

MESSBERICHT - ERSCHÜTTERUNGEN

VORHABEN:	ABS / NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden Hinterlandanbindung Fehmarnbeltquerung Strecke 1100, Bad Schwartau - Puttgarden Bau-km 104,9+70 bis Bau-km 184,1+60
ABSCHNITT:	Planfeststellungsabschnitt PFA 3 Bau-km 135,6+46 bis Bau-km 150,7+52
UMFANG:	Messtechnische Erhebung der Ausbreitungsbedingungen im Boden
AUFTRAGGEBER:	DB Netz AG Infrastrukturprojekte Nord Hammerbrookstraße 44 20097 Hamburg
BEARBEITUNG:	KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH Heinrich-Hertz-Straße 2 64295 Darmstadt T 06151 885-383 F 06151 885-220
AKTENZEICHEN:	20198243-805-VME-1
DATUM:	Darmstadt, 22.11.2021

Dieser Bericht umfasst 7 Seiten und 6 Anhänge mit 18 Blättern.

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

1	Anlass und Aufgabenstellung	3
2	Bearbeitungsgrundlagen	3
3	Auswertung der Messungen	3
4	Ergebnisse	5

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ergebnisse der Regressionsanalyse	6
------------	-----------------------------------	---

Anhänge

Anhang 1	Abnahmeexponente für Postweg 18 in 23730 Schashagen (baudyn)
Anhang 2	Abnahmeexponente für Bahnhofstraße 1 in 23730 Schashagen (baudyn)
Anhang 3	Abnahmeexponente für Grüner Hirsch 8 in 23738 Lensahn (baudyn)
Anhang 4	Abnahmeexponente für Hauptstraße 1 in 23730 Schashagen (Heiland & Mistler)
Anhang 5	Abnahmeexponente für Hauptstraße 15, in 23730 Schashagen (Heiland & Mistler)
Anhang 6	Abnahmeexponente für Postweg 18 in 23730 Schashagen (Heiland & Mistler)

Abkürzungsverzeichnis

dB	Dezibel
f	Frequenz, [Hz]
f ₀	Deckeneigenfrequenz, [Hz]
Hz	Hertz, Schwingungen je Sekunde
L _v	Schwingschnellepegel, [dB]
MQ	Messquerschnitt
MW	Mittelwert
n	Abnahmemexponent, [-]
r, R	Abstand, [m]
D	Dämpfungsgrad, [%]
v ₀	Referenzwert für die Schwingschnelle [5 * 10 ⁻⁸ m/s]

1 Anlass und Aufgabenstellung

Im Rahmen der erschütterungstechnischen Untersuchung zur Fehmarnbeltquerung wurden durch die baudyn GmbH und die Baudynamik Heiland & Mistler GmbH messtechnische Untersuchungen der Ausbreitungsbedingungen im vorliegenden Planfeststellungsabschnitt durchgeführt. Die Schwingungsabnahme in dem Boden wurde auf unterschiedlicher Ausbreitungslänge entweder durch den Schienenverkehr (baudyn) oder mit Hilfe einer künstlichen Anregung (Heiland & Mistler) messtechnisch ermittelt.

Gemäß dem Ausbreitungsgesetz /1/ wird die Abnahme die Amplitude der Schwinggeschwindigkeit im Wesentlichen durch die geometrische Amplitudenabnahme und die Materialdämpfung des Bodens bestimmt. Die geometrische Abnahme ist hierbei im Nahbereich, die Materialdämpfung hingegen bei größeren Entfernungen bestimmend. Ziel des vorliegenden Berichts ist es, anhand der vorhandenen Ausbreitungsbedingungen mittels der Parameter des Ausbreitungsgesetzes auf die Ausbreitungsbedingungen auch für größere Entfernungen zu schließen.

Die Durchführung und die Auswertung der Ausbreitungsmessungen können den entsprechenden Messberichten /2/, /3/ entnommen werden. Im vorliegenden Messbericht werden Vorgehensweise und Ergebnisse der Analyse der Ausbreitungsbedingungen dokumentiert.

2 Bearbeitungsgrundlagen

Der durchgeführten erschütterungstechnischen Untersuchung liegen die folgenden Regelwerke und Planunterlagen zu Grunde:

- /1/ DIN 4150, Teil 1, „Erschütterungen im Bauwesen: Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Juni 2001
- /2/ Messergebnisse von Messobjekten „ABS / NBS Hamburg – Lübeck – Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) PFA 1 bis PFA 6, Untersuchung zu betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen“, baudyn GmbH, Unterlage 19.4.3
- /3/ Messtechnische Untersuchung „Messtechnische Ermittlung standortspezifischer Boden-Übertragungsadmittanzen an Gebäuden im Untersuchungsgebiet“, Baudynamik Heiland und Mistler GmbH, Bericht-Nr. 10-10192-02-D3 vom 09.11.2018, Unterlage 19.4.2

3 Auswertung der Messungen

Die vom Schienenverkehr in den Boden eingeleitete Schwingungsenergie nimmt mit zunehmender Entfernung ab. Diese Abnahme kann im Wesentlichen durch die geometrische Amplitudenabnahme und die Materialdämpfung des Bodens bestimmt.

Für die Ermittlung der Ausbreitungsbedingungen werden auf Basis der Messwerte an den einzelnen Messpositionen Regressionsanalysen /2/ und /3/ durchgeführt. Durch die Vielzahl an einzelnen Messwerten und Abständen erhält man dann eine frequenzabhängige exponentielle Abnahmebeziehung (Abnahmeexponente) mit einer hinreichenden statistischen Sicherheit.

Die so ermittelten Ausbreitungsbedingungen gelten in erster Linie für die Länge der für die Messung gesetzten Messkette und werden hierbei durch die geometrische Amplitudenabnahme bestimmt. Mit größer werdenden Entfernungen spielt die Materialdämpfung jedoch eine zunehmend größere Rolle. Da die für die Bestimmung der Materialdämpfung des Bodens erforderlichen Komponenten nur mit sehr umfangreichend Untersuchungen ermittelt werden können, ist es möglich durch die Auswahl einiger Parameter in dem Ausbreitungsgesetz /1/

$$v = v_1 * \left(\frac{R}{R_1}\right)^{-n} * \exp\left(\frac{-2\pi f}{c} D_M (R - R_1)\right)$$

die Ausbreitungsbedingungen an die Regressionsgerade, deren Ermittlung oben beschrieben ist, anzupassen. Hierbei bedeuten:

v	Schwinggeschwindigkeit in der Entfernung R, [mm/s]
v ₁	Schwinggeschwindigkeit im Referenzabstand von 8 m, [mm/s]
R ₁	Referenzabstand von 8 m
R	Abstand von der Erschütterungsquelle, [m]
n	Abnahmeexponent, [-]
α	Abklingkoeffizient, [m ⁻¹], α = 2πDf/c
D _M	Dämpfungsgrad, [-]
f	Frequenz, [Hz]
c	Ausbreitungsgeschwindigkeit, [m/s]

Da sowohl die geometrische Amplitudenabnahme (n) als auch die Materialdämpfung des Bodens (D_M) frequenzabhängig sind, erfolgt die Anpassung der Ausbreitungsbedingungen für jedes Frequenzband unter Zugrundelegung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von

$$c = 200 \text{ m/s.}$$

Hierbei werden die Parameter für jede Terz so gewählt, dass der Verlauf der neuen Regressionskurve im Sinne einer oberen Abschätzung über der Regressionsgerade liegt, die über die Regressionsanalyse (/2/, /3/) berechnet wurde. Bei positiven Abnahmeexponenten, die einer Steigerung der Schwingungsimmissionen mit größer werdenden Abstand entsprechen, was physikalisch

nicht möglich ist, wurde der entsprechende Abnahmeexponent im Sinne einer oberen Abschätzung zu Null gesetzt. Der Dämpfungsgrad wird im vorliegenden Planfeststellungsabschnitt für alle untersuchten Messquerschnitte frequenzweise gleichgesetzt. Dies ermöglicht die Ermittlung der mittleren Ausbreitungsbedingungen.

4 Ergebnisse

Die korrigierte Abnahme der Schwinggeschwindigkeit bei der Ausbreitung im Boden in Abhängigkeit vom Abstand wird für jede Terzmittenfrequenz grafisch in Anhang 1.1 bis Anhang 6.3 für folgende Messquerschnitte dargestellt:

- ☐ MQ1: Postweg 18, 23730 Schashagen (baudyn)
- ☐ MQ2: Bahnhofstraße 1, 23730 Schashagen (baudyn)
- ☐ MQ3: Grüner Hirsch 8, 23738 Lensahn (baudyn)
- ☐ MQ4: Hauptstraße 1, 23730 Schashagen (Heiland & Mistler)
- ☐ MQ5: Hauptstraße 15, 23730 Schashagen (Heiland & Mistler)
- ☐ MQ6: Postweg 18, 23730 Schashagen (Heiland & Mistler)

In den Diagrammen des Büros baudyn (Anhang 1.1 bis Anhang 3.3) sind die Messwerte als rote Quadrate, die Regressionsgerade blau und die Regressionskurve grün gekennzeichnet. Die Regressionskurven, die in Anhang 4.1 bis Anhang 6.3 dargestellt sind, wurden anhand der Kenndaten für die Regressionsanalyse erstellt, die das Büro Heiland & Mistler zur Verfügung gestellt hat.

Die grafische Darstellung erfolgt hierbei doppelt logarithmisch. Eine Zusammenfassung der frequenzabhängigen Exponenten und der Dämpfungsgrade findet sich dann in Anhang X.3 (X steht für 1 bis 6) in Tabellenform und in Balkendiagramm.

In der nachfolgenden Tabelle sind die frequenzabhängige Abnahmeexponente für jeden untersuchten Messquerschnitt nochmal zu finden. Ferner wurde für jede Terz der gemittelte Abnahmeexponent sowie der zugehörige Dämpfungsgrad dargestellt.

f [Hz]	MQ1	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ6	n [-]	D [%]
4	-0,36	-0,18	-0,46	-0,21	-0,10	-0,32	-0,3	0,6%
5	-0,40	-0,32	-0,46	-0,14	-0,23	-0,25	-0,3	0,6%
6,3	-0,54	-0,54	-0,39	-0,26	-0,12	-0,24	-0,3	0,6%
8	-0,32	-0,33	-0,26	-0,58	-0,01	-0,29	-0,3	0,6%
10	-0,50	-0,88	-0,67	-0,84	-0,01	-0,31	-0,5	0,6%
12,5	-0,78	-0,12	-1,15	-0,71	-0,16	-0,72	-0,6	0,6%
16	-0,90	-0,97	-1,59	-0,71	-0,41	-0,94	-0,9	0,6%
20	-1,47	-0,86	-1,14	-0,54	-0,50	-1,26	-1,0	0,6%
25	-1,79	-0,20	-1,17	-0,68	-0,72	-1,16	-1,0	0,6%
31,5	-2,09	-1,69	-1,31	-0,69	-1,19	-1,63	-1,4	0,6%
40	-2,24	-2,3	-2,47	-1,14	-1,40	-1,51	-1,8	0,6%
50	-1,94	-1,73	-2,95	-1,46	-1,62	-1,51	-1,9	0,6%
63	-1,12	-1,22	-3,29	-1,6	-1,89	-1,69	-1,8	0,6%
80	-1,90	-1,47	-2,78	-1,64	-1,74	-1,53	-1,8	0,6%
100	-1,77	-1,87	-2,57	-1,54	-1,64	-1,13	-1,8	0,6%
125	-1,42	-1,81	-3,01	-0,97	-1,22	-1,00	-1,6	0,3%
160	-0,51	-1,44	-2,20	-0,61	-0,61	-0,47	-1,0	0,3%
200	-0,34	-1,39	-1,86	-0,8	-1,12	-0,67	-1,0	0,1%
250	-1,28	-1,83	-1,80	-0,32	-0,77	-0,30	-1,1	0,1%
315	-1,44	-2,24	-1,66	-0,00	-0,18	-0,14	-0,9	0,1%

Tabelle 1: Ergebnisse der Regressionsanalyse

AUFGESTELLT:



Dipl.-Phys. Andreas Malizki

GEPRÜFT UND FREIGEgeben:



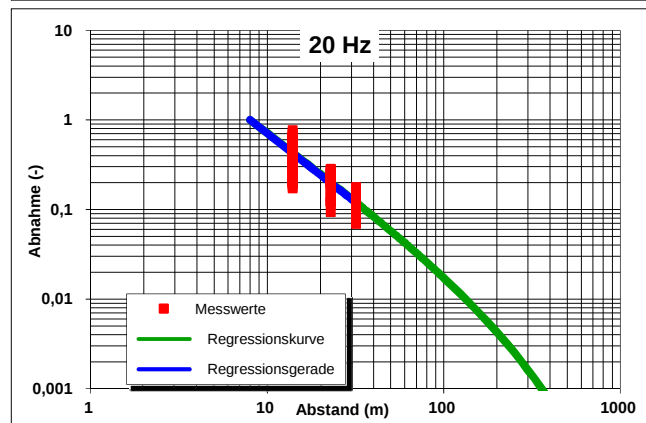
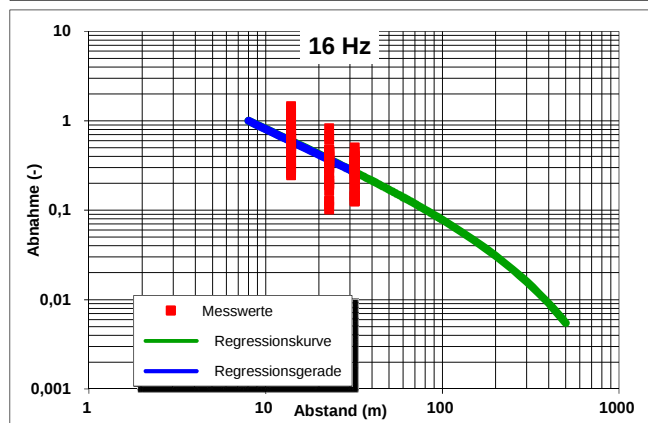
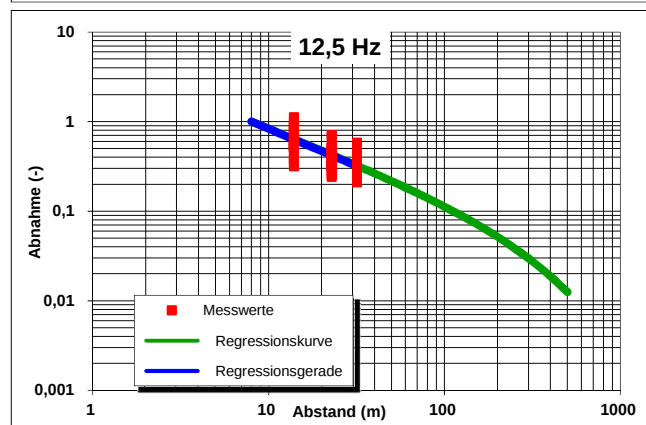
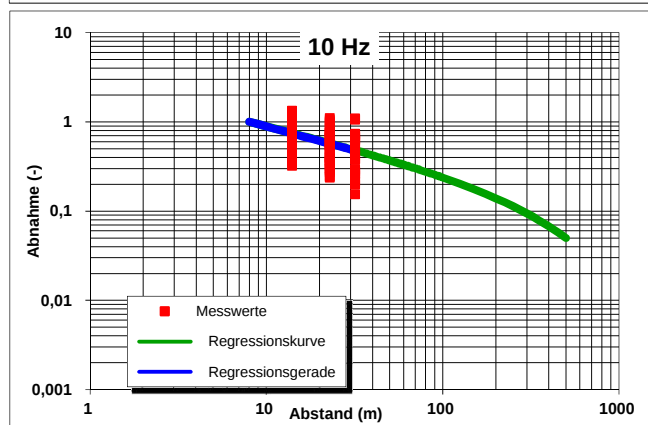
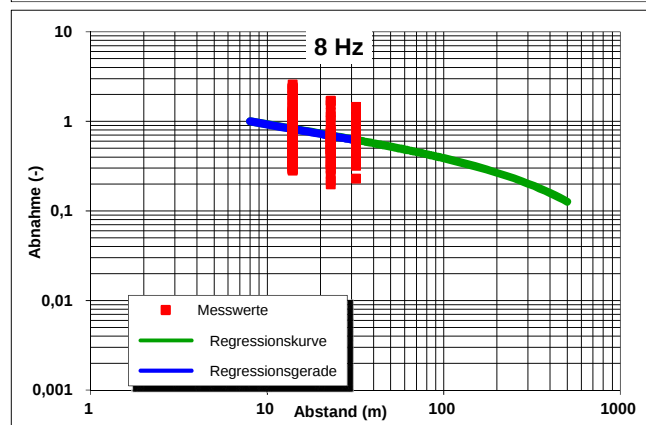
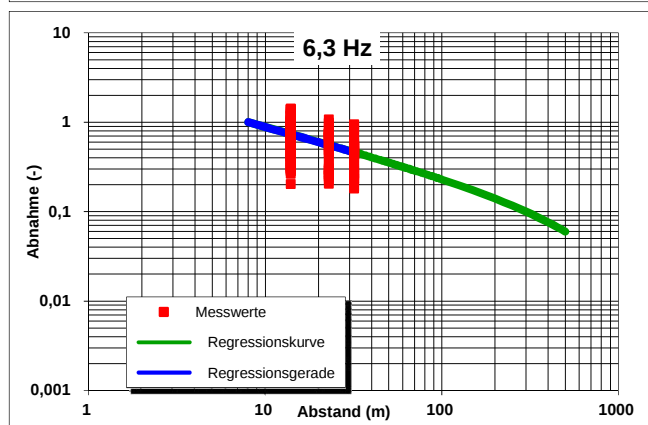
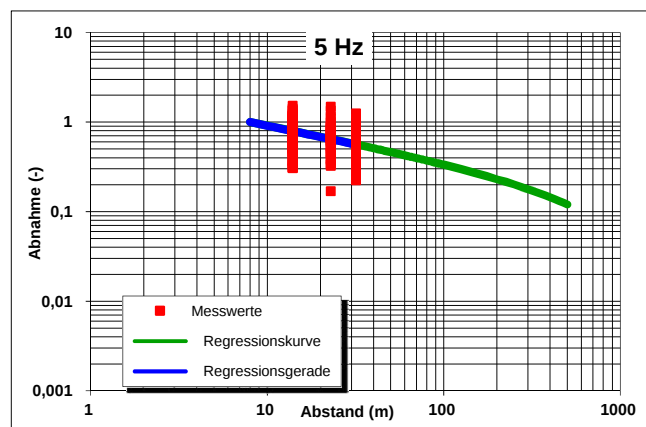
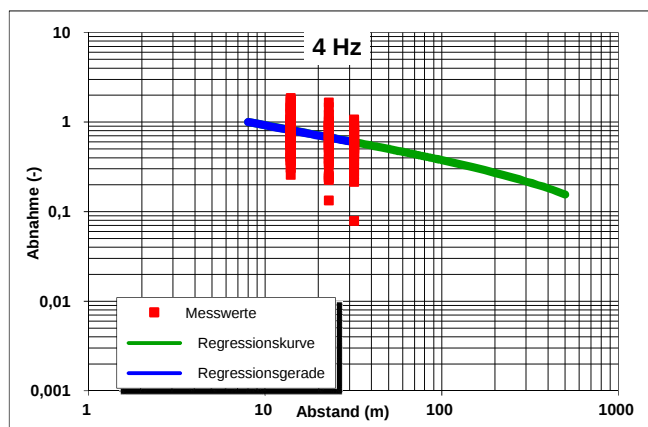
Dipl.-Ing. Mario Graefen

