

## Unterlage 15

- informativ -



# ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHE UNTERSUCHUNG

BAUVORHABEN:	Ersatzneubau der Eisenbahnüberführung Mittelbruchstraße in Karlsruhe
UMFANG:	Ermittlung und Beurteilung der aus dem Baubetrieb resultierenden Erschütterungsimmissionen
AUFTRAGGEBER:	<b>DB Netz AG Regionalbereich Südwest</b> Schwarzwaldstraße 86 76137 Karlsruhe
BEARBEITUNG:	<b>KREBS+KIEFER FRITZ AG</b> Heinrich-Hertz-Straße 2   64295 Darmstadt T 06151 885-383   F 06151 885-220
AKTENZEICHEN:	20188002-ABE-1
DATUM:	Darmstadt, 15.03.2019

Dipl.-Phys. Peter Fritz  
Vorstand

Dieser Bericht umfasst 27 Seiten und 3 Anhänge mit 25 Seiten.  
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

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Sachverhalt und Aufgabenstellung</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Bearbeitungsgrundlagen</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Beschreibung des Baustellenbetriebes</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Anforderungen an den Schwingungsschutz</b>	<b>9</b>
<b>5.1</b>	<b>Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden</b>	<b>9</b>
<b>5.2</b>	<b>Einwirkungen auf bauliche Anlagen</b>	<b>11</b>
5.2.1	Kurzzeitige Erschütterungen	12
5.2.2	Dauererschütterungen	14
<b>5.3</b>	<b>Einwirkungsbereiche</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise</b>	<b>15</b>
<b>6.1</b>	<b>Emissionen</b>	<b>16</b>
<b>6.2</b>	<b>Transmission</b>	<b>16</b>
6.2.1	Transferfunktion $T_1$	16
6.2.2	Transferfunktionen $T_2$ und $T_3$	17
<b>6.3</b>	<b>Immissionen</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>Untersuchungsergebnisse</b>	<b>19</b>
<b>7.1</b>	<b>Emissionen</b>	<b>19</b>
7.1.1	Bohrgründungen	19
7.1.2	Verbauarbeiten	19
<b>7.2</b>	<b>Immissionen</b>	<b>20</b>
7.2.1	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	20
7.2.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen	25
<b>8</b>	<b>Abschließende Bemerkungen</b>	<b>26</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Graphische Darstellung der Fundament-Anhaltswerte	13
Abbildung 2:	Ursachen-Wirkungs-Prinzip	15
Abbildung 3:	Geometrische Abnahme der Schwingungsamplitude	17

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Erschütterungstechnische Anhaltswerte für Baumaßnahmen	10
Tabelle 2:	Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen	11
Tabelle 3:	Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen auf Gebäude	13
Tabelle 4:	Anhaltswerte für Dauererschütterungen auf Gebäude	14
Tabelle 5:	Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen	21

## Anhänge

Anhang 1	Übersichtslageplan
Anhang 2	Beurteilung der Erschütterungsimmissionen durch Bohrpfahlgründung
Anhang 3	Beurteilung der Erschütterungsimmissionen durch Vibrationsramme

## Abkürzungsverzeichnis

A	Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-]
A <sub>o</sub>	oberer Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-]
A <sub>r</sub>	Beurteilungs-Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-]
A <sub>u</sub>	unterer Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-]
A <sub>v</sub>	Anhaltswert für die Schwinggeschwindigkeit gemäß DIN 4150-3 [mm/s]
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
c <sub>p</sub>	Ausbreitungsgeschwindigkeit im Boden [m/s]
[d]	Tag
D	Dauer von Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen [d]
D	Dämpfungsgrad [%]
f	Frequenz [Hz]
f <sub>0</sub>	Deckeneigenfrequenz [Hz]
GE	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (Gewerbegebiet)
h	Stunde
[Hz]	Hertz, Schwingung je Sekunde
I	impulsförmig
IP	Immissionspunkt
KB <sub>Fmax</sub>	maximale bewertete Schwingstärke [-]
KB <sub>FTr</sub>	Beurteilungsschwingstärke [-]
MI	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend Wohnungen noch vorwiegend Anlagen untergebracht sind (Mischgebiet)
n	Abnahmekoeffizient [-]
r	Radius um die Baumaßnahme / Abstand zur Baumaßnahme
Stb.	Stahlbeton
T	Übertragungsfunktion
T <sub>E</sub>	Einsatzdauer [h]
T <sub>r</sub>	Beurteilungszeit [h]
v <sub>0</sub>	Referenzwert für die Schwingschnelle [5 • 10 <sup>-8</sup> m/s]
v <sub>i</sub>	Schwinggeschwindigkeit [mm/s]
v <sub>max</sub>	maximale Schwinggeschwindigkeit [mm/s]
v <sub>z</sub>	zulässige Schwinggeschwindigkeit auf Geschossdecken gemäß DIN 4150-3 [mm/s]
WA	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind

# 1 Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit den geplanten Umbaumaßnahmen der Eisenbahnüberführung Mittelbruchstraße in Karlsruhe 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:

- ❑ Es wurden erschütterungsintensive Baumaßnahmen wie Bohrgründungs- und Verbauarbeiten und deren Auswirkungen auf den nächstgelegenen Immissionsort Tivoliplatz1, der sich in einem Allgemeinen Wohngebiet (**WA**) befindet, und auf den nächstgelegenen Immissionsort (Mittelbruchstraße 4) in einem Gewerbegebiet untersucht. Die restlichen Baumaßnahmen sind aus Sicht des Erschütterungsschutzes nicht von Belang. Die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen erfolgte sowohl für den Tag- als auch für den Nachtzeitraum.
- ❑ 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.
- ❑ Im Nachtzeitraum werden am Immissionsort Tivoliplatz 1 die Anforderungen der **DIN 4150-2** nicht eingehalten. Dementsprechend wird zur Konfliktvermeidung empfohlen die erschütterungsintensiven Baumaßnahmen in den Tagzeitraum zu verlegen. Sollte eine Verlegung in den Tagzeitraum nicht möglich sein, so sollte aktiv mit dem Sachverhalt umgegangen werden und rechtzeitig vor Beginn der Baumaßnahmen auf den Eigentümer zur Lösung des Konflikts zugegangen werden. Während der erschütterungsintensiven Baumaßnahmen können, falls erforderlich, Ersatzwohnräume angeboten werden. Beim Immissionsort Mittelbruchstraße 4 handelt es sich um das Gebäude der Bauvorhabenträgerin (Bürogebäude), so dass hier in der Nacht keine schutzbedürftigen Nutzungen vorliegen.
- ❑ Sowohl während der Bohrgründungsarbeiten als auch beim Einbringen des Verbaus im Tagzeitraum 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 EÜ Mittelbruchstraße liegt im innerstädtischen Bereich von Karlsruhe zwischen dem Allzweckgebäude am Tivoliplatz mit Gewerbe, Parkplätzen und Studentenwohnungen und dem Gewerbegebiet der Südstadt Karlsruhe. Sie überführt die Strecken 4000 (2-gleisig), 4020 (2-gleisig) und 4200 (2-gleisig) über die Mittelbruchstraße. Im Rahmen der Erneuerung der EÜ Mittelbruchstraße wird die gesamte alte Stahlbrücke durch ein Betonbauwerk ersetzt.

Die EÜ ist aufgrund des schlechten Zustands zu erneuern. Die Erneuerungsmaßnahmen sind erforderlich, um die weitere Verfügbarkeit der Strecken 4000 (Mannheim Hbf – Konstanz), 4020 (Mannheim Hbf – Rastatt Bf) sowie 4200 (Karlsruhe Durlach – Mühlacker) zu gewährleisten.

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 Consultans, Empa Dübendorf, Stand vom Mai 2015
- /7/ 3D-Gebäudedaten (LoD1-Daten), erhalten von der Stadt Karlsruhe am 17.08.2017
- /8/ Digitales Kataster, erhalten von der Stadt Karlsruhe am 17.08.2017
- /9/ Bauphasenpläne und Bauzeitenplan für die EÜ Mittelbruchstraße, übergeben durch die DB Engineering & Consulting GmbH am 13.03.2018
- /10/ BE-Flächen-Pläne für die EÜ Mittelbruchstraße, übergeben durch die DB Engineering & Consulting GmbH am 13.03.2018

## 4 Beschreibung des Baustellenbetriebes

Die EÜ Mittelstraße wird nach dem folgenden Bauablauf erneuert:

### Bauphase 0 (wird vorab der eigentlichen Baumaßnahme durchgeführt)

- Verlegung der Kabel und Leitungen
- Kabeltiefbauarbeiten im Gleisbereich

### Bauphase 1 (Zeitraum 08.2023 – 07.2024)

- BE-Fläche einrichten

### Bauphase 2 – Vorbereitung Oberbau (19.07.2024 – 21.07.2024)

- Ausbau DKW6
- Überbau schneiden an Abbruchkante
- Schotterhaltung und Gleislängsverbau einbauen
- Geraden Schienenstrang einbauen – Oberbau stopfen

### Bauphase 3 – Abbruch Süd (Zeitraum 26.07.2024 – 03.08.2024)

- Oberbau rückbauen
- Mastsicherung 72-4a
- Baugrube Gleisbereich für Abbruch herstellen
- Überbau rückbauen
- Überbauteile ausfahren / ausheben / abfahren / lagern
- Stützen abbrechen

#### Bauphase 4 – Sperrpause Süd Einschub (Zeitraum 03.08.2024 – 16.09.2024)

- Bauwerk Süd einschieben und Zwischenraum ausbetonieren
- Verfüllung mit Magerbeton
- Arbeitsraumsicherung Bauwerk – Fuge
- Hinterfüllung Widerlager
- Oberbau inkl. Schotterhaltung einbauen

#### Bauphase 5 – Abbruch Nord (Zeitraum 17.08.2024 – 24.08.2024)

- Oberbau rückbauen
- Baugrube Gleisbereiche für Abbruch herstellen
- Überbau rückbauen
- Überbauteile ausfahren / ausheben / abfahren / lagern
- Stützen abbrechen

#### Bauphase 6 – Sperrpause Nord Einschub (Zeitraum 25.08.2024 – 08.09.2024)

- Bauwerk Nord einschieben und Zwischenraum ausbetonieren
- Verfüllung mit Magerbeton
- Fertigstellung Fugen
- Hinterfüllung Widerlager
- Oberbau einbauen
- Provisorien rückbauen

#### Bauphase 7 – Restarbeiten (Zeitraum 09.2024 – 03-2025)

- Rückbau restliche Stützenfundamente
- Rückbau Verbauten
- Herstellung Straßenaufbau inkl. Verfüllung Baugrube
- Rückbau BE-Flächen und Wiederherstellung Ursprung

#### Bauphase 8 (Zeitraum 03.2025 – 06.2025)

- Endzustand

Im vorliegenden Fall ist zu erwarten, dass die Rammarbeiten im Zuge der Mastsicherung sowie beim Gleislängsverbau mit erschütterungsrelevanten Schwingungen verbunden sind. Bei Herstellung von Bohrpfählen können ebenfalls relevante Erschütterungsimmissionen hervorgerufen werden, da die Gründungsarbeiten relativ nah an Immissionsorten stattfinden. Die restlichen Baumaßnahmen haben aus Sicht des Erschütterungsschutzes keine Relevanz. Es wird davon ausgegangen, dass die beschriebenen Maßnahmen sowohl im Tag- als auch im Nachtzeitraum stattfinden.



## 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<sub>Fmax</sub>** und
- ☐ die Beurteilungsschwingstärke **KB<sub>FT</sub>**

als maßgebende Beurteilungsgrößen mit den Anhaltswerten der Norm zu vergleichen.

Zunächst erfolgt ein Vergleich der für den Baubetrieb erwarteten maximalen bewerteten Schwingstärke **KB<sub>Fmax</sub>** mit den Anhaltswerten **A<sub>u</sub>** und **A<sub>o</sub>** gemäß **DIN 4150-2**. Ist **KB<sub>Fmax</sub>** kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert **A<sub>u</sub>**, dann ist die Anforderung der Norm eingehalten. Ist **KB<sub>Fmax</sub>** größer als der obere Anhaltswert **A<sub>o</sub>**, dann ist die Anforderung der Norm nicht eingehalten.

Für Einwirkungen, bei denen **KB<sub>Fmax</sub>** größer als **A<sub>u</sub>**, jedoch kleiner als **A<sub>o</sub>** ist, ist in einem weiteren Prüfschritt die Beurteilungsschwingstärke **KB<sub>FT</sub>** zu ermitteln und mit dem Beurteilungsanhaltswert **A<sub>r</sub>** zu vergleichen. Ist **KB<sub>FT</sub>** kleiner oder gleich **A<sub>r</sub>**, 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 relevanten Erschütterungseinwirkungen entstehen. Bei einer Einwirkdauer **D** zwischen einem Tag und sechs Tagen sind die Anhaltswerte entsprechend zu interpolieren.

Dauer	$D \leq 1 \text{ Tag}$			$6 \text{ d} < D \leq 26 \text{ d}$			$26 \text{ d} < D \leq 78 \text{ d}$		
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.

Für nachts auftretende Erschütterungen durch Baumaßnahmen gelten die Anhaltswerte aus Tabelle 1 der **DIN 4150-2**. Diese Anforderungen sind in **Tabelle 2** zusammengestellt.

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A <sub>u</sub>	A <sub>o</sub>	A <sub>r</sub>	A <sub>u</sub>	A <sub>o</sub>	A <sub>r</sub>
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichtspersonal und Bereitschaftspersonen untergebracht sind	0,40	6,0	0,20	0,30	0,60	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind	0,30	6,0	0,15	0,20	0,40	0,10
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	0,20	5,0	0,10	0,15	0,30	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind	0,15	3,0	0,07	0,10	0,20	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0,10	3,0	0,05	0,10	0,15	0,05

**Tabelle 2:** Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen

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.

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.

### 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 3** für unterschiedliche Gebäudearten zusammengefasst. Die Interpolation der Anhaltswerte für verschiedene Erschütterungsfrequenzen ist in **Abbildung 1** dargestellt.

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

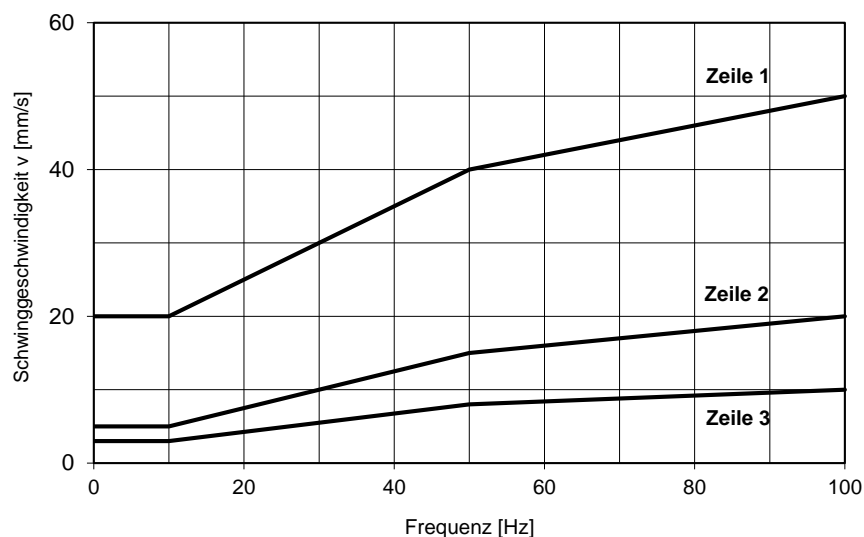
$$v_z = 20 \text{ mm/s}$$

für das Auftreten kurzzeitiger **vertikaler** Deckenschwingungen.

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 Konstruktion und / oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5...15	15...20	15
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert sind (z. B. unter Denkmalschutz stehend)	3	3...8	8...10	8

\* Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden

**Tabelle 3:** Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen auf Gebäude



**Abbildung 1:** Graphische Darstellung der Fundament-Anhaltswerte

## 5.2.2 Dauererschütterungen

Für die Beurteilung der auftretenden Dauererschütterungen sind die größten horizontalen Schwinggeschwindigkeiten maßgebend, da 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 <sup>a</sup>
<sup>a</sup> Zur Verhinderung leichter Schäden kann eine deutliche Abminderung notwendig sein			

**Tabelle 4:** 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 3** für unterschiedliche Gebäudearten zusammengefasst.

## 5.3 Einwirkungsbereiche

Im Einwirkungsbereich der Baustelle befinden sich südlich der Bahnanlage schutzbedürftige Nutzungen in einem Gewerbegebiet (**GE**). Der Mindestabstand zum Bereich, in dem erschütterungsrelevante Baumaßnahmen stattfinden, beläuft sich auf ca.

