Schwingungstechnik und
Erschütterungen im
Bauwesen
baudyn.de
Messung
Berechnung
Beratung
Gutachten

Prognose

UNGÜLTIG!
Siehe Deckblatt!

Projekt	2011922
Inhalt	Feste Fehmarnbeltquerung mit einem Absenktunnel Erschütterungstechnische Untersuchung
Dokument	2012-09-28-2011922-N4-3-PE Erschütterungstechnische Untersuchungen zur Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen, bauliche Anlagen und technische Anlagen infolge der Herstellung und des Betriebs der Festen Fehmarnbeltquerung mit einem Absenktunnel
Vorhabenträger	Femern A/S Vester Søgade 10 DK - 1601 Kopenhagen V
Auftraggeber	TGP Trüper Gondesen Partner Landschaftsarchitekten bdla An der Untertrave 17 D-23552 Lübeck
Anmerkung	Eine auszugsweise Zitierung ist mit uns abzustimmen
Seitenanzahl	52
Datum	28.09.2012

baudyn GmbH

Dipl.-Ing. Marc Oliver Rosenquist
- Geschäftsführer baudyn GmbH -

Von der Handelskammer Hamburg
Dipl.-Ing.
Marc Oliver Rosenquist
Sachverständiger für
Schwingungen und Erschütterungen im Bauwesen
öffentlich bestellt und vereidigt

baudyn GmbH
Baudynamik &
Strukturmonitoring

Mühlenkamp 43
D-22303 Hamburg
Fon +49 40 460 911 38
Fax +49 40 460 911 39

www.baudyn.de

Geschäftsführer
Dipl.-Ing. M.O. Rosenquist
Dr.-Ing. K. Holtzendorff

Sitz der Gesellschaft
Hamburg HRB 110933

USt-IdNr.: DE266720694

HypoVereinsbank
BLZ 200 300 00
Konto 606 944 288

Inhaltsverzeichnis

1 Lagepläne ... 4

1.1 Immissionspunkte ... 4
1.2 Verkehr ... 5
1.2.1 Schienenverkehr – FBQ Absenktunnel ... 5
1.2.2 Straßenverkehr – FBQ Absenktunnel ... 6
1.3 Baubetrieb ... 7
1.3.1 Schlagrammen Absenktunnel ... 7
1.3.2 Rüttelwalze Absenktunnel ... 8
1.3.3 Baustellenverkehr Absenktunnel ... 9
1.4 Messungen Ausbreitung Schienenverkehrserschütterungen ... 10
1.4.1 Messquerschnitte an der Bestandsstrecke ... 10

2 Prognose Erschütterungen ... 11

2.1 Schienenverkehrserschütterungen ... 11
2.1.1 Emissionen ... 11
2.1.1.1 Güterzug (120 km/h) ... 11
2.1.1.2 Personenzug (160 km/h) ... 12
2.1.2 Messungen Ausbreitung Schienenverkehrserschütterungen ... 13
2.1.2.1 Messquerschnitt Bannesdorf ... 13
2.1.2.2 Messquerschnitt Presen ... 14
2.2 Übertragungsfunktion Fundament-Holzbalkendecke ... 15
2.3 Übertragungsfunktion Fundament-Betondecke ... 16
2.4 Standard-Übertragungsfunktionen Gelände-Stockwerksdecke ... 17
2.4.1 Kurvenschar für Holzbalken-Deckenaufbau (DB-Leitfaden) ... 17
2.4.2 Wertetabelle für Holzbalken-Deckenaufbau (DB-Leitfaden) ... 18
2.4.3 Kurvenschar für Beton-Deckenaufbau (DB-Leitfaden) ... 19
2.4.4 Wertetabelle für Beton-Deckenaufbau (DB-Leitfaden) ... 20
2.5 Verkehr ... 21
2.5.1 Schienenverkehr – FBQ Güterzüge Absenktunnel ... 21
2.5.1.1 IP1 Betriebsgebäude ... 21
2.5.1.2 IP2 Puttgarden Nord ... 21
2.5.1.3 IP3 Marienleuchte ... 22
2.5.1.4 IP4 Puttgarden Süd ... 22
2.5.1.5 IP5 Todendorf ... 23
2.5.1.6 IP6 Presen ... 23
2.5.2 Schienenverkehr – FBQ Personenzüge Absenktunnel ... 24
2.5.2.1 IP1 Betriebsgebäude ... 24
2.5.2.2 IP2 Puttgarden Nord ... 24
2.5.2.3 IP3 Marienleuchte ... 25
2.5.2.4 IP4 Puttgarden Süd ... 25
2.5.2.5 IP5 Todendorf ... 26
2.5.2.6 IP6 Presen ... 26
2.5.3 Straßenverkehr – FBQ Absenktunnel ... 27
2.5.3.1 IP1 Betriebsgebäude ... 27
2.5.3.2 IP2 Puttgarden Nord ... 27
2.5.3.3 IP3 Marienleuchte ... 28
2.5.3.4 IP4 Puttgarden Süd ... 28
2.5.3.5 IP5 Todendorf ... 29
2.5.3.6 IP6 Presen ... 29
2.6 Baubetrieb ... 30
2.6.1 Schlagramme Absenktunnel ... 30
2.6.1.1 IP1 Betriebsgebäude ... 30
2.6.1.2 IP2 Puttgarden Nord ... 30
2.6.1.3 IP3 Marienleuchte ... 31
2.6.1.4 IP4 Puttgarden Süd ... 31
2.6.1.5 IP5 Todendorf ... 32

2.6.1.6 IP6 Presen 32
2.6.2 Rüttelwalze Absenktunnel 33
2.6.2.1 IP1 Betriebsgebäude 33
2.6.2.2 IP2 Puttgarden Nord 33
2.6.2.3 IP3 Marienleuchte 34
2.6.2.4 IP4 Puttgarden Süd 34
2.6.2.5 IP5 Todendorf 35
2.6.2.6 IP6 Presen 35
2.6.3 Baustellenverkehr LKW Absenktunnel 36
2.6.3.1 IP1 Betriebsgebäude 36
2.6.3.2 IP2 Puttgarden Nord 36
2.6.3.3 IP3 Marienleuchte 37
2.6.3.4 IP4 Puttgarden Süd 37
2.6.3.5 IP5 Todendorf 38
2.6.3.6 IP6 Presen 38
2.6.4 Baustellenverkehr Radlader Absenktunnel 39
2.6.4.1 IP1 Betriebsgebäude 39
2.6.4.2 IP2 Puttgarden Nord 39
2.6.4.3 IP3 Marienleuchte 40
2.6.4.4 IP4 Puttgarden Süd 40
2.6.4.5 IP5 Todendorf 41
2.6.4.6 IP6 Presen 41

3 Prognose sekundärer Luftschall nach Said, Grütz, Garburg 2006 42

3.1 A-Bewertungskurve der Gehörempfindlichkeit 42
3.2 Verfahren: Ausgehend von Schnellepegel-Summen LvA 25 Hz bis 100 Hz 43
3.3 Schienenverkehr 44
3.3.1 Schienenverkehr – FBQ Güterzüge Absenktunnel 44
3.3.1.1 IP1 Betriebsgebäude 44
3.3.2 Schienenverkehr – FBQ Personenzüge Absenktunnel 44
3.3.2.1 IP1 Betriebsgebäude 44

4 Ergebnistabellen 45

4.1 Verkehr 45
4.1.1 Schienenverkehr – FBQ Güterzüge 45
4.1.2 Schienenverkehr – FBQ Personenzüge 45
4.1.3 Straßenverkehr – FBQ 46
4.2 Baubetrieb 47
4.2.1 Schlagramme 47
4.2.2 Rüttelwalze 47
4.2.3 Baustellenverkehr LKW 48
4.2.4 Baustellenverkehr Radlader 48

5 Anforderungen der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ 49

5.1 Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ 49
5.1.1 Tabelle 1: Gebietsabhängige Anforderungen 49
5.1.2 Tabelle 2: Baumaßnahmen außer Sprengungen 50
5.1.3 Anhang D: Erläuterung zur subjektiven Wahrnehmung 50
5.2 Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“ 51
5.2.1 Kurzzeitige Erschütterungen 51
5.2.1.1 Anhaltswerte für Fundament und oberste Deckenebene horizontal 51
5.2.1.2 Anhaltswerte für Deckenschwingungen 51
5.2.2 Dauererschütterungen 52
5.2.2.1 Anhaltswerte für die oberste Deckenebene horizontal 52
5.2.2.2 Anhaltswerte für Geschossdecken 52