ENDE DES BERICHTS

ANHANG

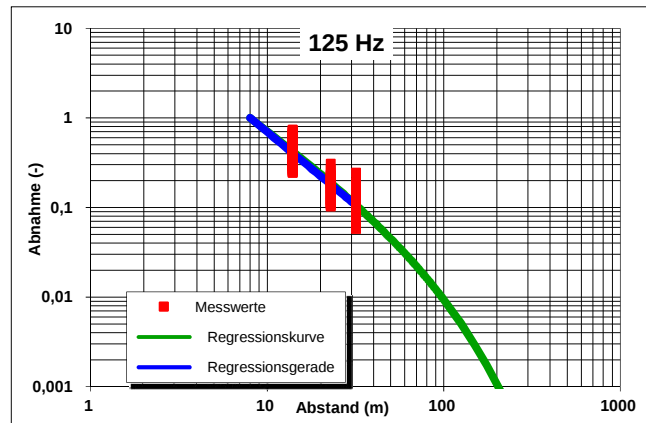
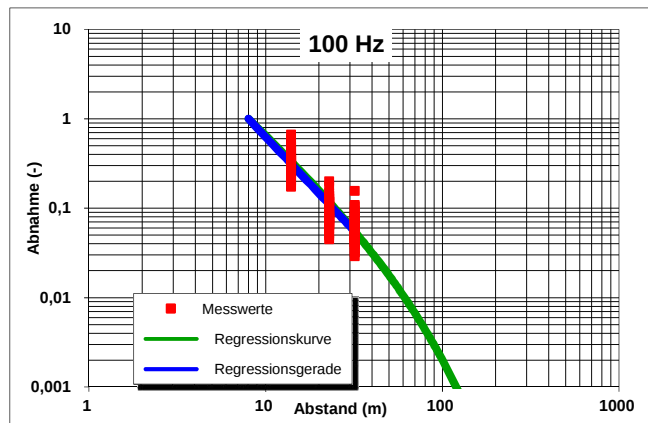
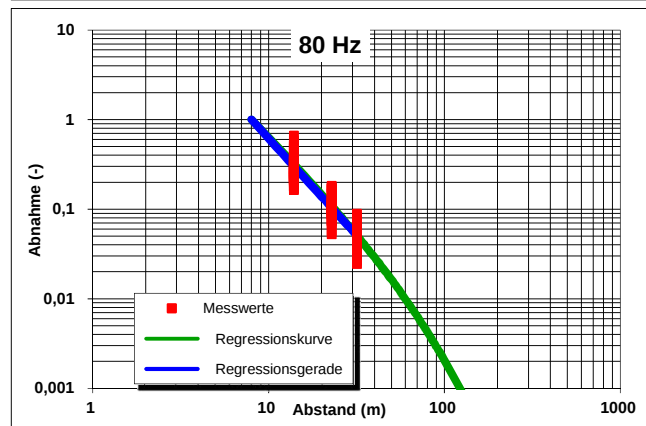
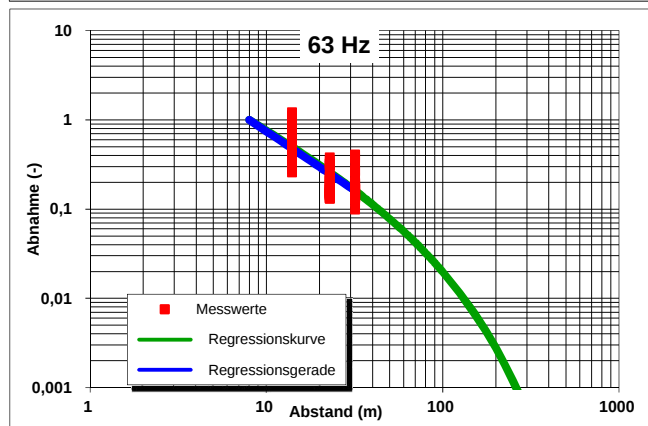
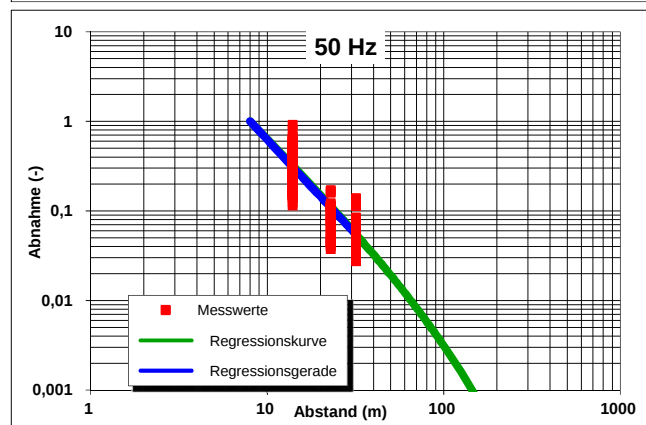
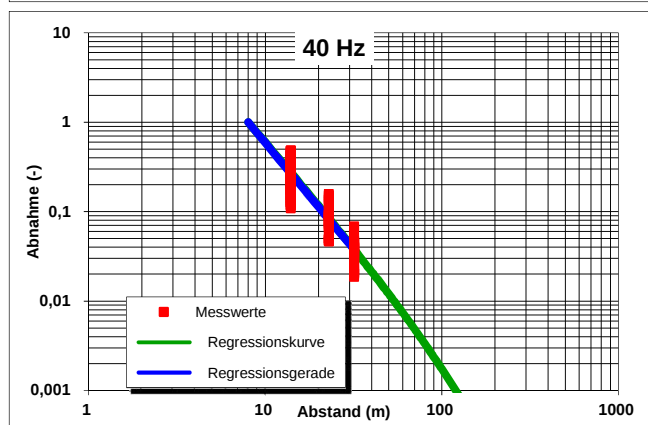
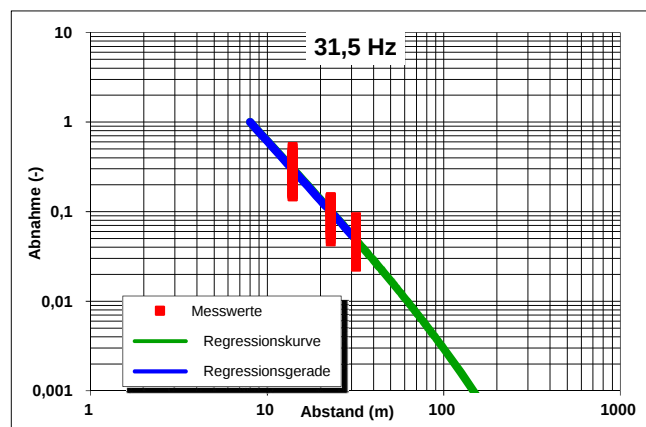
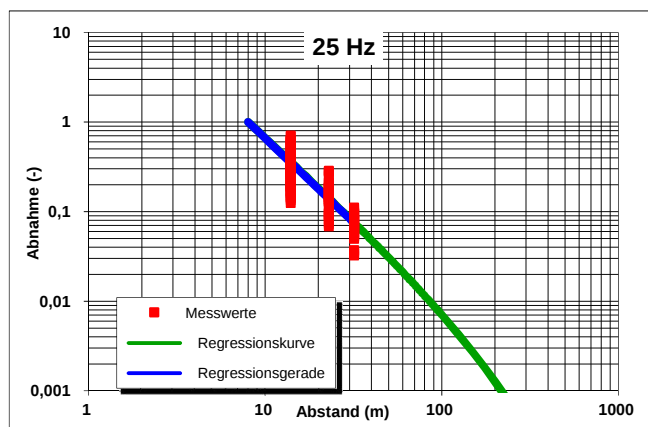
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Postweg 18, 23730 Schashagen



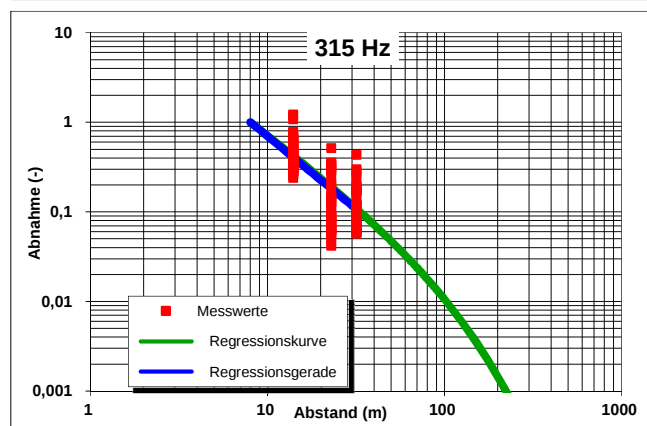
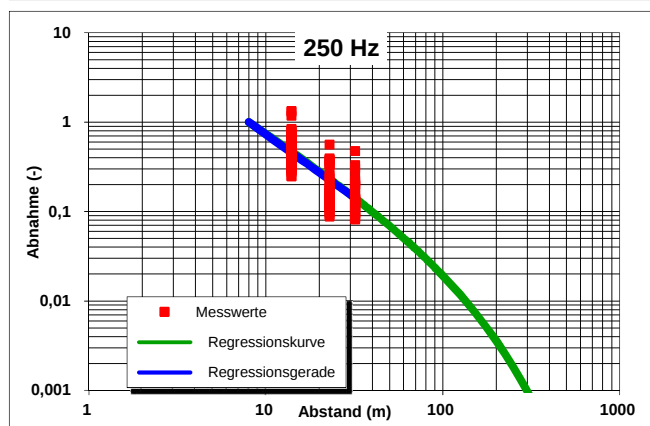
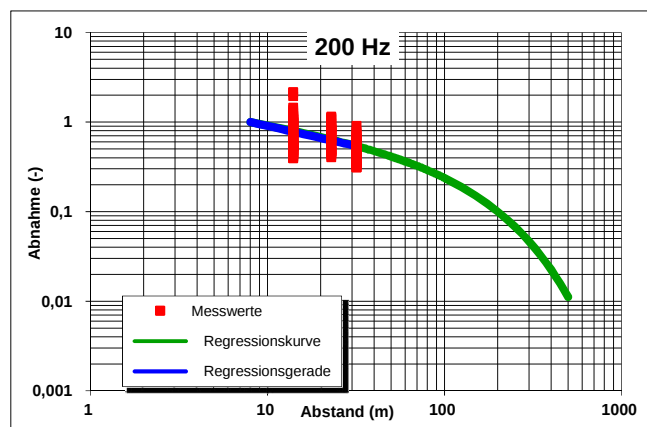
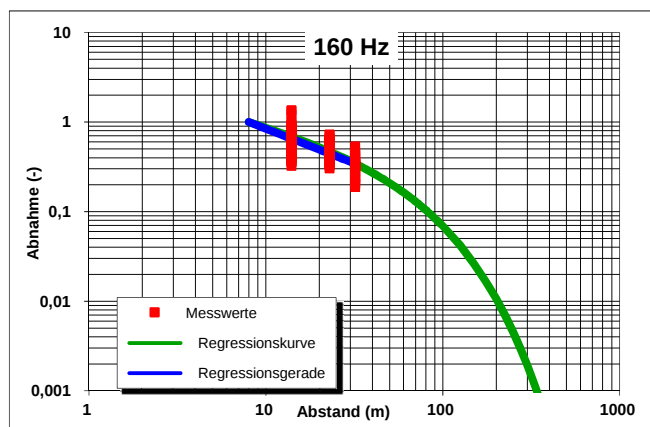
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Postweg 18, 23730 Schashagen

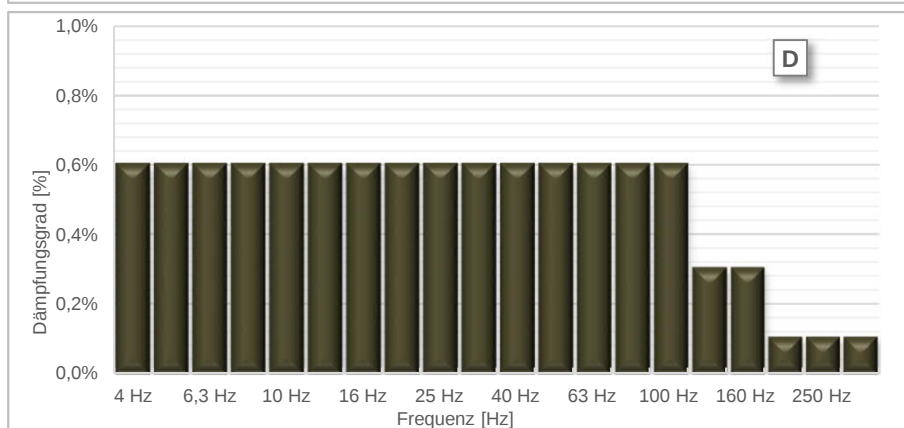
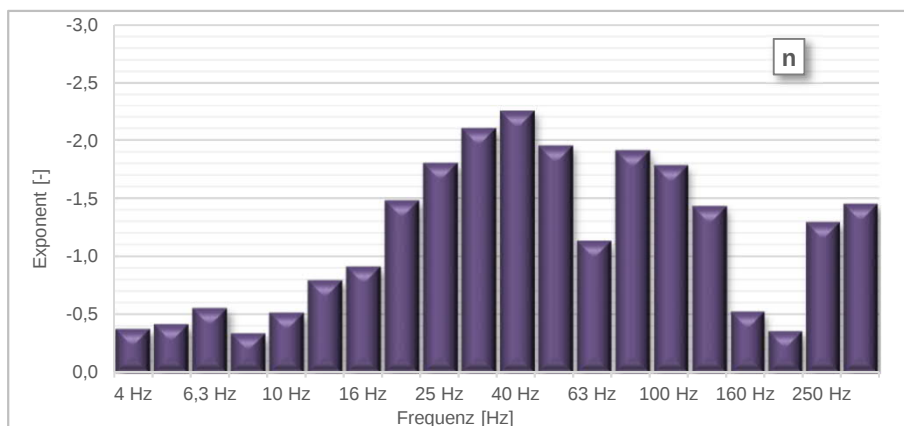


Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Postweg 18, 23730 Schashagen

