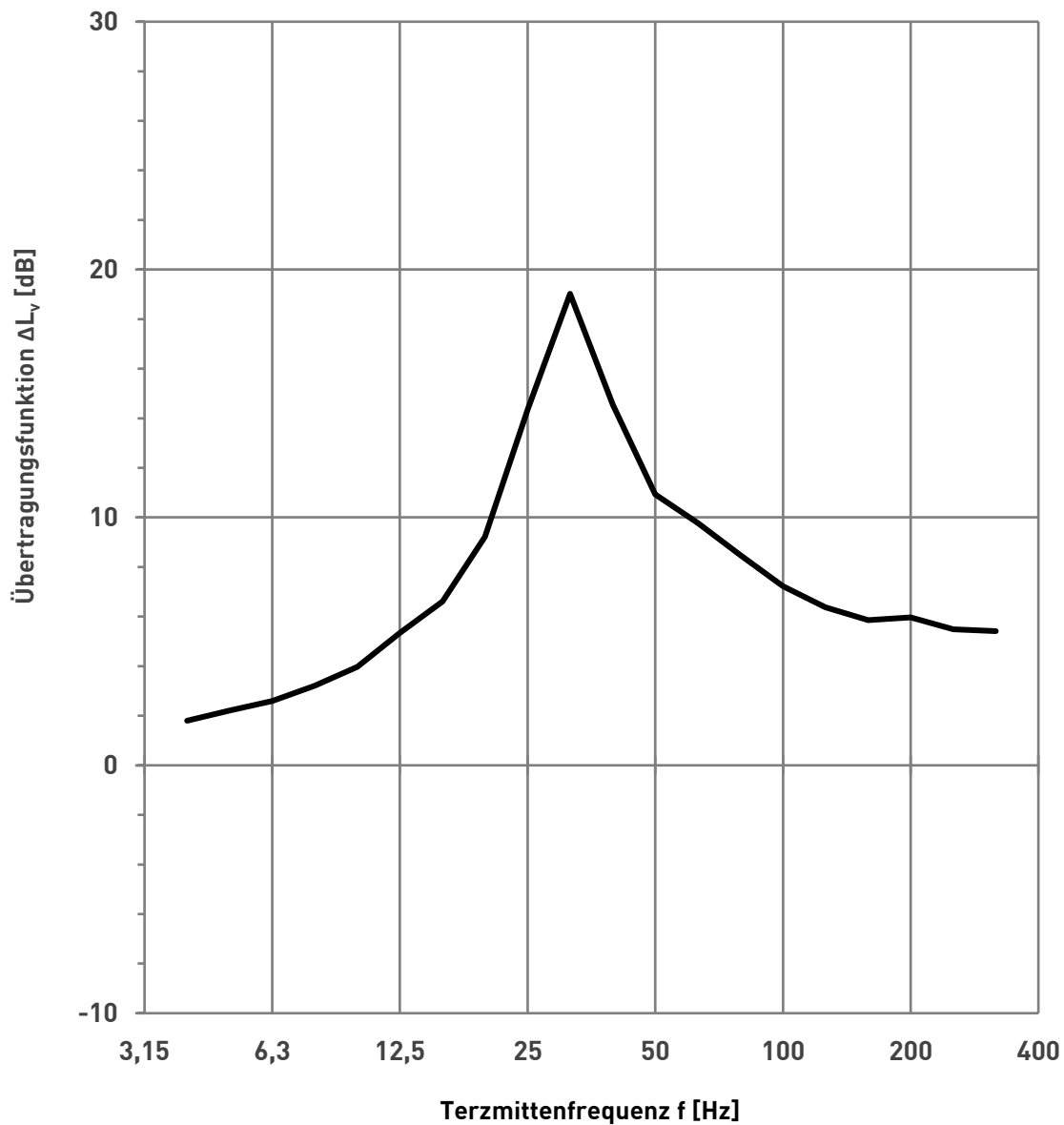
Übertragung Fundament - Geschossdecke

Quelle: Statistische Auswertung der vorliegenden Messergebnisse
für 413 Bebauungen
KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Deckenart: Stahlbetondecke

Schwingrichtung: z

Deckeneigenfrequenz: f = 31,5 Hz



ΔL _v [dB]	f [Hz]
1,8	4
2,2	5
2,6	6,3
3,2	8
4,0	10
5,3	12,5
6,6	16
9,2	20
14,4	25
19,0	31,5
14,6	40
10,9	50
9,8	63
8,5	80
7,2	100
6,4	125
5,9	160
6,0	200
5,5	250
5,4	315

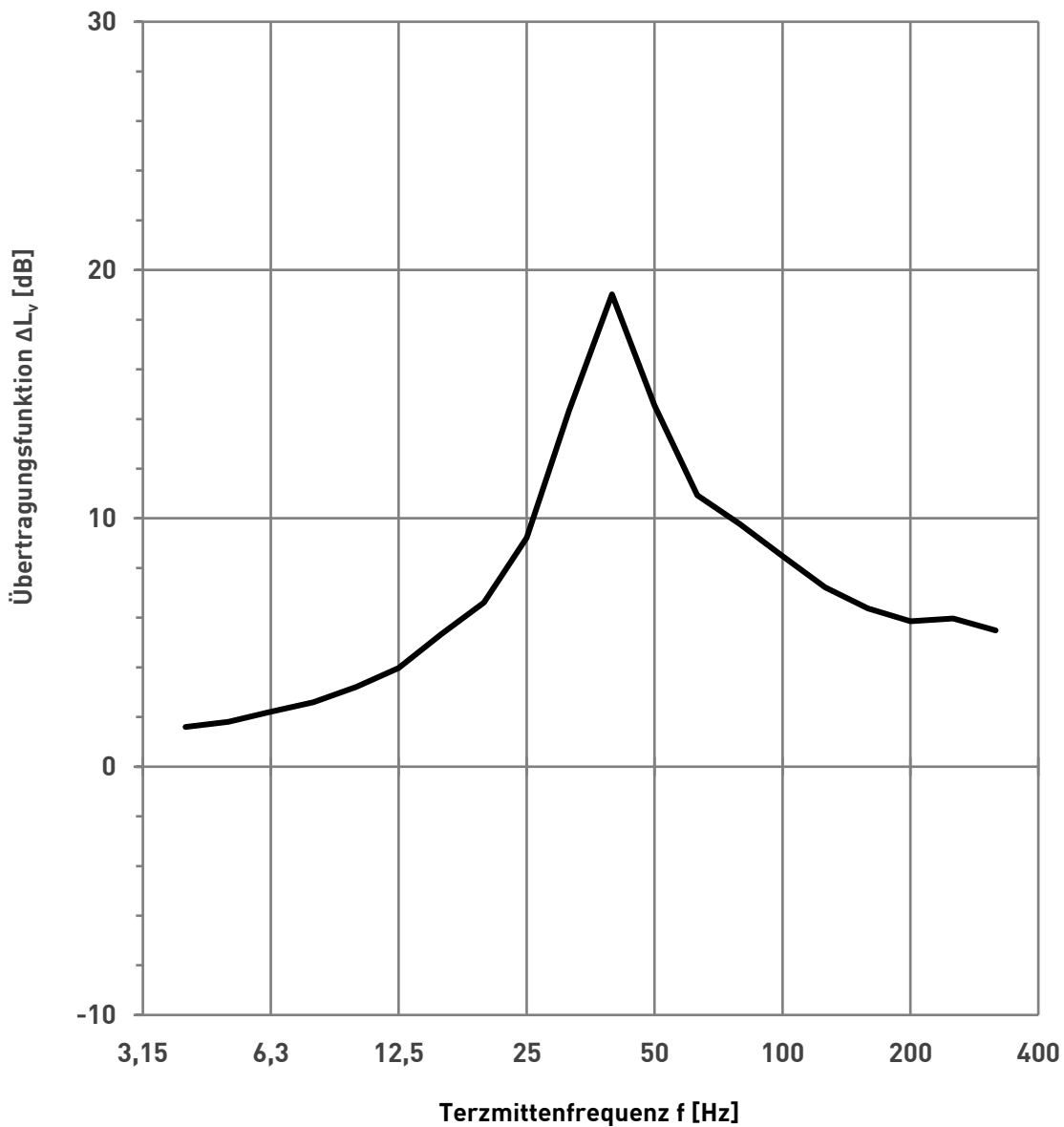
T₃-Funktion Übertragung Fundament - Geschossdecke

Quelle: Statistische Auswertung der vorliegenden Messergebnisse
für 413 Bebauungen
KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Deckenart: Stahlbetondecke

Schwingrichtung: z

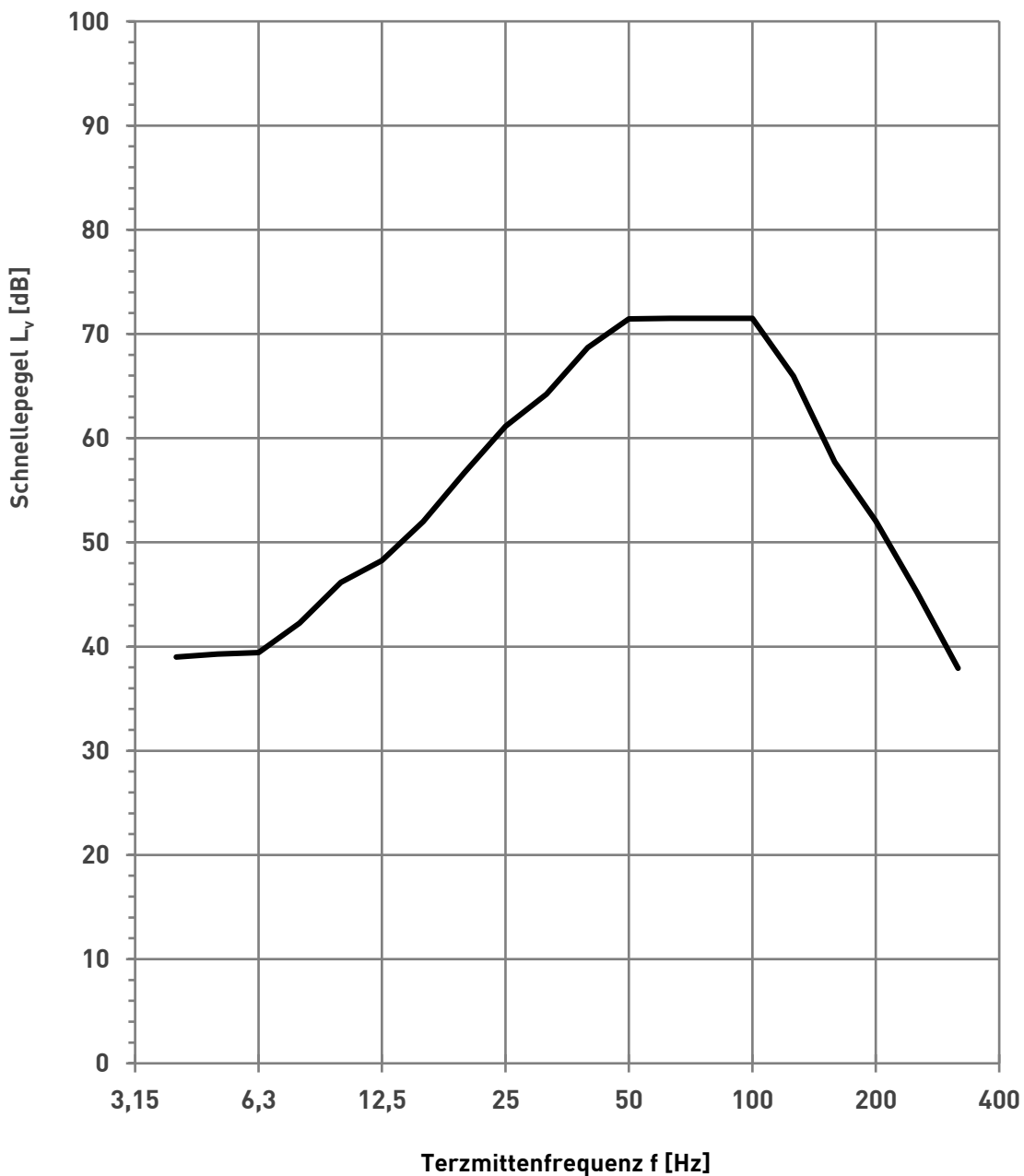
Deckeneigenfrequenz: f = 40 Hz



ΔL _v [dB]	f [Hz]
1,6	4
1,8	5
2,2	6,3
2,6	8
3,2	10
4,0	12,5
5,3	16
6,6	20
9,2	25
14,4	31,5
19,0	40
14,6	50
10,9	63
9,8	80
8,5	100
7,2	125
6,4	160
5,9	200
6,0	250
5,5	315

Emissionsspektrum □ Bodenstampfer BS60

Messpunkt (Abstand): 8 m
Arbeitsfrequenz: 70 Hz
Schwingrichtung: z
Quellentyp: Punktquelle (PQ)
 impulsartig (I)
Wellenart: Oberflächenwelle (O)

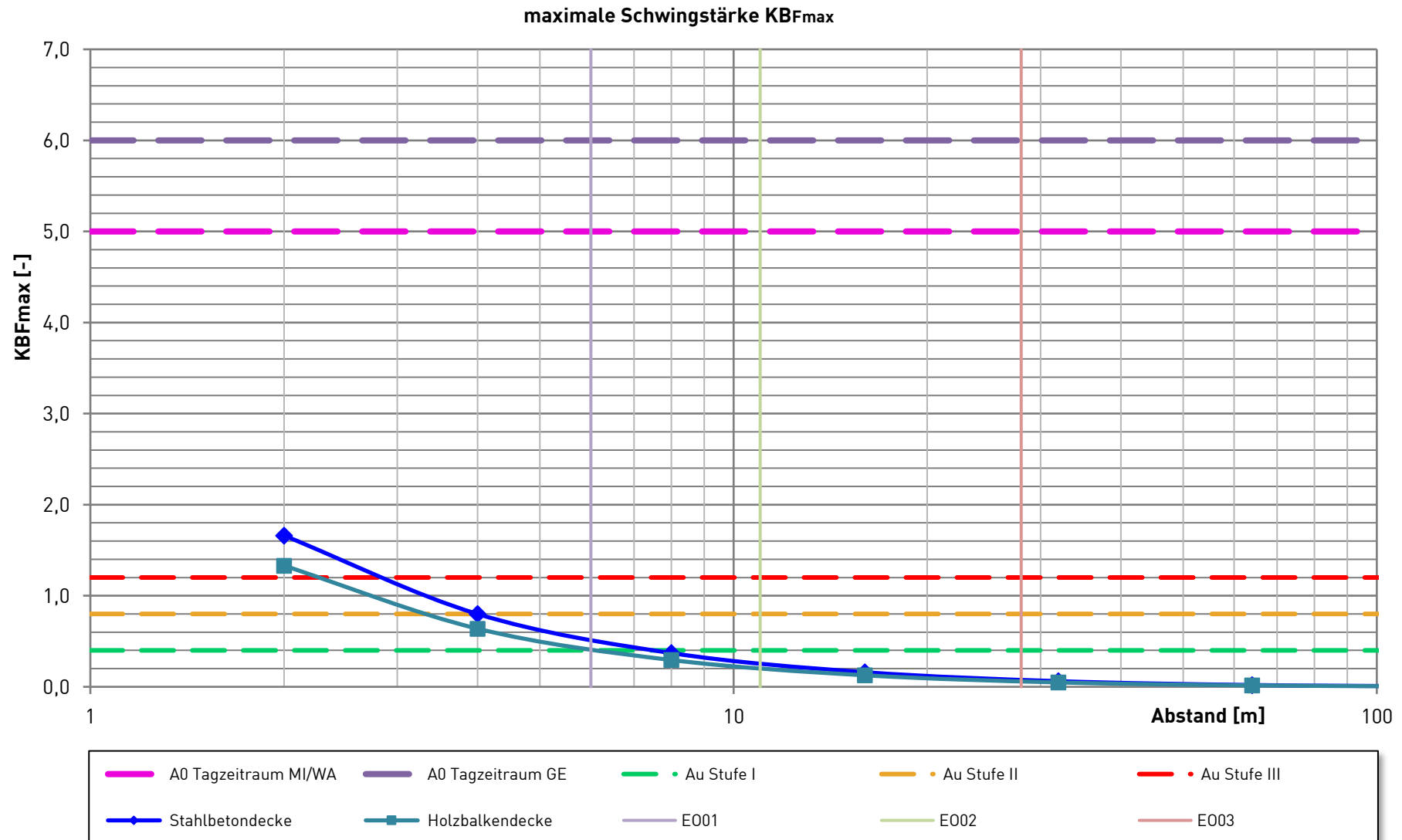


L _v [dB]	f [Hz]
39,0	4
39,3	5
39,4	6,3
42,3	8
46,2	10
48,3	12,5
52,0	16
56,7	20
61,2	25
64,2	31,5
68,7	40
71,5	50
71,5	63
71,5	80
71,5	100
66,0	125
57,7	160
52,1	200
45,2	250
37,9	315
78,6	Σ
0,43	v_{Fmax}