1 Lagepläne

1.1 Immissionspunkte

PROJEKT:
Feste Fehmarnbeltquerung (FBQ)
Erschütterungstechnische Untersuchung

ZEICHNUNG: 28.02.2012
Planungsvarianten Tunnel
Immissionspunkte

baudyn GmbH

1.2 Verkehr

1.2.1 Schienenverkehr – FBQ Absenktunnel

PROJEKT:
Feste Fehmarnbeltquerung (FBQ)
Erschütterungstechnische Untersuchung

ZEICHNUNG: 28.02.2012
Planungsvarianten Tunnel
Immissions- und Emissionspunkte
Schienenverkehr FBQ

baudyn GmbH

1.2.2 Straßenverkehr – FBQ Absenktunnel

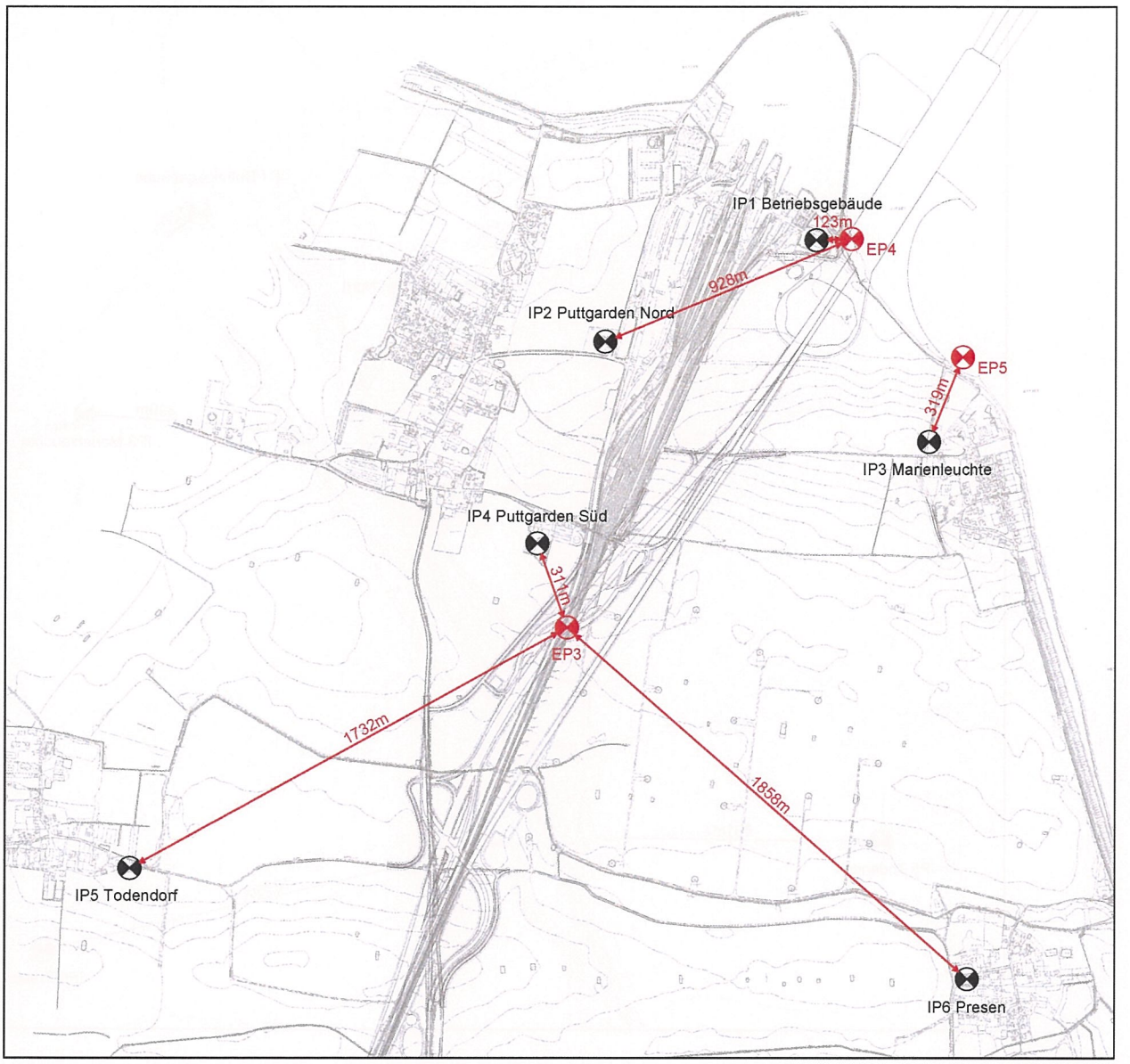
PROJEKT:
Feste Fehmarnbeltquerung (FBQ)
Erschütterungstechnische Untersuchung

ZEICHNUNG: 28.02.2012
Planungsvarianten Tunnel
Immissions- und Emissionspunkte
Straßenverkehr FBQ

baudyn GmbH

1.3 Baubetrieb

1.3.1 Schlagrammen Absenktunnel



PROJEKT:
Feste Fehmarnbeltquerung (FBQ)
Erschütterungstechnische Untersuchung

ZEICHNUNG: 19.04.2012
Planungsvarianten Tunnel
Immissions- und Emissionspunkte Schlagrammen

baudyn GmbH

1.3.2 Rüttelwalze Absenktunnel

PROJEKT:
Feste Fehmarnbeltquerung (FBQ)
Erschütterungstechnische Untersuchung

ZEICHNUNG: 28.02.2012
Planungsvarianten Tunnel
Immissions- und Emissionspunkte Rüttelwalze

baudyn GmbH

1.3.3 Baustellenverkehr Absenktunnel

PROJEKT:
Feste Fehmarnbeltquerung (FBQ)
Erschütterungstechnische Untersuchung

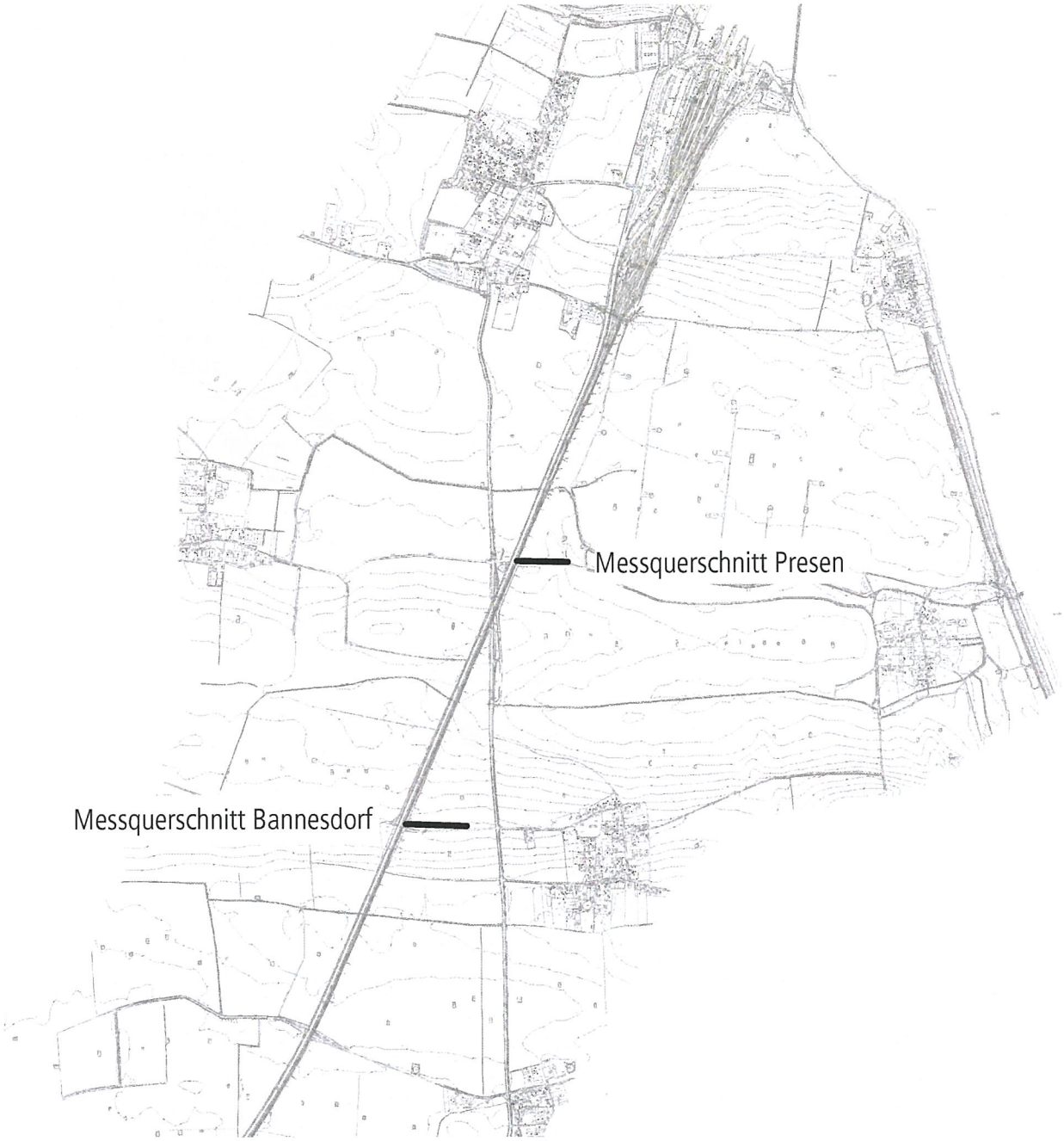
ZEICHNUNG: 28.02.2012
Planungsvarianten Tunnel
Immissions- und Emissionspunkte
Baustellenverkehr Radlader und LKW