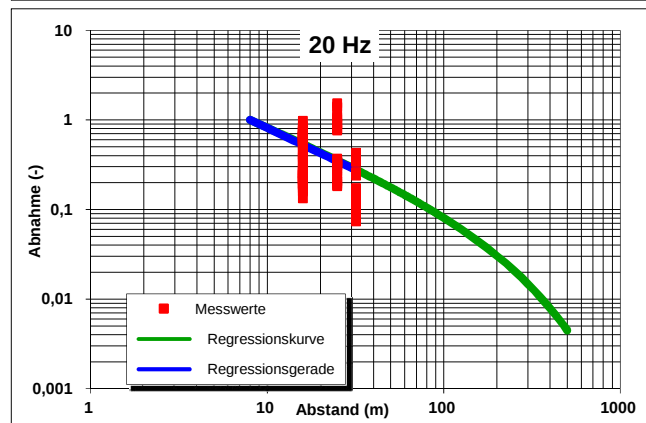
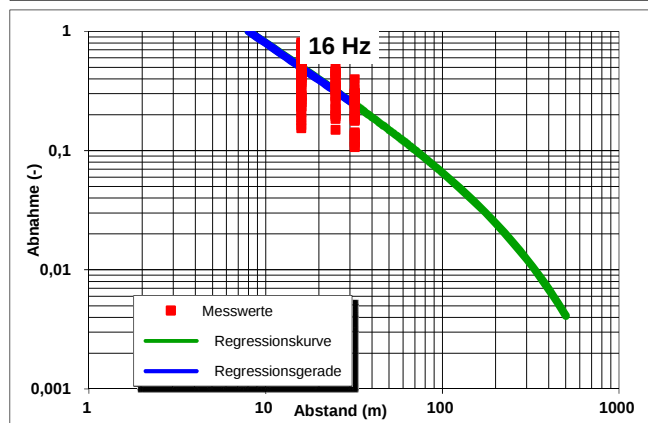
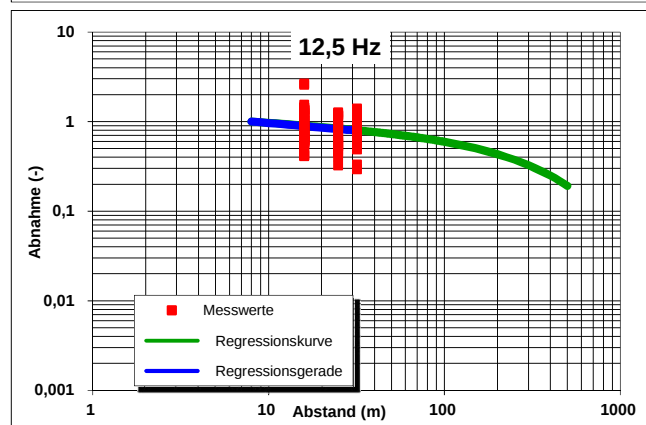
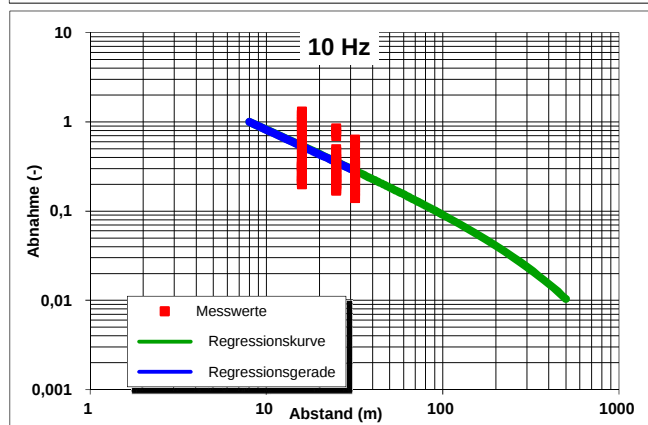
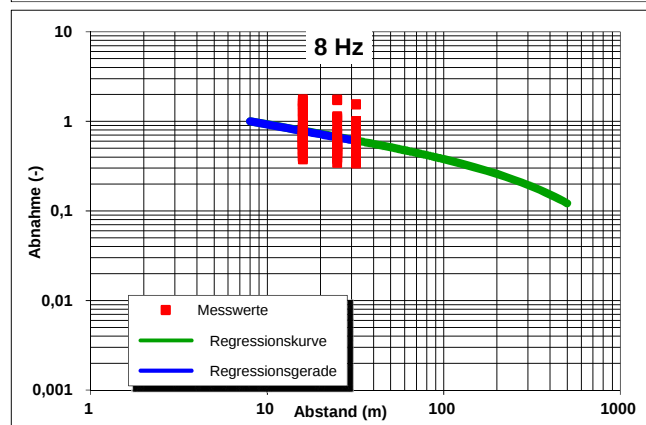
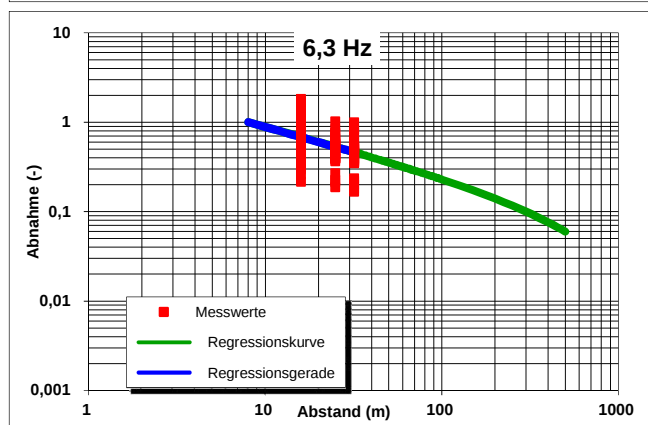
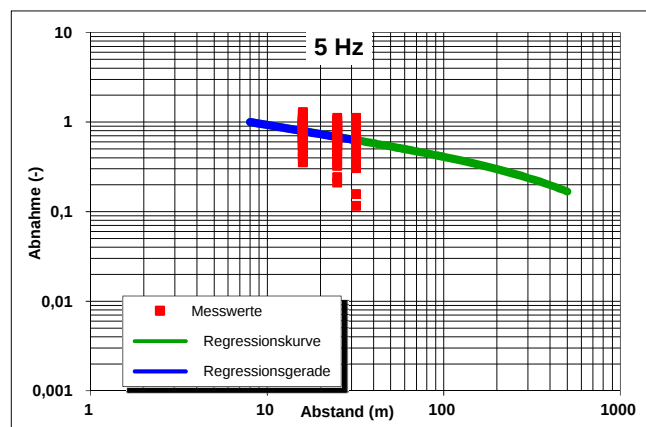
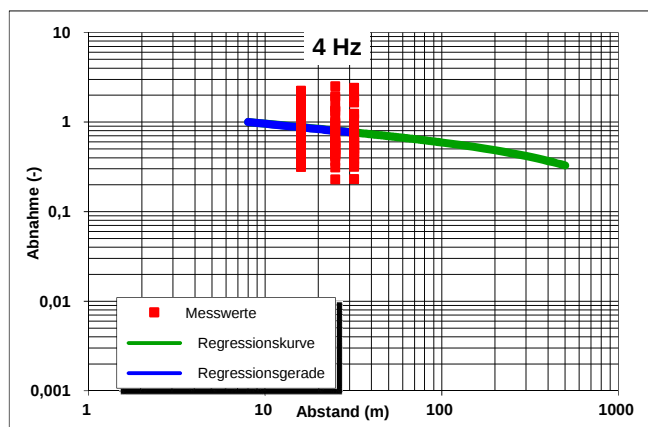


f	n [-]	D [%]
4 Hz	-0,36	0,6%
5 Hz	-0,4	0,6%
6,3 Hz	-0,54	0,6%
8 Hz	-0,32	0,6%
10 Hz	-0,5	0,6%
12,5 Hz	-0,78	0,6%
16 Hz	-0,9	0,6%
20 Hz	-1,47	0,6%
25 Hz	-1,79	0,6%
31,5 Hz	-2,09	0,6%
40 Hz	-2,24	0,6%
50 Hz	-1,94	0,6%
63 Hz	-1,12	0,6%
80 Hz	-1,9	0,6%
100 Hz	-1,77	0,6%
125 Hz	-1,42	0,3%
160 Hz	-0,51	0,3%
200 Hz	-0,34	0,1%
250 Hz	-1,28	0,1%
315 Hz	-1,44	0,1%



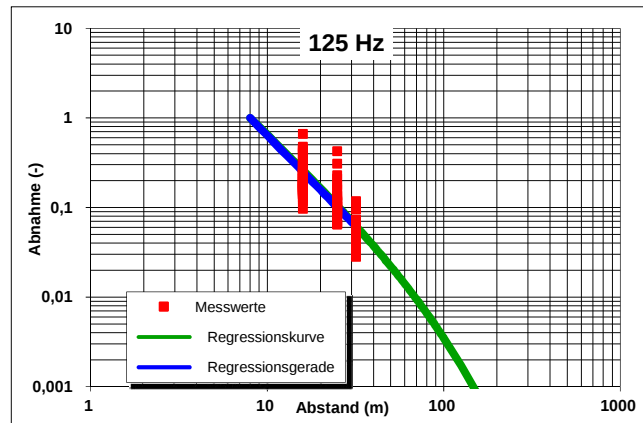
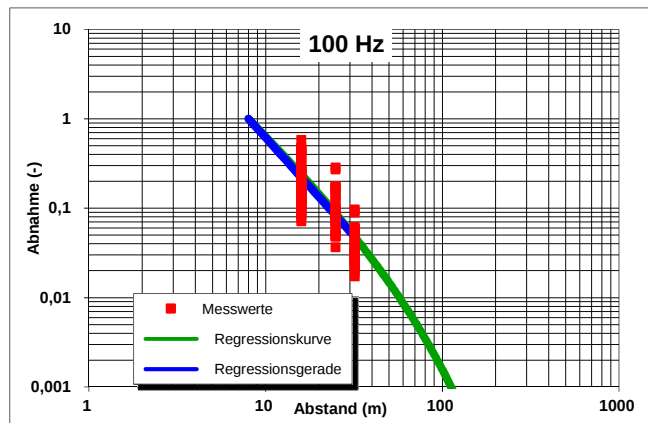
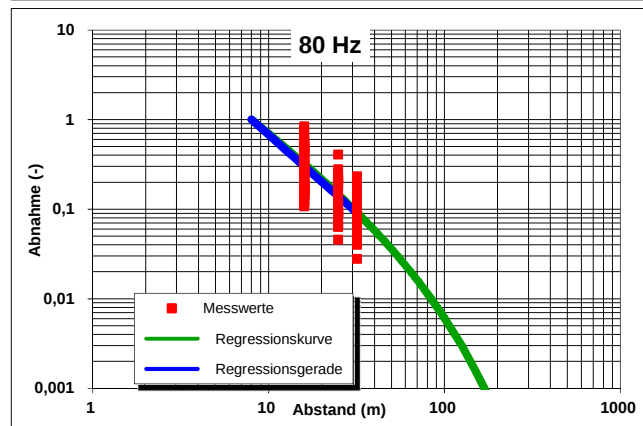
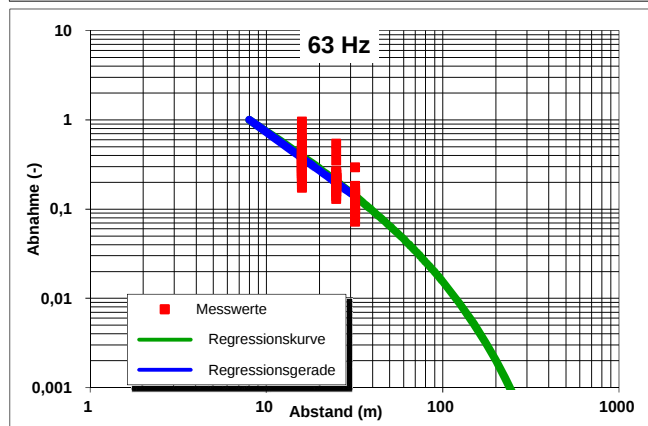
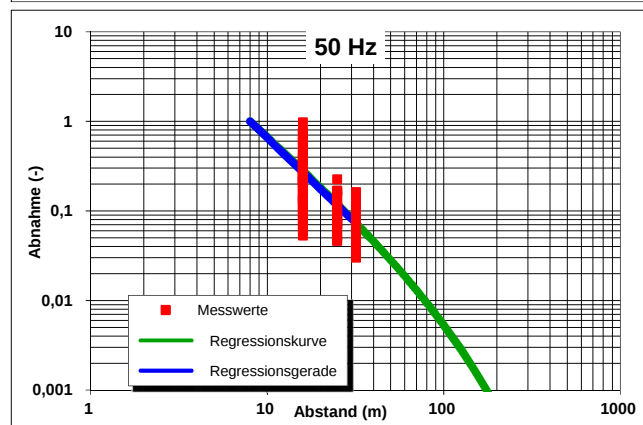
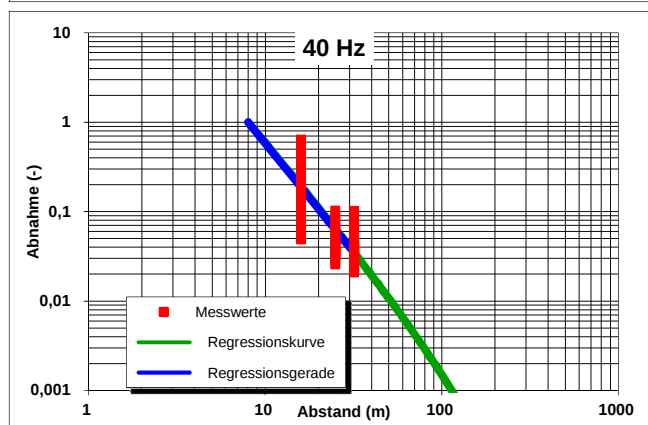
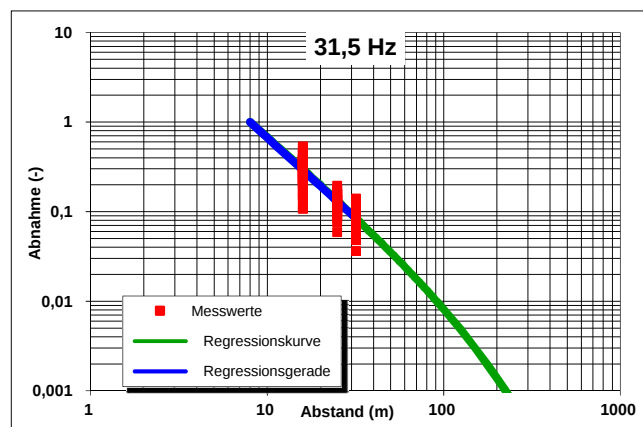
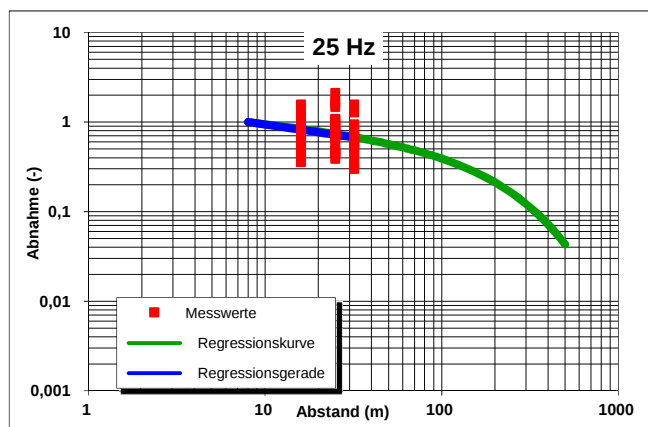
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Bahnhofstraße 1, 23730 Schashagen



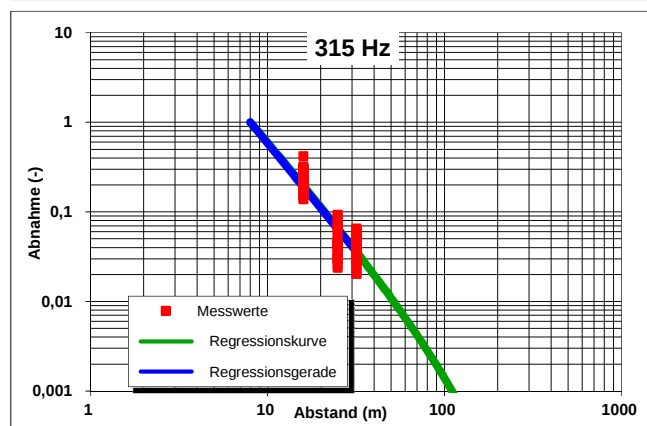
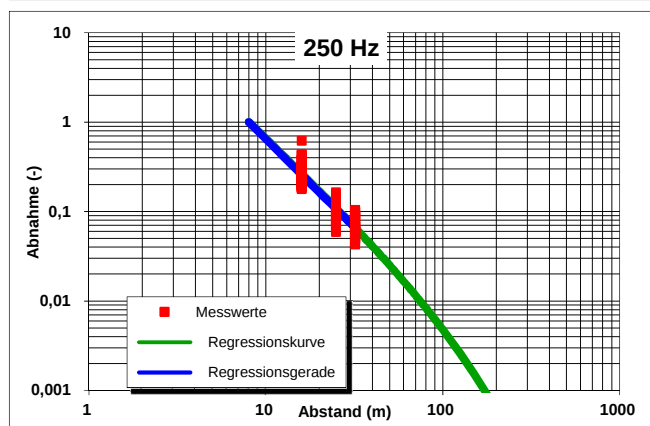
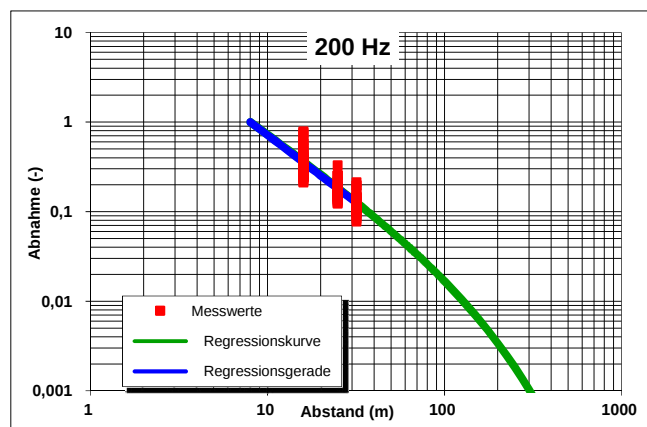
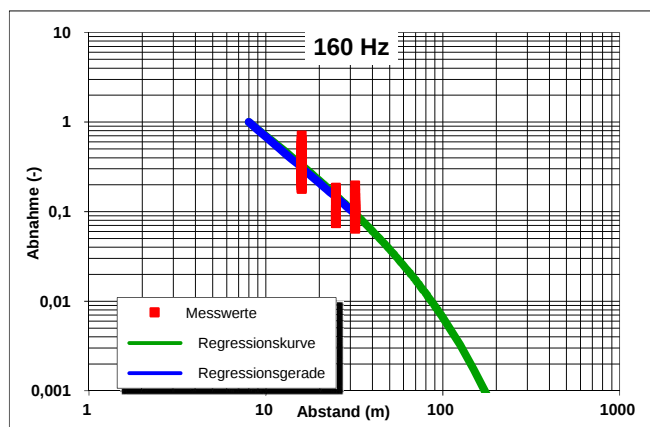
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Bahnhofstraße 1, 23730 Schashagen