$d \geq 25 \text{ m.}$

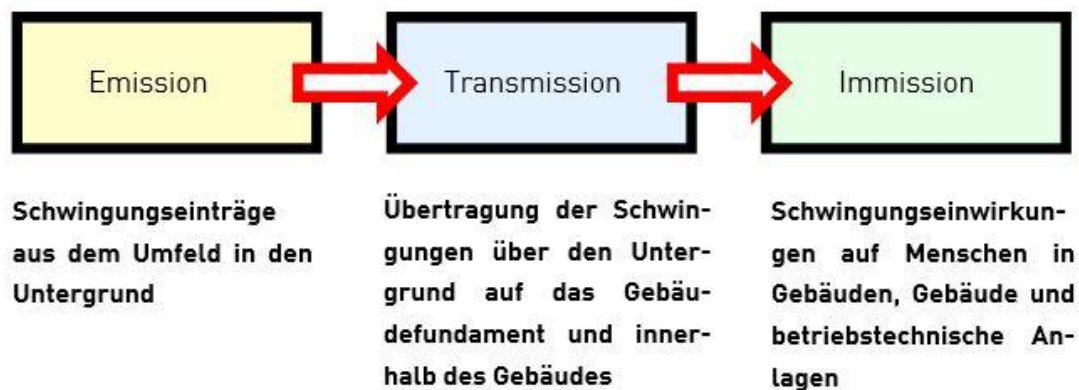
Nördlich der Bahnanlage sind allgemeine Wohngebiete vorzufinden (**WA**). Direkt neben dem Gebäude Tivoliplatz 1 (**IP1**) finden Gründungsarbeiten zur Verstärkung des Untergrunds statt, so dass davon ausgegangen wird, dass der Mindestabstand hierbei nur

$d \geq 2 \text{ m.}$

betragen könnte.

## 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.



**Abbildung 2:** 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 2** dargestellten Ursachen-Wirkungs-Prinzip ausgegangen.

## 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 **Abschnitt 4** beschrieben und in **Anhang 2.1** bzw. **Anhang 3.1** als Emissionen mittels Terzbandspektren der Schwingschnelle grafisch dargestellt. Die angegebenen Schwingschnellen beziehen sich in der Regel jeweils auf eine Messposition im Boden und auf einen Bezugsabstand zum Emittenten. Die Emissionsspektren sind keine exemplarischen Spektren, sondern stellen eine obere Einhüllende der bei unterschiedlichen Bodenverhältnissen anzutreffenden Emissionen dar.

Da die dynamischen Beanspruchungen im Regelfall in vertikaler Richtung in den Untergrund eingeleitet werden und üblicherweise die Vertikalkomponenten der Schwingschnelle am Fundament und auf den Geschossdecken die Schwingschnellen in den übrigen beiden Raumrichtungen deutlich überschreiten, werden die Prognosebetrachtungen ausschließlich für die Vertikalkomponenten der Erschütterungseinwirkungen vorgenommen.

## 6.2 Transmission

### 6.2.1 Transferfunktion $T_1$

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.

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:

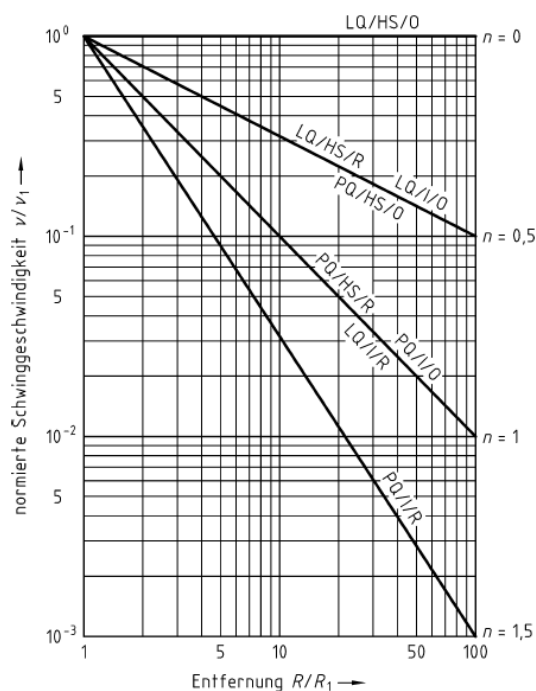
$$\begin{aligned} D &= 1 \% \\ c_p &= 200 \text{ m/s} \end{aligned}$$



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



**Abbildung 3:** Geometrische Abnahme der Schwingungsamplitude

## 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 2.2** bzw. **Anhang 3.2** 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 Holzbalkendecken in **Anhang 2.3** bzw. **Anhang 3.3** und für Stahlbetondecken in **Anhang 2.4** bzw. **Anhang 3.4** dargestellt. Hierbei wird jeweils der Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung der  $T_3$ -Funktion berücksichtigt.

Bei den der Baustelle nächstgelegenen Gebäuden wird davon ausgegangen, dass diese mit Stahlbetondecken ausgestattet sind. Dennoch wird der Nachweis ebenso für Holzbalkendecken geführt.

## 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 Emissionen

Die in **Kapitel 4** beschriebenen Bauphasen beinhalten in der Regel Baumaßnahmen, die dynamisch sind. 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.

#### 7.1.1 Bohrgründungen

Die Bohrarbeiten sind zur Herstellung von Bohrpfählen im Herstellerbereich sowie unter den Gleisen erforderlich. 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. Es wird davon ausgegangen, dass die Erschütterungseinwirkungen infolge der dynamischen Bohrarbeiten in einem Zeitraum von maximal **2 Tagen** erfolgen können. Das der Berechnung zugrunde gelegte Emissionsspektrum ist in **Anhang 2.1** dargestellt.

#### 7.1.2 Verbauarbeiten

Erschütterungstechnisch relevante Bauaktivitäten stellen im Allgemeinen die Rammarbeiten zur Mastsicherung und beim Einbringen des Gleislängsverbaus dar.

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 Emissionsspektrum ist in **Anhang 3.1** dargestellt.

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

$$n = 0,5$$

berücksichtigt.

Beim Einbringen von Verbau ist punktuell von einer kurzen Arbeitszeit auszugehen. Im Sinne einer oberen Abschätzung wird auch hier von maximal **2 Tagen** ausgegangen.

## 7.2 Immissionen

### 7.2.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Die Gesamtdauer der hier untersuchten Baumaßnahmen beträgt mehr als 78 Tage. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die erschütterungsintensiven Bautätigkeiten (Bohr- und Verbauarbeiten) punktuell nicht mehr als **4 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 5** dargestellt.

Dauer	D = 4 Tage		
Spalte	1	2	3
Anhaltswerte	$A_u$	$A_o$	$A_r$
Stufe I	0,60	5	0,35
Stufe II	1,00	5	0,70
Stufe III	1,40	5	1,10

**Tabelle 5:** Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen

Der Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen in der Nacht werden die Anhaltswerte gemäß **DIN 4150-2**, Tabelle 1 zu Grunde gelegt.

Die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen der Baumaßnahmen erfolgen für die jeweils ungünstigsten Deckeneigenfrequenzen für Stahlbeton- bzw. Holzbalkendecken, die in **Anhang 2.3** bis **Anhang 2.4** bzw. **Anhang 3.3** bis **Anhang 3.4** grafisch und tabellarisch dargestellt sind:

- ☐  $f_0 = 20,0 \text{ Hz}$  bei Holzbalkendecken bzw.
- ☐  $f_0 = 31,5 \text{ Hz}$  bei Stahlbetondecken.

#### 7.2.1.1 Einbringen der Bohrpfähle

Die Herstellung der Bohrpfähle finden innerhalb Bauphase 1 statt. Zunächst werden die Bohrpfähle im südlichen Bereich hergestellt, in dem der Abstand zum nächstgelegenen Immissionsort Mittelbruchstraße 4 (**IP2**) etwa

$$d \geq 25 \text{ m}$$

beträgt. Anschließend finden die Gründungsarbeiten im Bereich Nord statt. Hier wird der kleinste Abstand zum nächstgelegenen Immissionsort Tivoliplatz 1 (**IP1**) auf etwa

$$d \geq 2 \text{ m}$$

abgeschätzt.

##### 7.2.1.1.1 Tagzeitraum

Für die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen der Bohrarbeiten werden zunächst die maximalen beurteilten Schwingstärken  $KB_{Fmax}$  unter Berücksichtigung der jeweils ungünstigsten Deckeneigenfrequenzen für Stahlbeton- bzw. Holzbalkendecken ermittelt. Es wird zunächst geprüft, ob der obere Anhaltswert

$$A_{o,Tag} = 5 \text{ (WA)}$$

$$A_{o,Tag} = 6 \text{ (GE)}$$

im Tagzeitraum bei den gegebenen Abstandsverhältnissen eingehalten werden kann. Gemäß **Anhang 2.5** wird  $A_o$  während der Bohrarbeiten im Tagzeitraum für Stahlbetondecken selbst bei geringsten Abständen noch unterschritten. Bei Holzbalkendecken wird der Anhaltswert zwar überschritten. Da es sich um ein Neubaugebäude handelt, wird davon ausgegangen, dass es nur über Stahlbetondecken verfügt.

Bei den hier gegebenen Abstandsverhältnissen werden für den Immissionsort Mittelbruchstraße 4 die Anforderungen der **DIN 4150-2** bereits im 1. Schritt der Beurteilung eingehalten. Die Ausweisung der  $KB_{Ftr}$ -Werte erfolgt somit rein informativ.

Für den Immissionsort Tivoliplatz 1 sind die unteren Anhaltswerte aller Stufen jedoch klar verfehlt. Dementsprechend wird für das Gebäude ein Vergleich der Beurteilungsschwingstärke mit den Beurteilungsanhaltswerten als nächster Beurteilungsschritt erforderlich. Der  $KB_{Ftr}$ -Wert wird für die maßgeblichen Deckenkonstruktionen in Abhängigkeit von der tatsächlichen Einwirkzeit während des Tagzeitraumes ermittelt und mit den Anhaltswerten gemäß **Tabelle 5** verglichen.

Ausgehend von der Annahme, dass das Gebäude keine Holzbalkendecken hat, ergeben sich die in **Anhang 2.9** dargestellten Beurteilungsschwingstärken in Abhängigkeit von Abstand und Einsatzzeit. Die durch Bohrarbeiten (Aufsetzen des Bohrpfahls) hervorgerufenen Erschütterungsimmersionen dauern pro Bohrpfahl kürzer als 30 Sekunden, so dass die reine Einsatzzeit mit weniger als 30 Minuten angenommen werden kann. Dementsprechend wird gemäß **Anhang 2.9** der Beurteilungsanhaltswert von Stufe II eingehalten. Zur Minimierung der Belästigungen aufgrund der Bohrmaßnahmen wird im vorliegenden Fall empfohlen, die Maßnahmen a) bis e) nach **DIN 4150-2** vor Beginn der erschütterungsintensiven Bautätigkeiten durchzuführen.

#### 7.2.1.1.2 Nachtzeitraum

Für die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen im Nachtzeitraum werden die Anhaltswerte gemäß **DIN 4150-2**, Tabelle 1 herangezogen. Wie in **Anhang 2.6** dargestellt ist, überschreiten die für Immissionsort Tivoliplatz1 prognostizierten  $KB_{Fmax}$ -Werte den oberen Anhaltswert für WA-Gebiete von

$$A_{o,Nacht} = 0,2$$

deutlich. Dementsprechend werden die Anforderungen der **DIN 4150-2** nicht eingehalten.

Wie bereits erwähnt handelt es sich bei dem Immissionsort Mittelbruchstraße 4 um ein Gebäude der Bauvorhabenträgerin, also um ein Bürogebäude, so dass hier in der Nacht keine schutzbedürftige Nutzung vorliegt.

#### 7.2.1.2 Verbauarbeiten

Das Einbringen von Verbau innerhalb Bauphase 1 und Bauphase 2 statt. Zunächst werden die Mastsicherungen ausgeführt. Anschließend wird der Gleislängsverbau hergestellt. Der Abstand zum nächstgelegenen Immissionsort Mittelbruchstraße 4 (**IP2**) in einem Gewerbegebiet beläuft sich hierbei auf

$$d \geq 22 \text{ m}$$

und zum nächstgelegenen Immissionsort Tivoliplatz 1 (**IP1**) in einem allgemeinen Wohngebiet auf

$$d \geq 43 \text{ m.}$$

##### 7.2.1.2.1 Tagzeitraum

Gemäß **Anhang 3.5** wird **A<sub>0</sub>** während der Verbauarbeiten im Tagzeitraum für beide Deckenkonstruktionen unterschritten.

Bei den hier gegebenen Abstandsverhältnissen werden für den Immissionsort Mittelbruchstraße 4 (**IP2**) die Anforderungen der **DIN 4150-2** bereits im 1. Schritt der Beurteilung eingehalten. Die Ausweisung der **KB<sub>FTr</sub>**-Werte erfolgt somit rein informativ.

Für den Immissionsort Tivoliplatz 1 (**IP1**) wird demnach Stufe II zwar eingehalten. Jedoch wird Stufe I knapp verfehlt. Dementsprechend wird für das Gebäude ein Vergleich der Beurteilungsschwingstärke mit den Beurteilungsanhaltswerten als nächster Beurteilungsschritt erforderlich. Der **KB<sub>FTr</sub>**-Wert wird für die maßgeblichen Deckenkonstruktionen in Abhängigkeit von der tatsächlichen Einwirkzeit während des Tagzeitraumes ermittelt und mit den Anhaltswerten gemäß **Tabelle 5** verglichen.

Ausgehend von der Annahme, dass das Gebäude keine Holzbalkendecken hat, ergeben sich die in **Anhang 3.9** dargestellten Beurteilungsschwingstärken in Abhängigkeit von Abstand und Einsatzzeit. Dem Anhang ist zu entnehmen, dass bei den Verbauarbeiten während der Mastsicherung 72-4, die einen Abstand von etwa 28 m zum Gebäude aufweisen, darf die reine Einsatzdauer

$$T_e \leq 4 \text{ h}$$

nicht übersteigen, damit Stufe I eingehalten werden kann. Stufe II wird hierbei mit Sicherheit ( $T_e \leq 16 \text{ h}$ ) eingehalten.

Während der Gleislängsverbauarbeiten, die einen minimalen Abstand von 22 m zum Gebäude aufweisen, wird die Stufe I bei der Einhaltung der reinen Einsatzzeit von

$$T_e \leq 3 \text{ h}$$

nicht überschritten. Stufe II wird hierbei ebenfalls mit Sicherheit ( $T_e \leq 11 \text{ h}$ ) eingehalten.

#### 7.2.1.2.2 Nachtzeitraum

Für die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen im Nachtzeitraum werden die Anhaltswerte gemäß **DIN 4150-2**, Tabelle 1 herangezogen. Wie in **Anhang 3.6** dargestellt ist, überschreiten die für Immissionsort Tivoliplatz1 prognostizierten **KB<sub>Fmax</sub>**-Werte den oberen Anhaltswert für WA-Gebiete von

$$A_{o,Nacht} = 0,2$$

deutlich. Dementsprechend werden die Anforderungen der **DIN 4150-2** nicht eingehalten.

Für den exemplarisch betrachteten Immissionsort Mittelbruchstraße 4, wie bereits erwähnt, liegt im Nachtzeitraum keine schutzbedürftige Nutzung vor.

#### 7.2.1.3 Maßnahmen

Für die nächstgelegene schutzbedürftige Nutzung im Gewerbegebiet (Mittelbachstraße 4) werden die Anforderungen der **DIN 4150-2** bei den geplanten erschütterungsintensiven Baumaßnahmen im Tagzeitraum eingehalten. Für den Nachtzeitraum liegt hier keine schutzbedürftige Nutzung vor, da es sich um ein Bürogebäude der Vorhabenträgerin handelt.

Aufgrund der gegebenen Abstandsverhältnisse werden am Immissionsort Tivoliplatz 1 (**WA**) die Beurteilungsanhaltswerte der Stufe I im Tagzeitraum während der Bohrgründungen nicht eingehalten. Der Anhaltswert der Stufe II kann hingegen eingehalten werden. Bei Verbauarbeiten wird der Beurteilungsanhaltswert von Stufe I eingehalten, solange die reine Einsatzzeit weniger als 3 Stunden beträgt.

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;*

Im Nachtzeitraum, soweit das nächstgelegene Gebäude schutzwürdige Nutzungen in der Nacht aufweist, werden die Anforderungen der Norm nicht eingehalten. Demgemäß wird empfohlen, die erschütterungsintensiven Baumaßnahmen in den Tagzeitraum zu verlegen. Sollten die Bauarbeiten im Nachtzeitraum erfolgen, wird in diesem Fall zur Vermeidung von erheblichen Belästigungen die Vereinbarung besonderer Maßnahmen, z. B. Ersatzwohnraum, notwendig.

## **7.2.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen**

### **7.2.2.1 Einbringen der Bohrpfähle**

Die Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Abstand der Bohrpfahlgründungen zu den Gebäuden sind für Holzbalkendecken in **Anhang 2.11** und für Stahlbetondecken in **Anhang 2.12** dargestellt.

Für die nächstgelegenen Bebauungen ergeben sich am Fundament maximalen Schwinggeschwindigkeiten von

$$v_{\max} = 1,3 \text{ mm/s (IP1)}$$

$$v_{\max} = 0,1 \text{ mm/s (IP2)}$$

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

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

Diese Vorgaben werden selbst bei geringsten Abständen deutlich unterschritten.

Für die maßgebenden Geschossdecken an den nächstgelegenen Gebäuden (Stahlbeton) werden maximale Werte

$$v_{\max} \leq 7,5 \text{ mm/s (IP1)}$$

$$v_{\max} \leq 0,3 \text{ mm/s (IP2)}$$

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 Bohrarbeiten **nicht** mit Gebäudeschäden durch baubedingte Erschütterungen zu rechnen ist.