baudyn GmbH

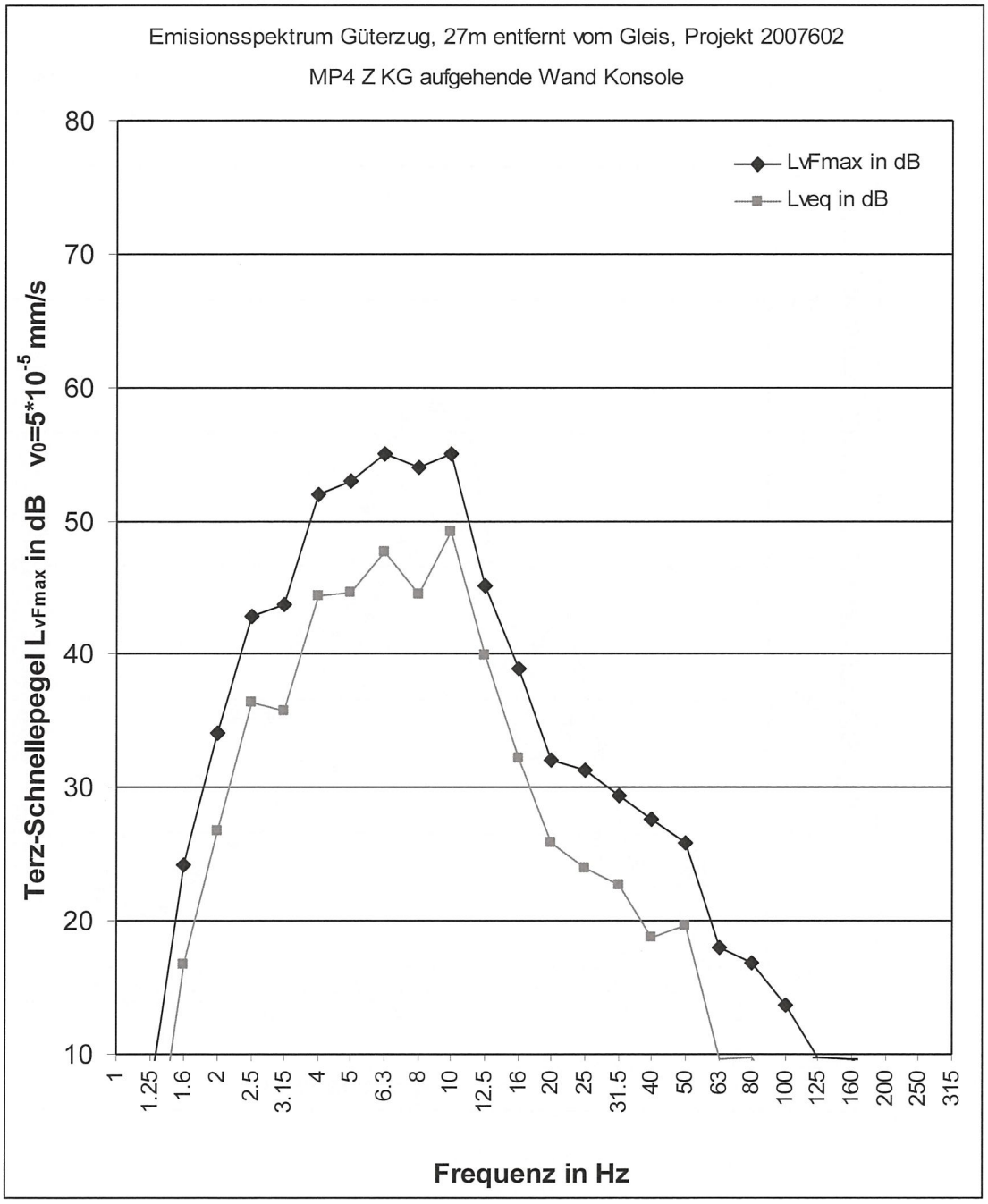
Baustellenverkehr auf Baustraßen und am Rand von Baustelleneinrichtungsflächen

1.4 Messungen Ausbreitung Schienenverkehrserschütterungen

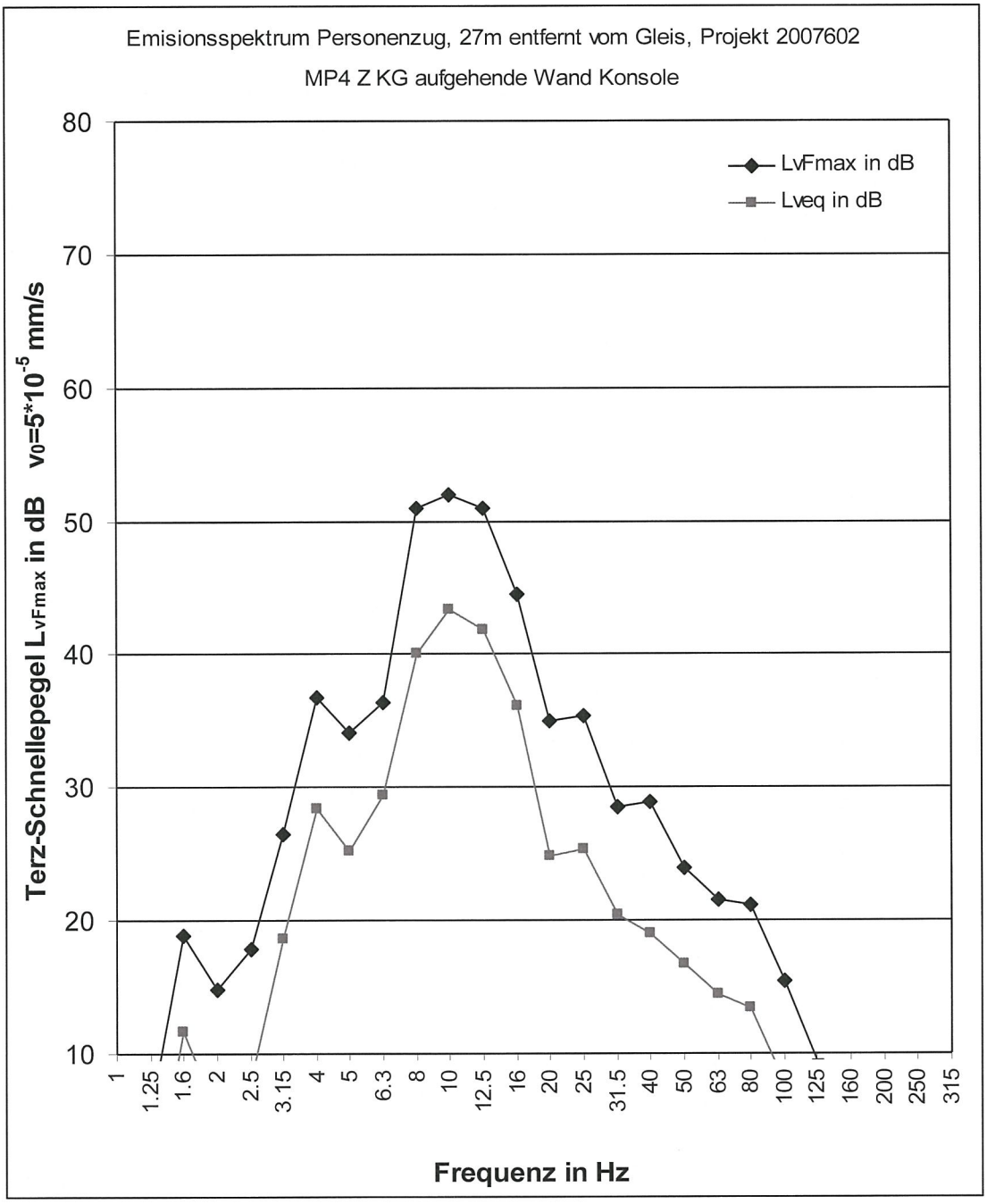
1.4.1 Messquerschnitte an der Bestandsstrecke