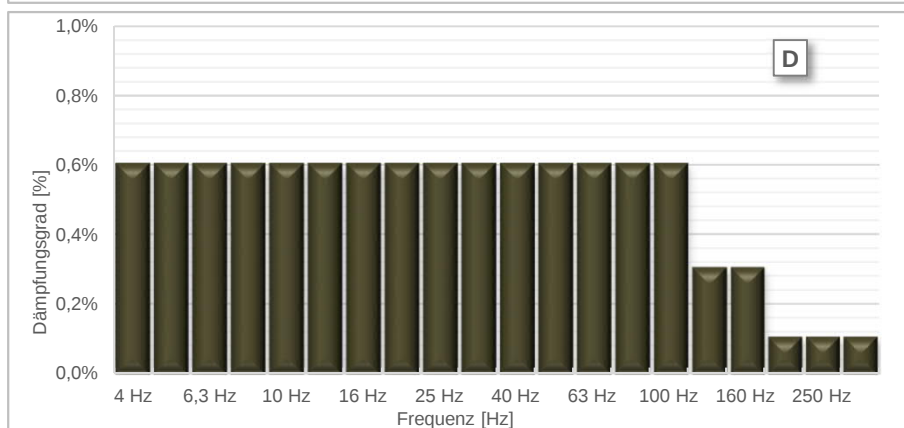
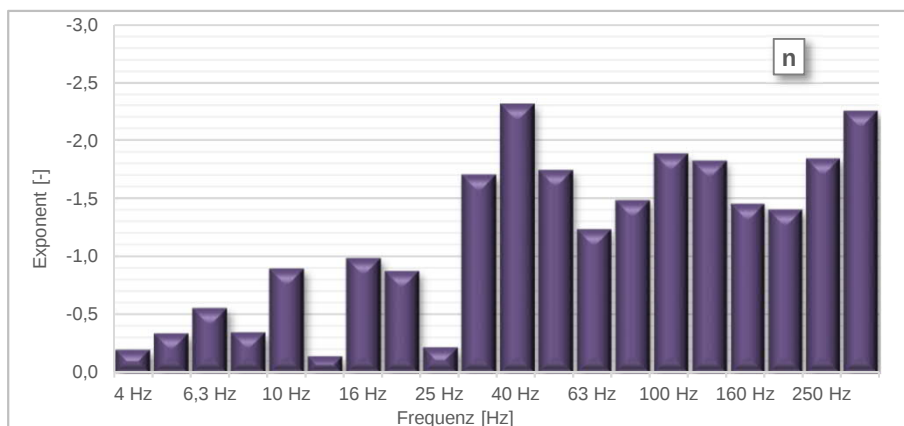


Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Bahnhofstraße 1, 23730 Schashagen

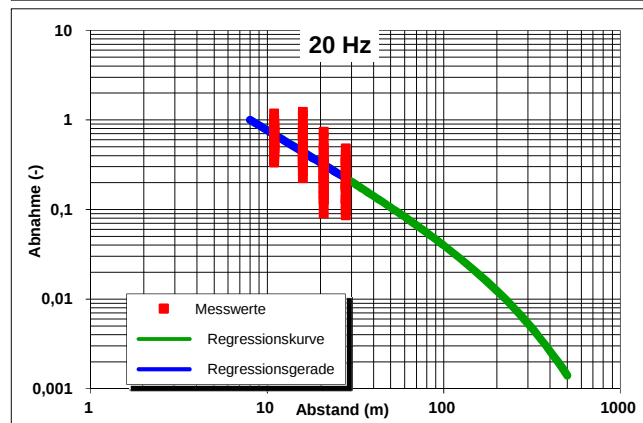
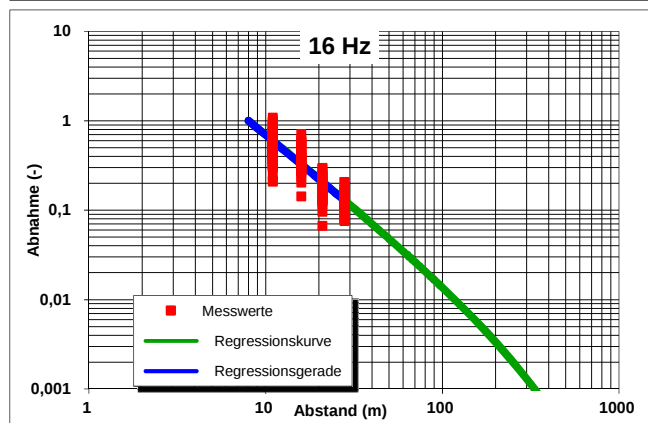
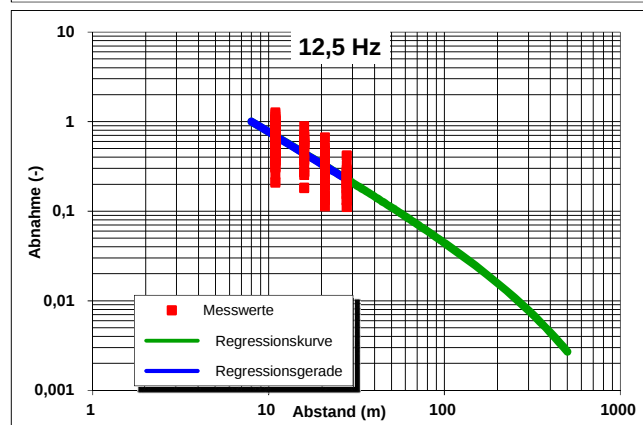
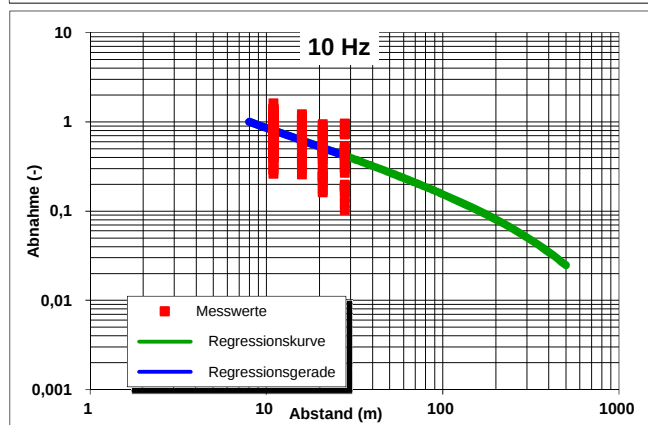
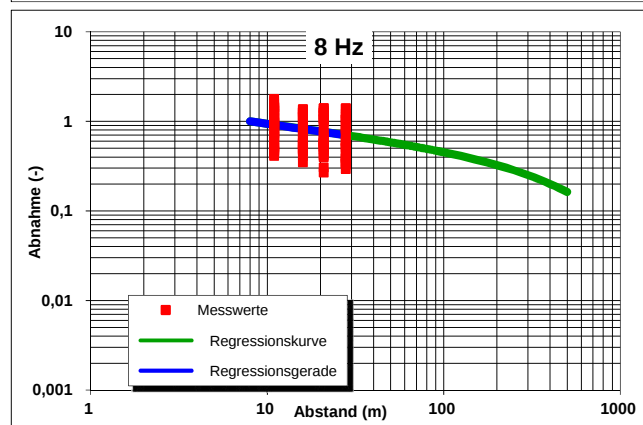
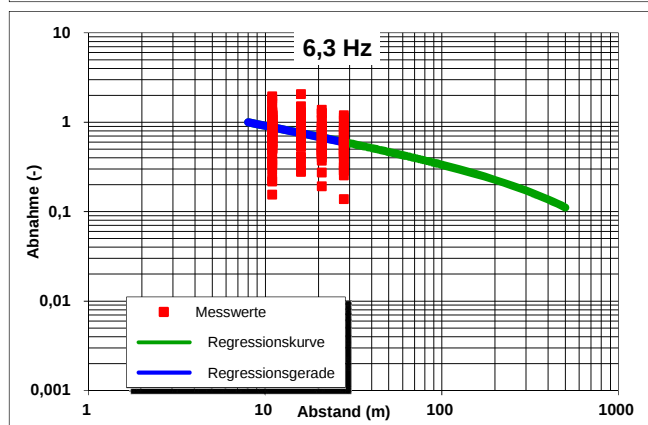
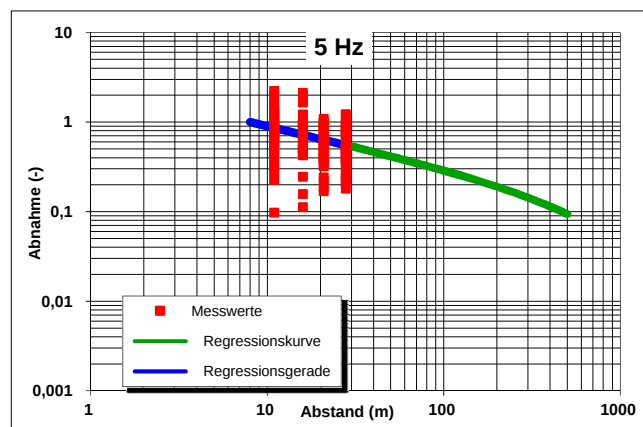
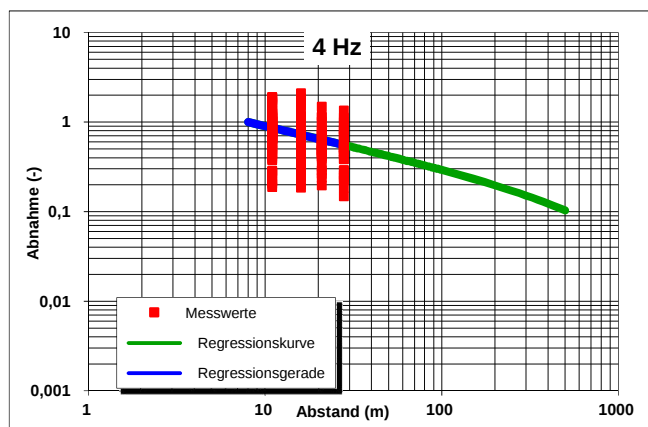


f	n [-]	D [%]
4 Hz	-0,18	0,6%
5 Hz	-0,32	0,6%
6,3 Hz	-0,54	0,6%
8 Hz	-0,33	0,6%
10 Hz	-0,88	0,6%
12,5 Hz	-0,12	0,6%
16 Hz	-0,97	0,6%
20 Hz	-0,86	0,6%
25 Hz	-0,2	0,6%
31,5 Hz	-1,69	0,6%
40 Hz	-2,3	0,6%
50 Hz	-1,73	0,6%
63 Hz	-1,22	0,6%
80 Hz	-1,47	0,6%
100 Hz	-1,87	0,6%
125 Hz	-1,81	0,3%
160 Hz	-1,44	0,3%
200 Hz	-1,39	0,1%
250 Hz	-1,83	0,1%
315 Hz	-2,24	0,1%



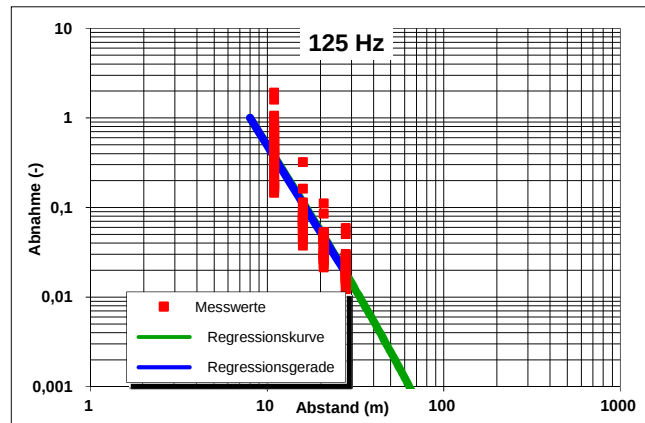
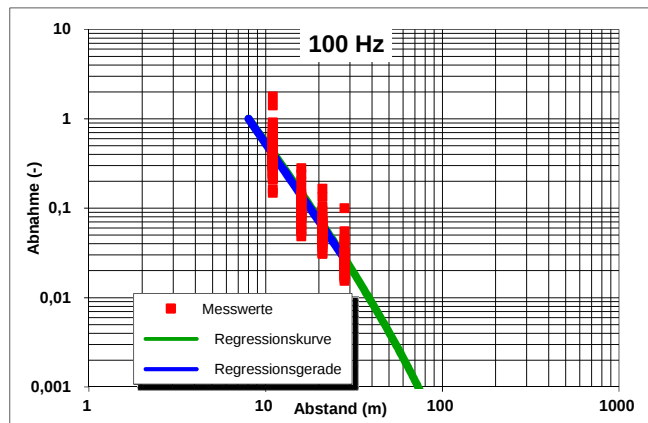
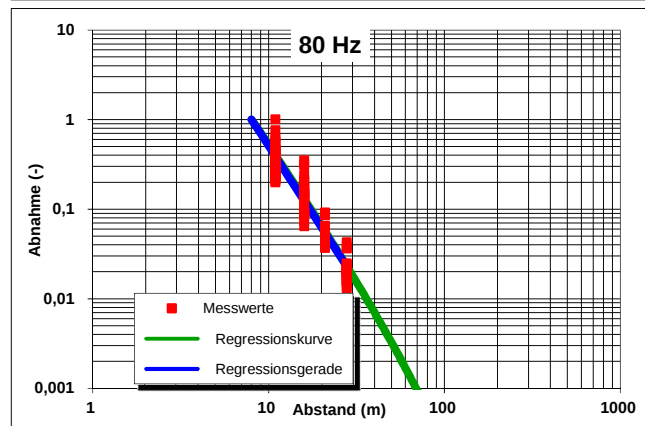
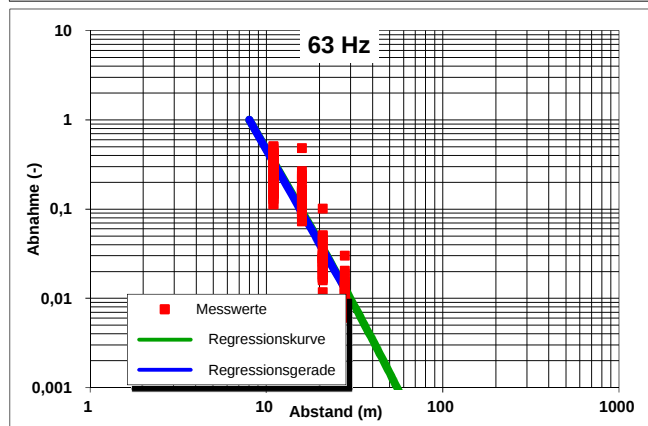
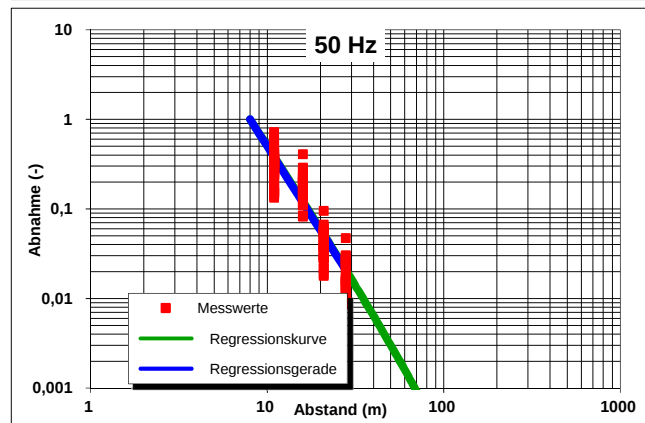
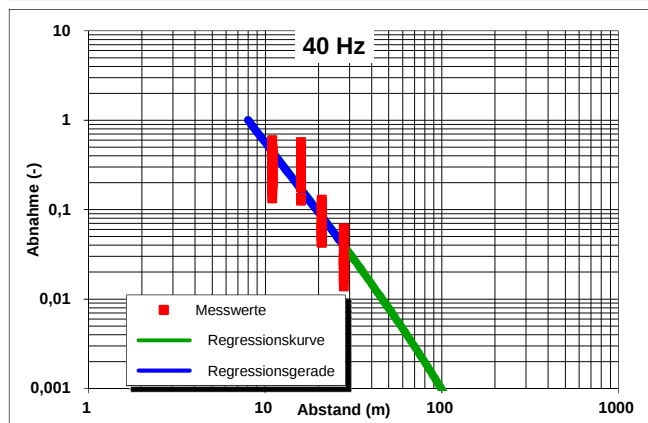
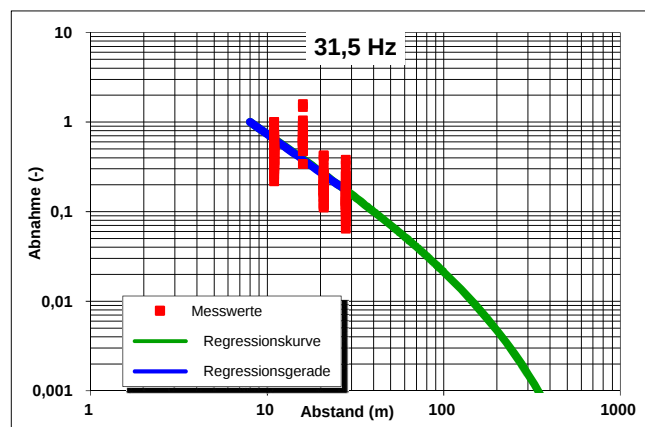
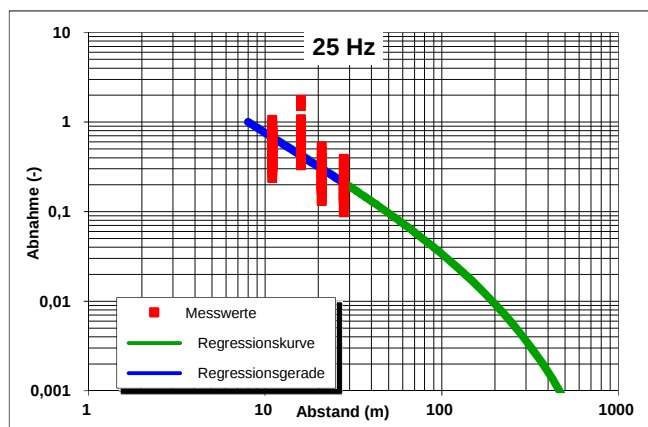
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Grüner Hirsch 8, 23738 Lensahn