KB_{Fmax} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Bodenstamper BS60



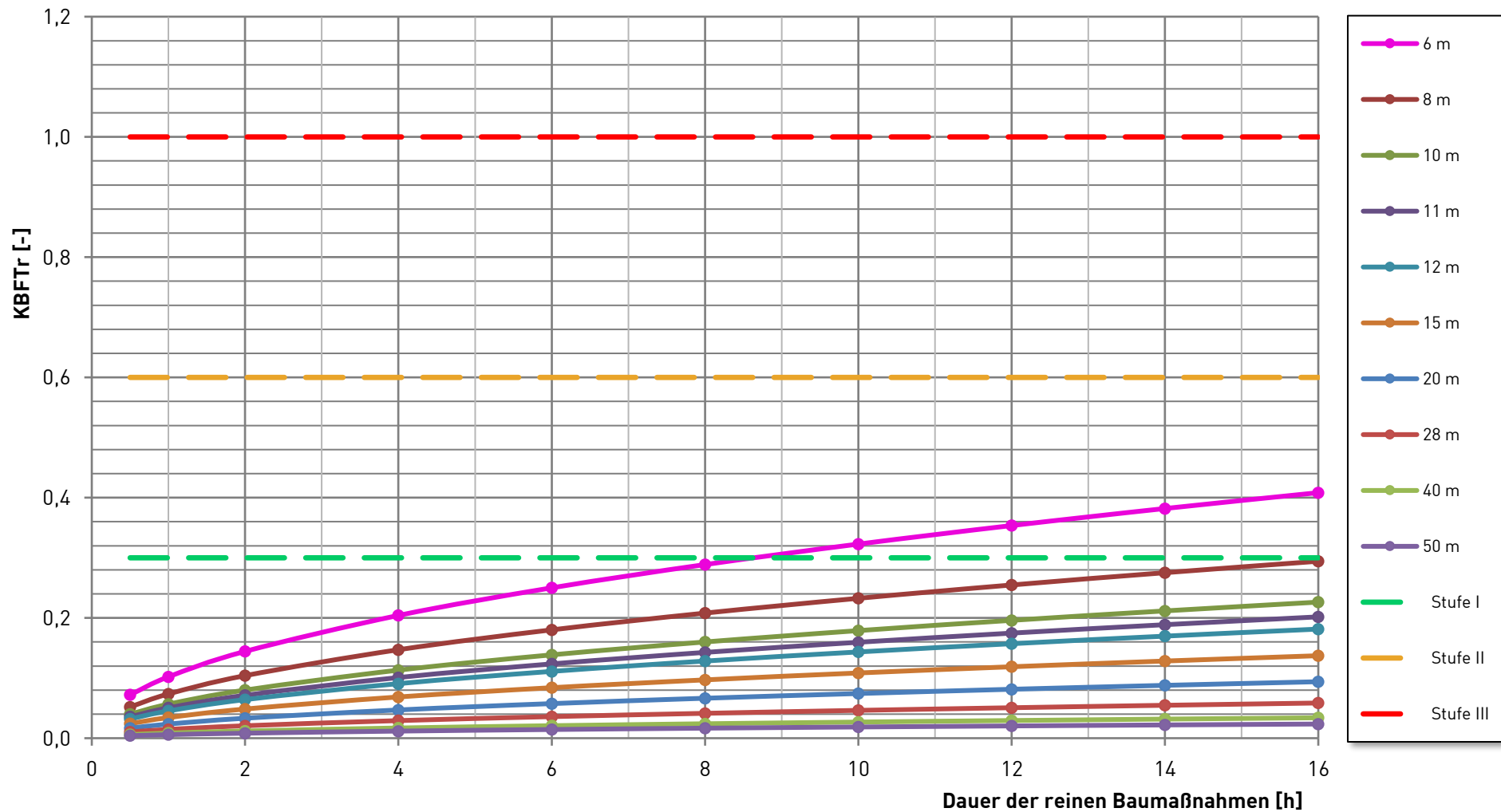
KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Holzbalkendecken

Bodenstampfer BS60

Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}



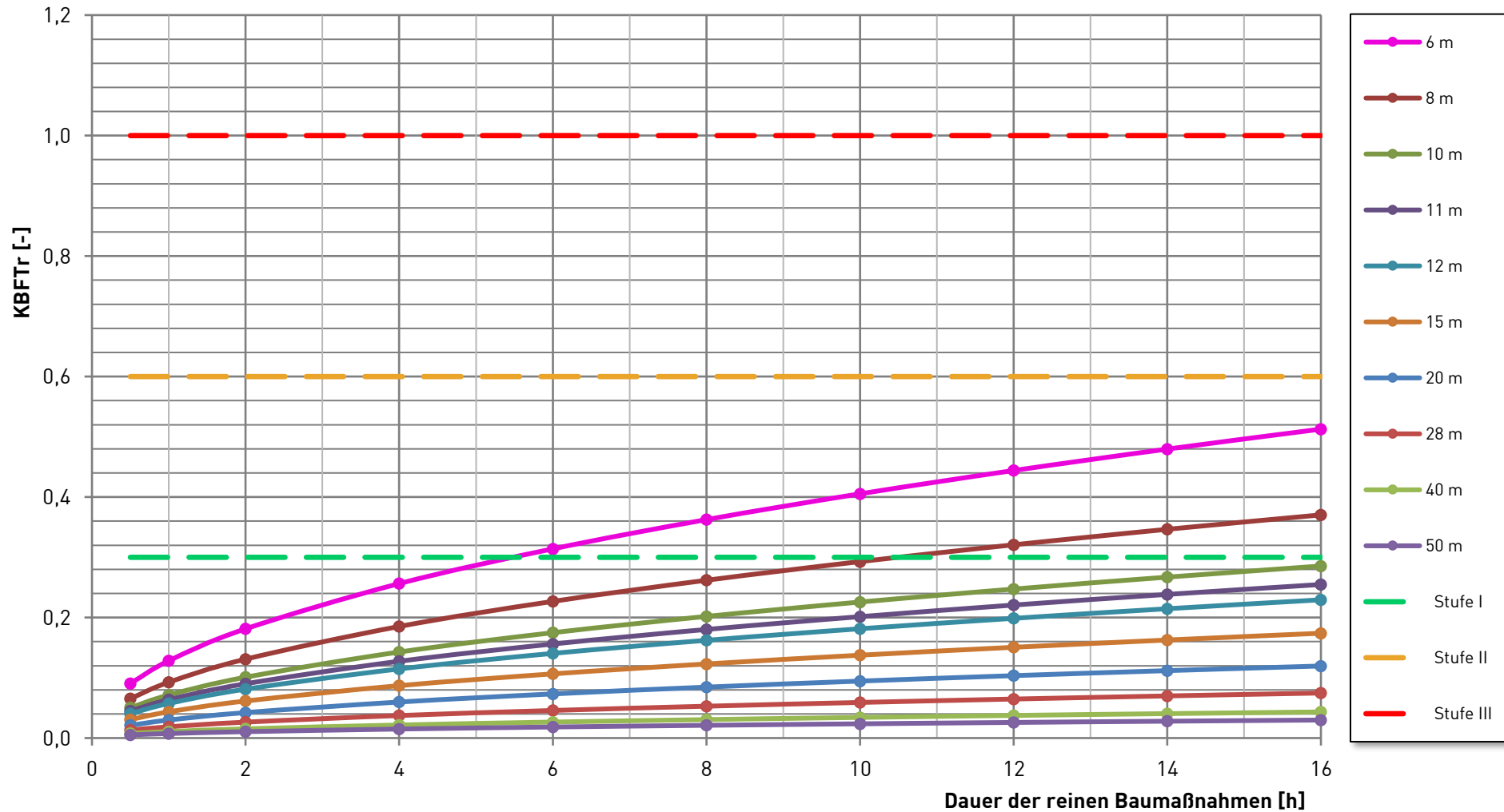
KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Stahlbetondecken

Bodenstampfer BS60

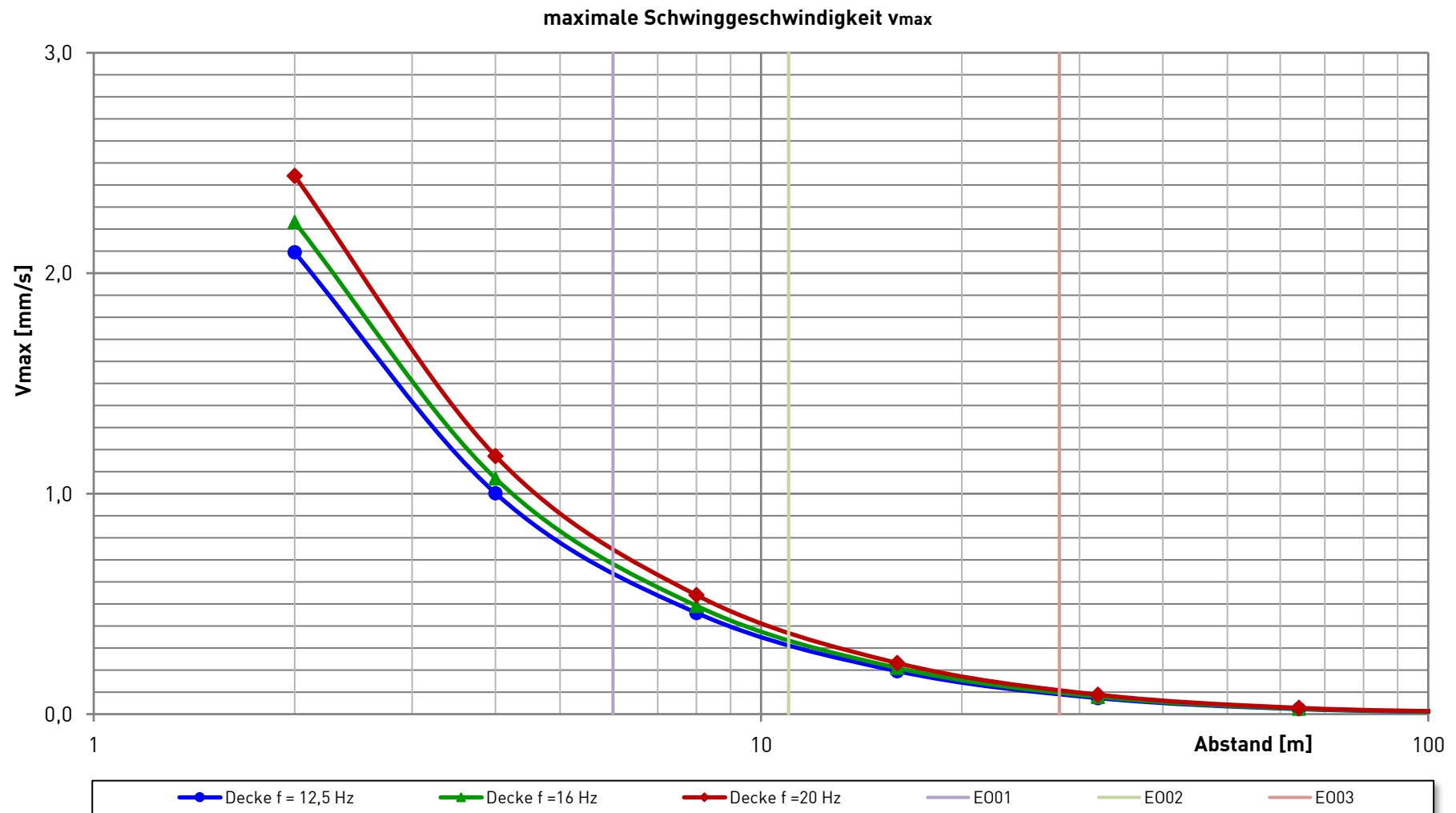
Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}