2 Prognose Erschütterungen
2.1 Schienenverkehrserschütterungen
2.1.1 Emissionen
2.1.1.1 Güterzug (120 km/h)



2.1.1.2 Personenzug (160 km/h)

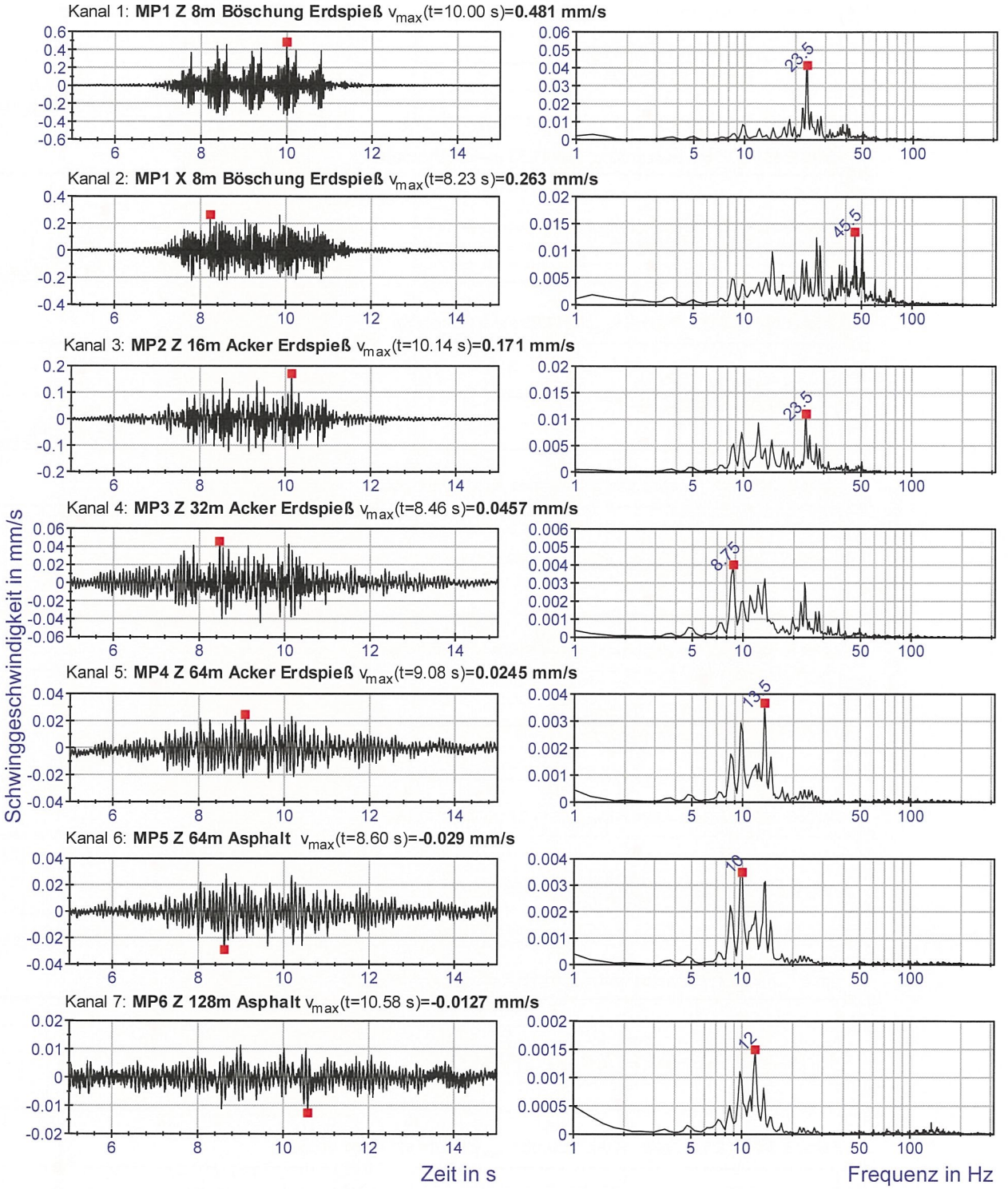


2.1.2 Messungen Ausbreitung Schienenverkehrserschütterungen

2.1.2.1 Messquerschnitt Bannesdorf

Projekt: **2011922 Fehmahrbelt Querung** Messung: Schne001 **13.5.2011 10:45:58**