#### 7.2.2.2 Einbringen von Verbau

Die Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Abstand der Verbauarbeiten zu den Gebäuden sind für Stahlbetondecken in **Anhang 3.11** und für Holzbalkendecken in **Anhang 3.12** dargestellt.

Der Betrieb der Vibrationsramme stellt im Sinne der **DIN 4150-3** keine kurzzeitige, sondern eine stationäre Erschütterung dar. 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 Verdichtungsarbeiten können somit ausgeschlossen werden.

## 8 Abschließende Bemerkungen


Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (**BImSchG**) 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.

Die durchgeführte erschütterungstechnische Untersuchung belegt, dass erhebliche Belästigungen im Sinne der **DIN 4150-2** während der Baumaßnahmen an der Eisenbahnüberführung Mittelbruchstraße in Karlsruhe in den umliegenden Einwirkungsbereichen bei den gegebenen Abstandsverhältnissen nicht zu erwarten sind. Grundsätzlich sind die in der **DIN 4150-2**, Abschnitt 6.5.4.3 benannten Maßnahmen a) bis e) zur Minderung erheblicher Belästigungen zu ergreifen. Hierzu zählt insbesondere eine umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahme, das Bauverfahren, deren Dauer und die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahme.

In der Nacht können erhebliche Belästigungen hingegen nicht ausgeschlossen werden. Hier werden die Anforderungen der **DIN 4150-2** nicht eingehalten. Dementsprechend sind in diesem Fall die Vereinbarung besonderer Maßnahmen, wie z. B. Anbieten von Ersatzwohnraum, notwendig.

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

AUFGESTELLT:



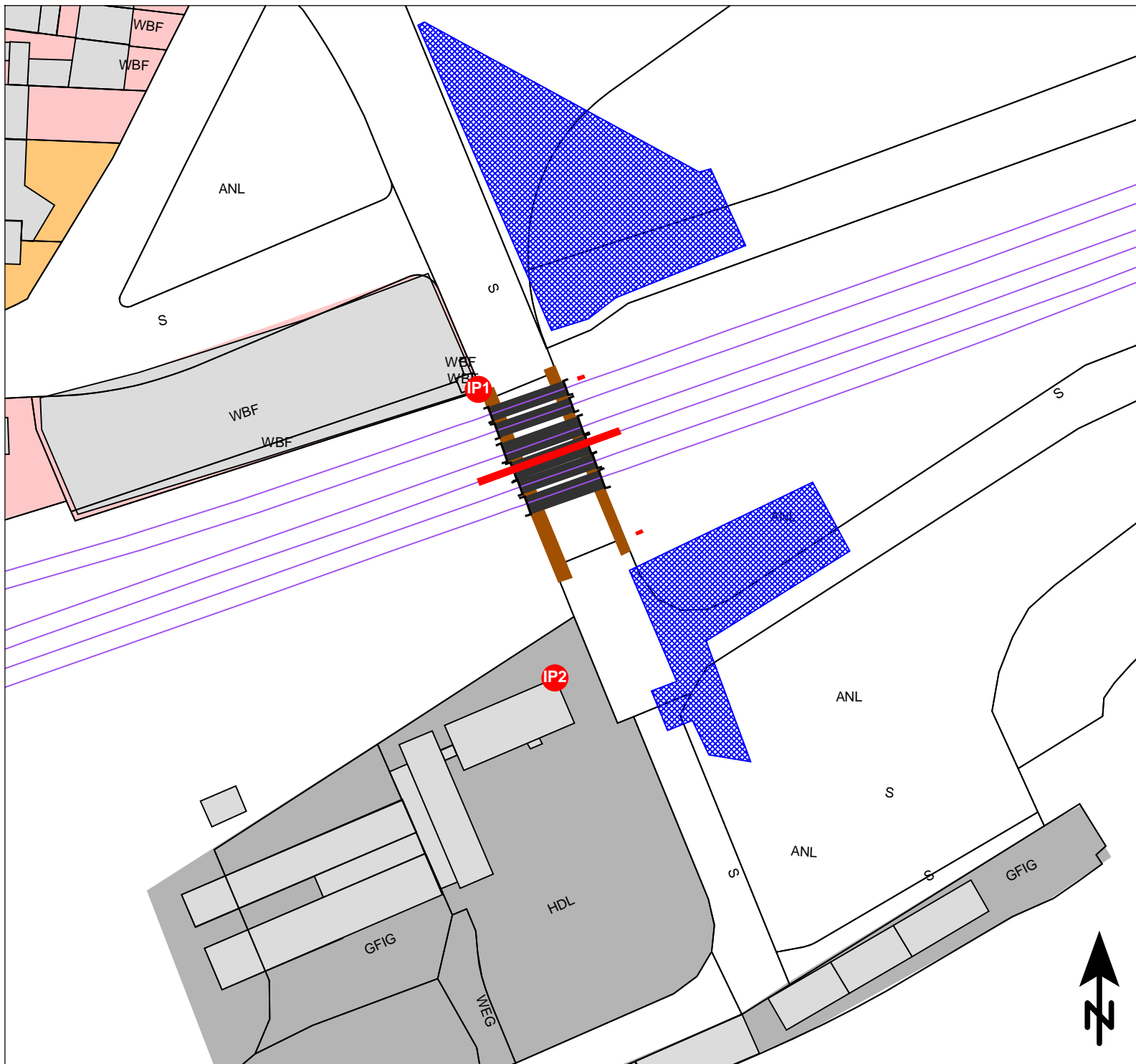
**Dipl.-Phys. Andreas Malizki**

GEPRÜFT:



**Dipl.-Ing.(FH) Katrin Endres**

# ANHANG



Gewerbegebiet  
Mischgebiet  
Allgemeines Wohngebiet

Immissionsort  
Emission Schiene

Gebäude  
Baustelleneinrichtungsflächen  
Verbauarbeiten  
Bohrgründung

Maßstab 1:1000

0 10 20 30 40 50 m

**KREBS + KIEFER**  
**FRITZ AG**

Hilpertstraße 20  
64695 Darmstadt  
Telefon (06151) 885-383  
www.kuk.de

15.03.2019; Bericht Nr.2018-8002-ABE-1

DB Netz AG Regionalbereich Südwest  
**Erneuerung EÜ Mittelbruchstr. Karlsruhe**

**- ÜBERSICHTSLAGEPLAN -**

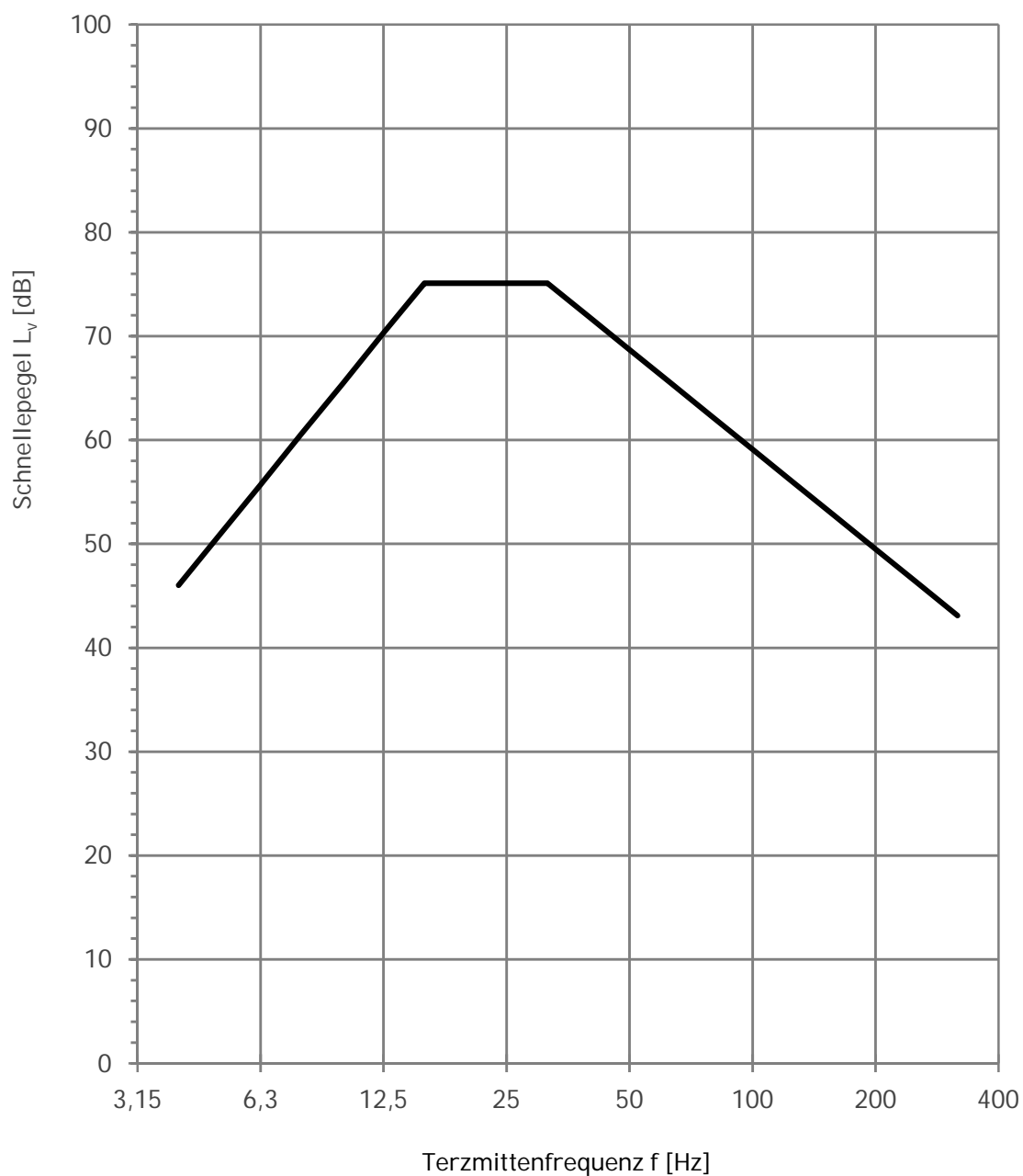
**ANHANG 1**

# Emissionsspektrum

## Einbringen v. Bohrpfählen

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\[Bohrgründung.xlsx]Emission

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



L <sub>v</sub> [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 <sub>Fmax</sub>

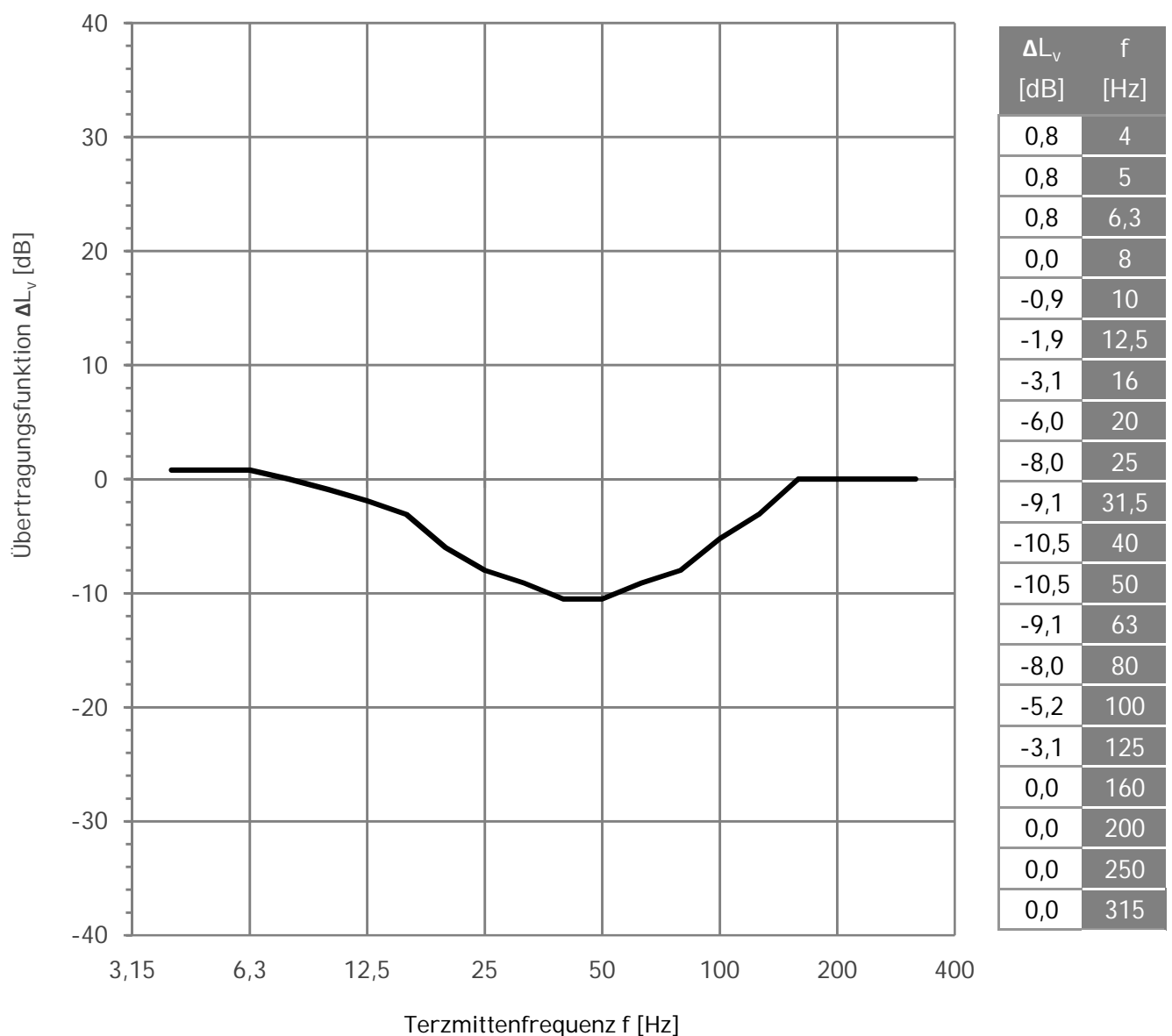
# T<sub>2</sub>-Funktion

## Übertragung Erdreich - Fundament

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EÜ\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\[Bohrgründung.xlsx]T2

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: Mehrfamilienhäuser  
Schwingrichtung: vertikal (z)