Maximale Schwinggeschwindigkeit

in typischen Geschossbauten mit Holzbalkendecken

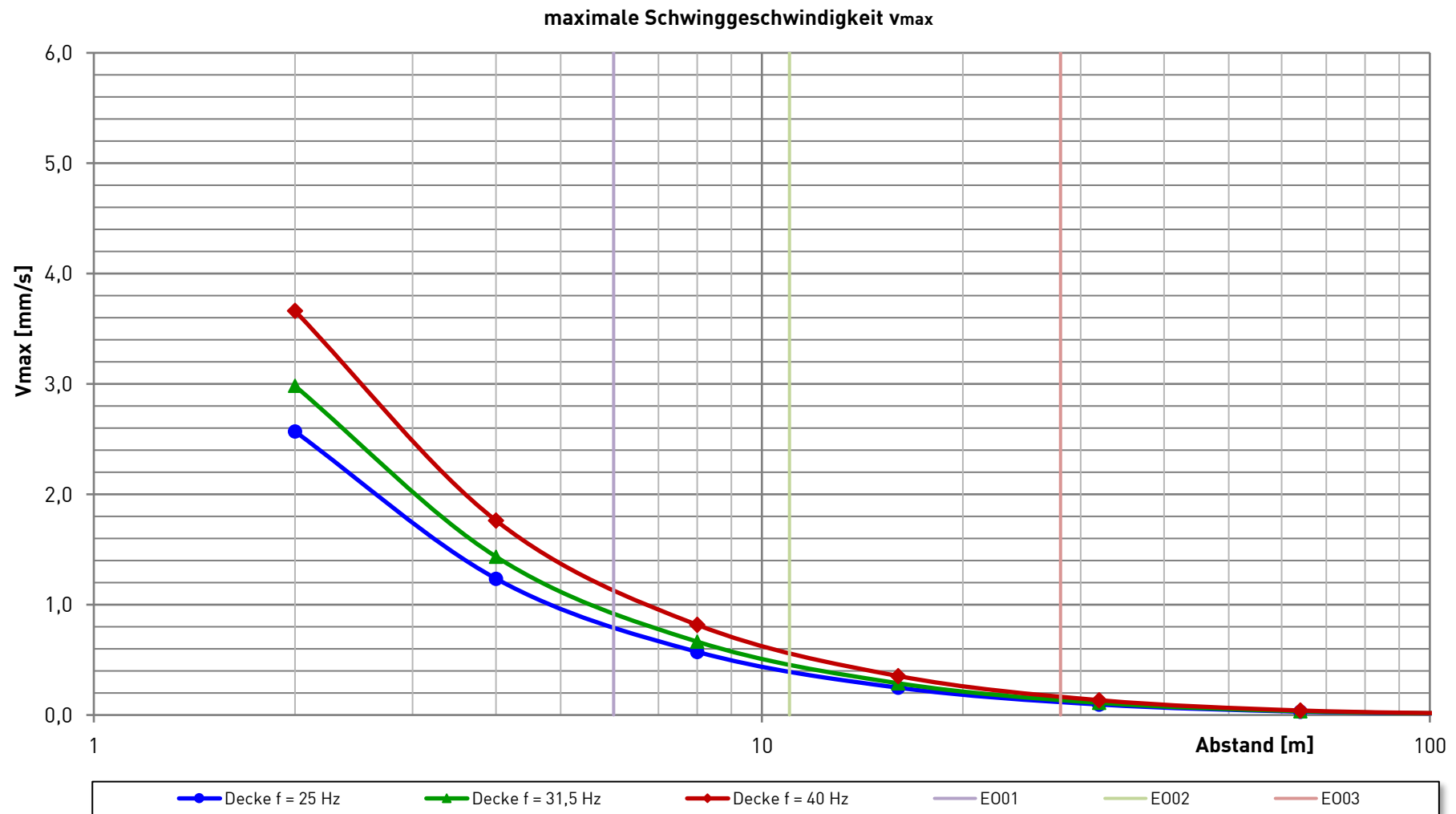
Bodenstampfer BS60



Maximale Schwinggeschwindigkeit

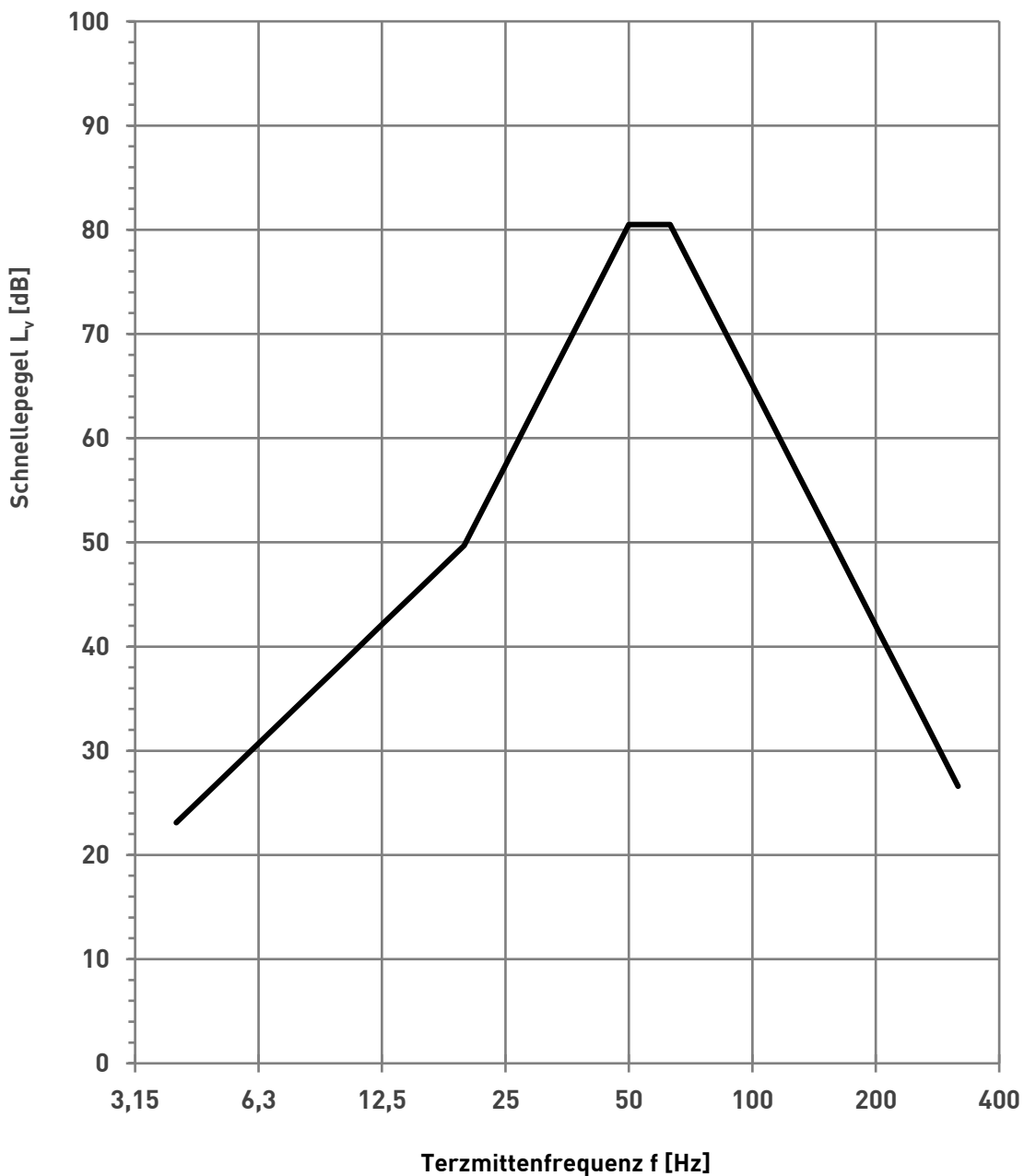
in typischen Geschossbauten mit Stahlbetondecken

Bodenstampfer BS60



Emissionsspektrum □ Vibrationsplatte

Messpunkt (Abstand): 8 m
Arbeitsfrequenz: 57 Hz
Schwingrichtung: z
Quellentyp: Punktquelle (PQ)
 harmonisch/stationär (HS)
Wellenart: Oberflächenwelle (O)

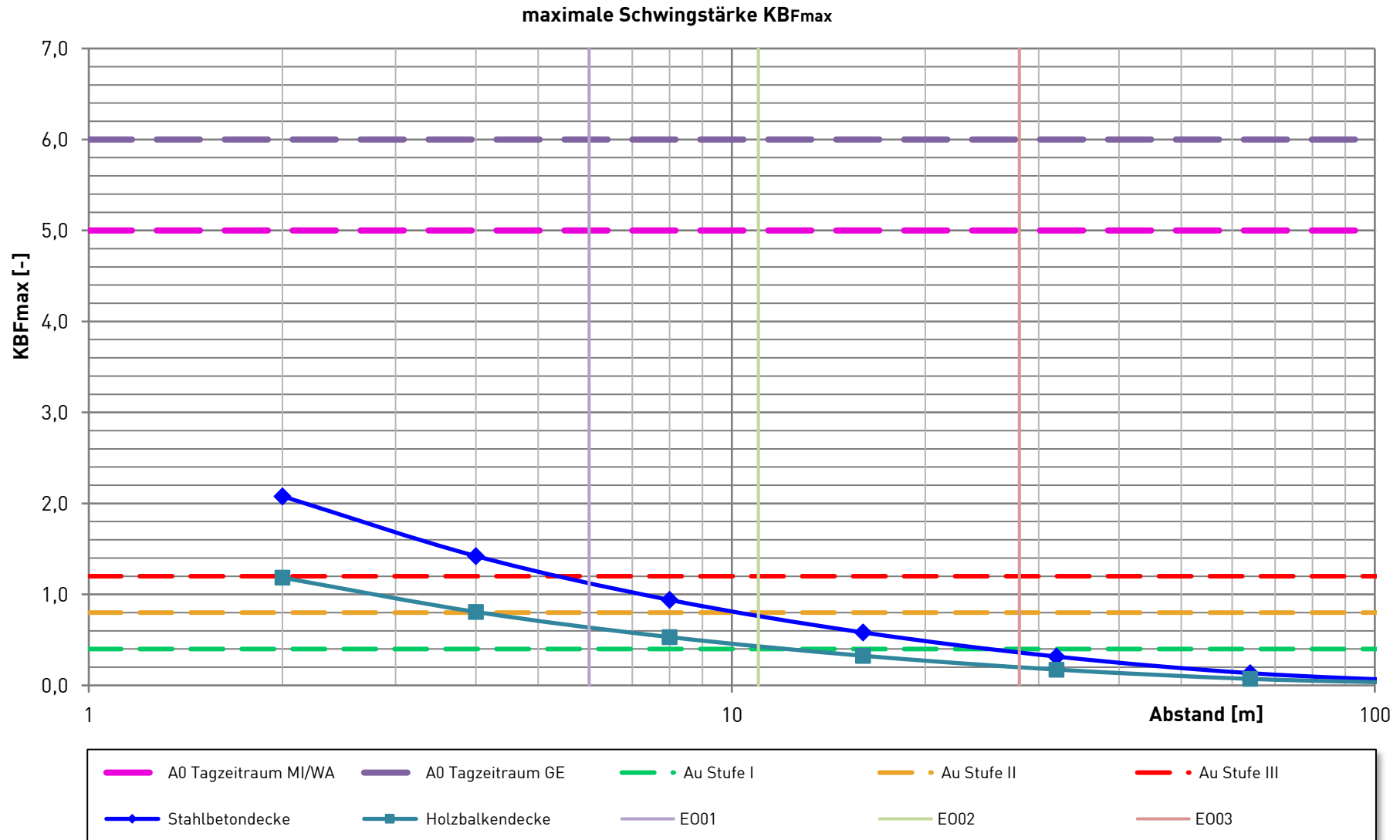


L _v [dB]	f [Hz]
23,1	4
26,9	5
30,7	6,3
34,5	8
38,3	10
42,1	12,5
45,9	16
49,7	20
57,4	25
65,1	31,5
72,8	40
80,5	50
80,5	63
72,8	80
65,1	100
57,4	125
49,7	160
42,0	200
34,3	250
26,6	315
84,3	Σ
0,82	v_{Fmax}

KB_{Fmax} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Vibrationsplatte



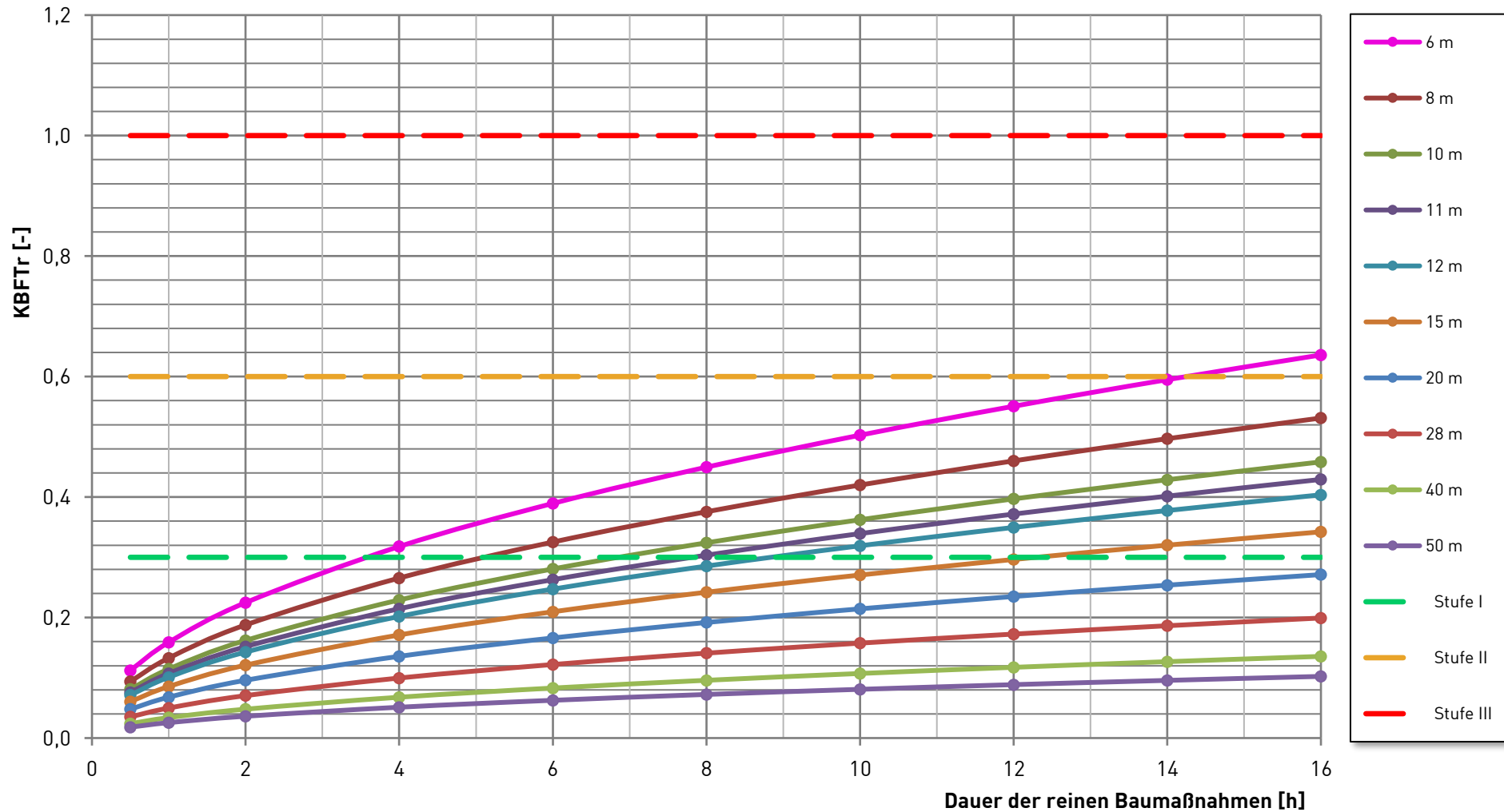
KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Holzbalkendecken