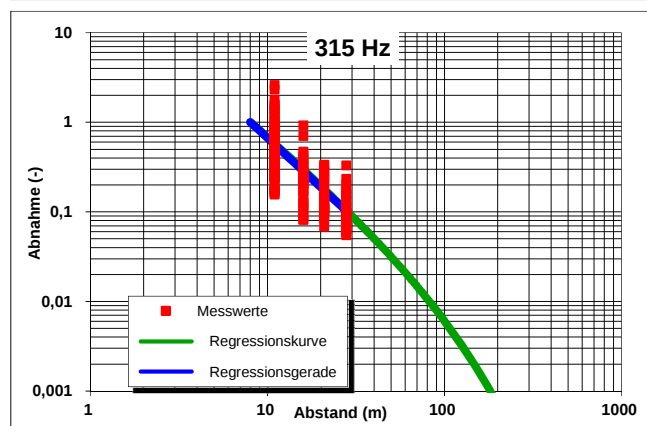
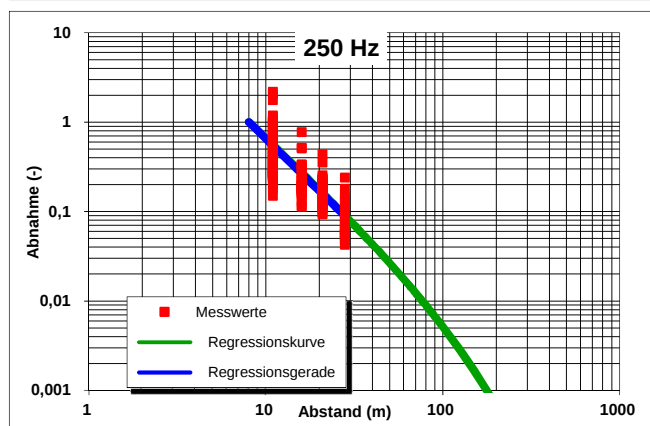
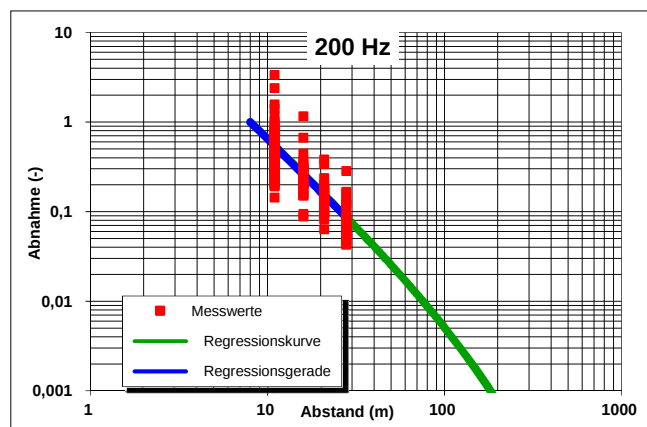
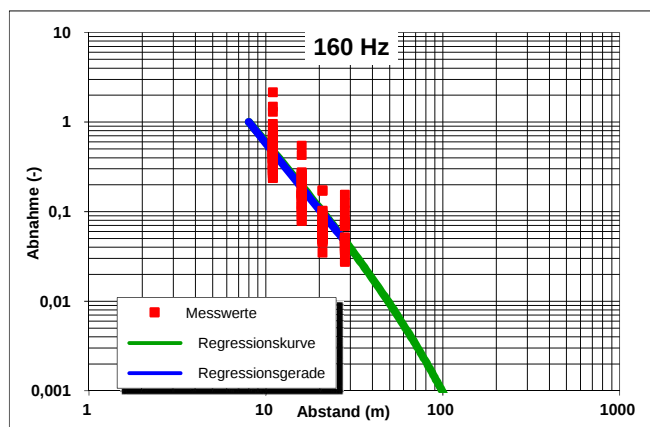
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Grüner Hirsch 8, 23738 Lensahn

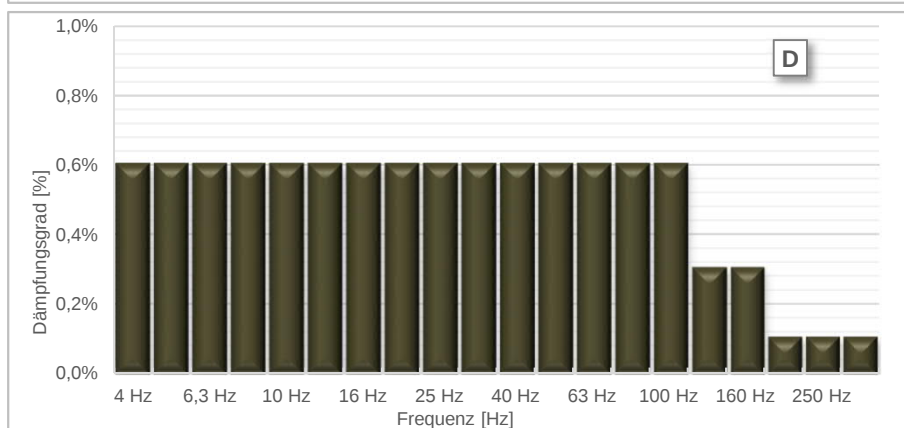
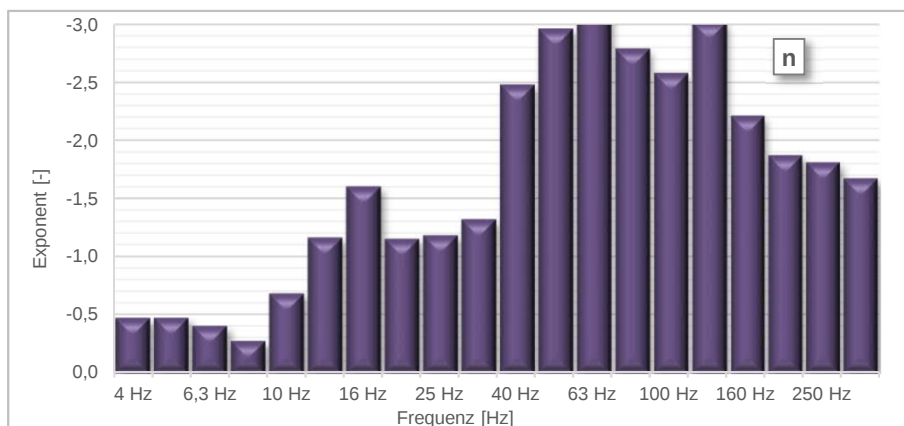


Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Grüner Hirsch 8, 23738 Lensahn

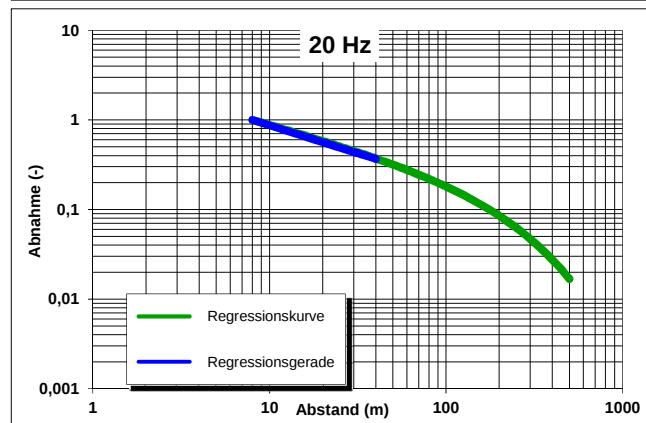
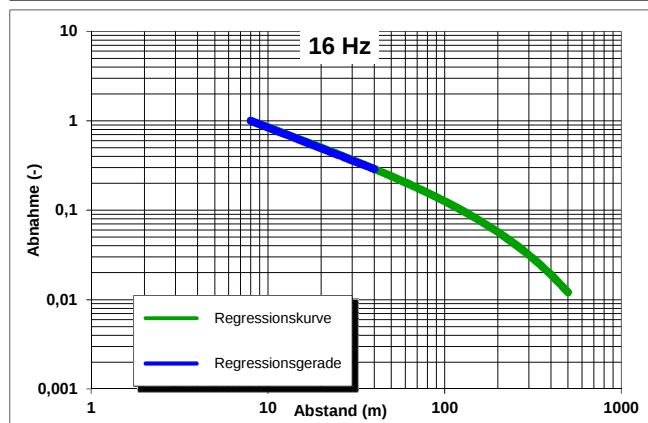
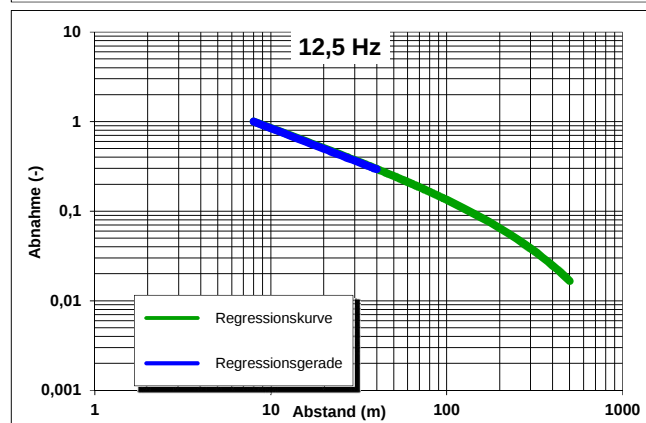
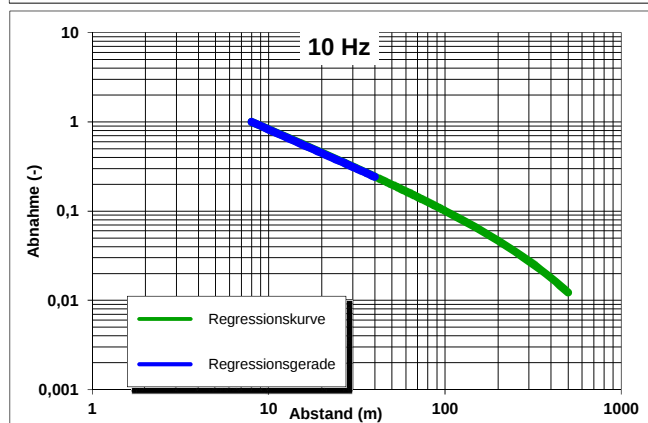
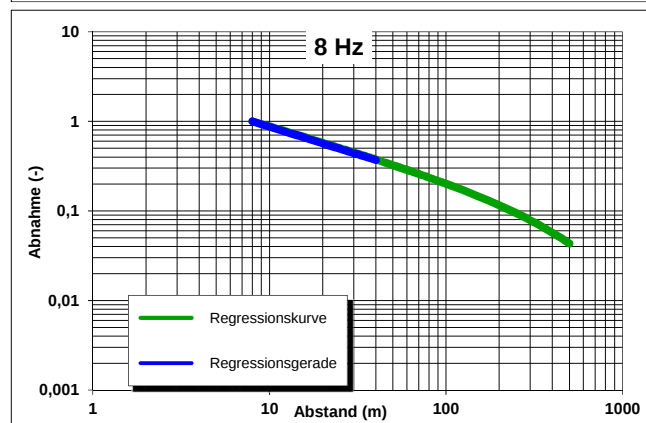
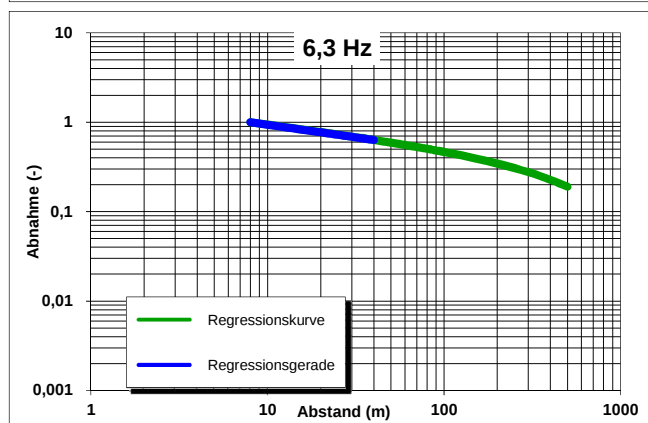
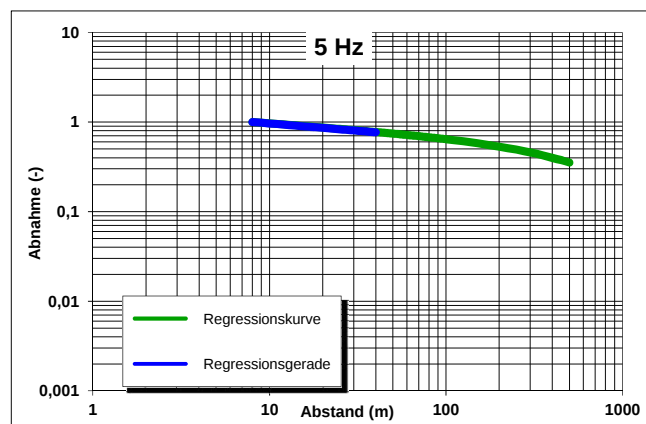
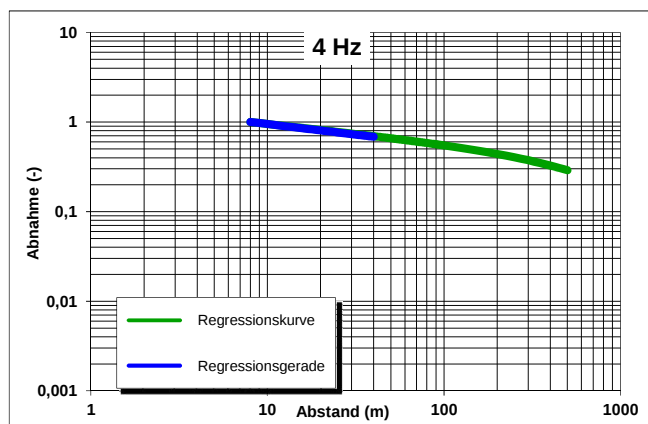


f	n [-]	D [%]
4 Hz	-0,46	0,6%
5 Hz	-0,46	0,6%
6,3 Hz	-0,39	0,6%
8 Hz	-0,26	0,6%
10 Hz	-0,67	0,6%
12,5 Hz	-1,15	0,6%
16 Hz	-1,59	0,6%
20 Hz	-1,14	0,6%
25 Hz	-1,17	0,6%
31,5 Hz	-1,31	0,6%
40 Hz	-2,47	0,6%
50 Hz	-2,95	0,6%
63 Hz	-3,29	0,6%
80 Hz	-2,78	0,6%
100 Hz	-2,57	0,6%
125 Hz	-3,01	0,3%
160 Hz	-2,2	0,3%
200 Hz	-1,86	0,1%
250 Hz	-1,8	0,1%
315 Hz	-1,66	0,1%