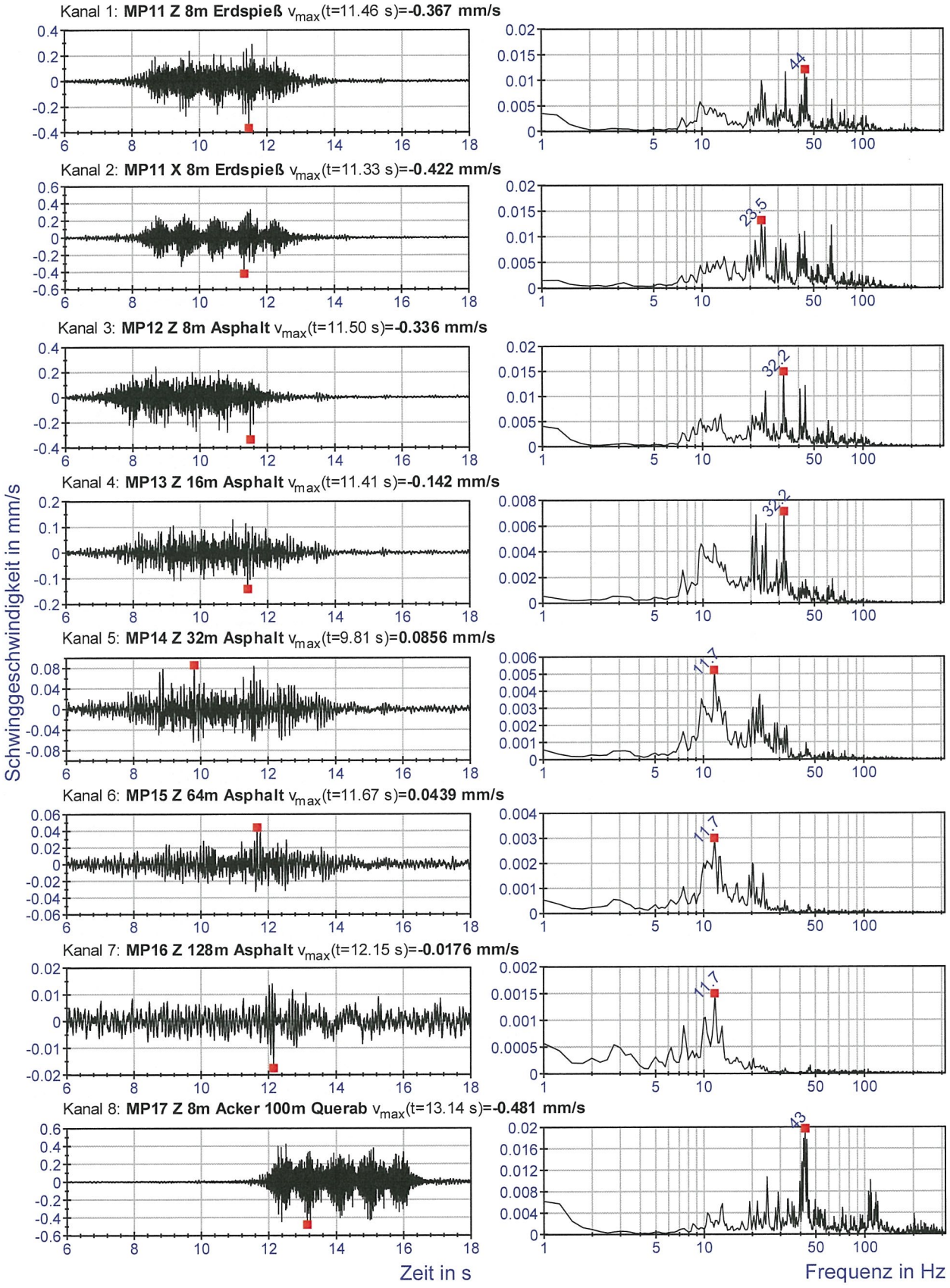
Schienenverkehrserschütterungen



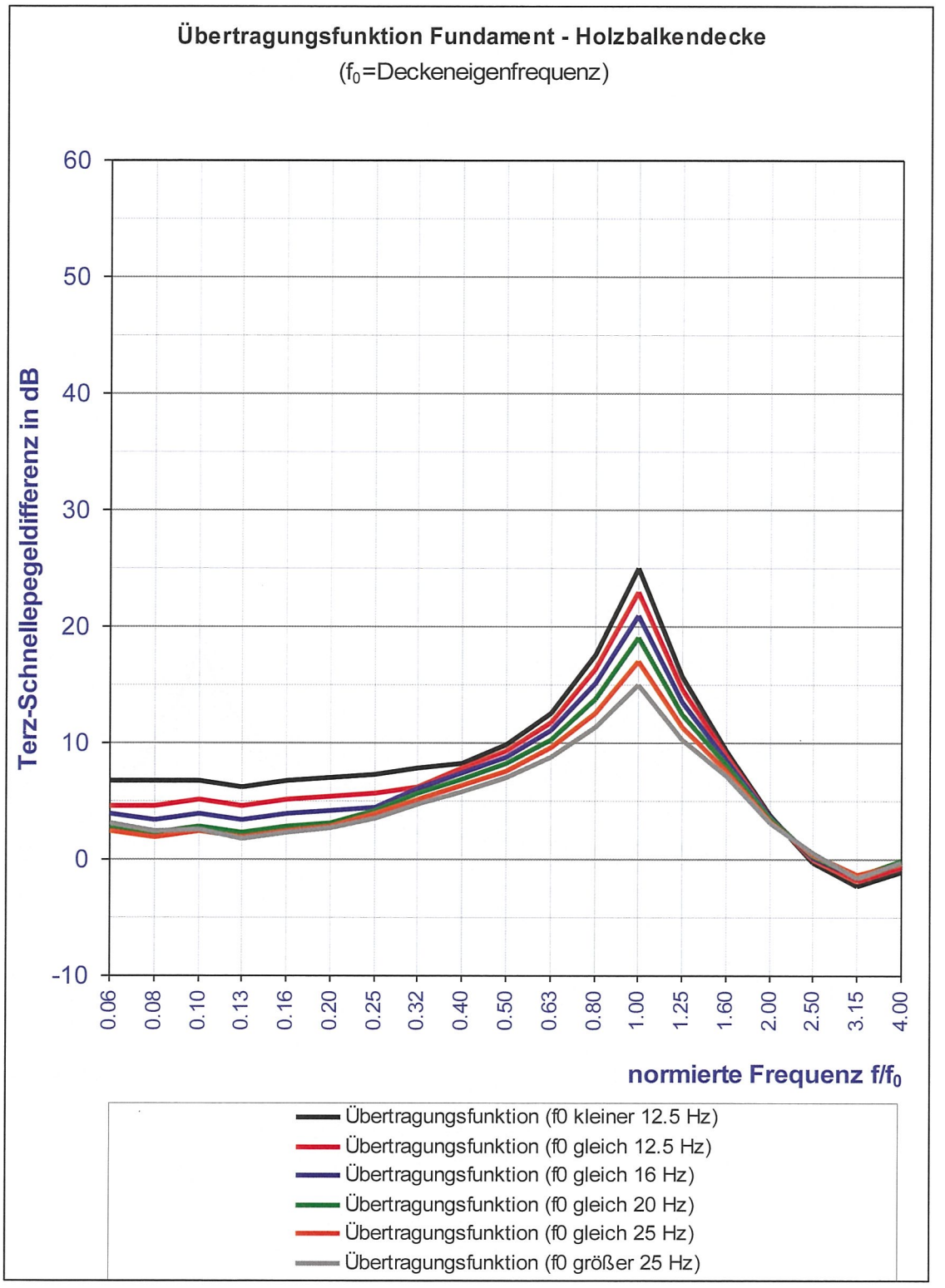
2.1.2.2 Messquerschnitt Presen

Projekt: **2011922 Fehmahrbelt Querung** Messung: Schne045 **13.5.2011 15:02:05**

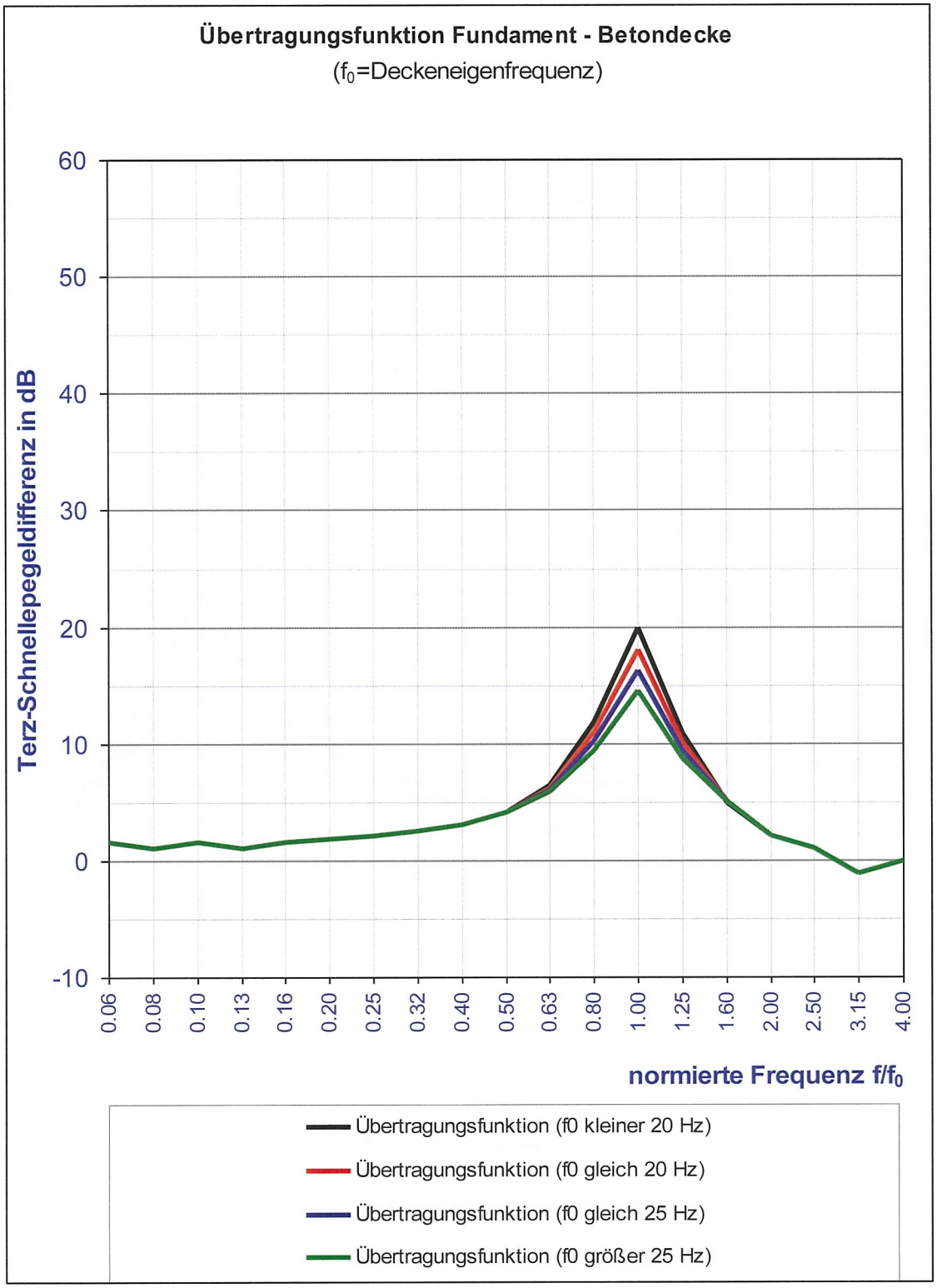
Schienenverkehrserschütterungen



2.2 Übertragungsfunktion Fundament-Holzbalkendecke



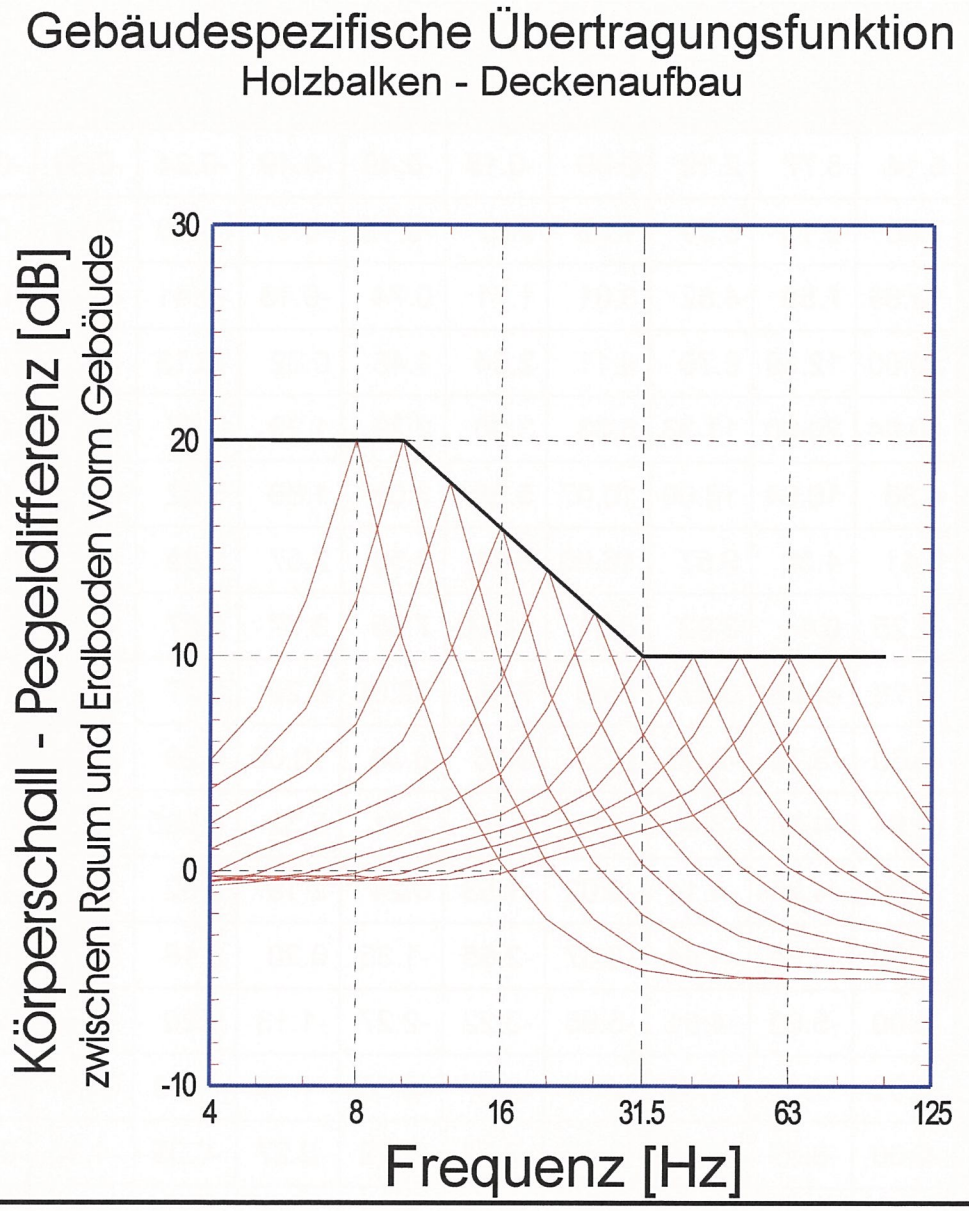
2.3 Übertragungsfunktion Fundament-Betondecke