Vibrationsplatte

Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}



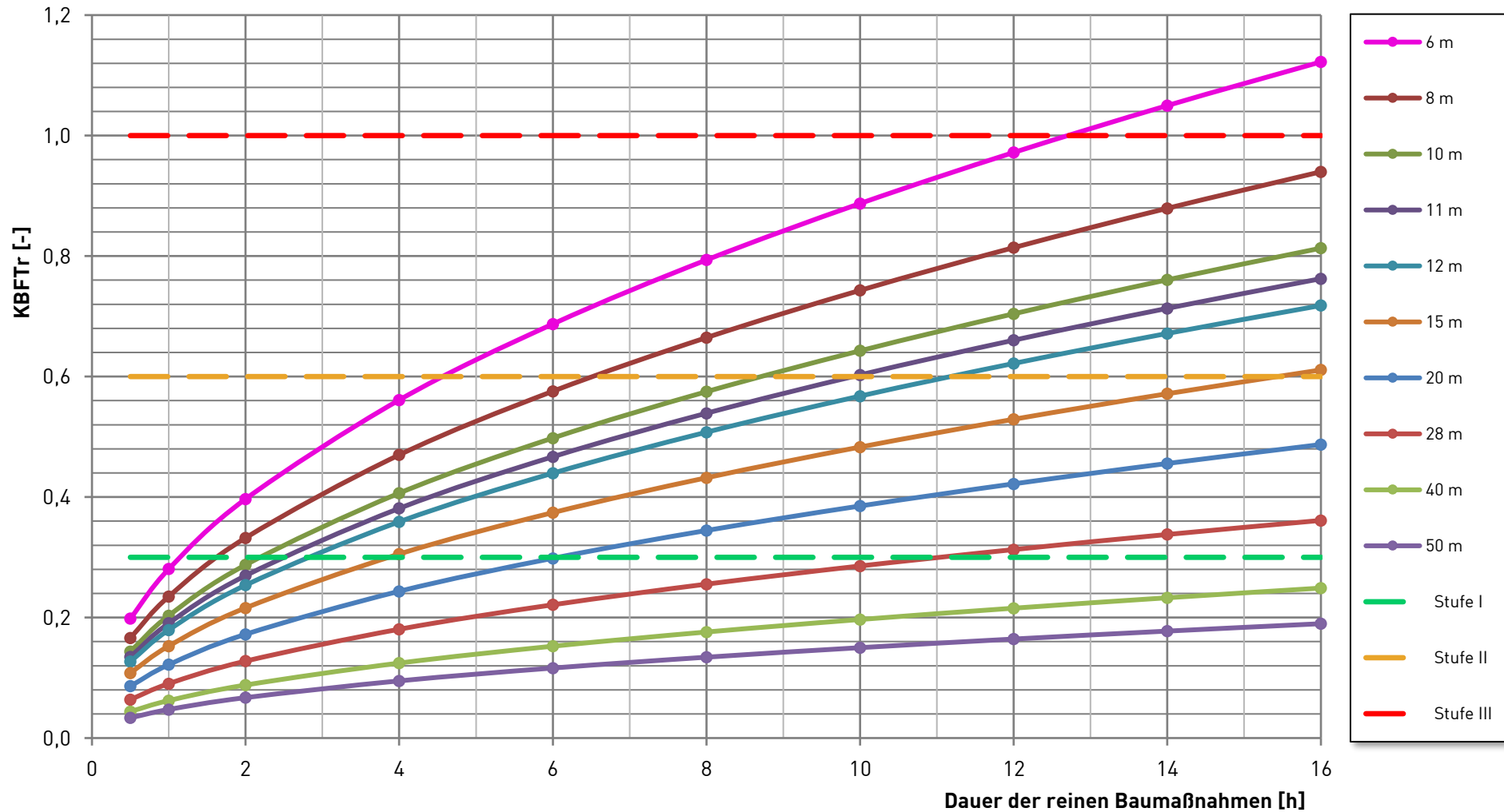
KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

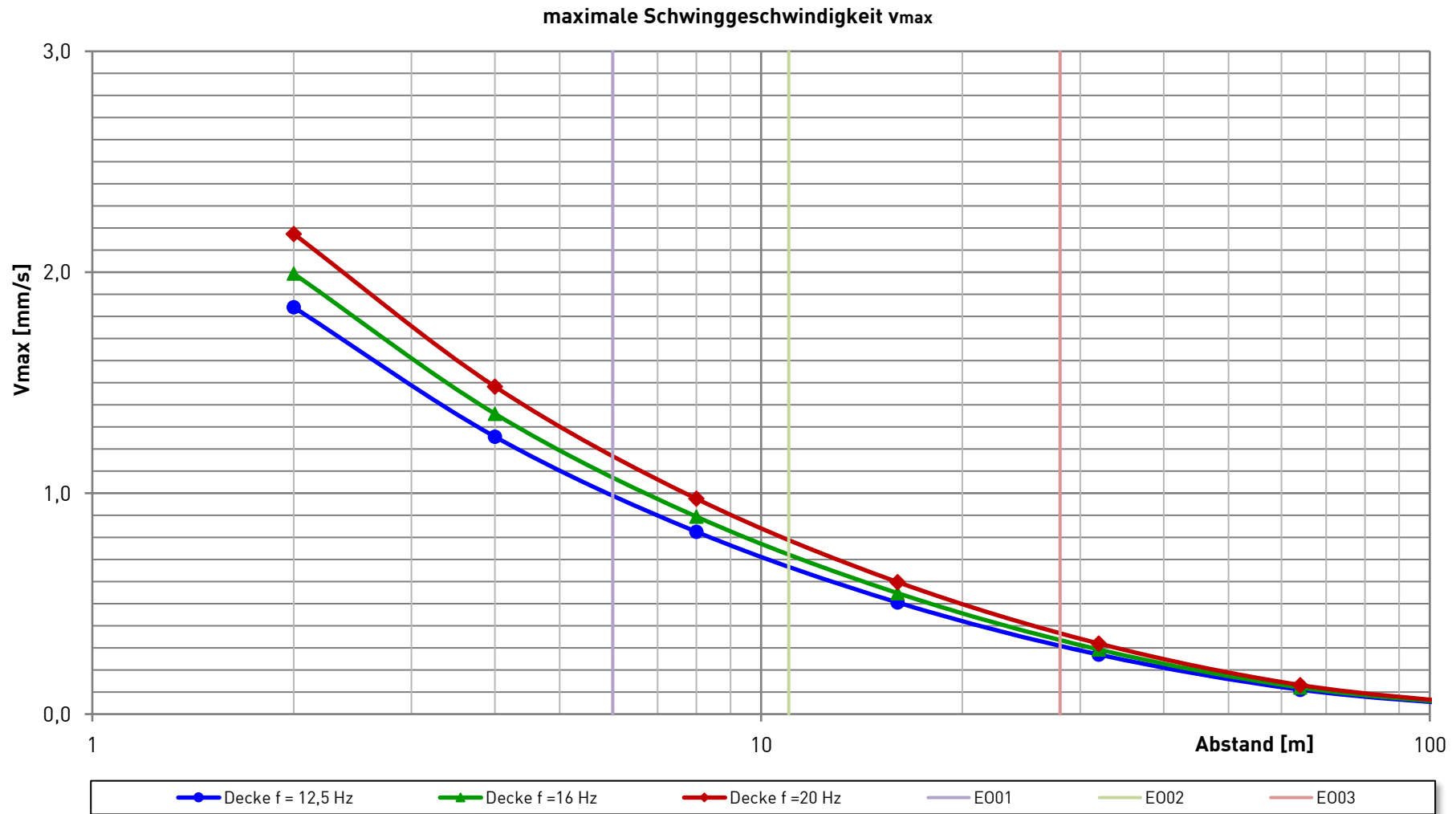
Stahlbetondecken

Vibrationsplatte

Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}

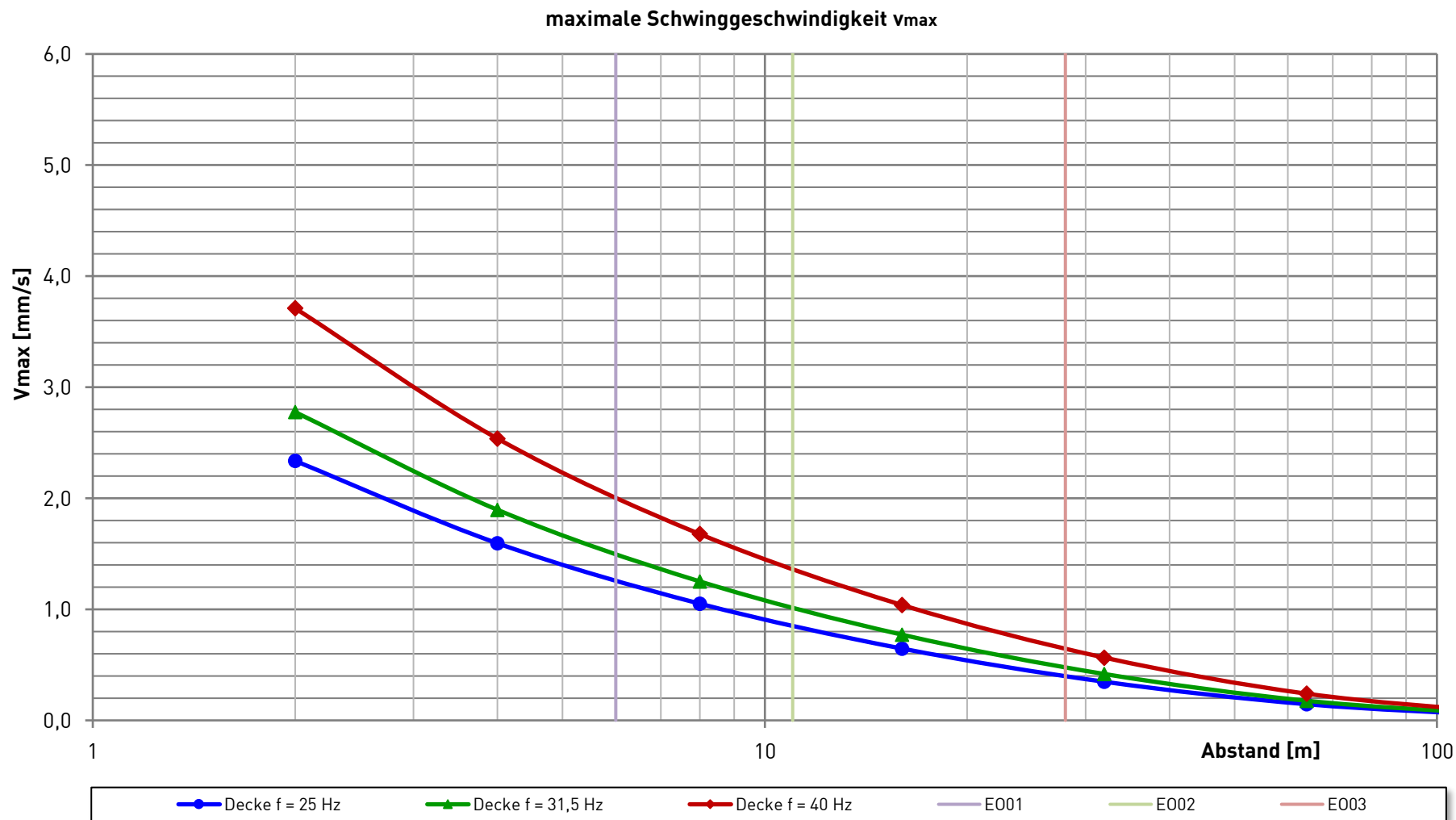


Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Holzbalkendecken Vibrationsplatte



Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Stahlbetondecken

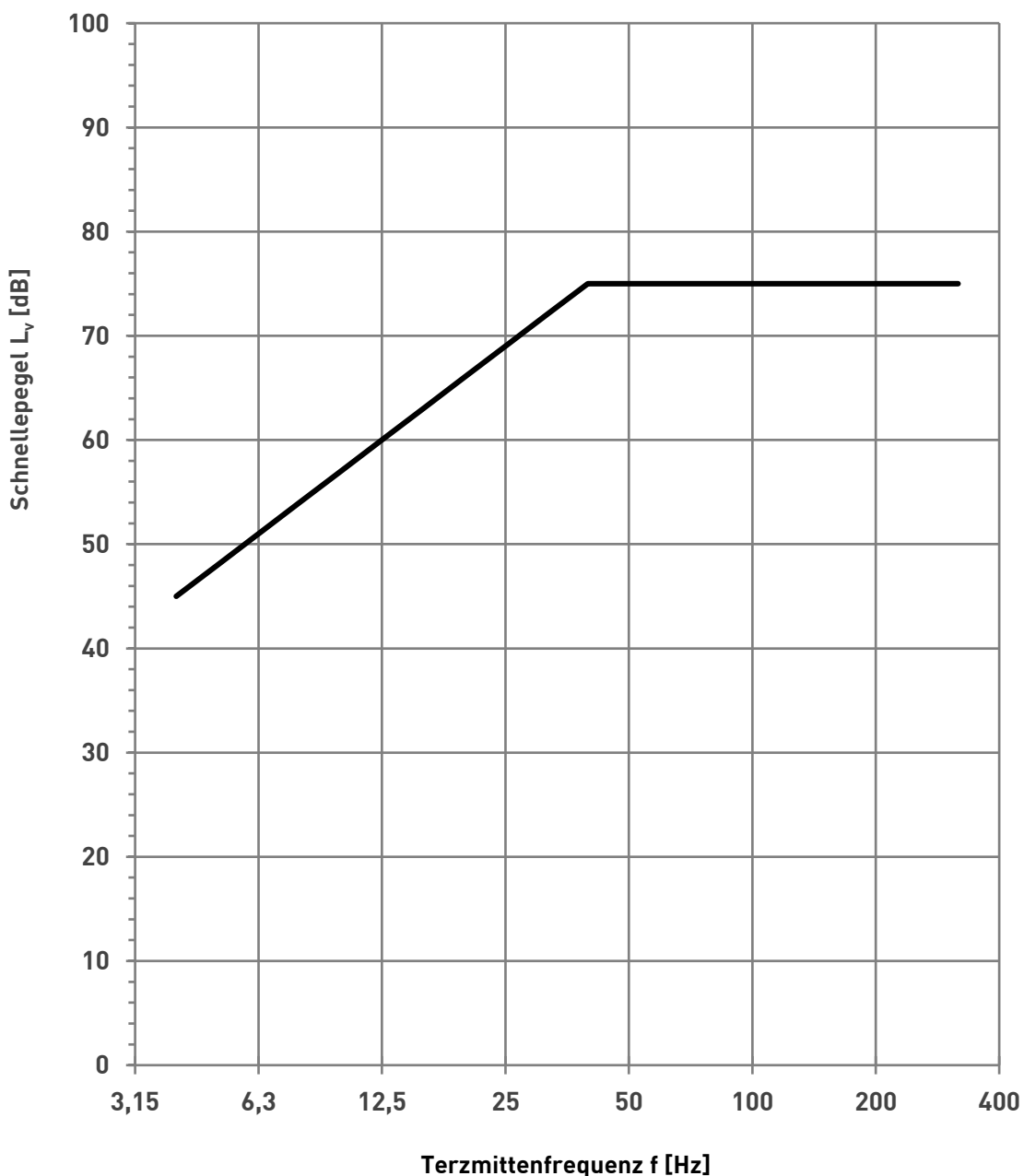
Vibrationsplatte



Emissionsspektrum □

Meißelarbeiten

Messpunkt (Abstand): 8 m
Arbeitsfrequenz: - Hz
Schwingrichtung: z
Quellentyp: Punktquelle (PQ)
 impulsartig (I)
Wellenart: Oberflächenwelle (O)