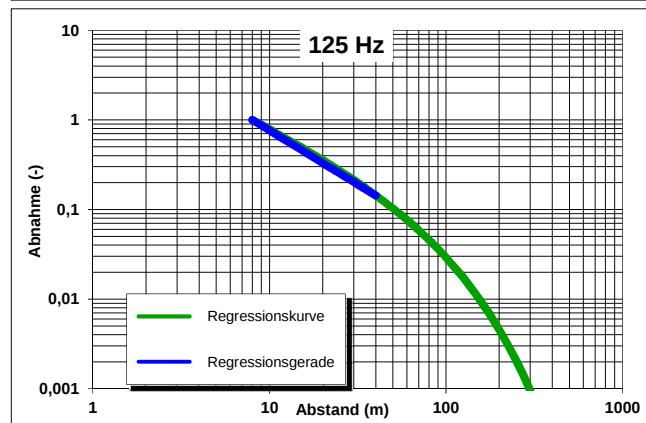
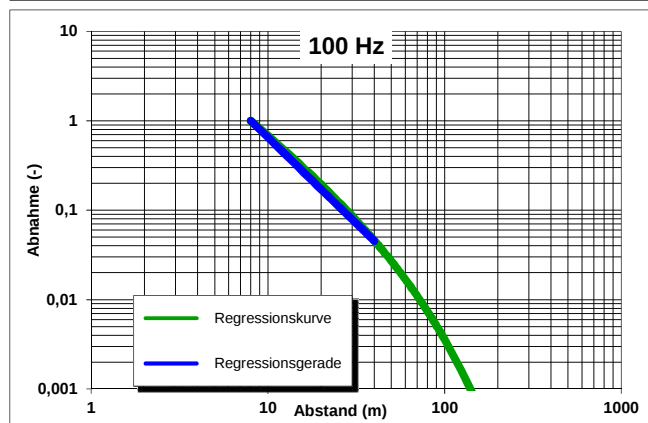
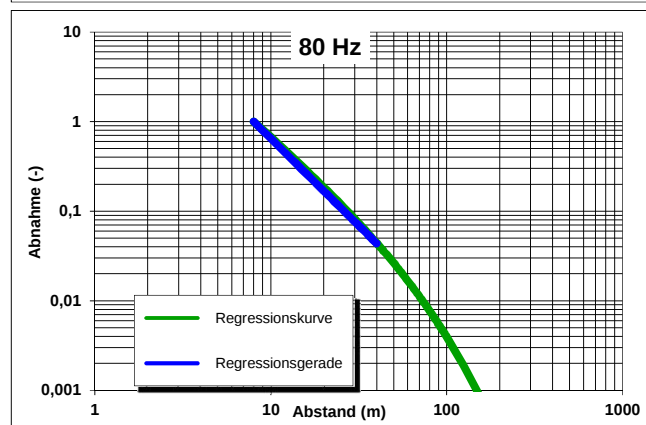
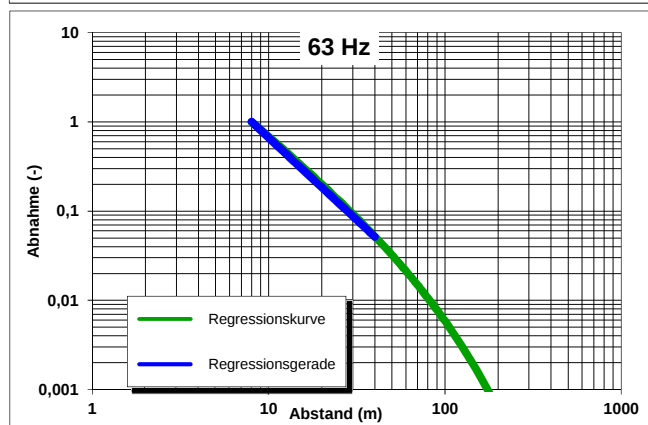
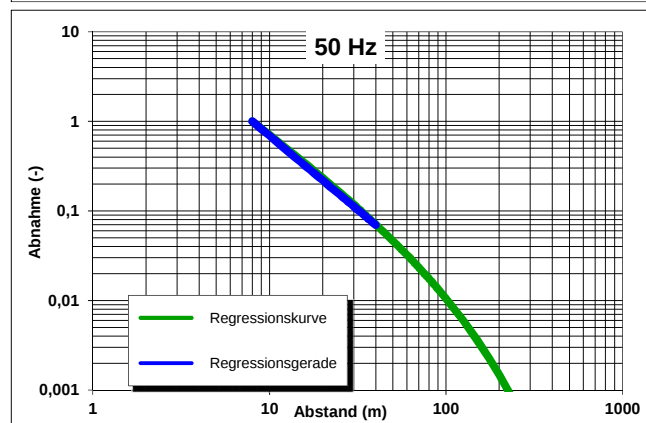
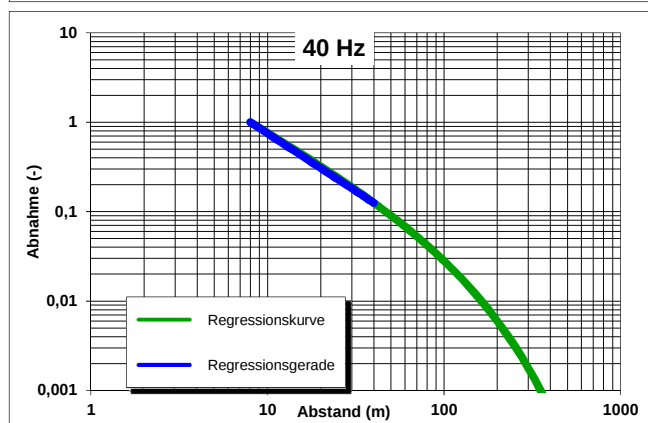
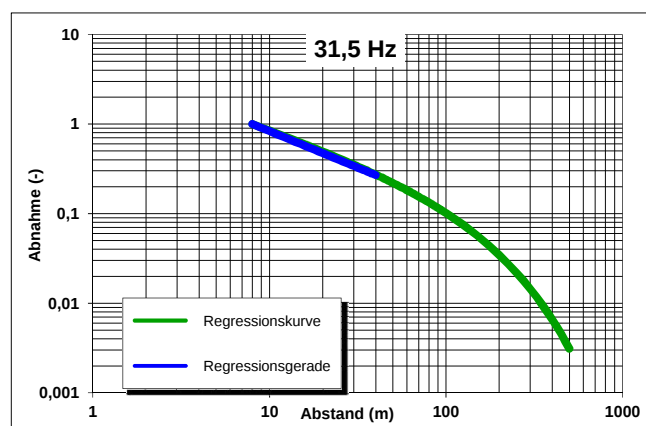
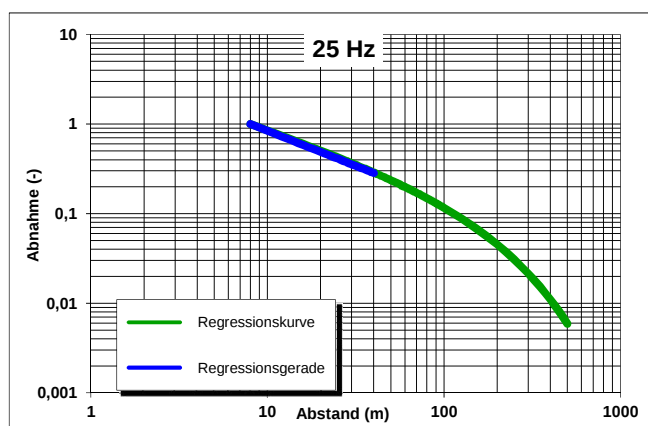
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Hauptstraße 1, 23730 Schashagen



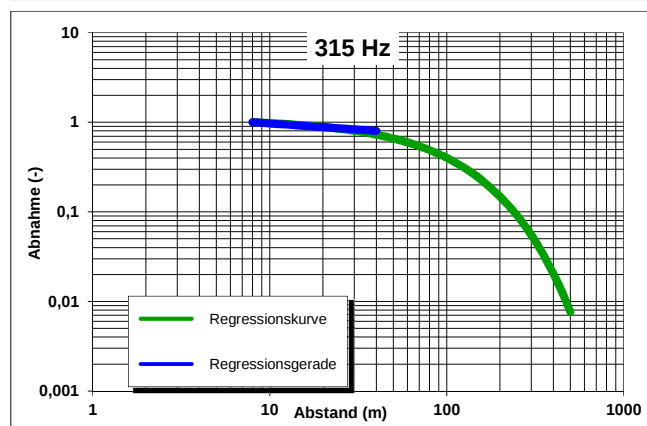
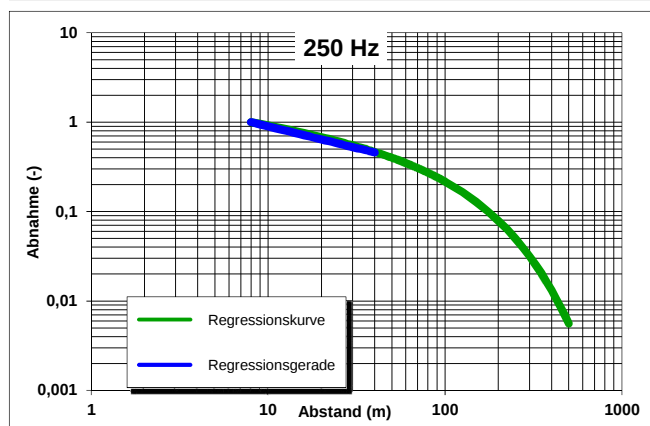
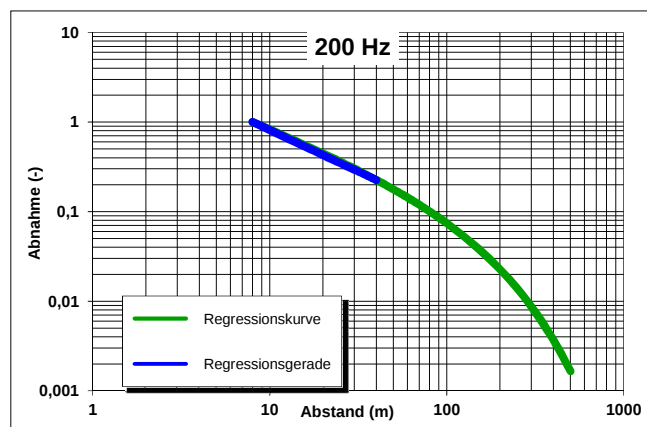
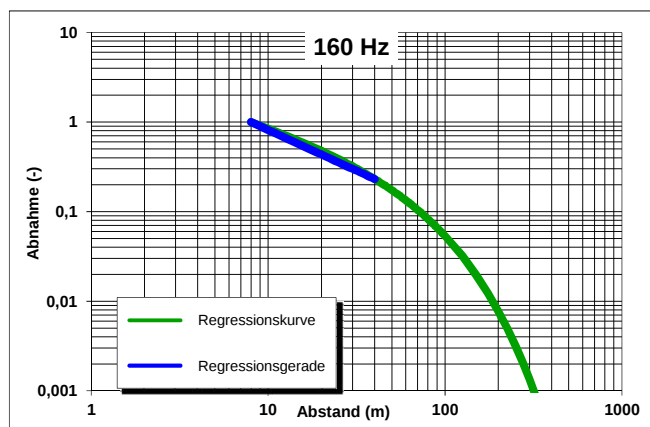
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Hauptstraße 1, 23730 Schashagen

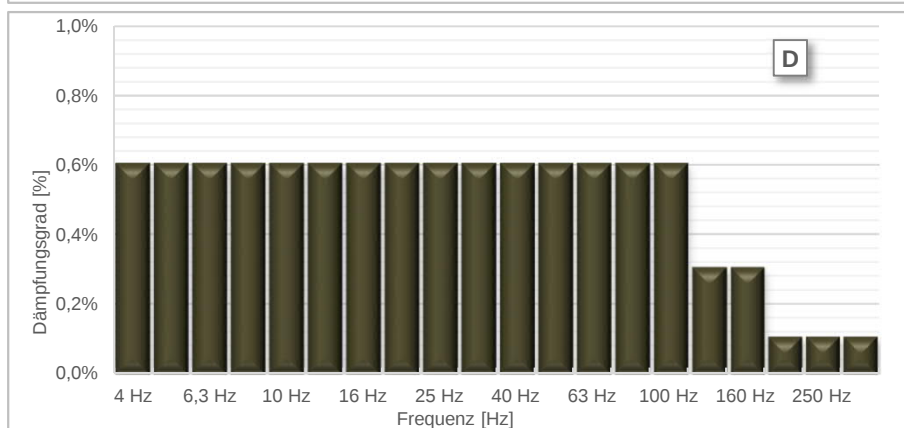
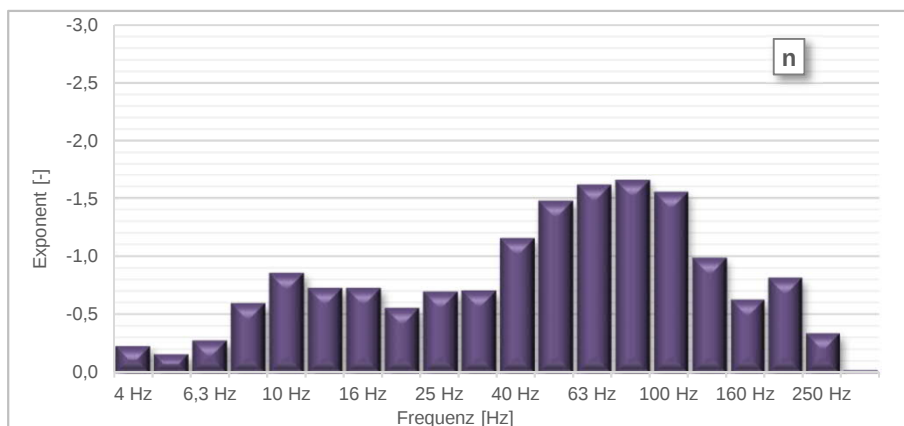


Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Hauptstraße 1, 23730 Schashagen

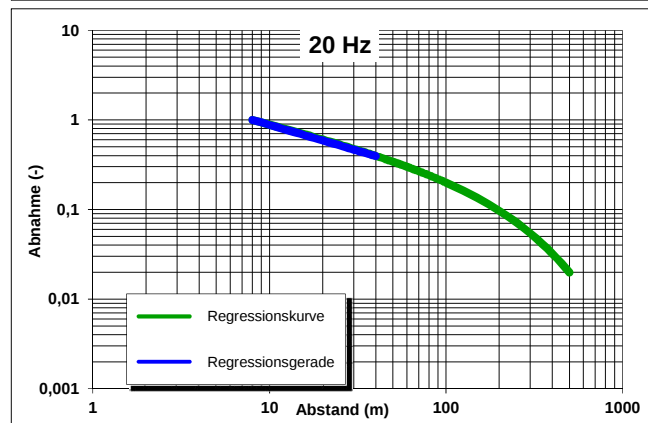
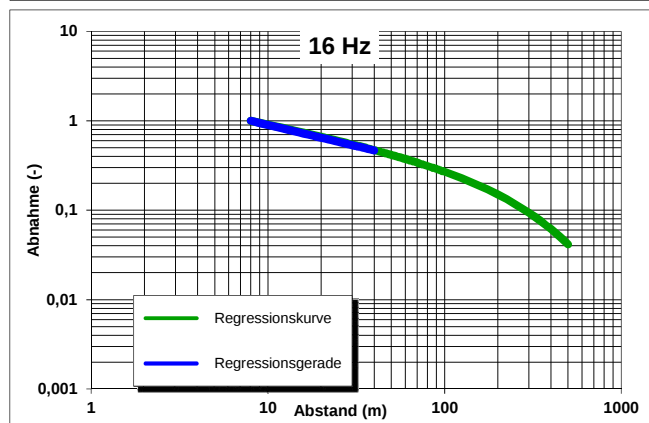
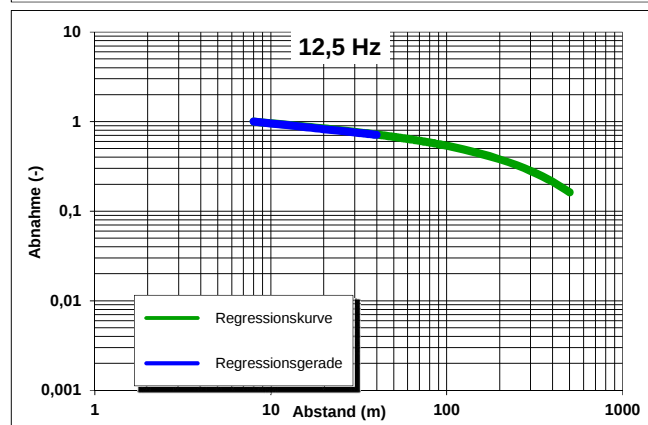
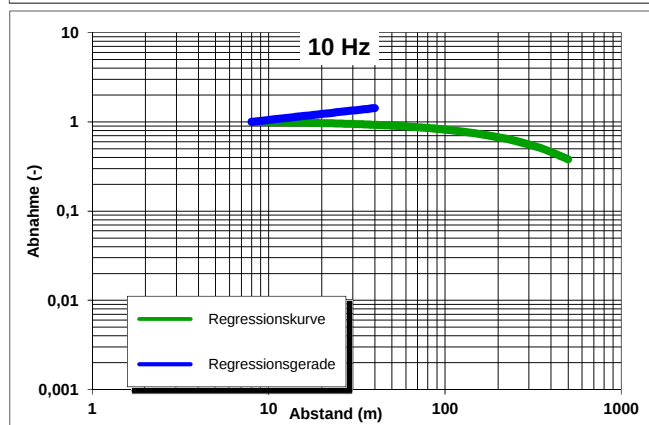
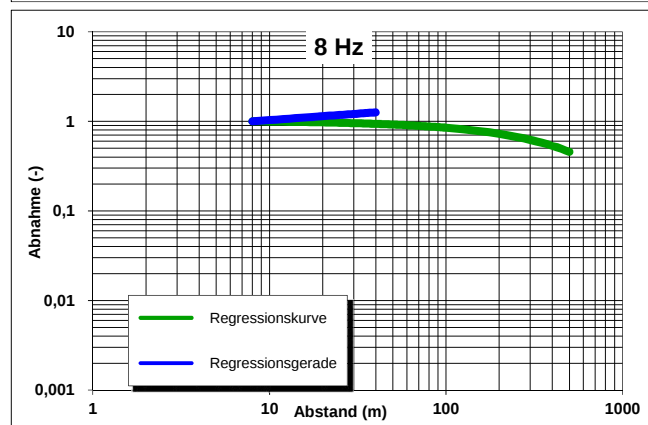
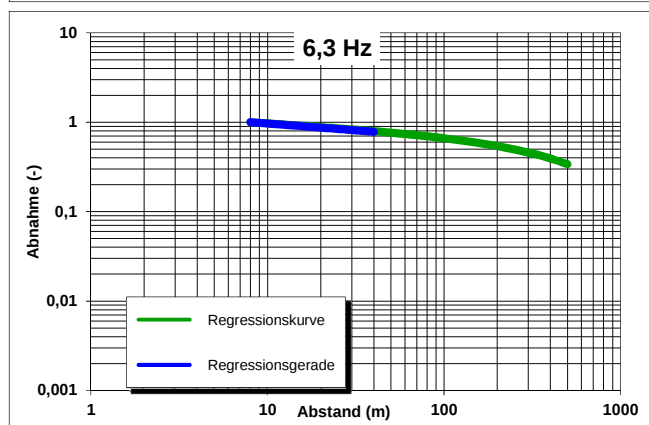
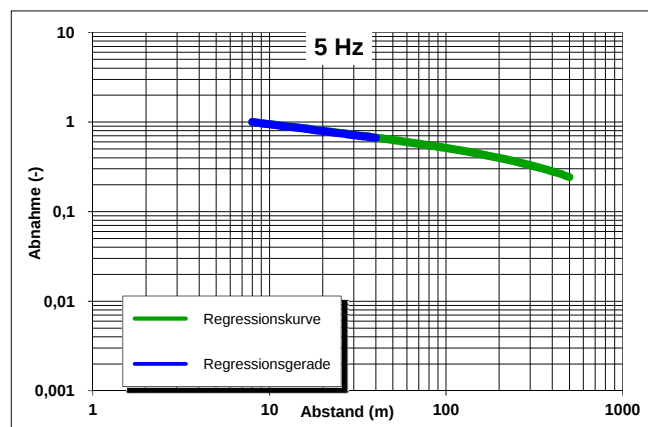
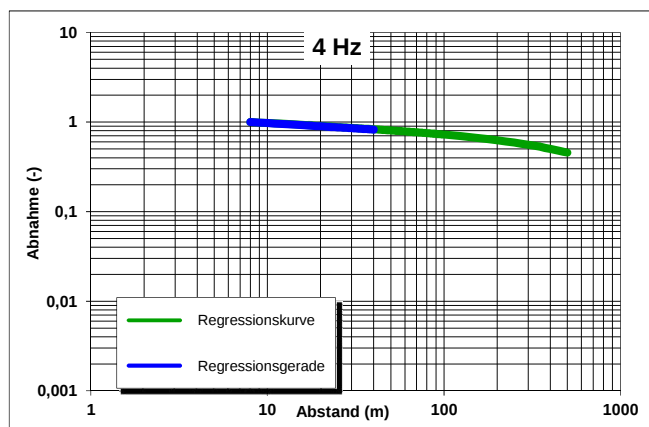


f	n [-]	D [%]
4 Hz	-0,21	0,6%
5 Hz	-0,14	0,6%
6,3 Hz	-0,26	0,6%
8 Hz	-0,58	0,6%
10 Hz	-0,84	0,6%
12,5 Hz	-0,71	0,6%
16 Hz	-0,71	0,6%
20 Hz	-0,54	0,6%
25 Hz	-0,68	0,6%
31,5 Hz	-0,69	0,6%
40 Hz	-1,14	0,6%
50 Hz	-1,46	0,6%
63 Hz	-1,6	0,6%
80 Hz	-1,64	0,6%
100 Hz	-1,54	0,6%
125 Hz	-0,97	0,3%
160 Hz	-0,61	0,3%
200 Hz	-0,8	0,1%
250 Hz	-0,32	0,1%
315 Hz	-0,001	0,1%