22.06.2018

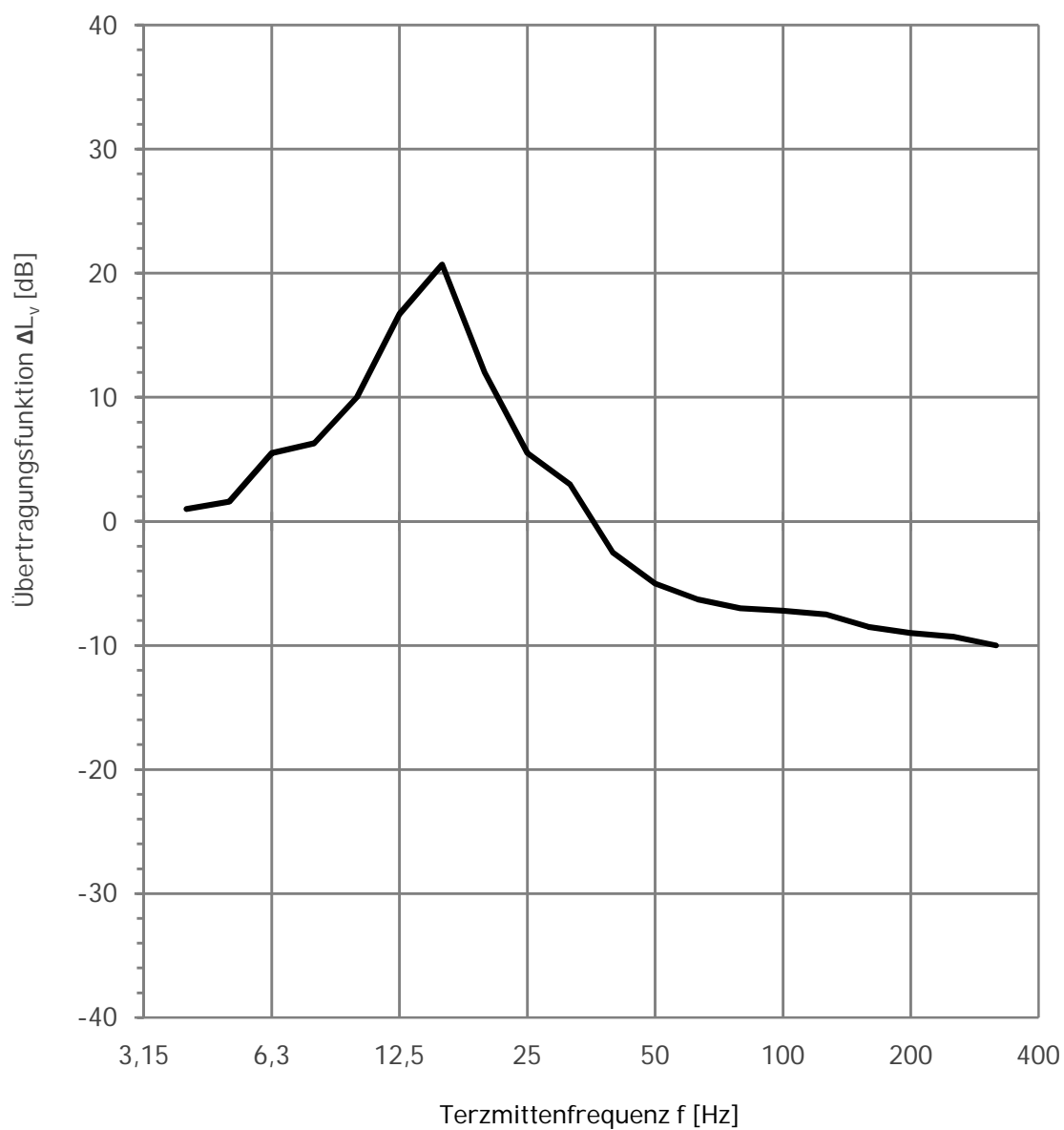
# T<sub>3</sub>-Funktion

## Übertragung Fundament - Geschossdecke

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\[Bohrgründung.xlsx]T3-Holz

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

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



$\Delta L_v$ [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



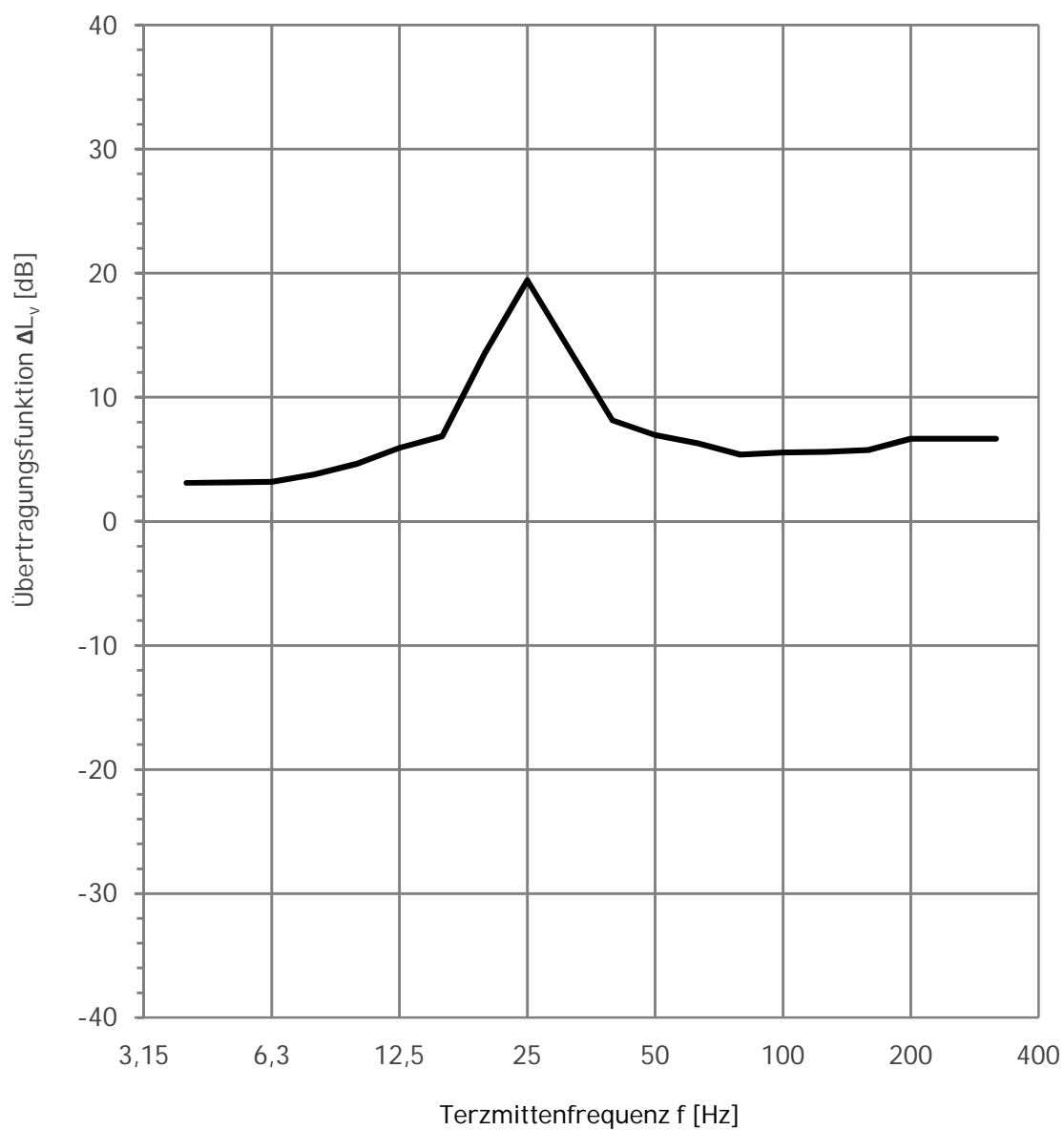
# T<sub>3</sub>-Funktion

## Übertragung Fundament - Geschossdecke

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EÜ\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\[Bohrgründung.xlsx]T3-Beton

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

Deckeneigenfrequenz:  $f = 25 \text{ Hz}$



$\Delta L_v$ [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

22.06.2018

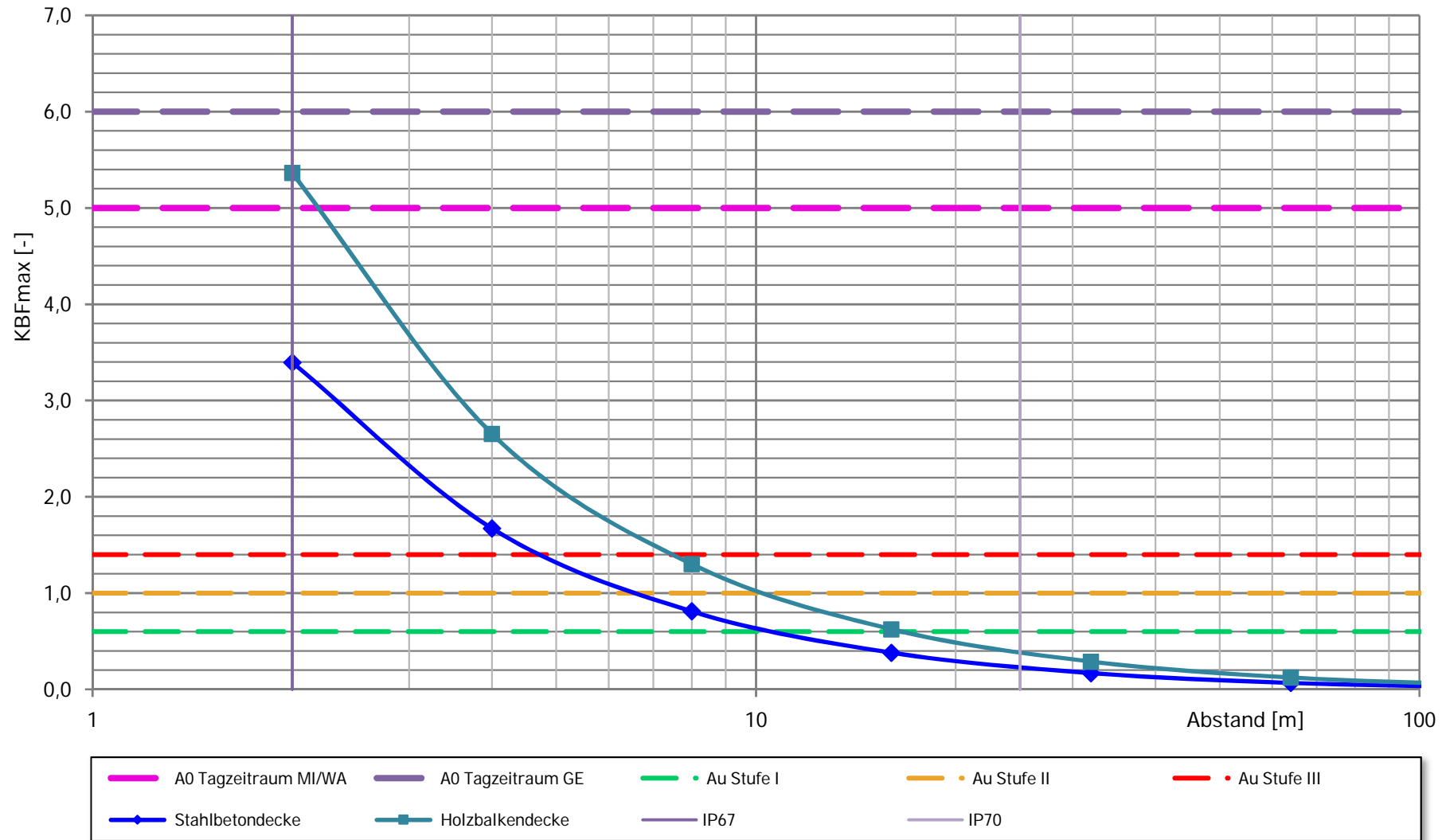
# KB<sub>Fmax</sub> in typischen Geschossbauten

## Tagzeitraum

Einbringen v. Bohrpfehlen

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Bohrgründung.xlsx\KBFmaxT

maximale Schwingstärke KB<sub>Fmax</sub>



22.06.2018

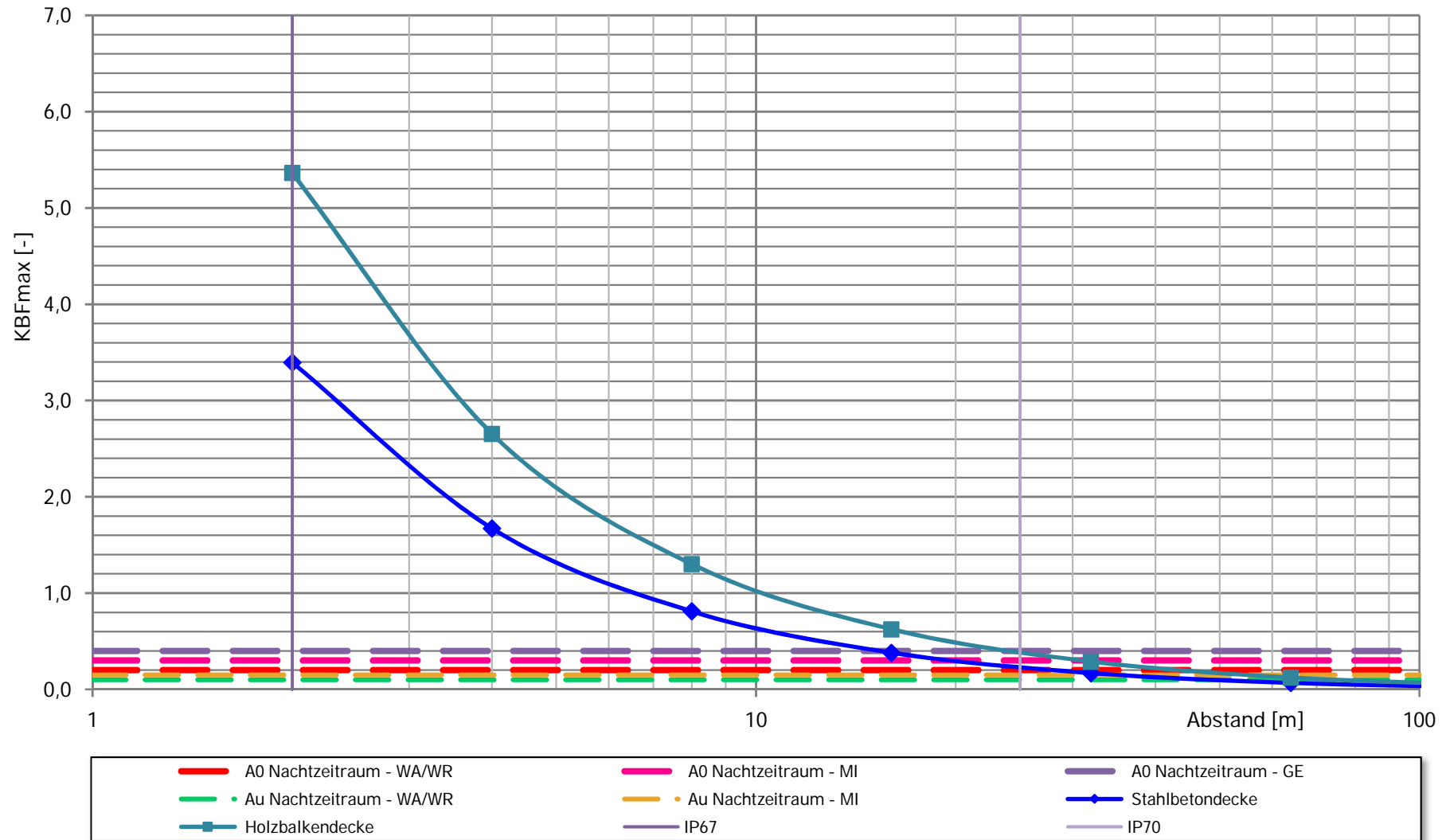
# KB<sub>Fmax</sub> in typischen Geschossbauten

## Nachtzeitraum

Einbringen v. Bohrpfehlen

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Bohrgründung.xlsx\KB<sub>Fmax</sub>N

maximale Schwingstärke KB<sub>Fmax</sub>



22.06.2018

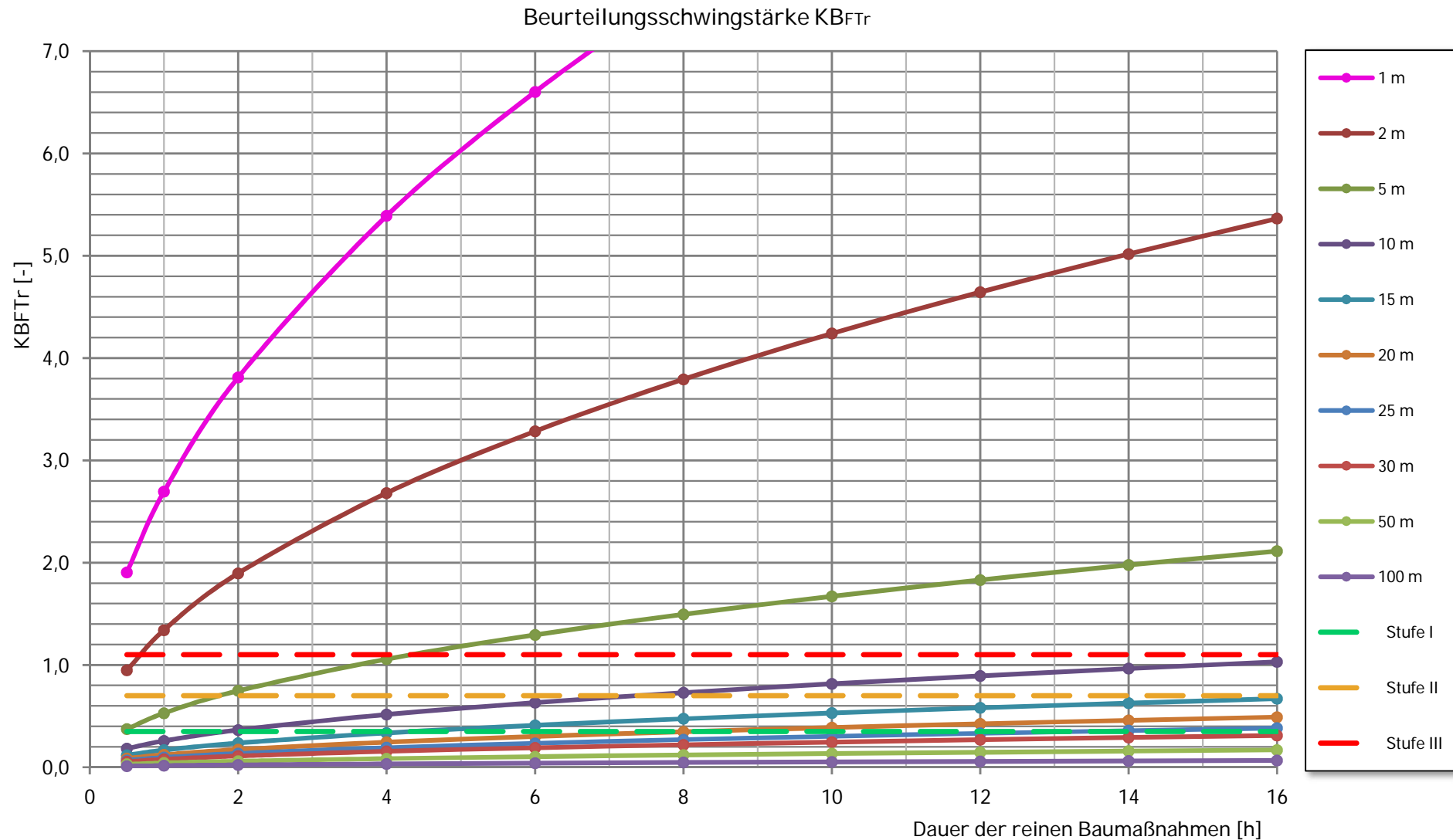
# KB<sub>FTr</sub> in typischen Geschossbauten