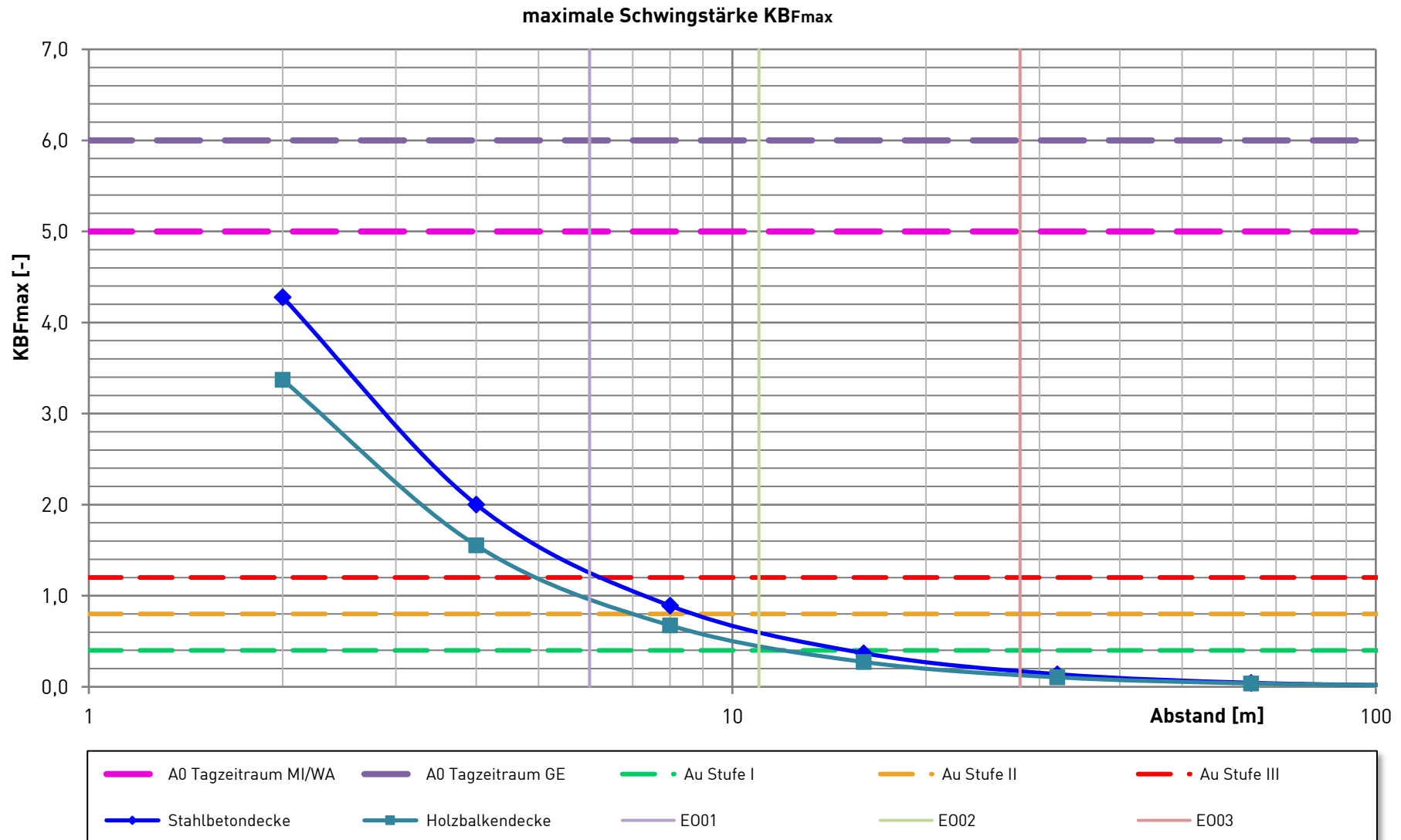


L _v [dB]	f [Hz]
45,0	4
48,0	5
51,0	6,3
54,0	8
57,0	10
60,0	12,5
63,0	16
66,0	20
69,0	25
72,0	31,5
75,0	40
75,0	50
75,0	63
75,0	80
75,0	100
75,0	125
75,0	160
75,0	200
75,0	250
75,0	315
85,4	Σ
0,93	V_{Fmax}

KB_{Fmax} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Meißelarbeiten



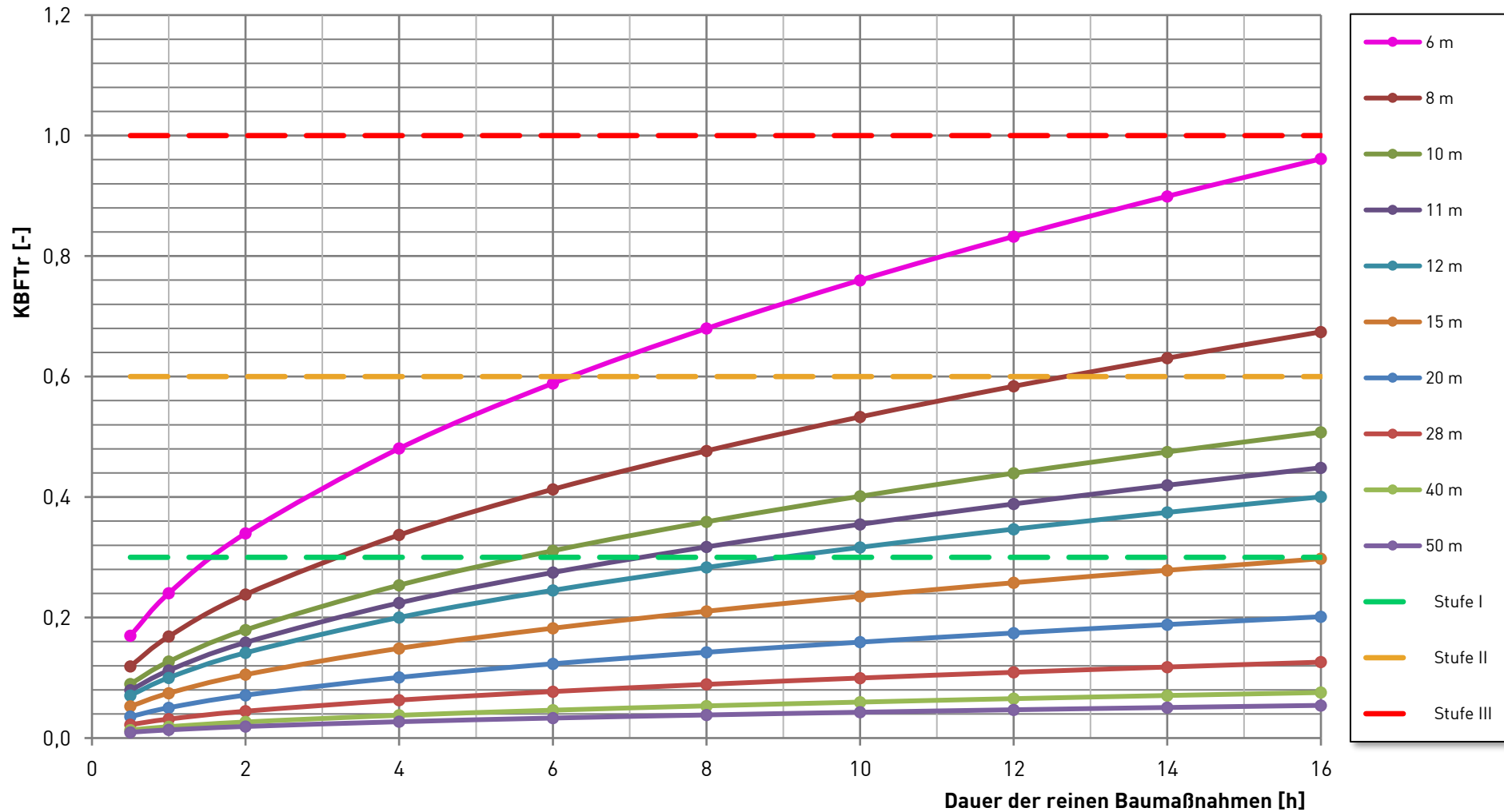
KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Holzbalkendecken

Meißelarbeiten

Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}



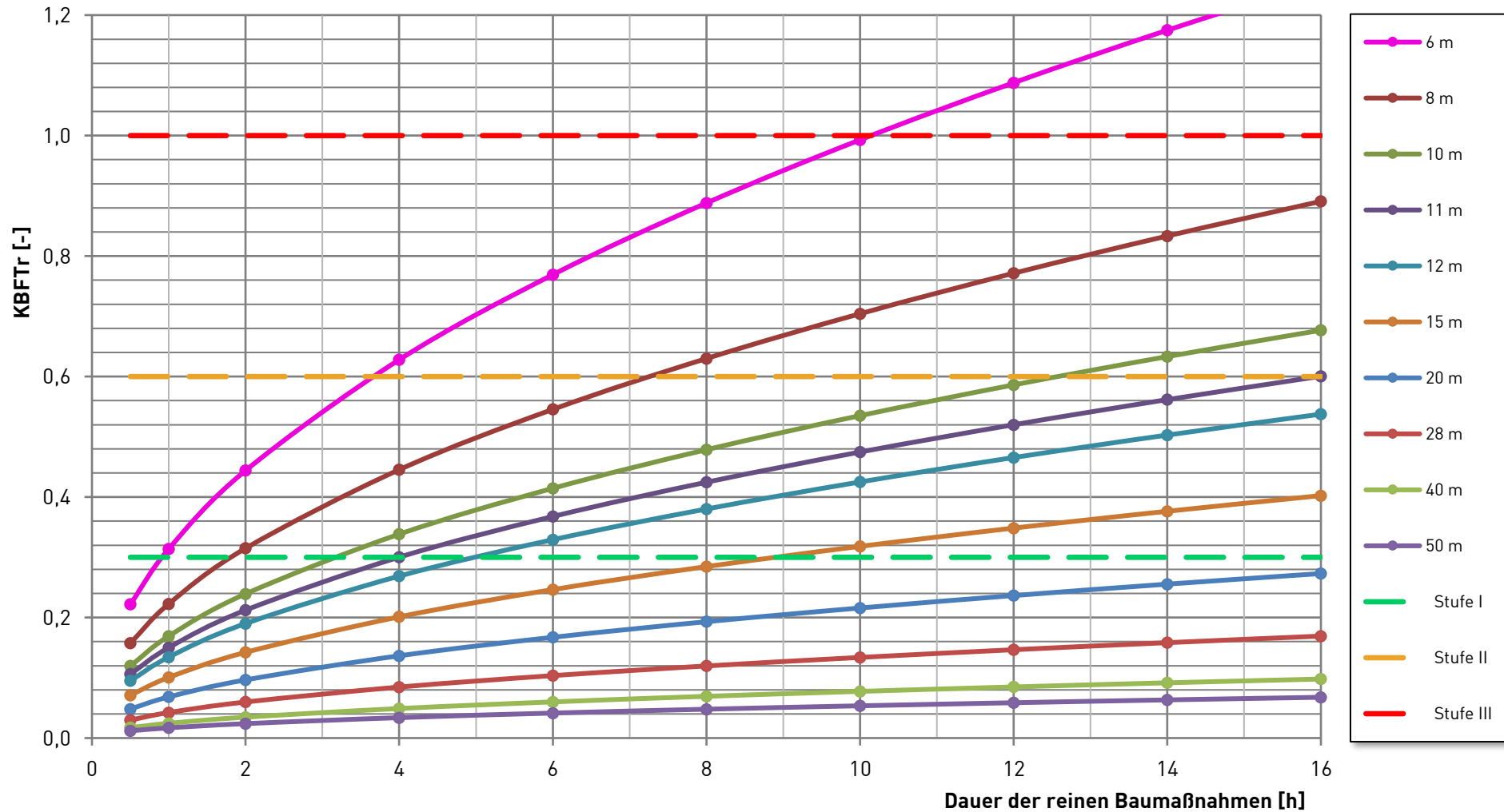
KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