2.4 Standard-Übertragungsfunktionen Gelände-Stockwerksdecke

2.4.1 Kurvenschar für Holzbalken-Deckenaufbau (DB-Leitfaden)

Übertragungspegeldifferenzen *Ü* für Gebäude mit Holzbalkendecken für verschiedene Deckeneigenresonanzen zwischen 8 und 80 Hz

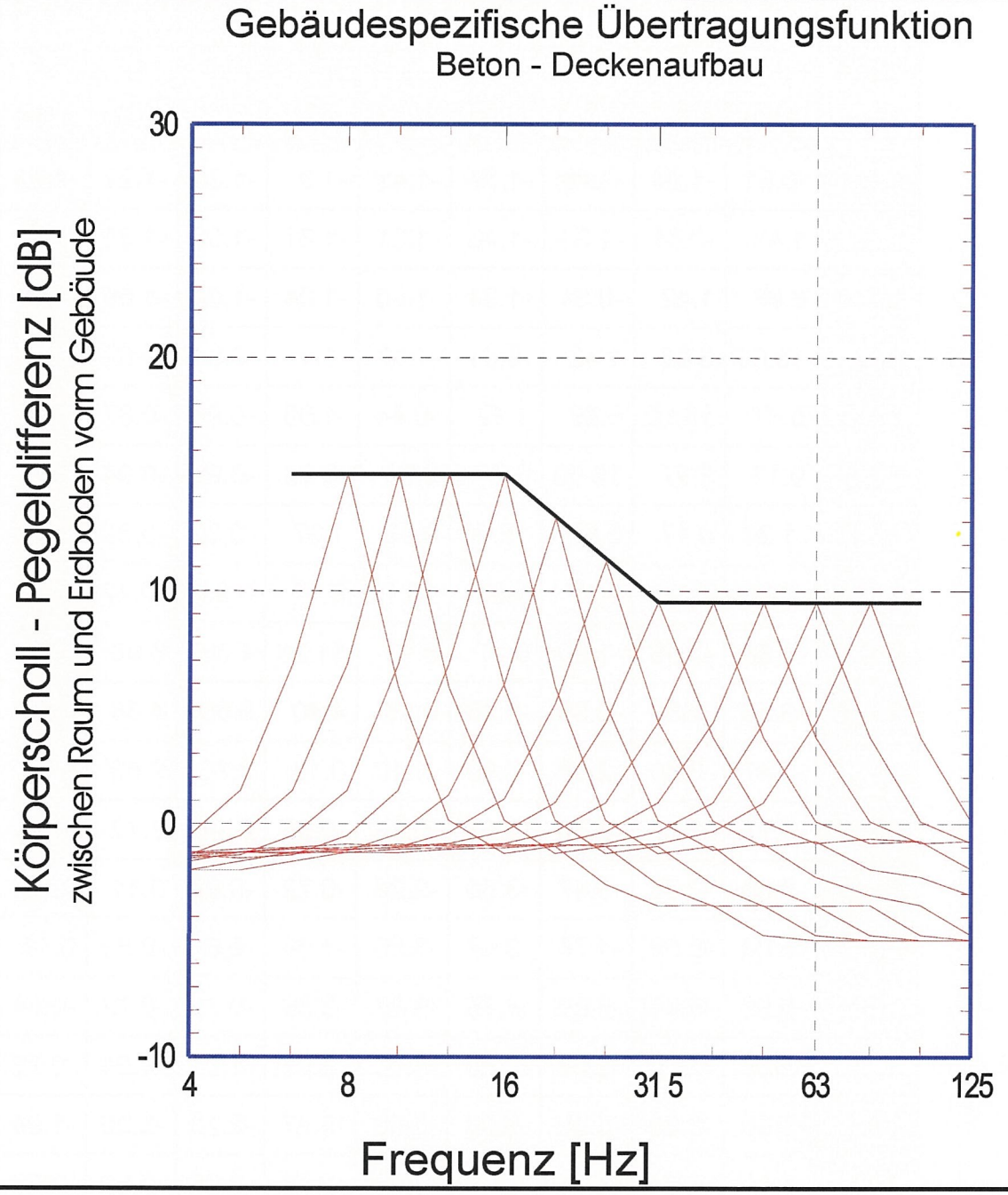


2.4.2 Wertetabelle für Holzbalken-Deckenaufbau (DB-Leitfaden)

	Deckeneigenresonanz f_r [Hz] Holzbalkendecken										
	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25.0	31.5	40.0	50.0	62.5	80.0
Freq. [Hz]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]
4.0	5.14	3.77	2.19	0.99	-0.18	-0.49	-0.49	-0.24	-0.26	-0.5	-0.7
5.0	7.55	5.14	3.39	1.95	0.87	-0.16	-0.41	-0.49	-0.24	-0.26	-0.5
6.3	12.59	7.55	4.62	3.01	1.71	0.74	-0.13	-0.41	-0.49	-0.24	-0.26
8.0	20.00	12.59	6.79	4.11	2.64	1.46	0.62	-0.13	-0.41	-0.49	-0.24
10.0	10.64	20.00	11.33	6.03	3.60	2.26	1.22	0.62	-0.13	-0.41	-0.49
12.5	4.36	10.64	18.00	10.07	5.28	3.08	1.88	1.22	0.62	-0.13	-0.41
16.0	0.41	4.36	9.57	16.00	8.81	4.53	2.57	1.88	1.22	0.62	-0.13
20.0	-2.25	0.41	3.92	8.51	14.00	7.55	3.77	2.57	1.88	1.22	0.62
25.0	-3.78	-2.25	0.37	3.49	7.45	12.00	6.29	3.77	2.57	1.88	1.22
31.5	-4.60	-3.78	-2.03	0.33	3.05	6.38	10.00	6.29	3.77	2.57	1.88
40.0	-4.94	-4.60	-3.40	-1.80	0.29	2.61	5.32	10.00	6.29	3.77	2.57
50.0	-5.00	-4.94	-4.14	-3.02	-1.58	0.24	2.18	5.32	10.00	6.29	3.77
62.5	-5.00	-5.00	-4.44	-3.67	-2.65	-1.35	0.20	2.18	5.32	10.00	6.29
80.0	-5.00	-5.00	-4.51	-3.95	-3.22	-2.27	-1.13	0.20	2.18	5.32	10.00
100	-5.00	-5.00	-4.60	-4.14	-3.67	-2.65	-1.35	-1.13	0.20	2.18	5.32
125	-5.00	-5.00	-4.94	-4.44	-3.95	-3.22	-2.27	-1.35	-1.13	0.20	2.18
160	-5.00	-5.00	-5.00	-4.51	-4.14	-3.67	-2.65	-2.27	-1.35	-1.13	0.20
200	-5.00	-5.00	-5.00	-4.60	-4.44	-3.95	-3.22	-2.65	-2.27	-1.35	-1.13
250	-5.00	-5.00	-5.00	-4.94	-4.51	-4.14	-3.67	-3.22	-2.65	-2.27	-1.35

2.4.3 Kurvenschar für Beton-Deckenaufbau (DB-Leitfaden)

Übertragungspegeldifferenzen *Ü* für Gebäude mit Betondeckenaufbau für verschiedene Deckeneigenresonanzen zwischen 8 und 80 Hz