Tagzeitraum

Holzbalkendecken

Einbringen v. Bohrpfehlen

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Bohrgründung.xlsx\KB<sub>FTr</sub>\_Holz\_T



22.06.2018

# KB<sub>FTr</sub> in typischen Geschossbauten

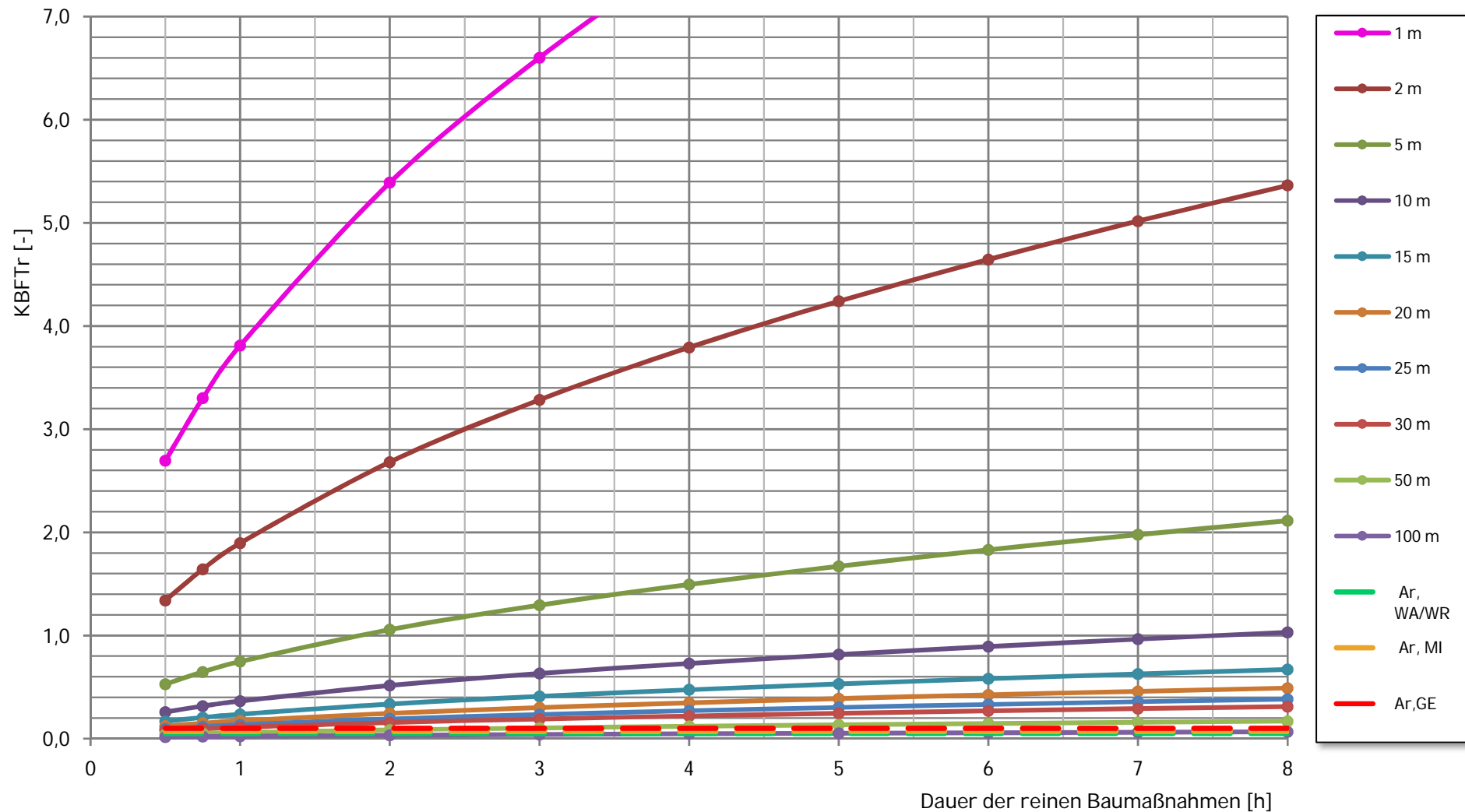
Nachtzeitraum

Holzbalkendecken

Einbringen v. Bohrpfählen

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Bohrgründung.xlsx\KBFTTr\_Holz\_N

Beurteilungsschwingstärke KB<sub>FTr</sub>



22.06.2018

# KB<sub>FTr</sub> in typischen Geschossbauten

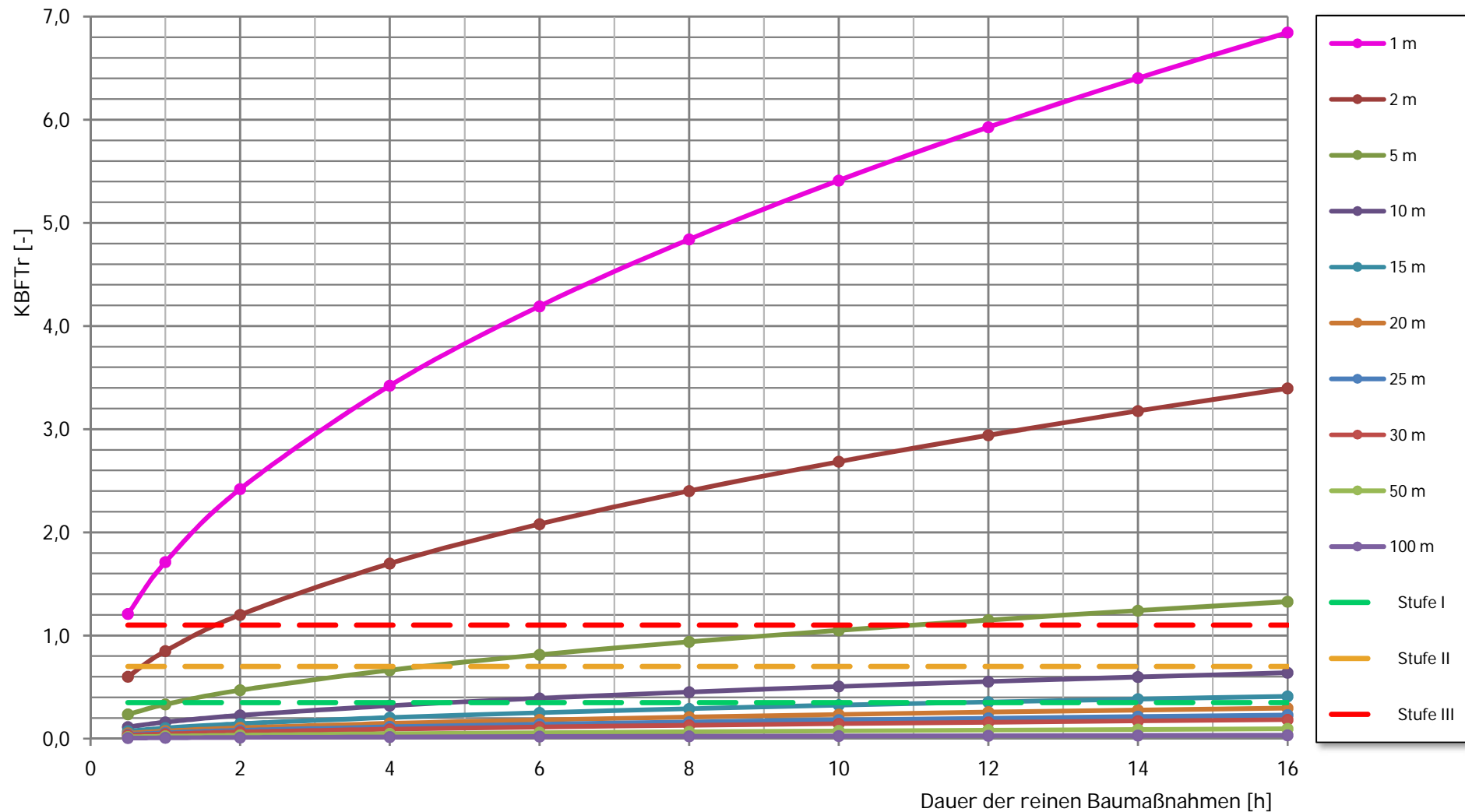
Tagzeitraum

Stahlbetondecken

Einbringen v. Bohrpfehlen

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Bohrgründung.xlsx\KB<sub>FTr</sub>\_Beton\_T

Beurteilungsschwingstärke KB<sub>FTr</sub>



22.06.2018

# KB<sub>FTr</sub> in typischen Geschossbauten

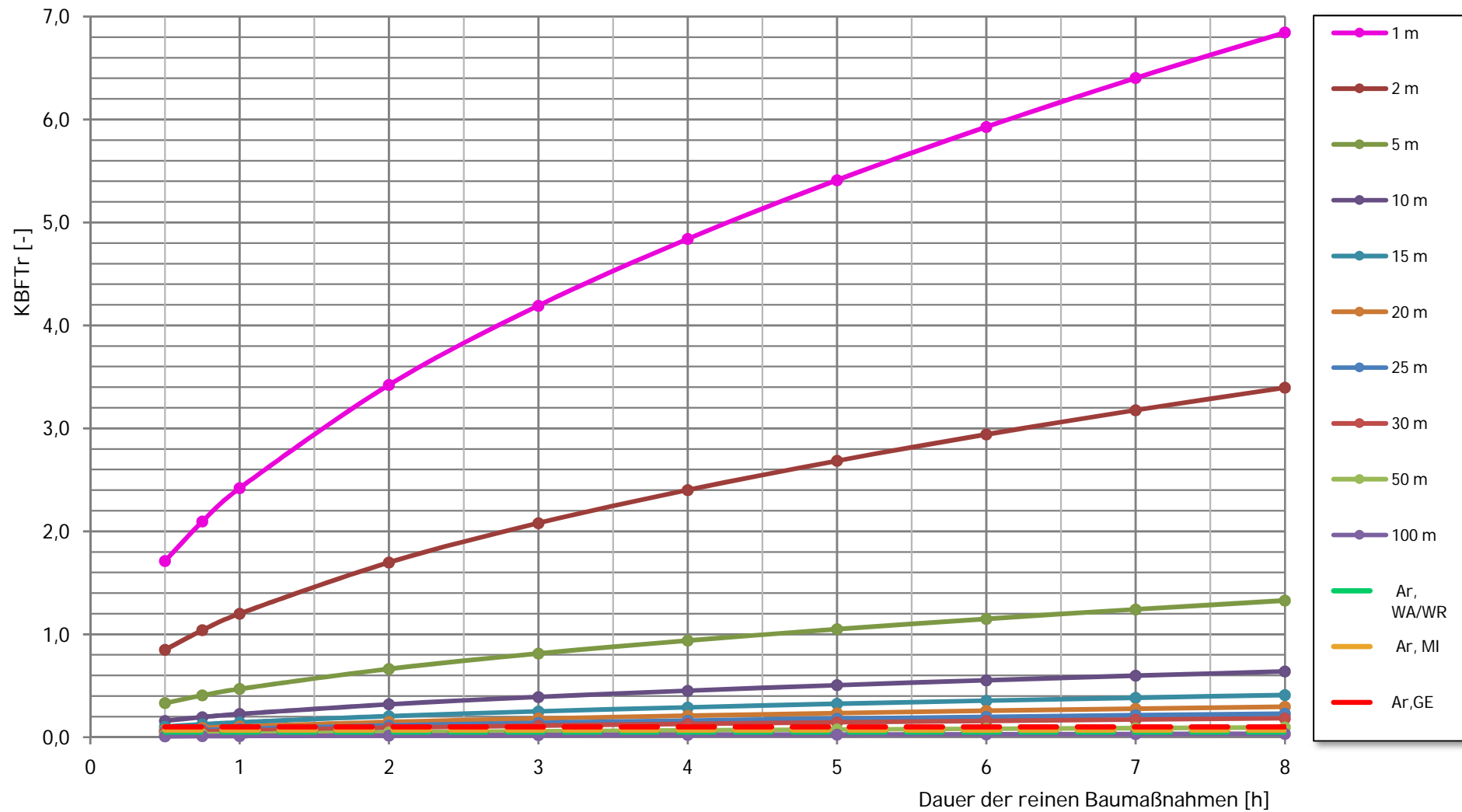
Nachtzeitraum

Stahlbetondecken

Einbringen v. Bohrpfehlen

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Bohrgründung.xlsx\KBFT<sub>r</sub>\_Beton\_N

Beurteilungsschwingstärke KB<sub>FTr</sub>



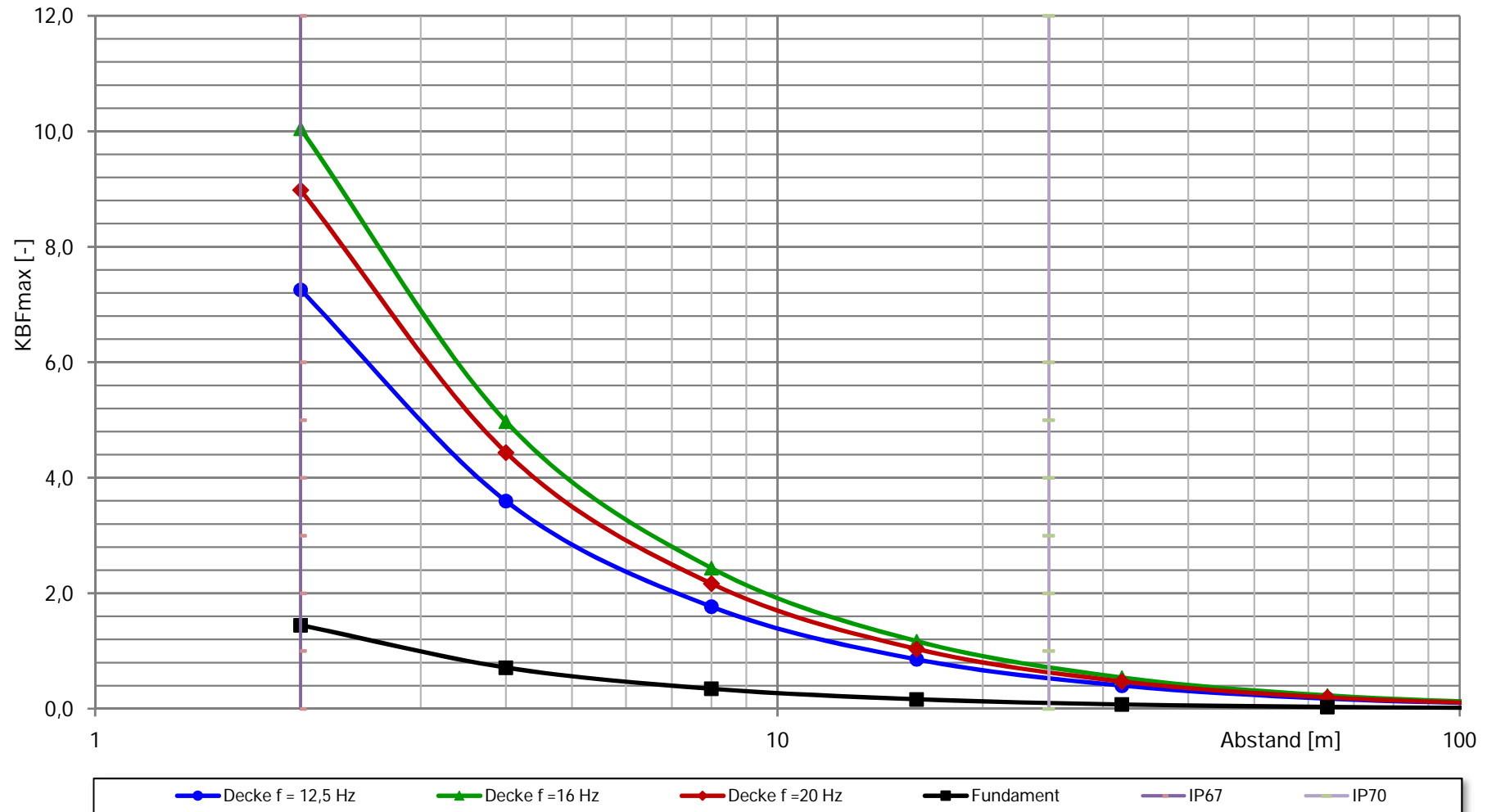
22.06.2018

# Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Holzbalkendecken

Einbringen v. Bohrpfehlen

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Bohrgründung.xlsx\Vmax\_Holz