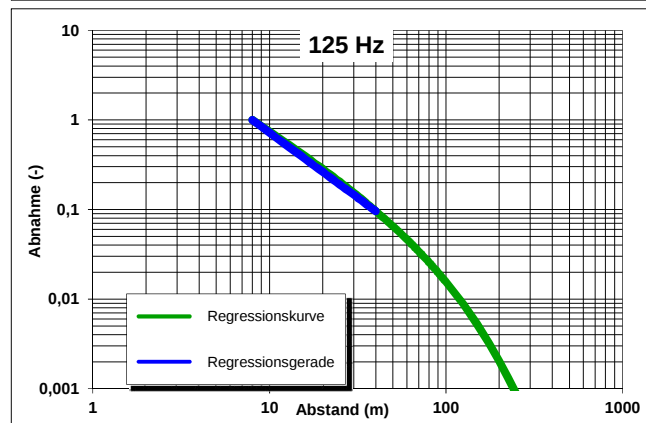
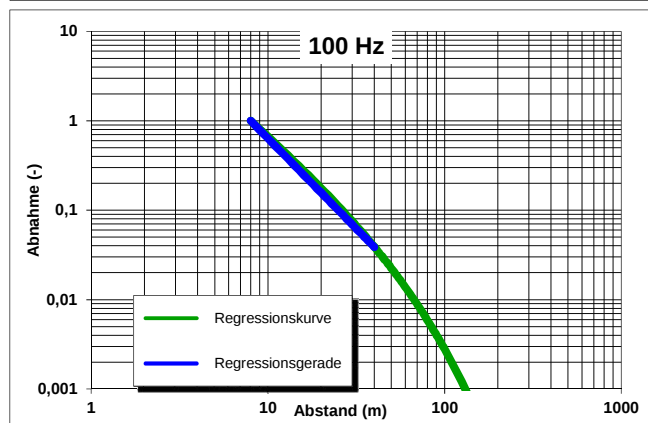
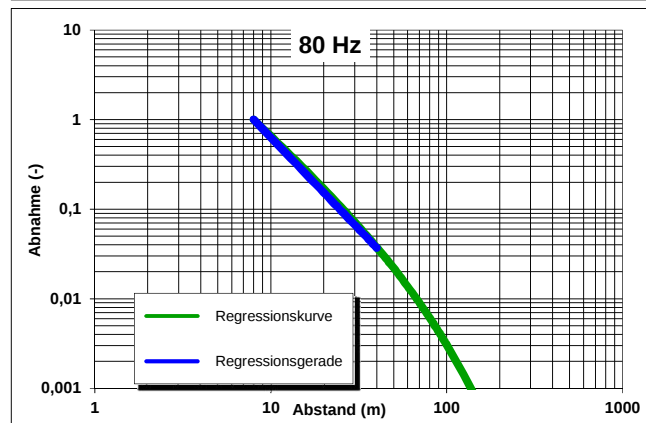
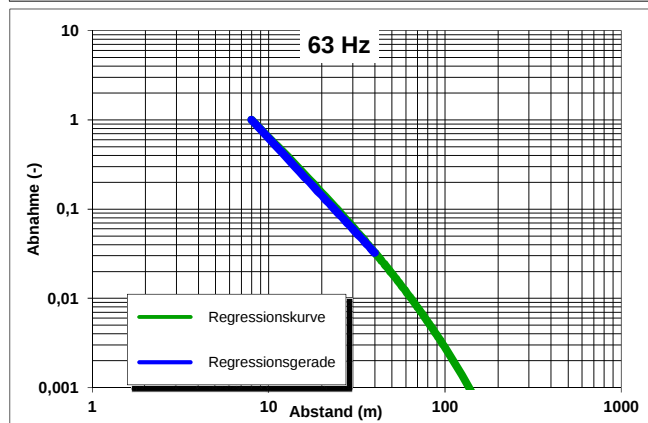
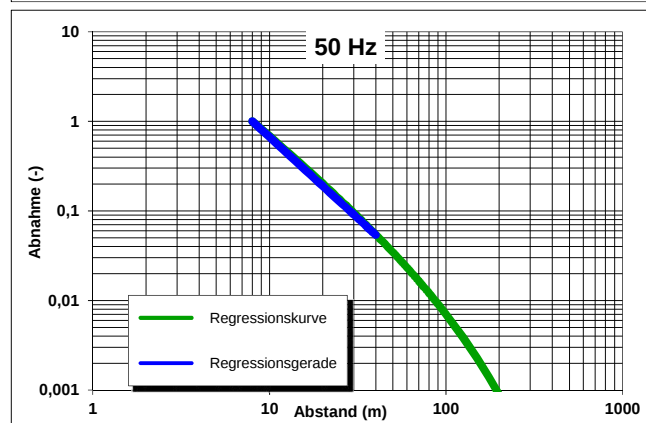
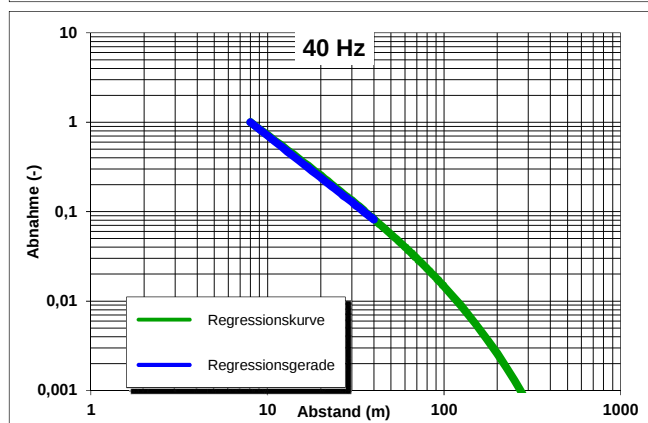
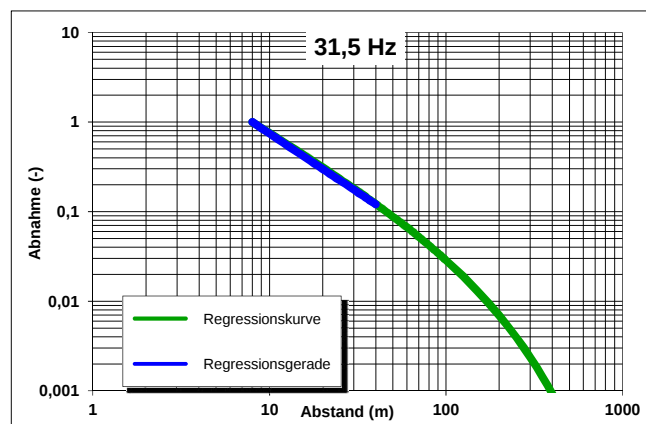
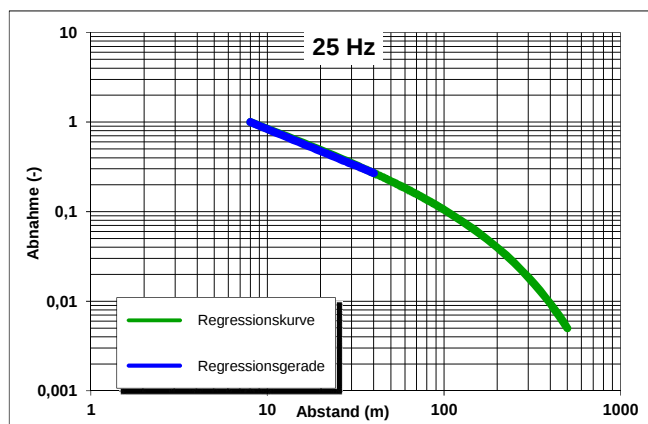
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Hauptstraße 15, 23730 Schashagen



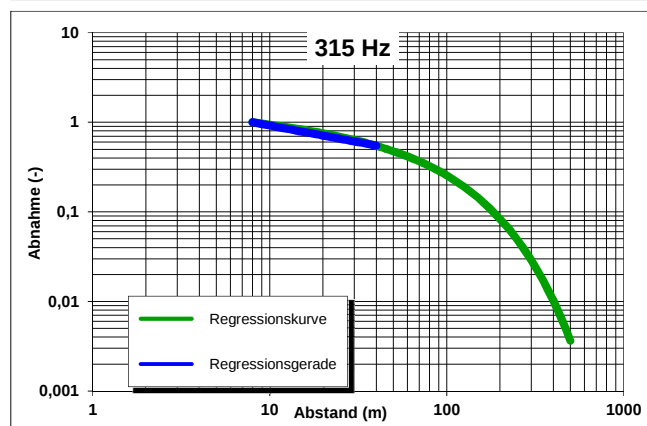
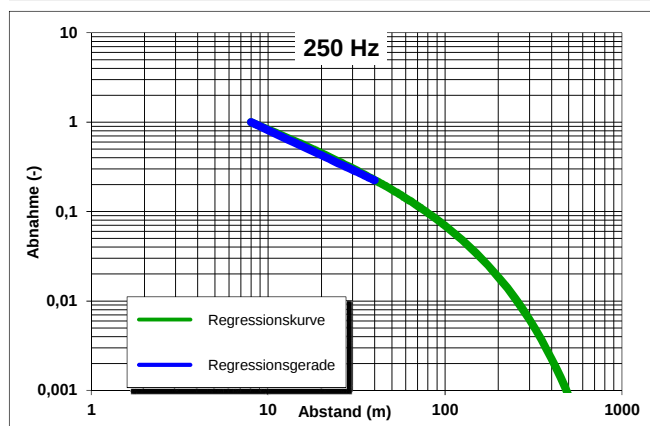
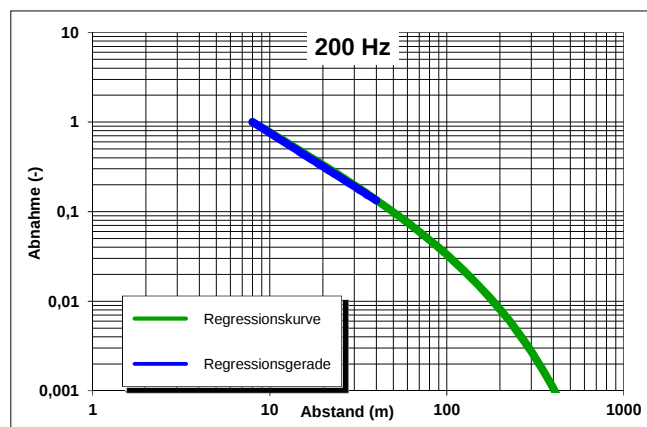
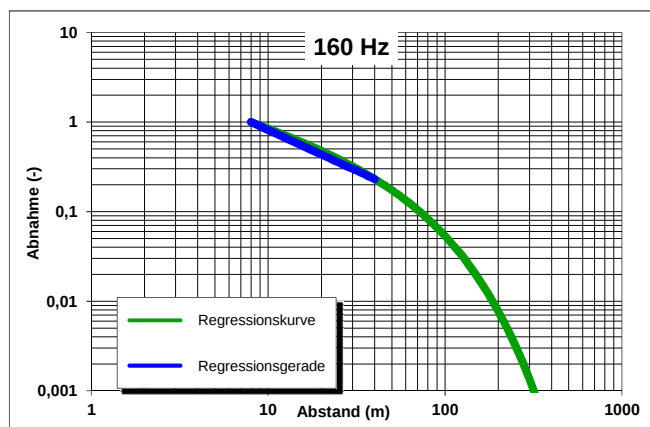
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Hauptstraße 15, 23730 Schashagen

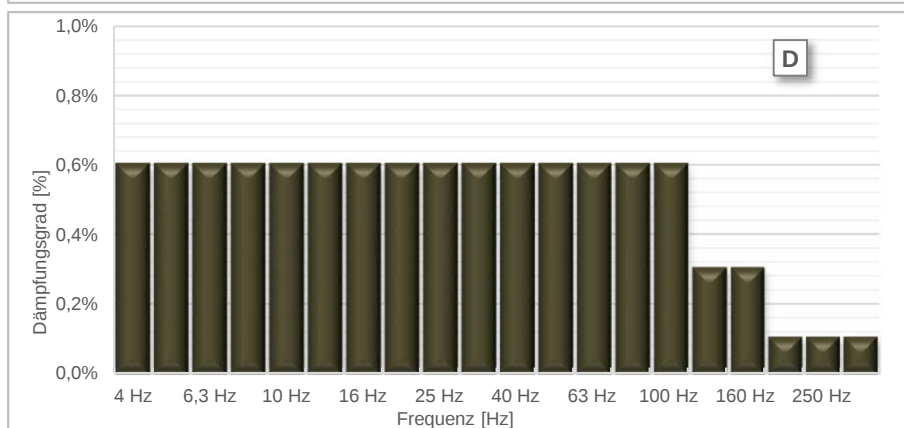
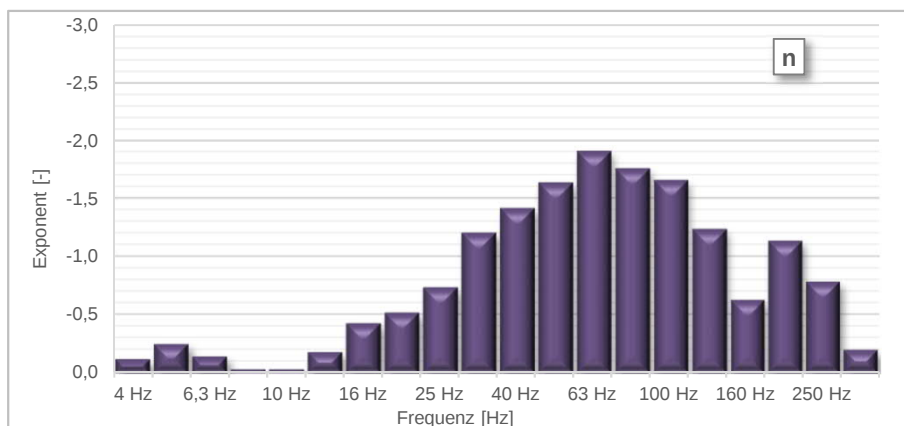


Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Hauptstraße 15, 23730 Schashagen