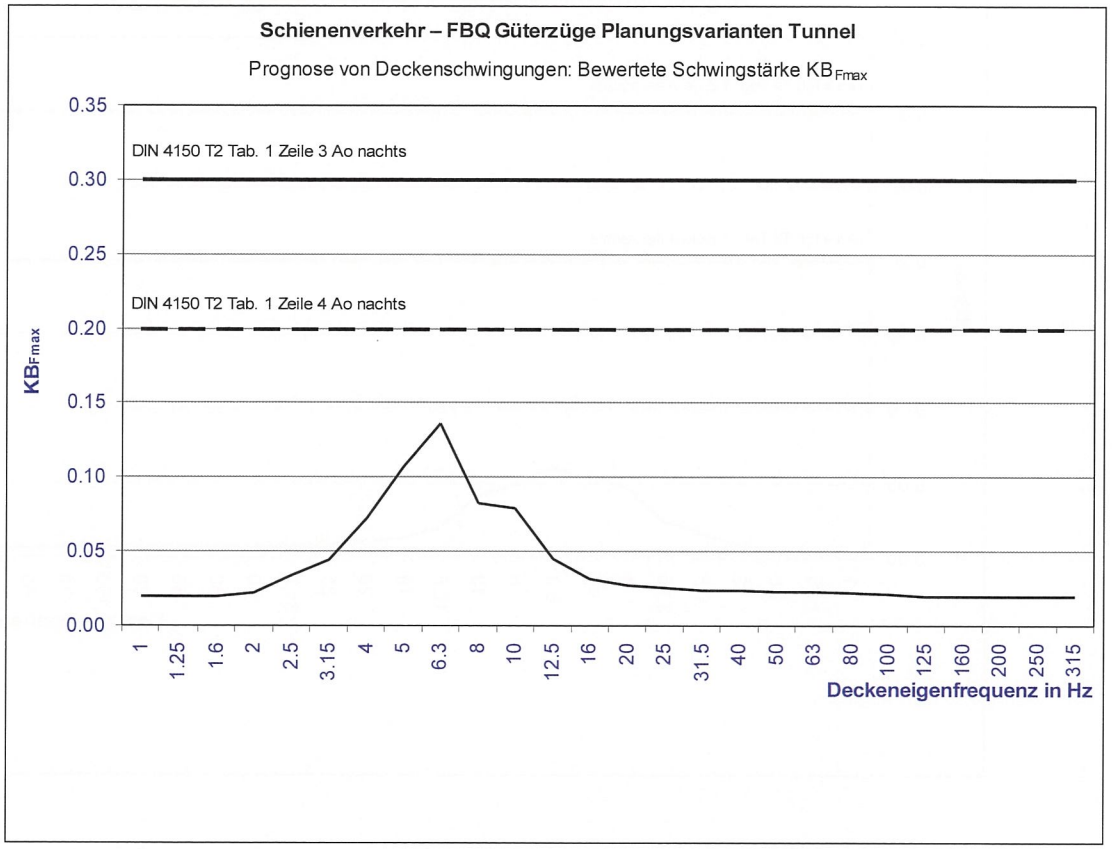
2.4.4 Wertetabelle für Beton-Deckenaufbau (DB-Leitfaden)

	Deckeneigenresonanz f_r [Hz], Massivbetondecken										
	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25.0	31.5	40.0	50.0	62.5	80.0
Freq. [Hz]	$Ü_t$ [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]	Ü [dB]
4.0	-0.51	-1.34	-1.48	-1.38	-1.41	-1.3	-1.25	-1.22	-1.63	-2.0	-2.5
5.0	1.42	-0.51	-1.34	-1.48	-1.21	-1.21	-1.09	-1.25	-1.22	-1.63	-2.0
6.3	6.88	1.42	-0.51	-1.34	-1.30	-1.04	-1.02	-1.09	-1.25	-1.22	-1.63
8.0	15.00	6.88	1.42	-0.51	-1.17	-1.11	-0.87	-1.02	-1.09	-1.25	-1.22
10.0	5.87	15.00	6.88	1.42	-0.44	-1.00	-0.94	-0.87	-1.02	-1.09	-1.25
12.5	0.17	5.87	15.00	6.88	1.24	-0.38	-0.85	-0.94	-0.87	-1.02	-1.09
16.0	-1.26	0.17	5.87	15.00	6.02	1.07	-0.32	-0.85	-0.94	-0.87	-1.02
20.0	-0.96	-1.26	0.17	5.87	13.12	5.17	0.90	-0.32	-0.85	-0.94	-0.87
25.0	-2.58	-0.96	-1.26	0.17	5.13	11.26	4.36	0.90	-0.32	-0.85	-0.94
31.5	-3.50	-2.58	-0.96	-1.26	0.15	4.40	9.50	4.36	0.90	-0.32	-0.85
40.0	-3.47	-3.50	-2.58	-0.96	-1.10	0.13	3.72	9.50	4.36	0.90	-0.32
50.0	-4.78	-3.47	-3.50	-2.58	-0.84	-0.95	0.11	3.72	9.50	4.36	0.90
62.5	-5.00	-4.78	-3.47	-3.50	-2.26	-0.72	-0.80	0.11	3.72	9.50	4.36
80.0	-5.00	-5.00	-4.78	-3.47	-3.06	-1.94	-0.61	-0.80	0.11	3.72	9.50
100	-5.00	-5.00	-5.00	-4.78	-3.47	-2.26	-0.72	-0.72	-0.80	0.11	3.72
125	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-4.78	-3.06	-1.94	-1.94	-0.72	-0.80	0.11
160	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-3.47	-2.26	-2.26	-1.94	-0.72	-0.80
200	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-4.78	-3.06	-3.06	-2.26	-1.94	-0.72
250	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00	-3.47	-3.47	-3.06	-2.26	-1.94