maximale Schwingstärke  $KB_{Fmax}$



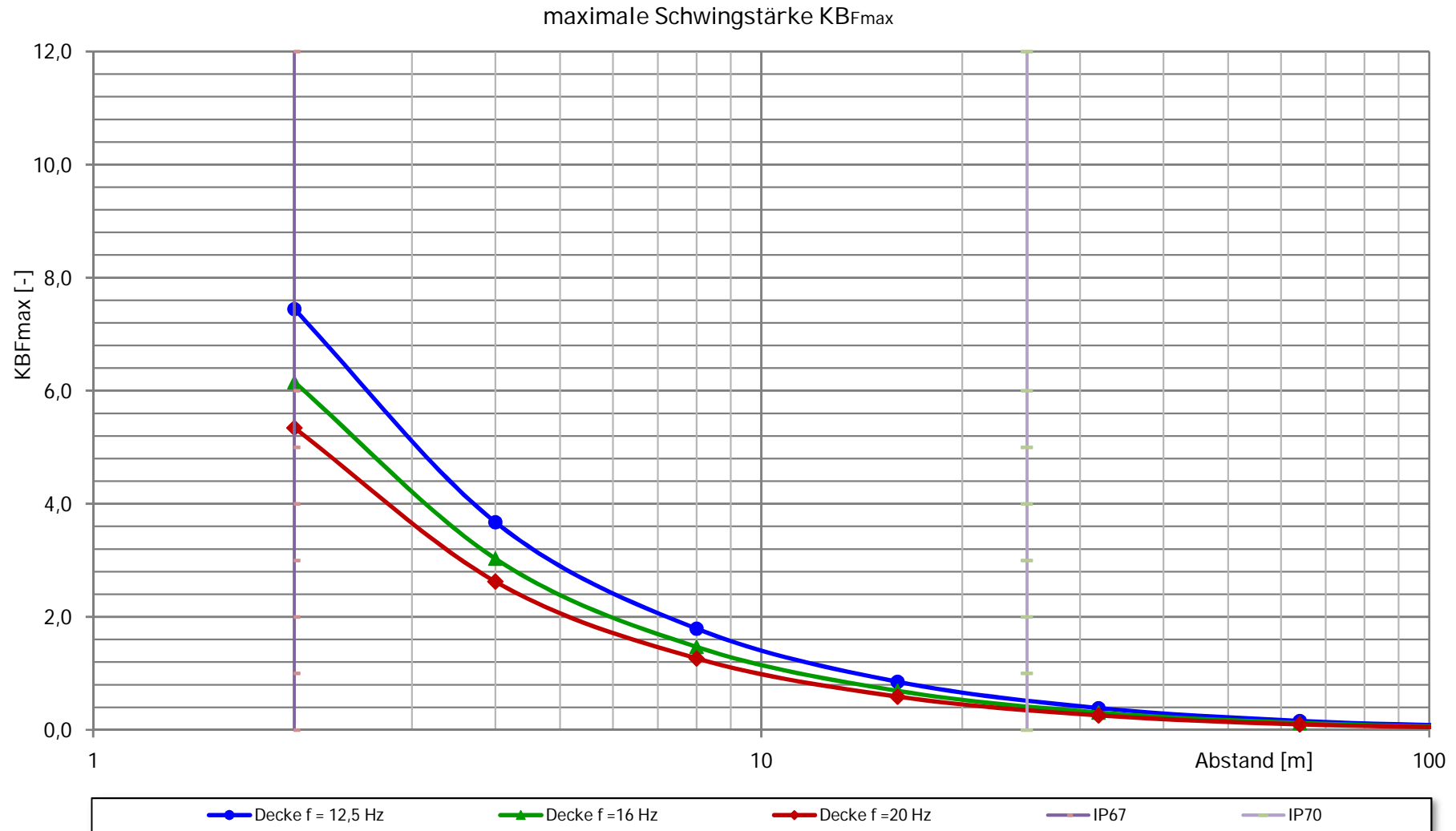
22.06.2018



# Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Stahlbetondecken

Einbringen v. Bohrpfehlen

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Bohrgründung.xlsx\Vmax\_Stb



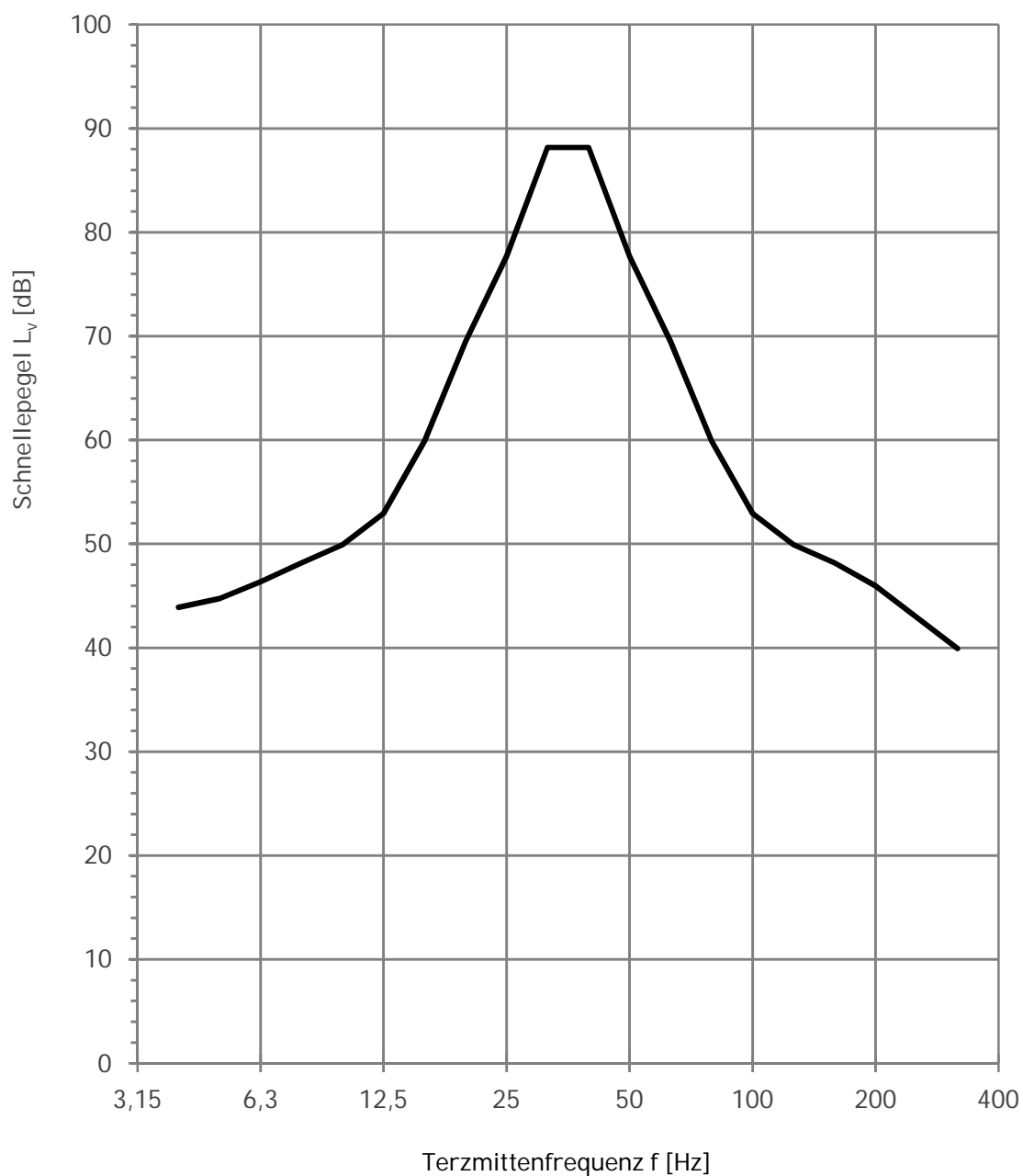
22.06.2018

# Emissionsspektrum

## Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\[Verbau.xlsx]Emission

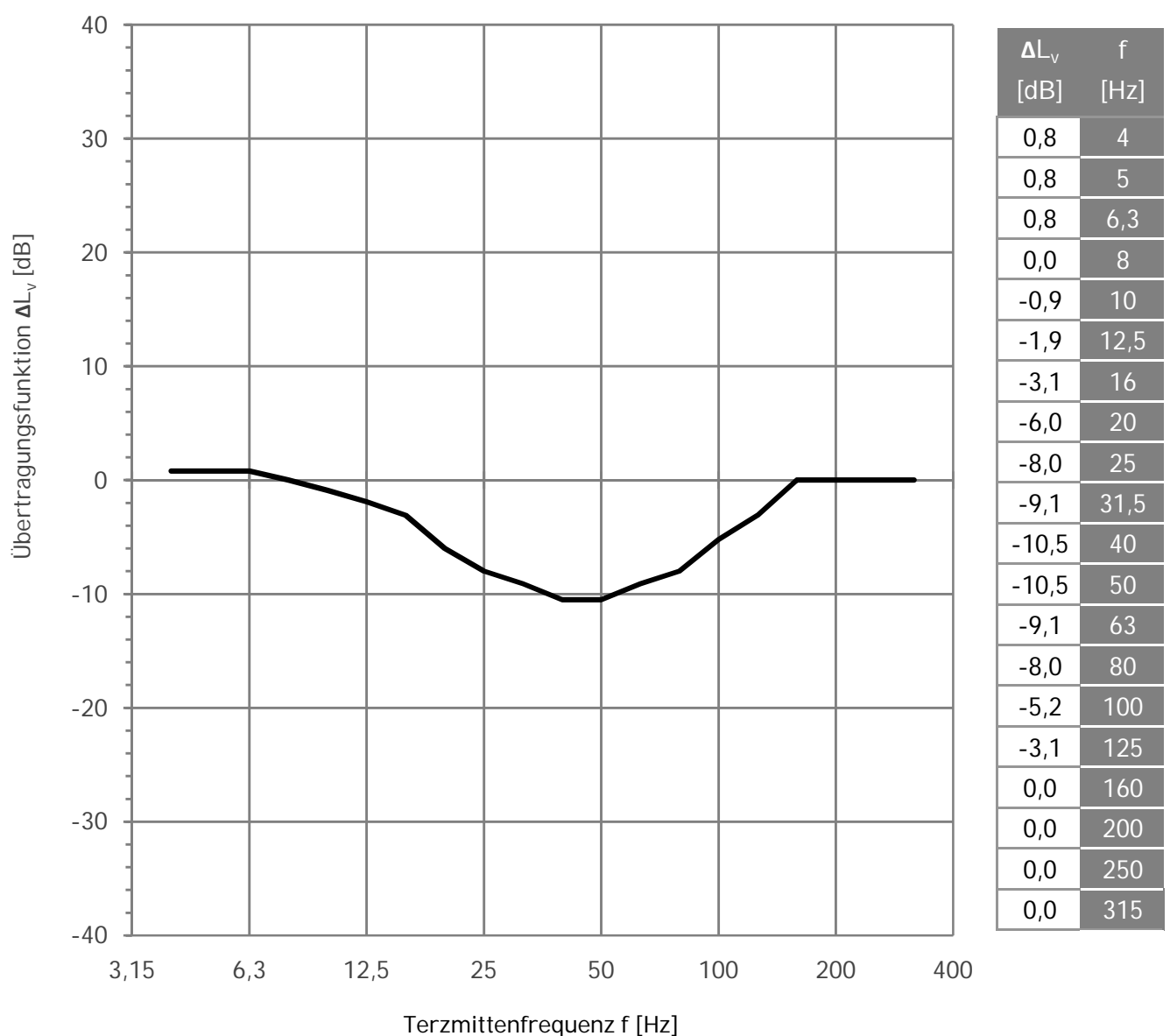
Messpunkt (Abstand): 9 m  
Arbeitsfrequenz: 35 Hz  
Schwingrichtung: z  
Quellentyp: Punktquelle (PQ)  
harmonisch/stationär (HS)  
Wellenart: Oberflächenwelle (O)



$L_v$ [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	S
1,90	$v_{Fmax}$

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: Mehrfamilienhäuser  
Schwingrichtung: vertikal (z)



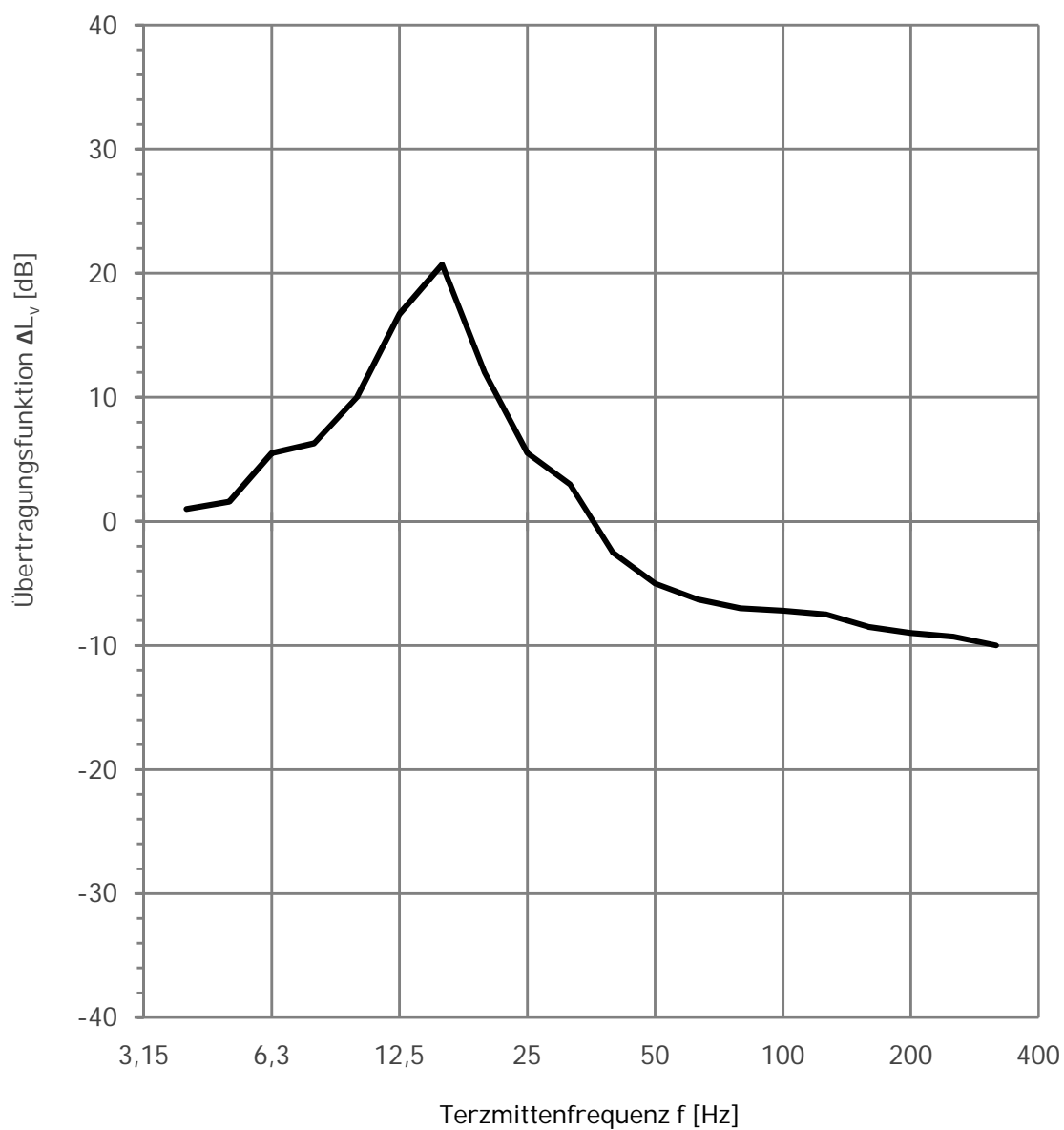
# T<sub>3</sub>-Funktion

## Übertragung Fundament - Geschossdecke

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EÜ\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\[Verbau.xlsx]T3-Holz