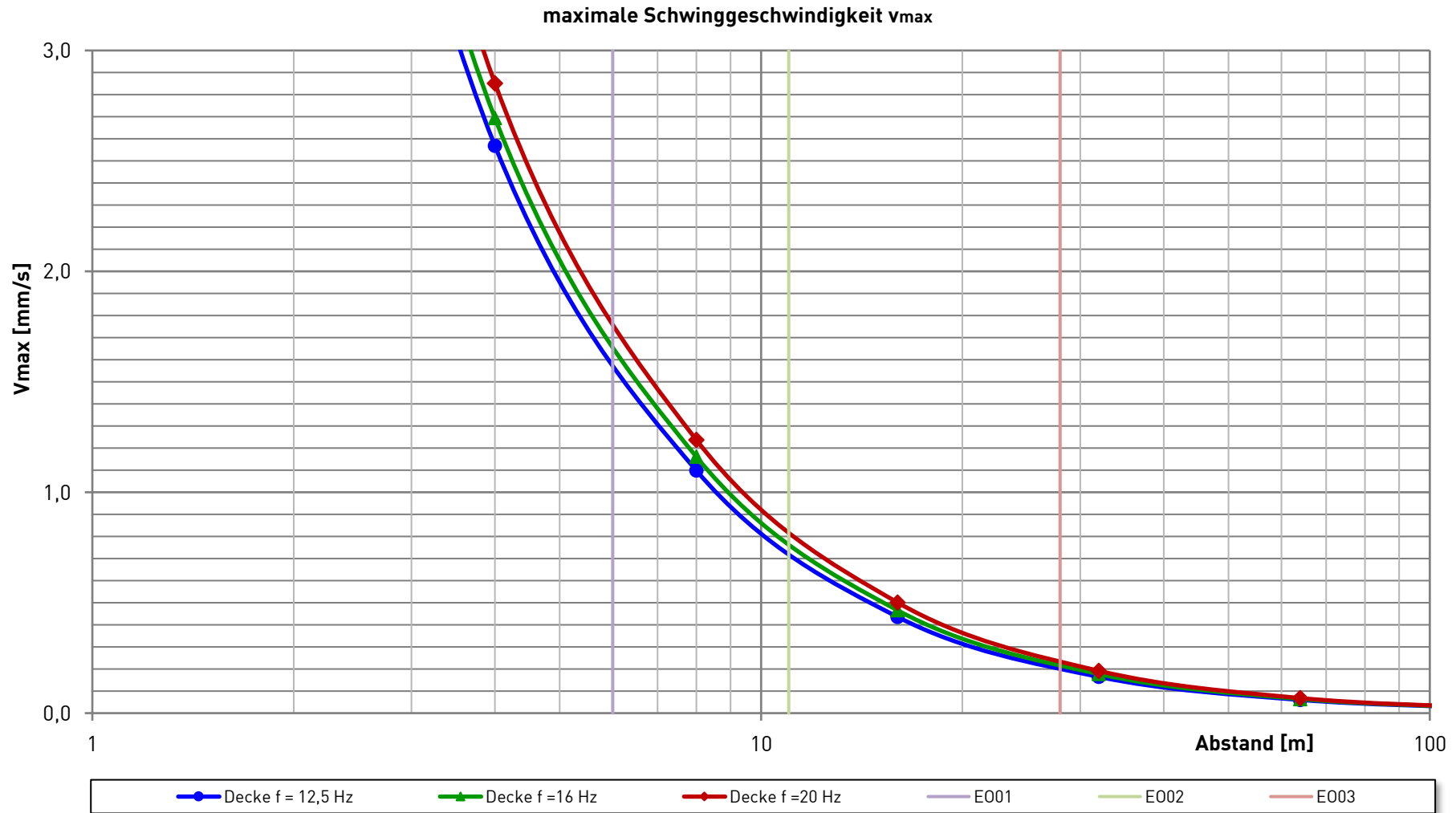
Stahlbetondecken

Meißelarbeiten

Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}

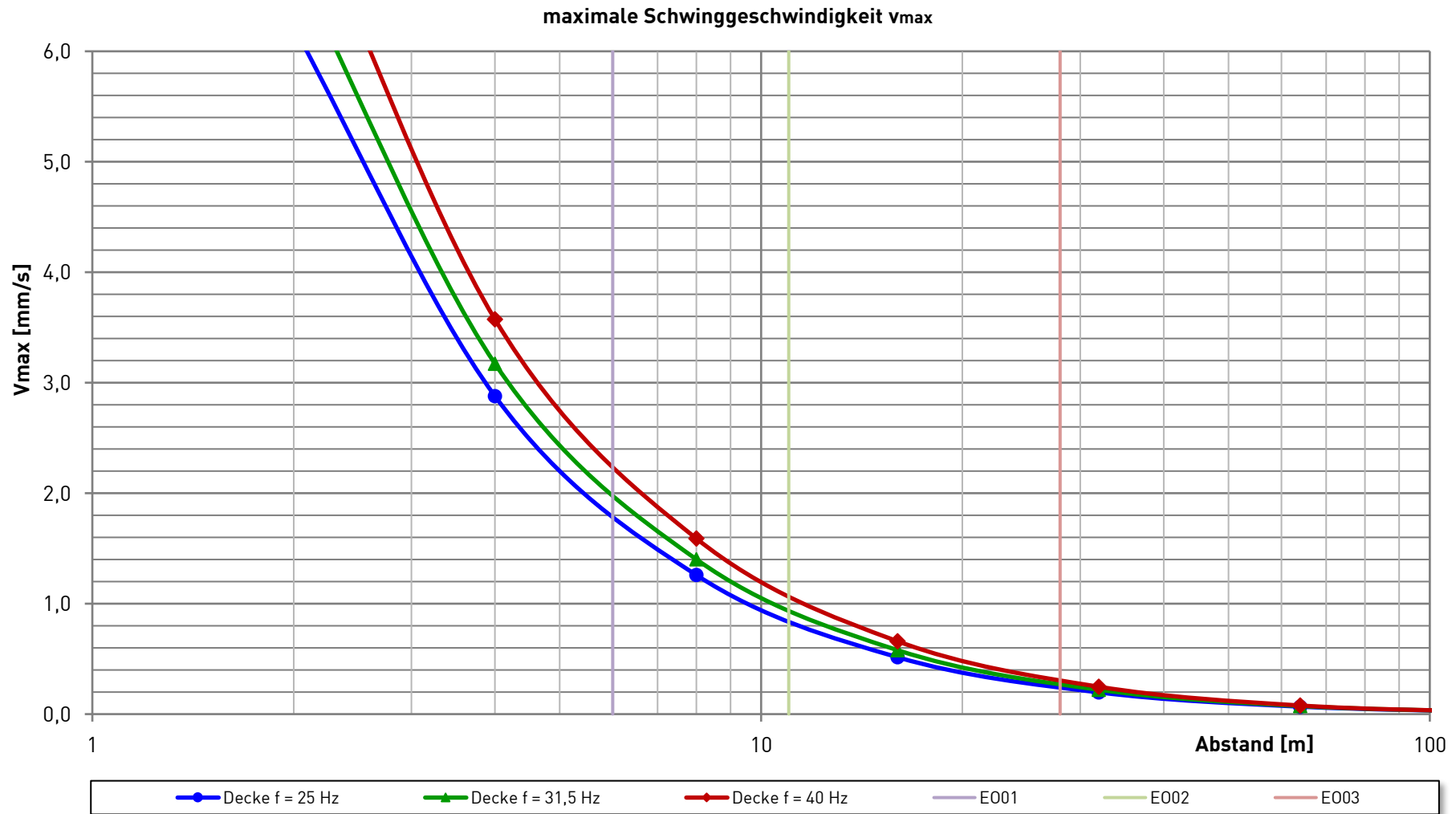


**Maximale Schwinggeschwindigkeit
in typischen Geschossbauten mit Holzbalkendecken** **Meißelarbeiten**



Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Stahlbetondecken

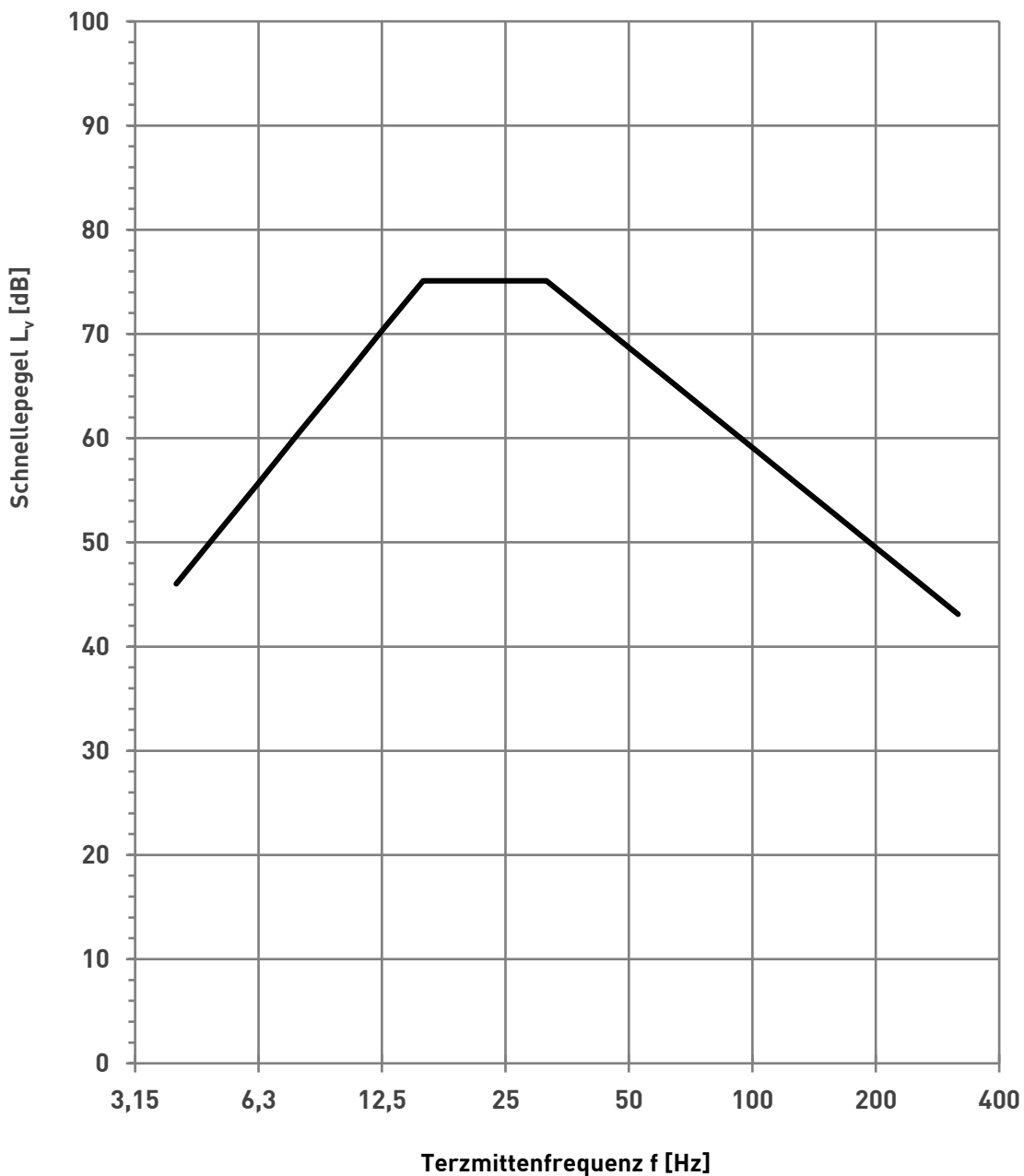
Meißelarbeiten



Emissionsspektrum □

Einbringen v. Bohrpfählen (aufsetzen d. Bohrröhre)

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

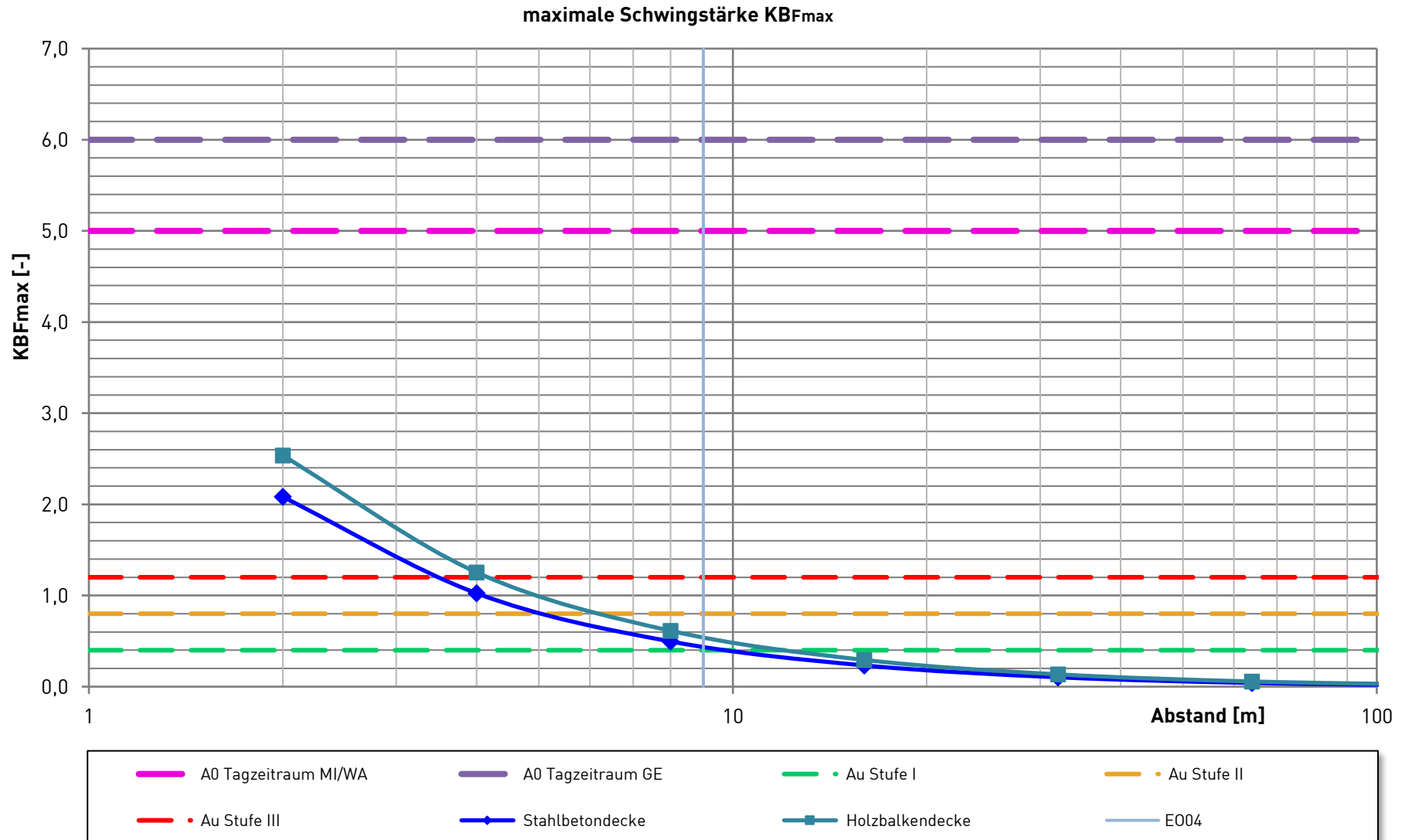


L _v [dB]	f [Hz]
46,0	4
50,9	5
55,7	6,3
60,6	8
65,4	10
70,3	12,5
75,1	16
75,1	20
75,1	25
75,1	31,5
71,9	40
68,7	50
65,5	63
62,3	80
59,1	100
55,9	125
52,7	160
49,5	200
46,3	250
43,1	315
82,4	Σ
0,66	v_{Fmax}

KB_{Fmax} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Einbringen v. Bohrpfehlen (aufsetzen d. Bohrrohre)

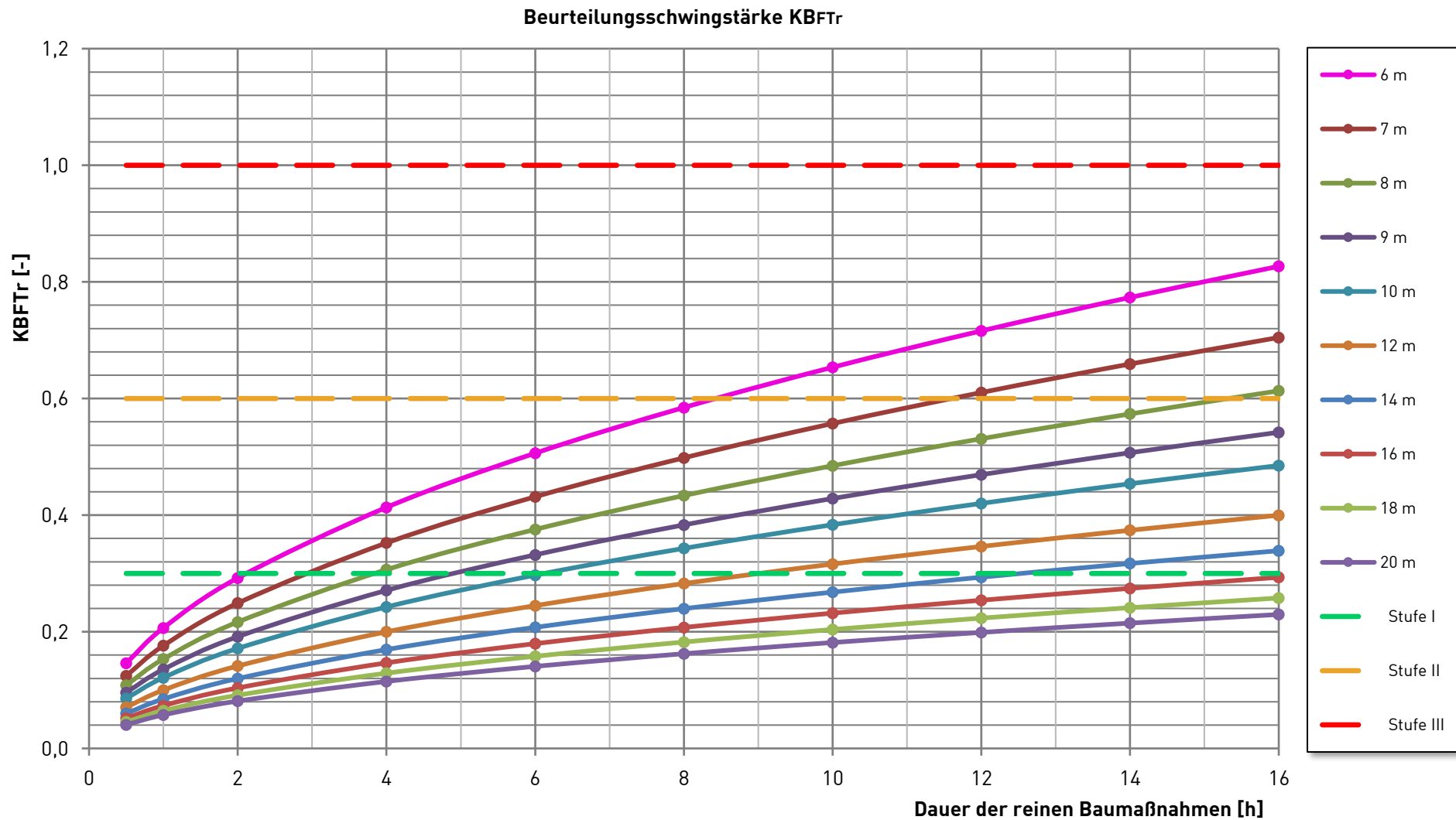


KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Holzbalkendecken

Einbringen v. Bohrpfählen (aufsetzen d. Bohrrohre)