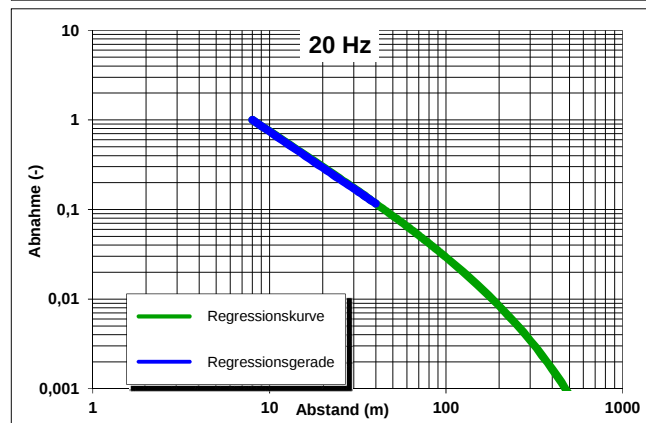
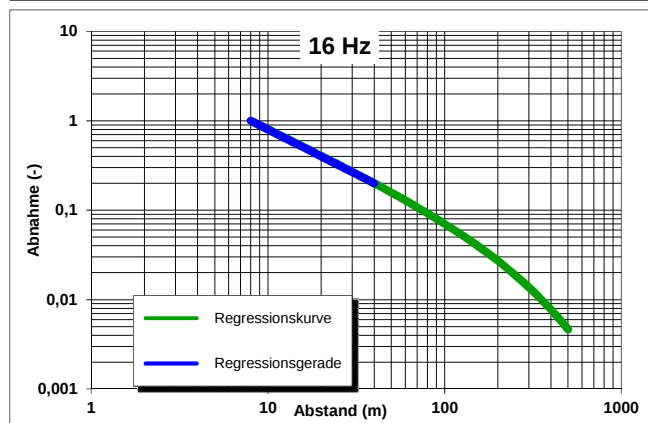
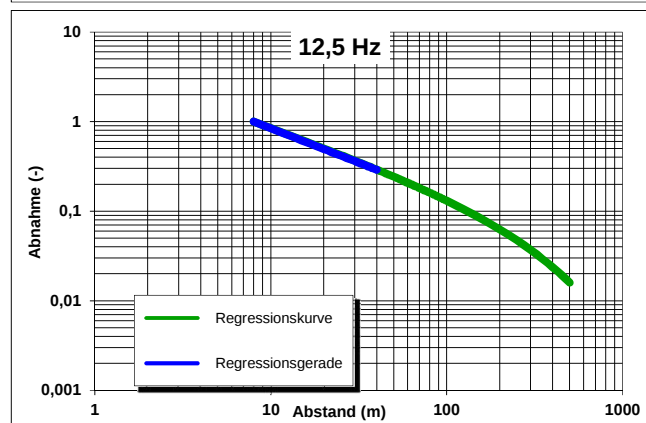
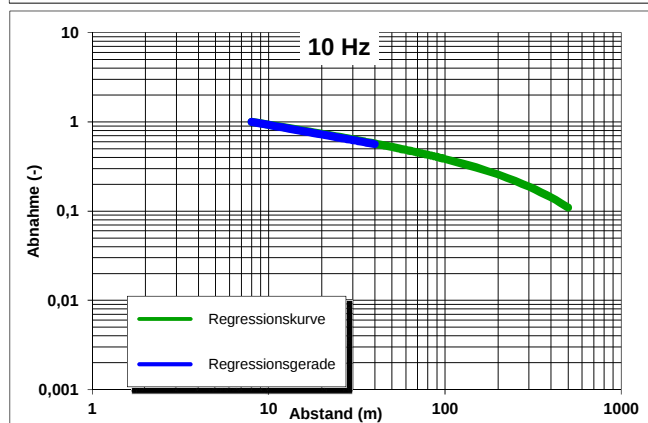
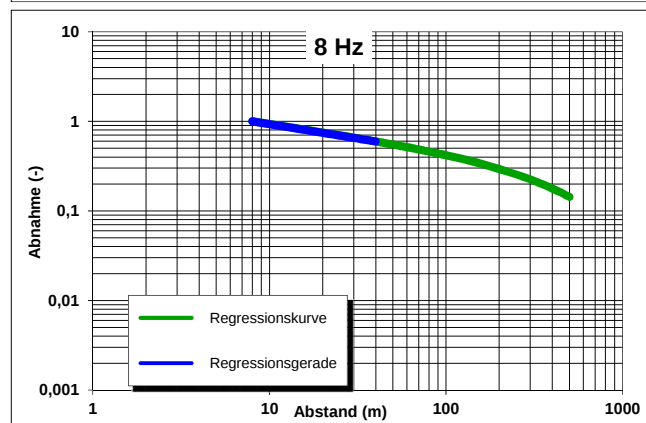
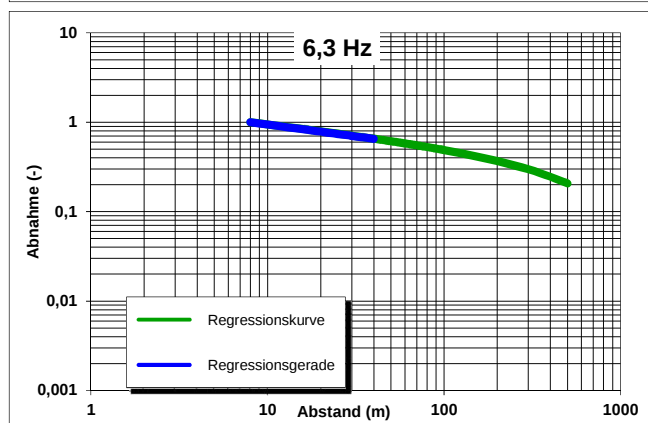
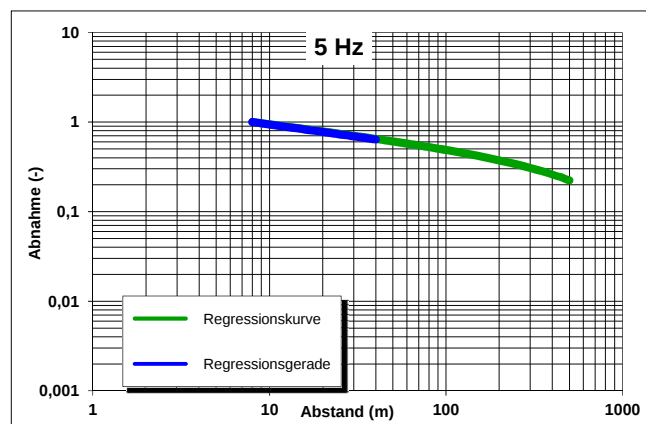
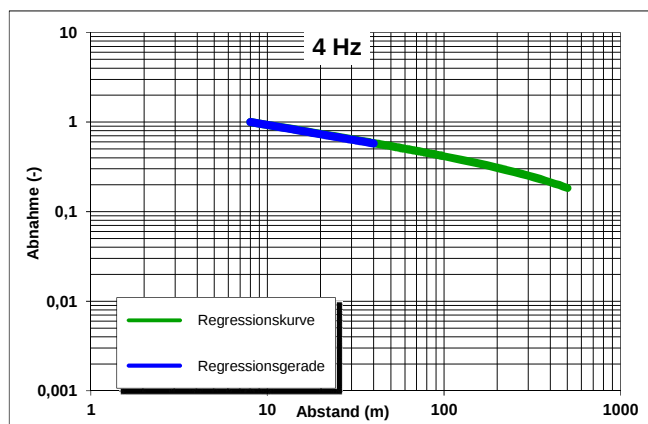


f	n [-]	D [%]
4 Hz	-0,1	0,6%
5 Hz	-0,23	0,6%
6,3 Hz	-0,12	0,6%
8 Hz	-0,01	0,6%
10 Hz	-0,01	0,6%
12,5 Hz	-0,16	0,6%
16 Hz	-0,41	0,6%
20 Hz	-0,5	0,6%
25 Hz	-0,72	0,6%
31,5 Hz	-1,19	0,6%
40 Hz	-1,4	0,6%
50 Hz	-1,62	0,6%
63 Hz	-1,89	0,6%
80 Hz	-1,74	0,6%
100 Hz	-1,64	0,6%
125 Hz	-1,22	0,3%
160 Hz	-0,61	0,3%
200 Hz	-1,12	0,1%
250 Hz	-0,77	0,1%
315 Hz	-0,18	0,1%



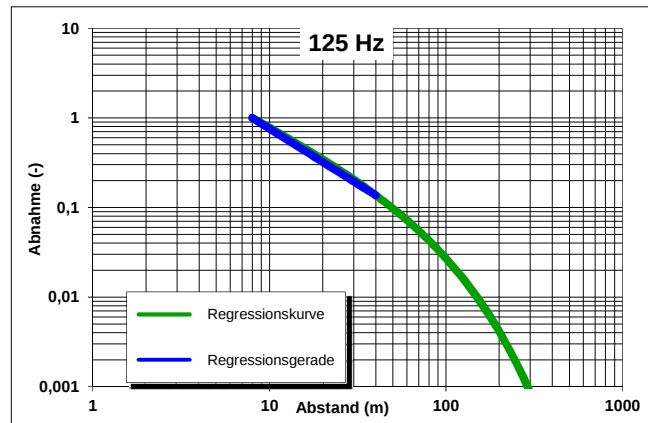
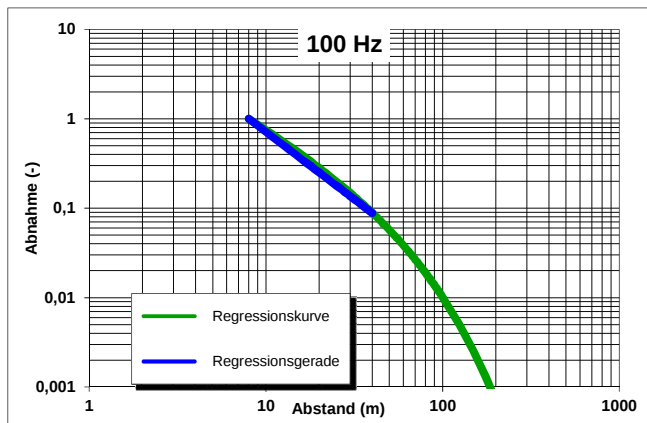
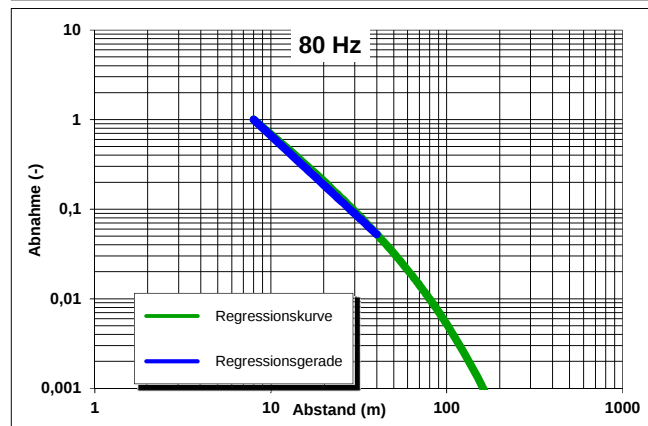
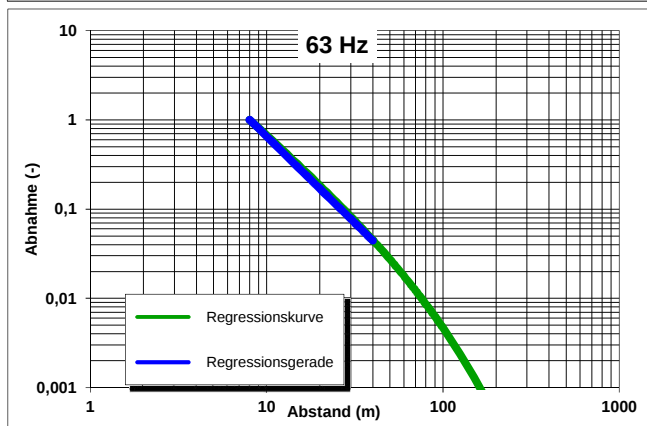
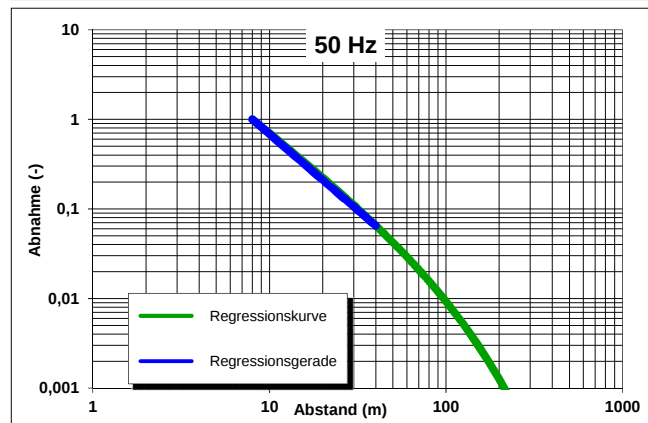
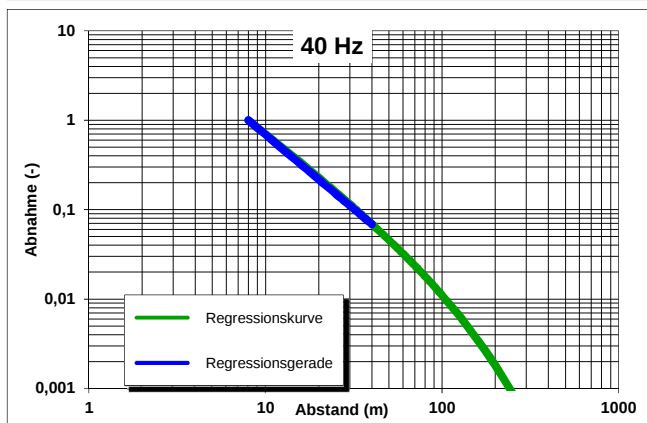
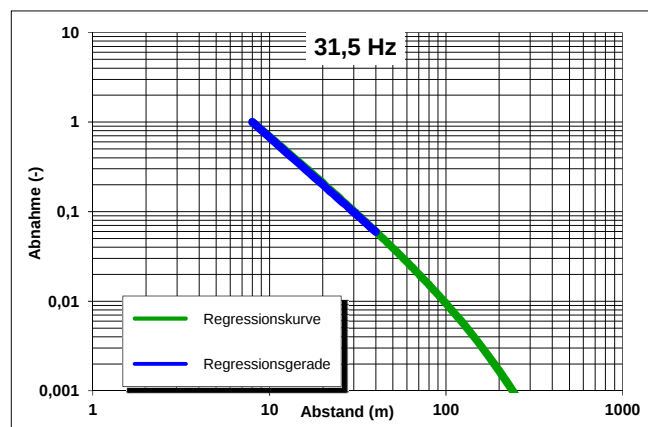
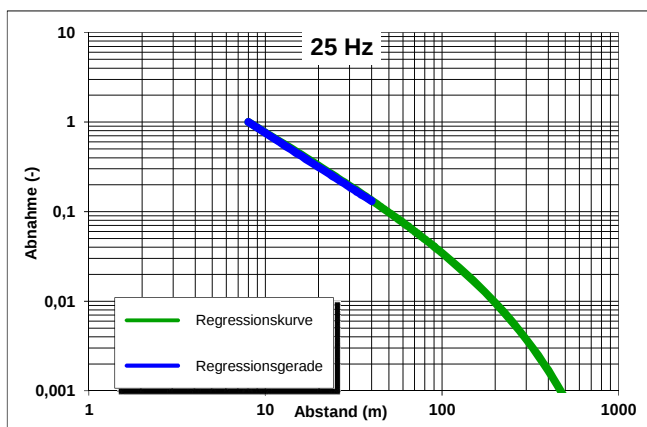
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Postweg 18, 23730 Schashagen



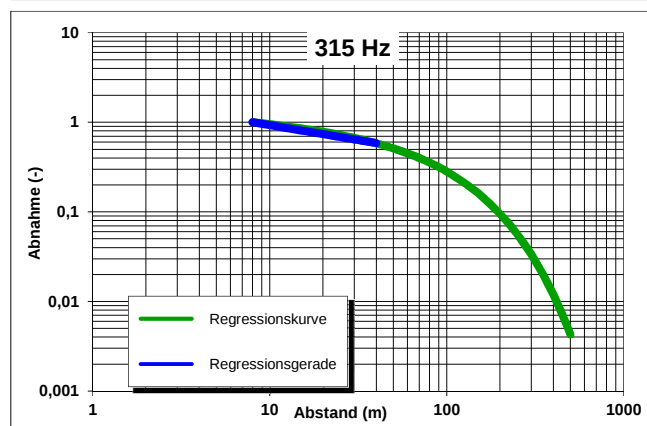
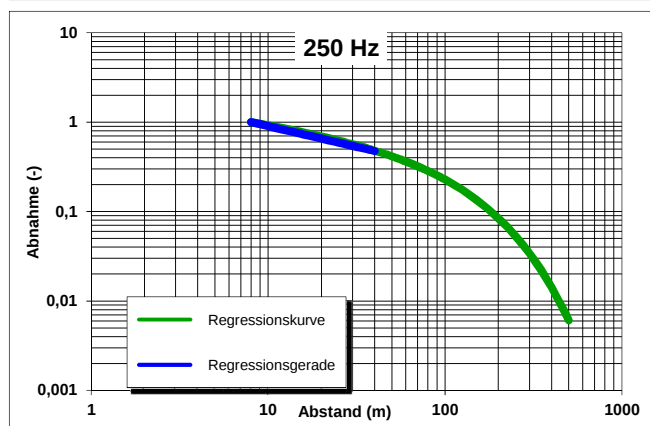
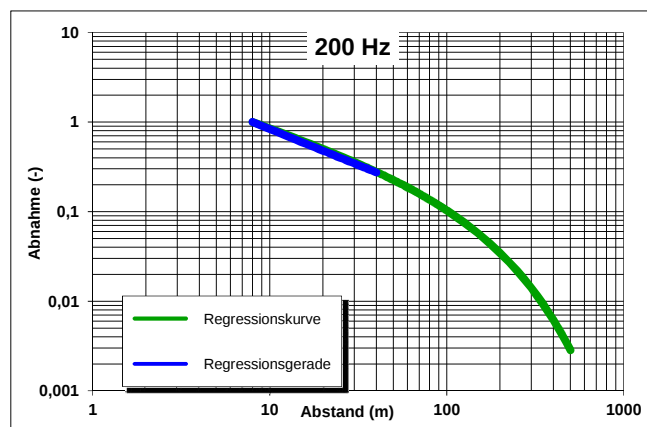
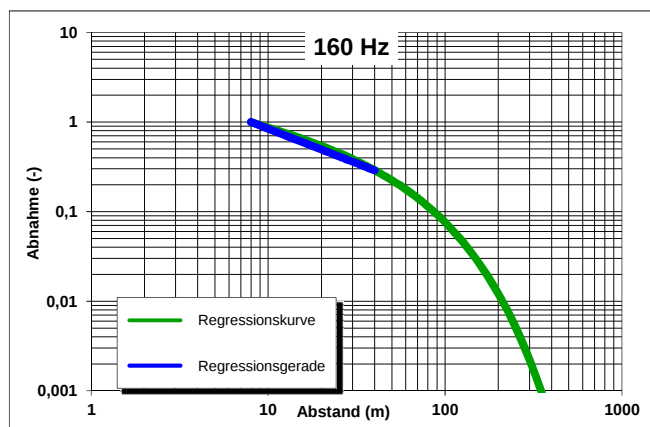
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Postweg 18, 23730 Schashagen



Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Postweg 18, 23730 Schashagen



f	n [-]	D [%]
4 Hz	-0,32	0,6%
5 Hz	-0,25	0,6%
6,3 Hz	-0,24	0,6%
8 Hz	-0,29	0,6%
10 Hz	-0,31	0,6%
12,5 Hz	-0,72	0,6%
16 Hz	-0,94	0,6%
20 Hz	-1,26	0,6%
25 Hz	-1,16	0,6%
31,5 Hz	-1,63	0,6%
40 Hz	-1,51	0,6%
50 Hz	-1,51	0,6%
63 Hz	-1,69	0,6%
80 Hz	-1,53	0,6%
100 Hz	-1,13	0,6%
125 Hz	-1	0,3%
160 Hz	-0,47	0,3%
200 Hz	-0,67	0,1%
250 Hz	-0,3	0,1%
315 Hz	-0,14	0,1%