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

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



$\Delta L_v$ [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

22.06.2018

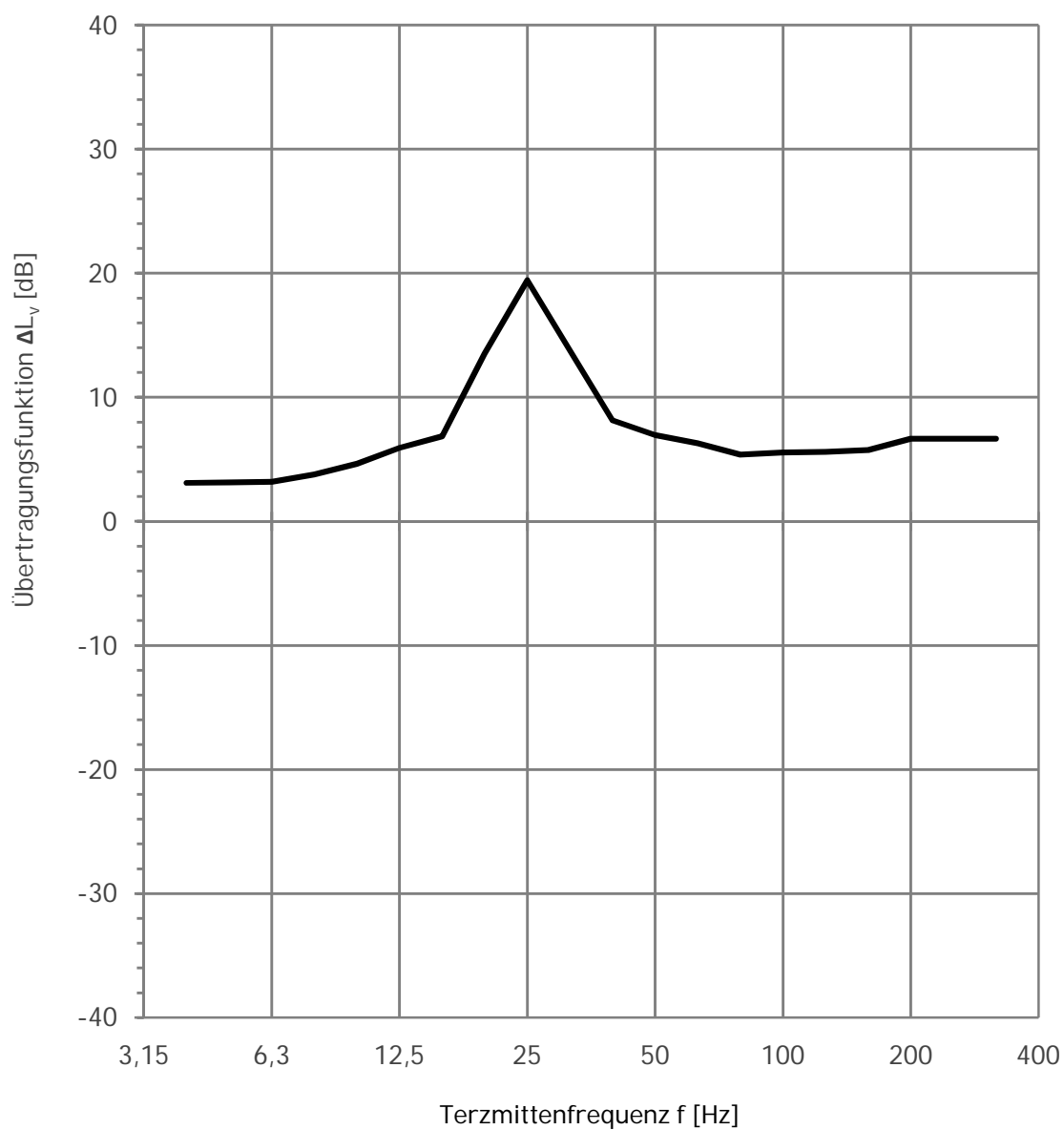
# T<sub>3</sub>-Funktion

## Übertragung Fundament - Geschossdecke

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EÜ\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\[Verbau.xlsx]T3-Beton

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

Deckeneigenfrequenz:  $f = 25 \text{ Hz}$



$\Delta L_v$ [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

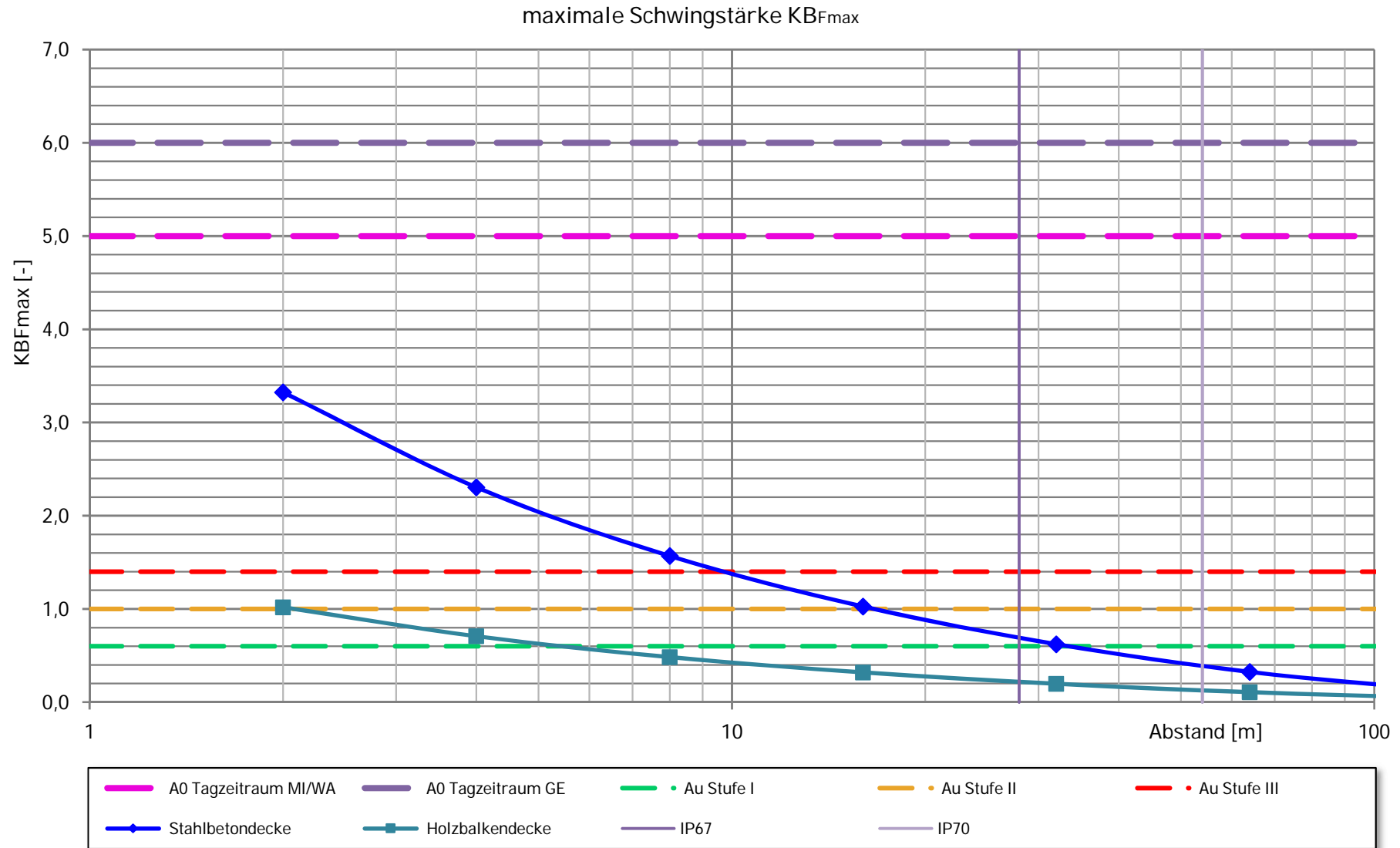
22.06.2018

# KB<sub>Fmax</sub> in typischen Geschossbauten

## Tagzeitraum

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Verbau.xlsx\KBFmaxT



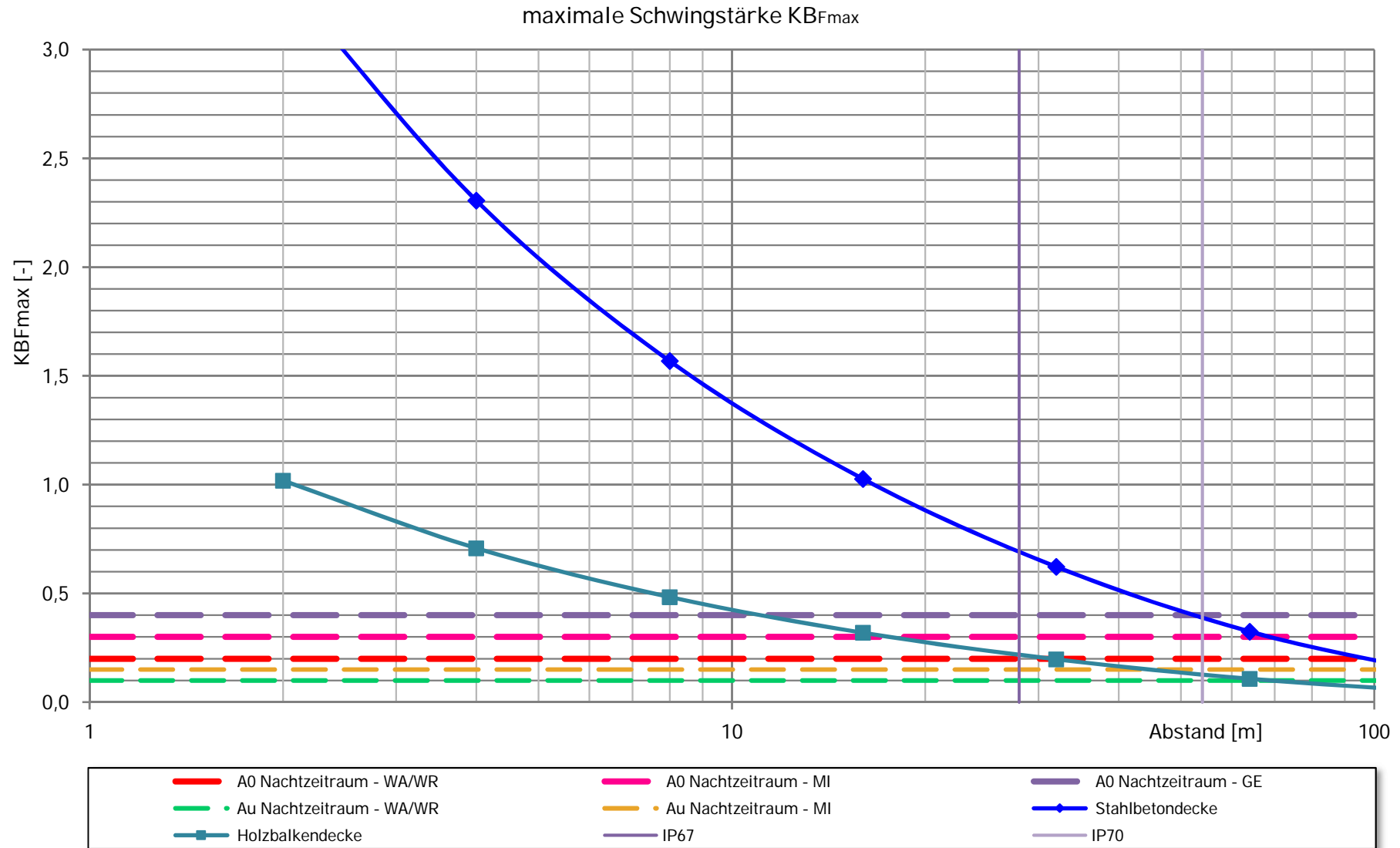
22.06.2018

# KB<sub>Fmax</sub> in typischen Geschossbauten

## Nachtzeitraum

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Verbau.xlsx\KBFmaxN



22.06.2018

# KB<sub>FTr</sub> in typischen Geschossbauten

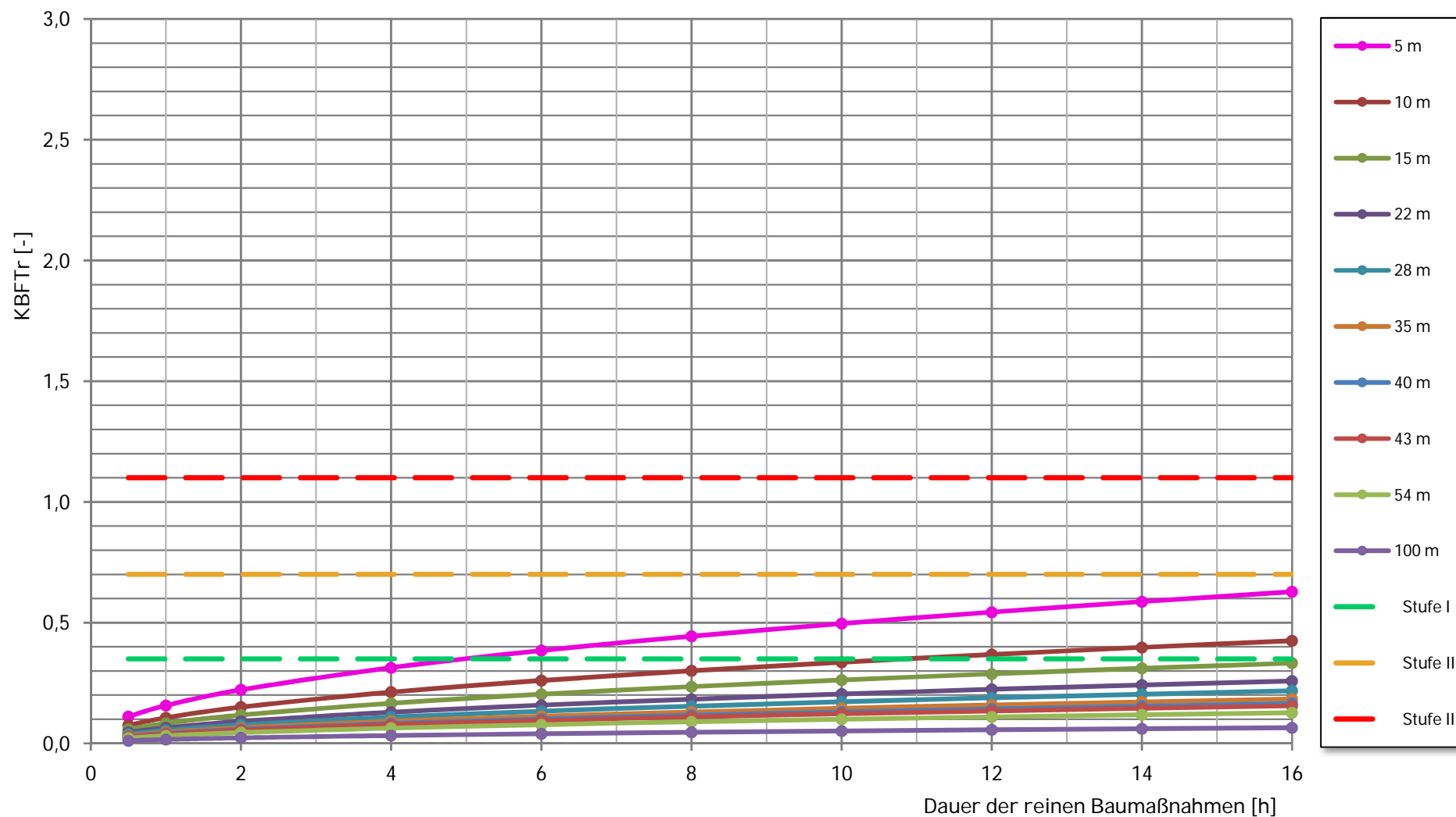
Tagzeitraum

Holzbalkendecken

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Verbau.xlsx\KB<sub>FTr</sub>\_Holz\_T

Beurteilungsschwingstärke KB<sub>FTr</sub>



22.06.2018



# KB<sub>FTr</sub> in typischen Geschossbauten

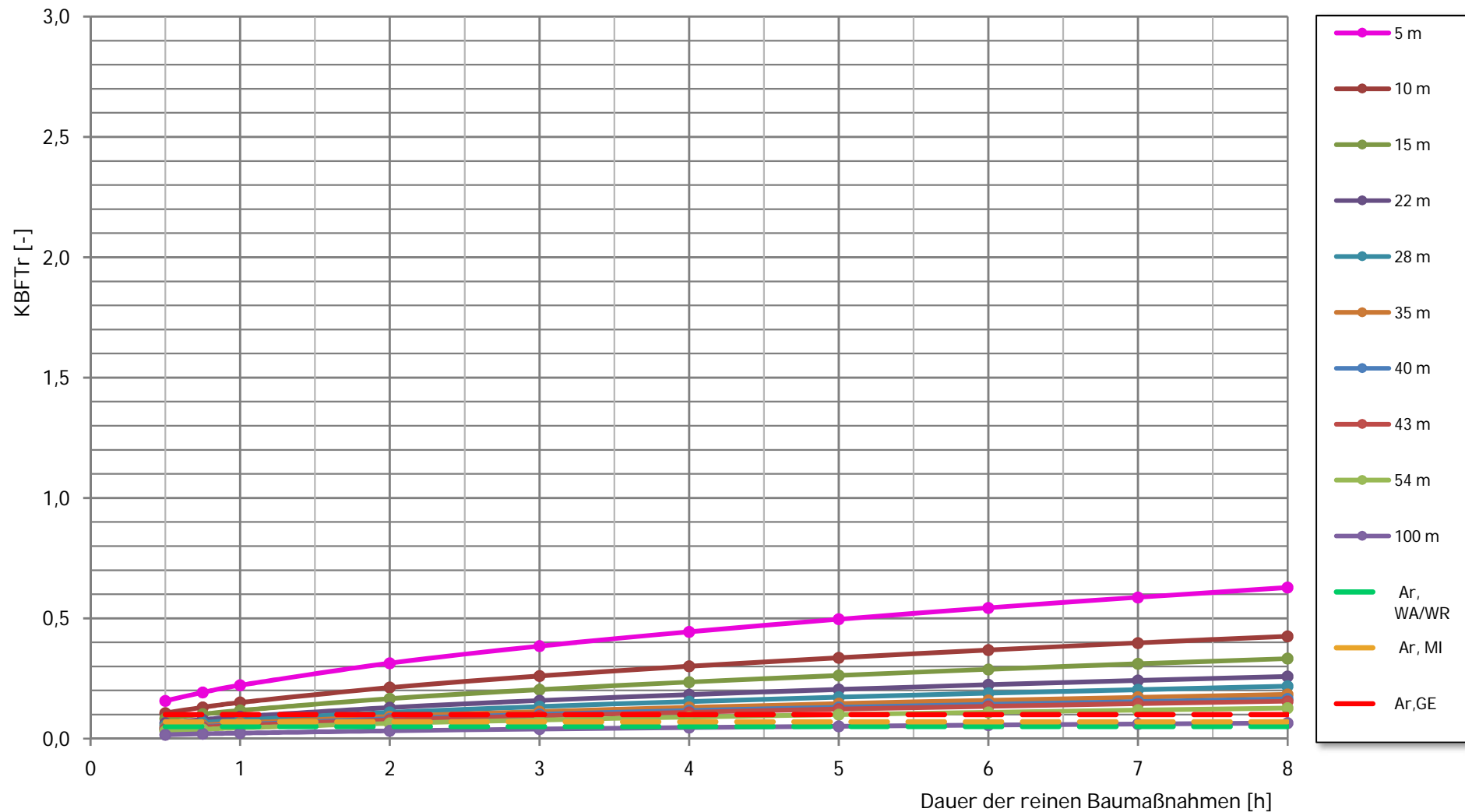
Tagzeitraum

Holzbalkendecken

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Verbau.xlsx\KB<sub>FTr</sub>\_Holz\_N