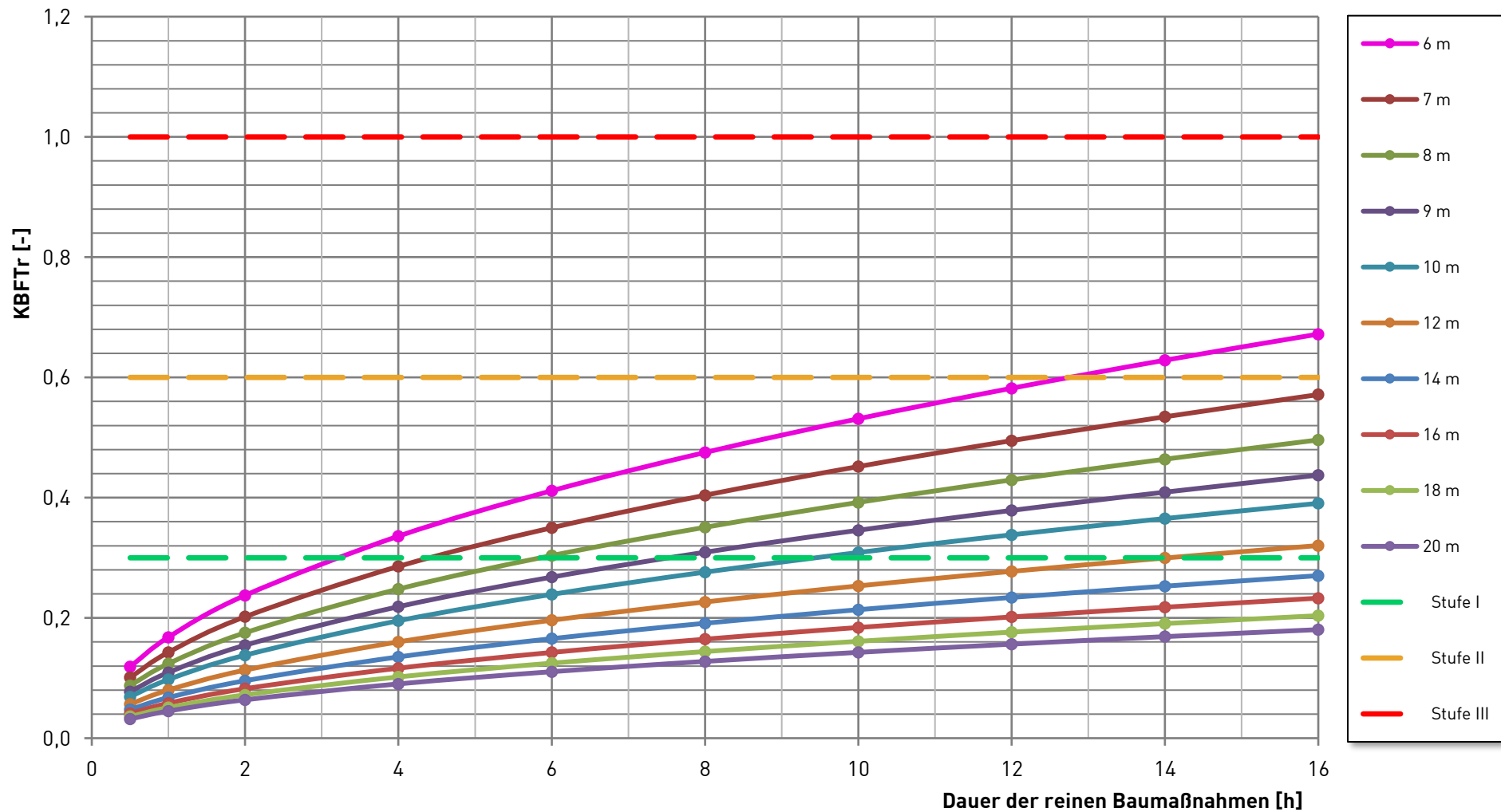
KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Stahlbetondecken

Einbringen v. Bohrpfählen (aufsetzen d. Bohrrohre)

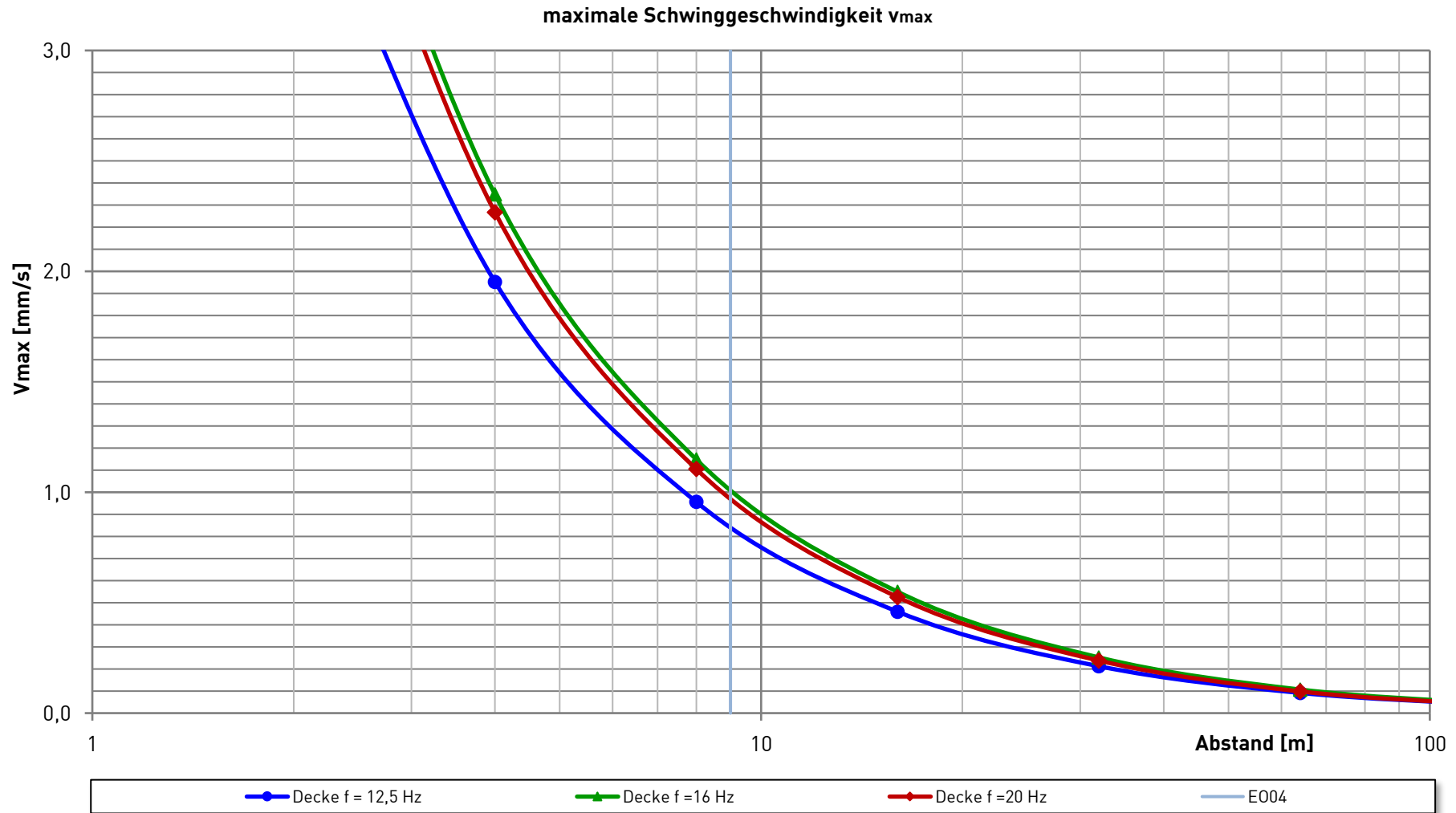
Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}



Maximale Schwinggeschwindigkeit

in typischen Geschossbauten mit Holzbalkendecken

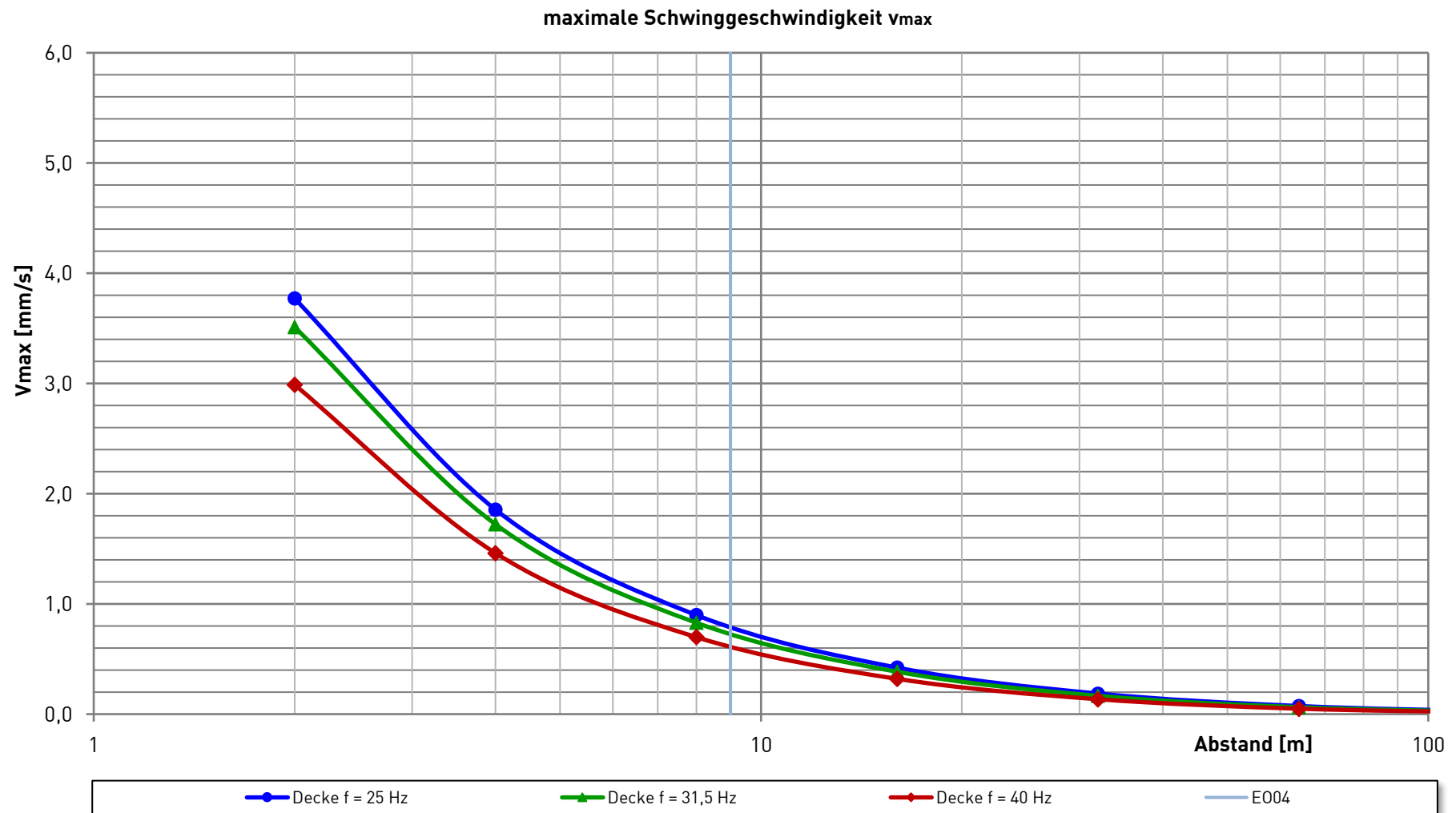
Einbringen v. Bohrpfählen (aufsetzen d. Bohrröhre)



Maximale Schwinggeschwindigkeit

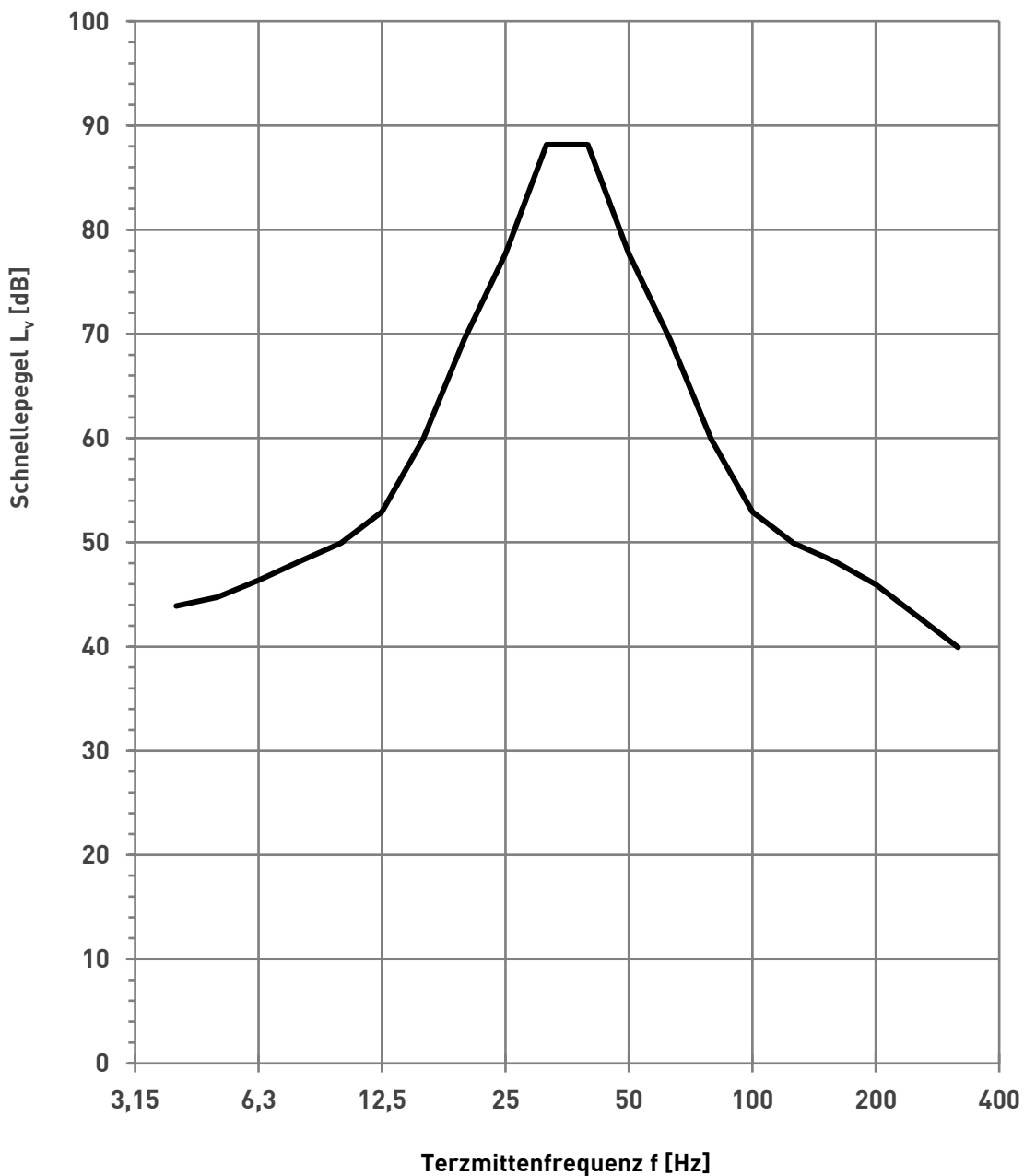
in typischen Geschossbauten mit Stahlbetondecken

Einbringen v. Bohrpfählen (aufsetzen d. Bohrröhre)



Emissionsspektrum □ Vibrationsramme (Normalbetrieb)

Messpunkt (Abstand): 9 m
Arbeitsfrequenz: 35 Hz
Schwingrichtung: z
Quellentyp: Punktquelle (PQ)
 harmonisch/stationär (HS)
Wellenart: Oberflächenwelle