Beurteilungsschwingstärke KB<sub>FTr</sub>



22.06.2018

# KB<sub>FTr</sub> in typischen Geschossbauten

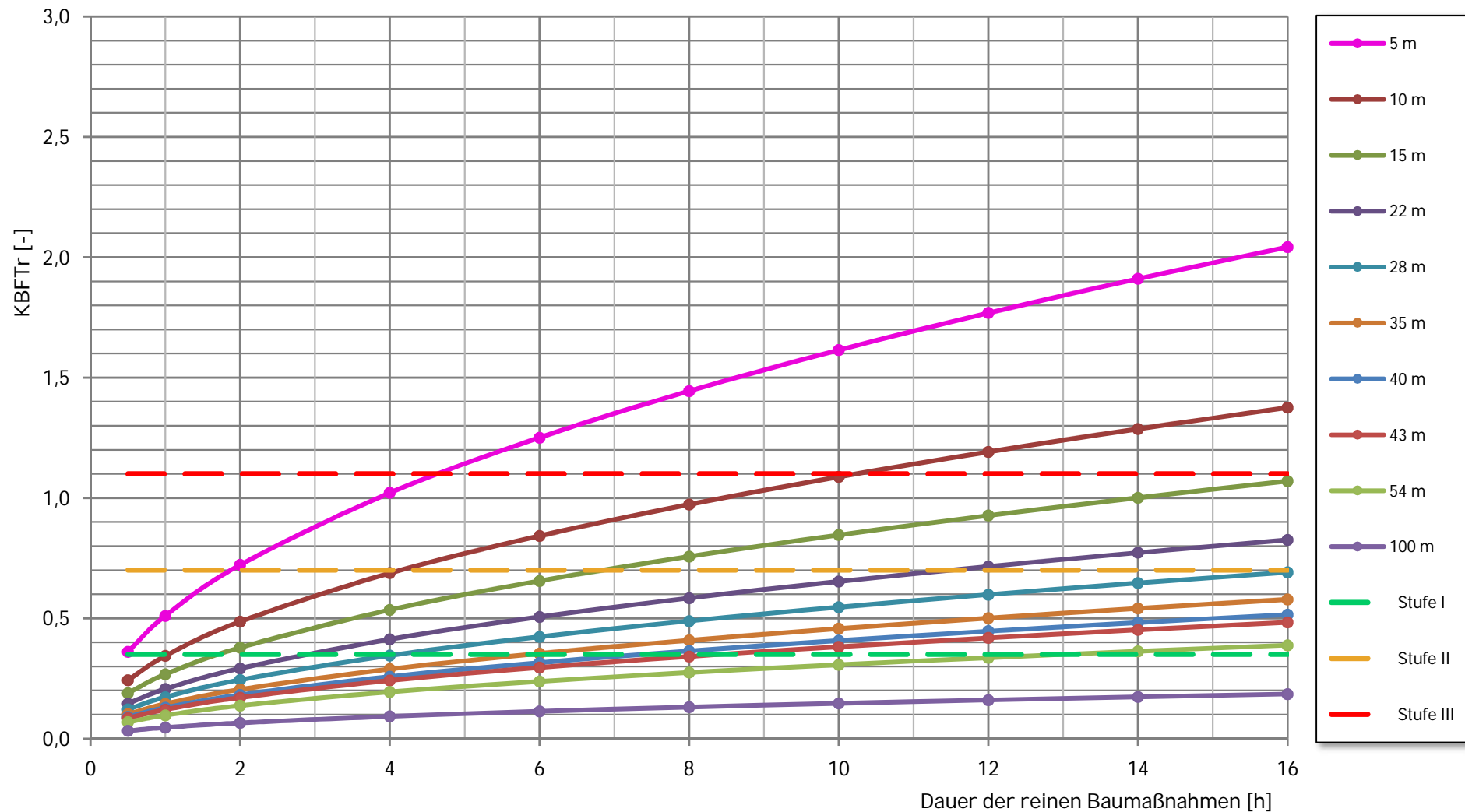
Tagzeitraum

Stahlbetondecken

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Verbau.xlsx\KBFT<sub>r</sub>\_Beton\_T

Beurteilungsschwingstärke KB<sub>FTr</sub>



22.06.2018

# KB<sub>FTr</sub> in typischen Geschossbauten

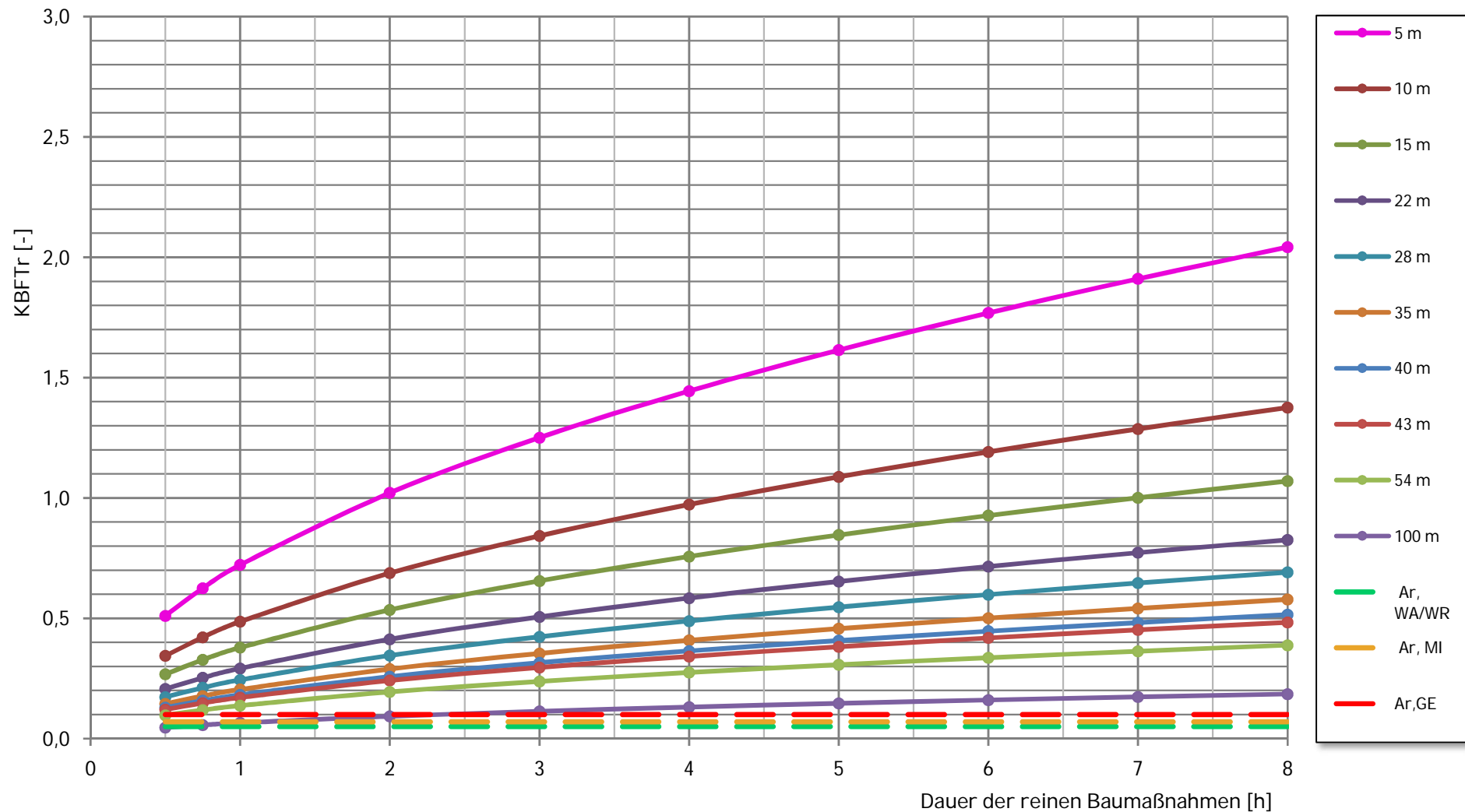
Tagzeitraum

Stahlbetondecken

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Verbau.xlsx\KB<sub>FTr</sub>\_Beton\_N

Beurteilungsschwingstärke KB<sub>FTr</sub>

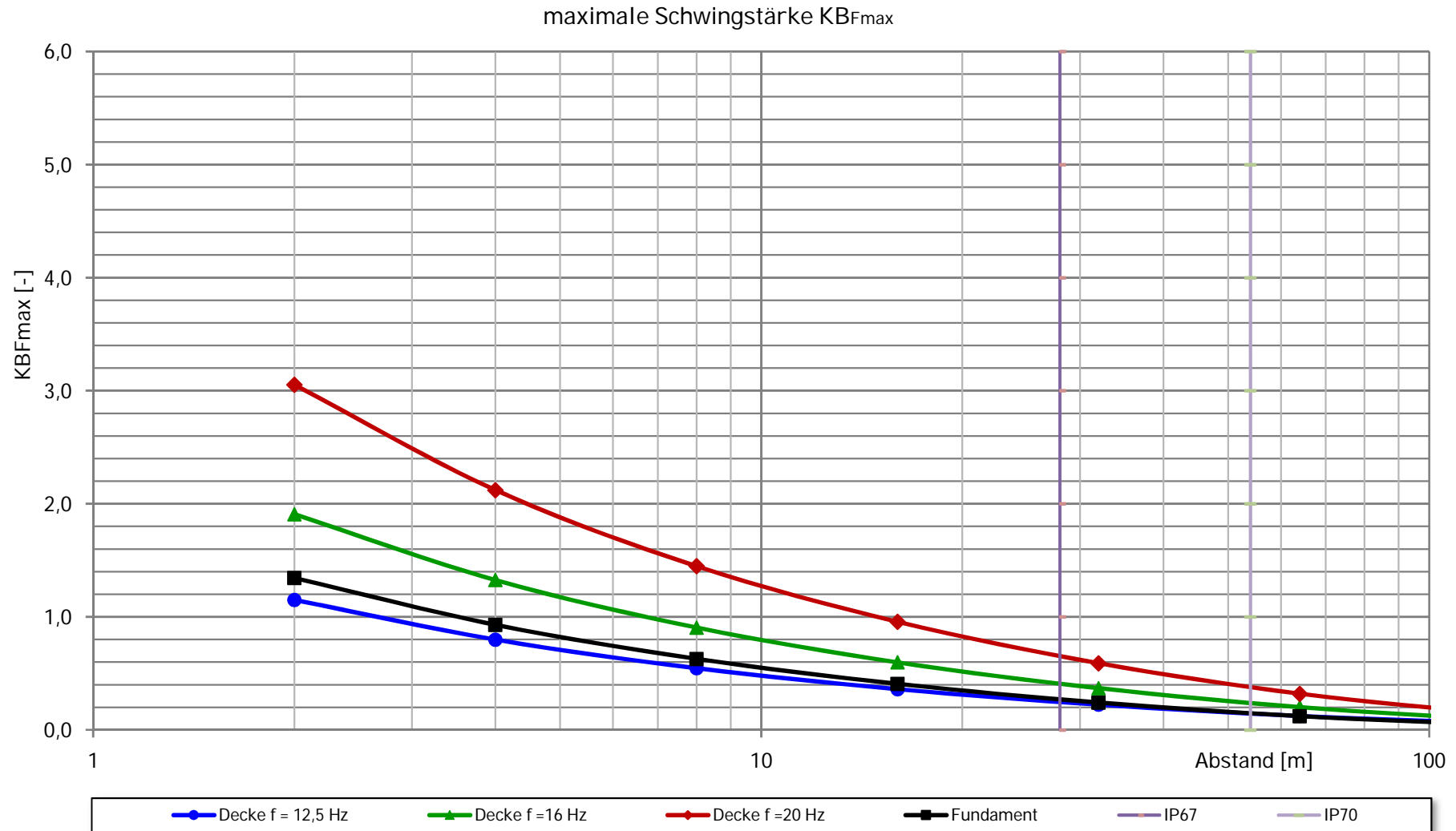


22.06.2018

# Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Holzbalkendecken

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Verbau.xlsx\Vmax\_Holz

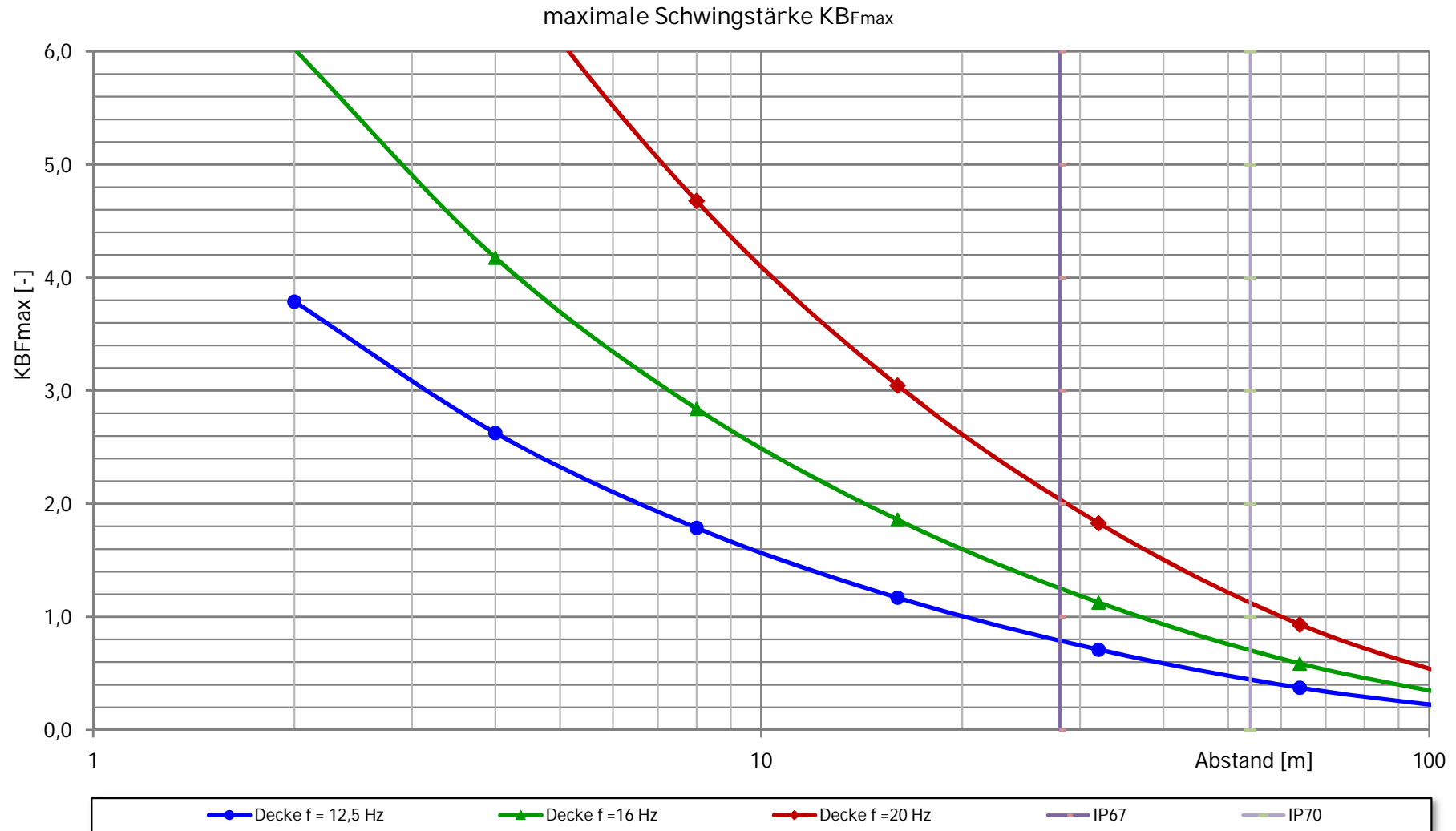


22.06.2018

# Maximale Schwinggeschwindigkeit in typischen Geschossbauten mit Stahlbetondecken

Vibrationsramme (Normalbetrieb)

K:\B\_Projekte\2018\8002\_ABS\_DBNetz\_EU\_Mittelbruchstraße\C\_Bearbeitung\Bauerschütterungen\A-Prognose\Verbau.xlsx\Vmax\_Stb



22.06.2018