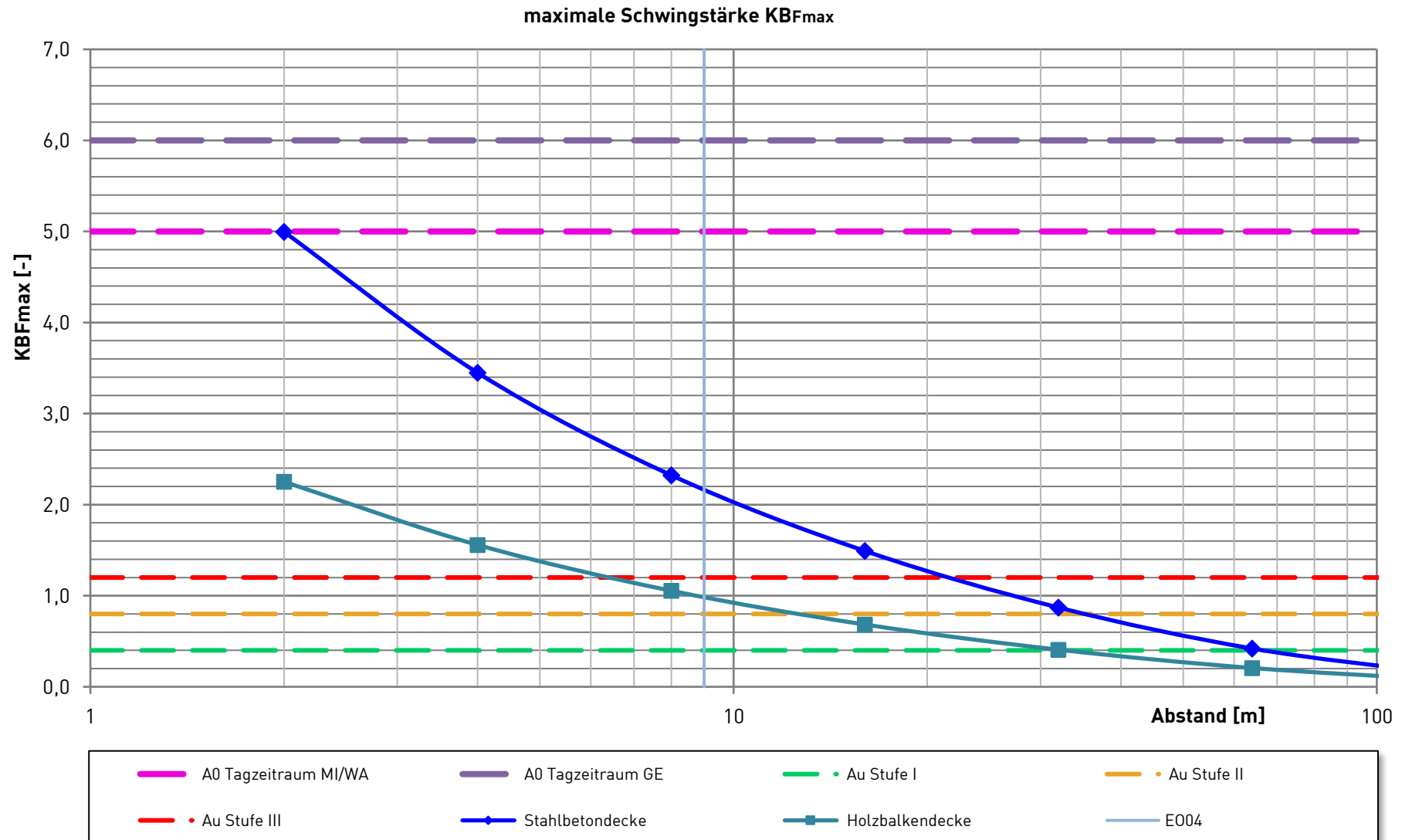


L _v [dB]	f [Hz]
43,9	4
44,8	5
46,3	6,3
48,2	8
49,9	10
52,9	12,5
59,9	16
69,5	20
77,7	25
88,2	31,5
88,2	40
77,7	50
69,5	63
59,9	80
52,9	100
49,9	125
48,2	160
45,9	200
42,9	250
39,9	315
91,6	Σ
1,90	v_{Fmax}

KB_{Fmax} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

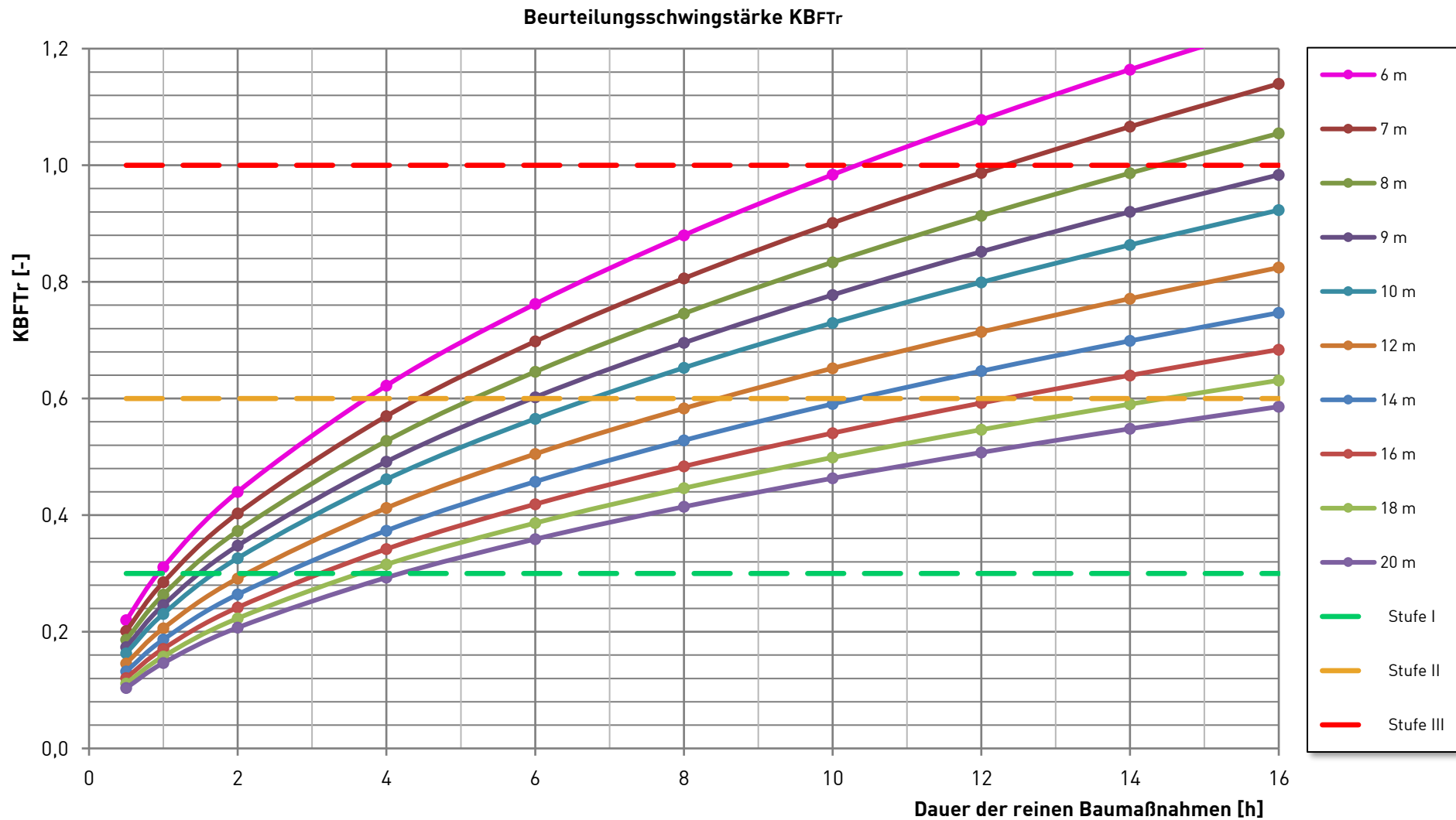


KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Holzbalkendecken

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

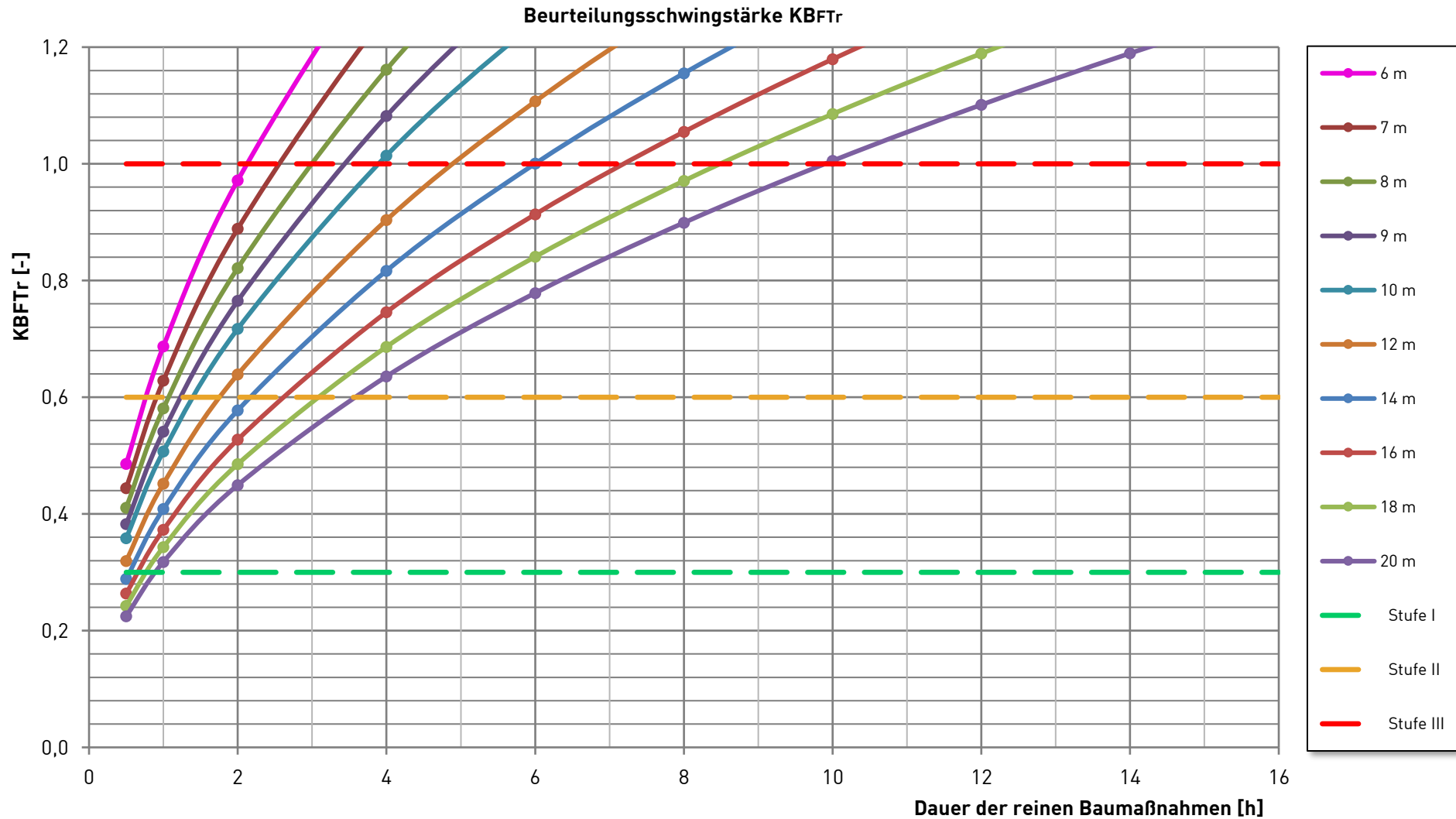


KB_{FTr} in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Stahlbetondecken

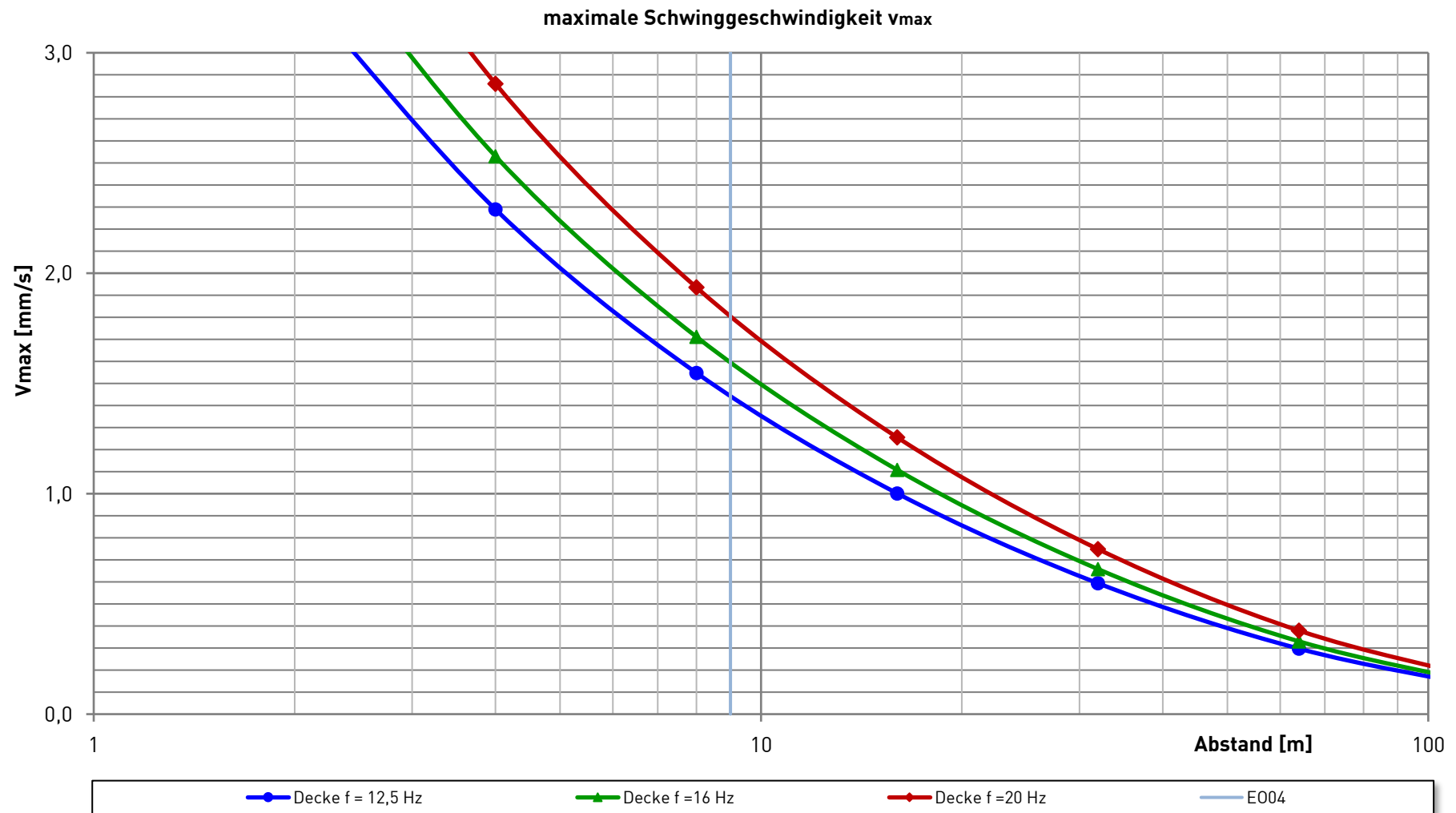
Vibrationsramme (Normalbetrieb)



Maximale Schwinggeschwindigkeit

in typischen Geschossbauten mit Holzbalkendecken

Vibrationsramme (Normalbetrieb)



Maximale Schwinggeschwindigkeit**in typischen Geschossbauten mit Stahlbetondecken****Vibrationsramme (Normalbetrieb)**