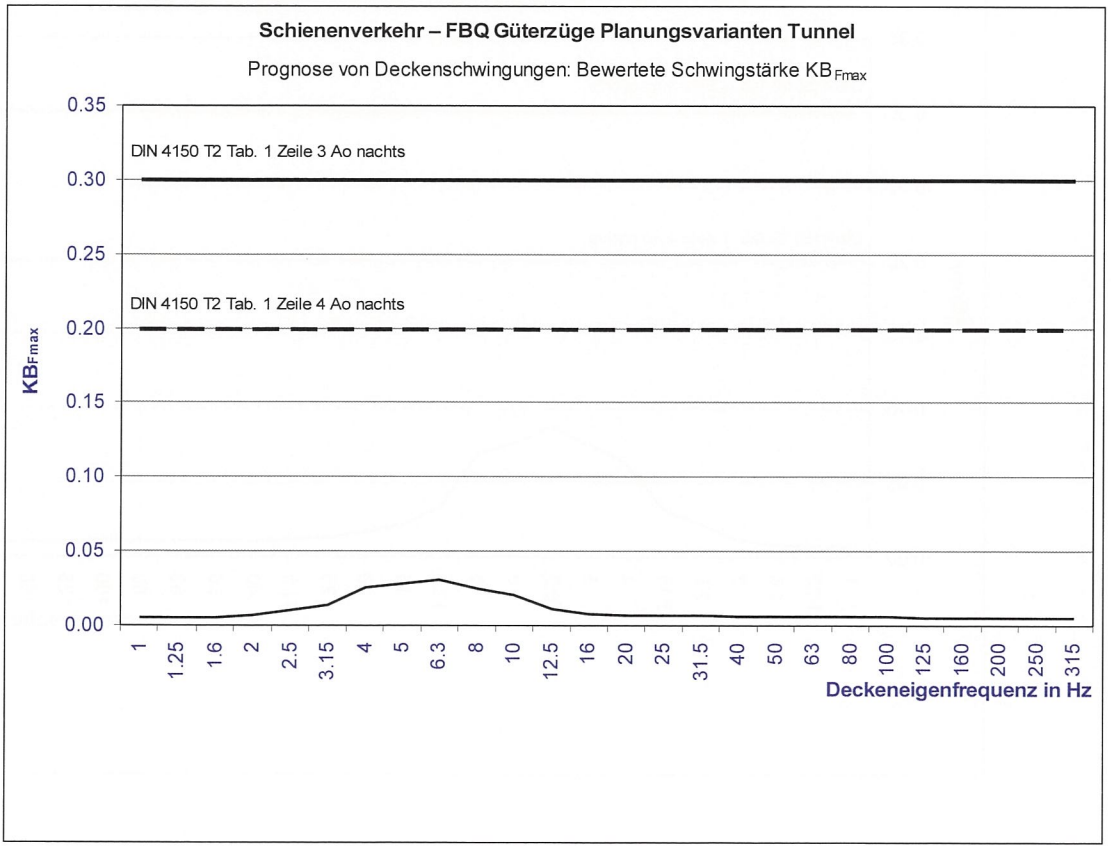
2.5 Verkehr

2.5.1 Schienenverkehr – FBQ Güterzüge Absenktunnel

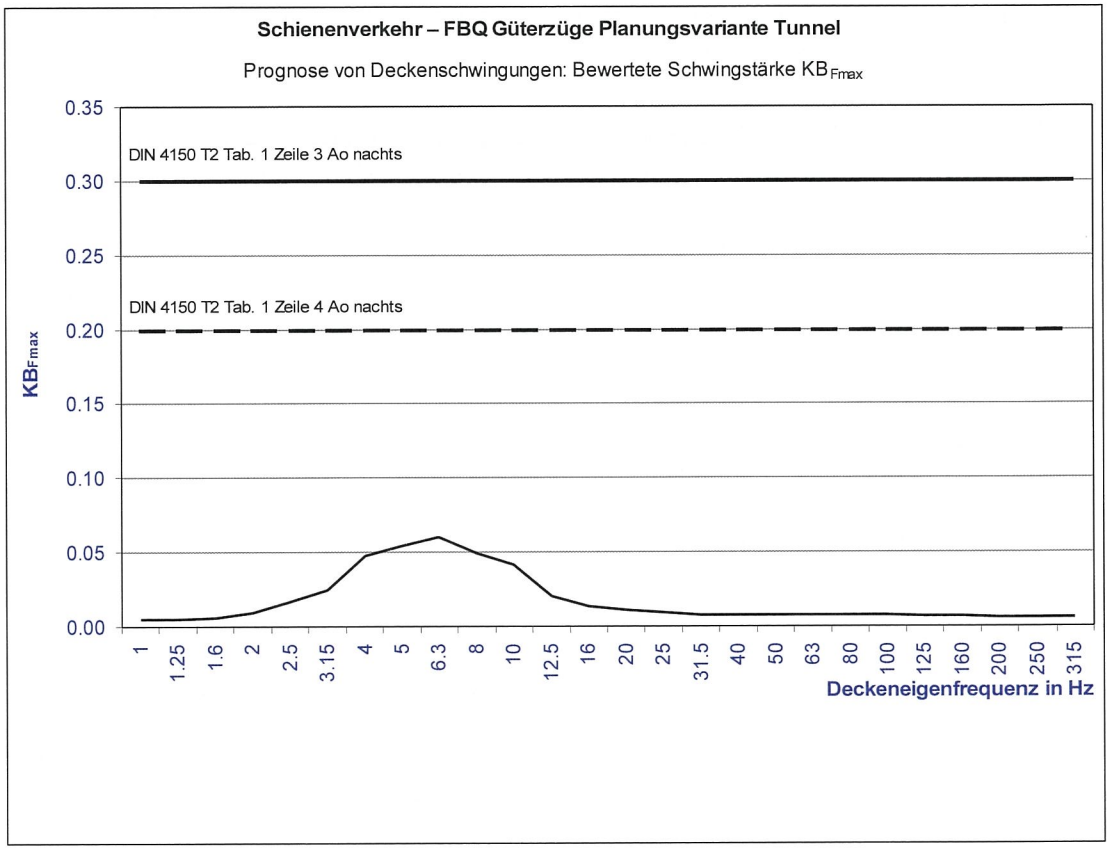
2.5.1.1 IP1 Betriebsgebäude



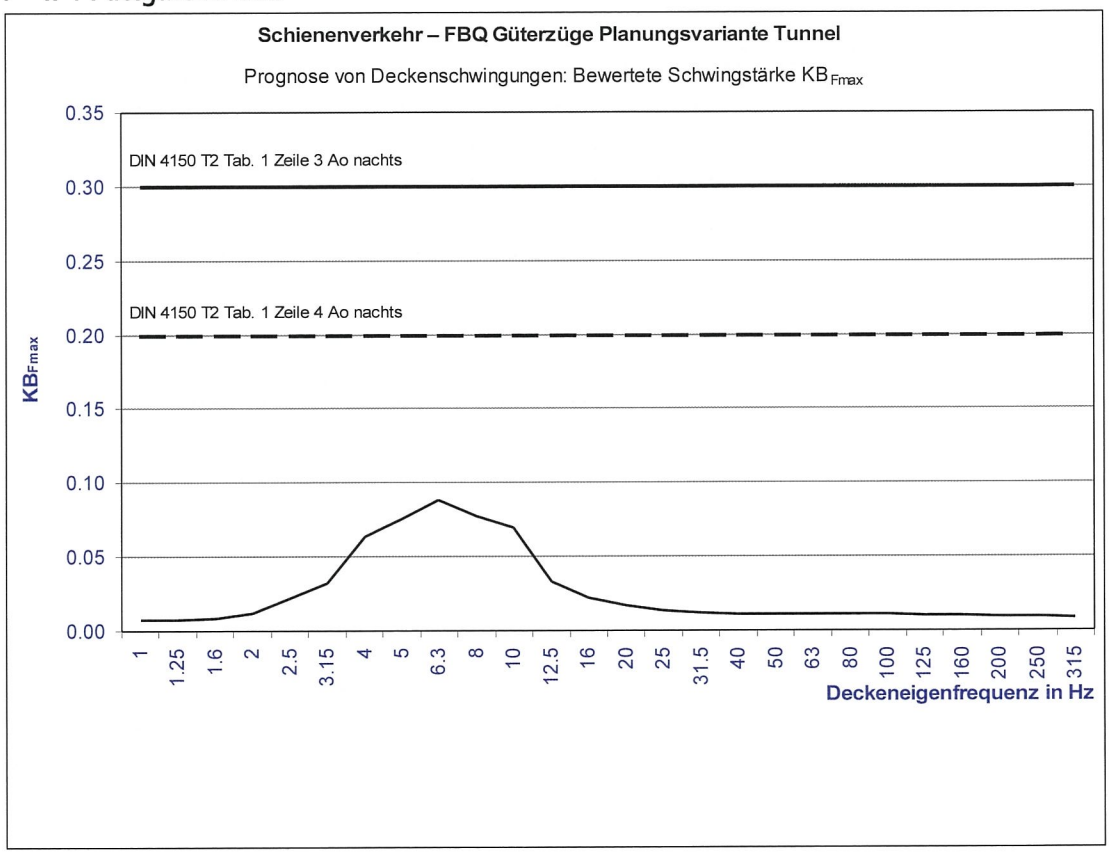
2.5.1.2 IP2 Puttgarden Nord



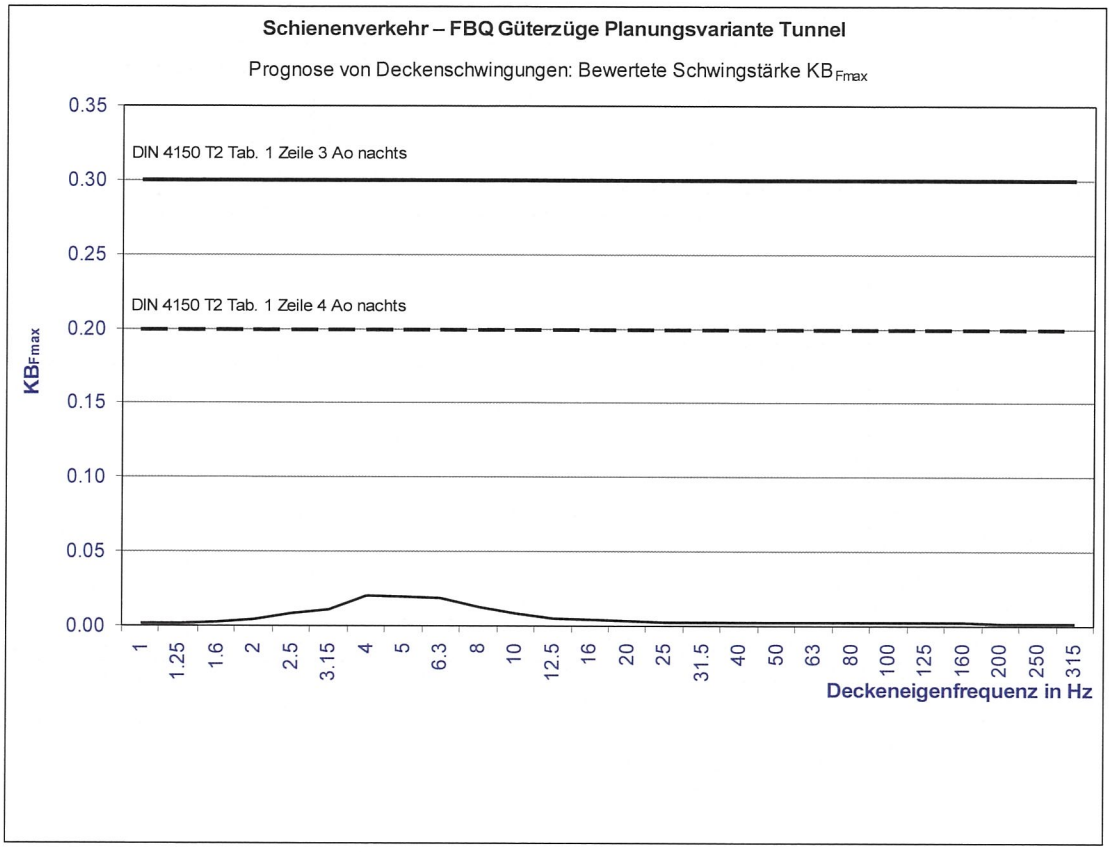
2.5.1.3 IP3 Marienleuchte



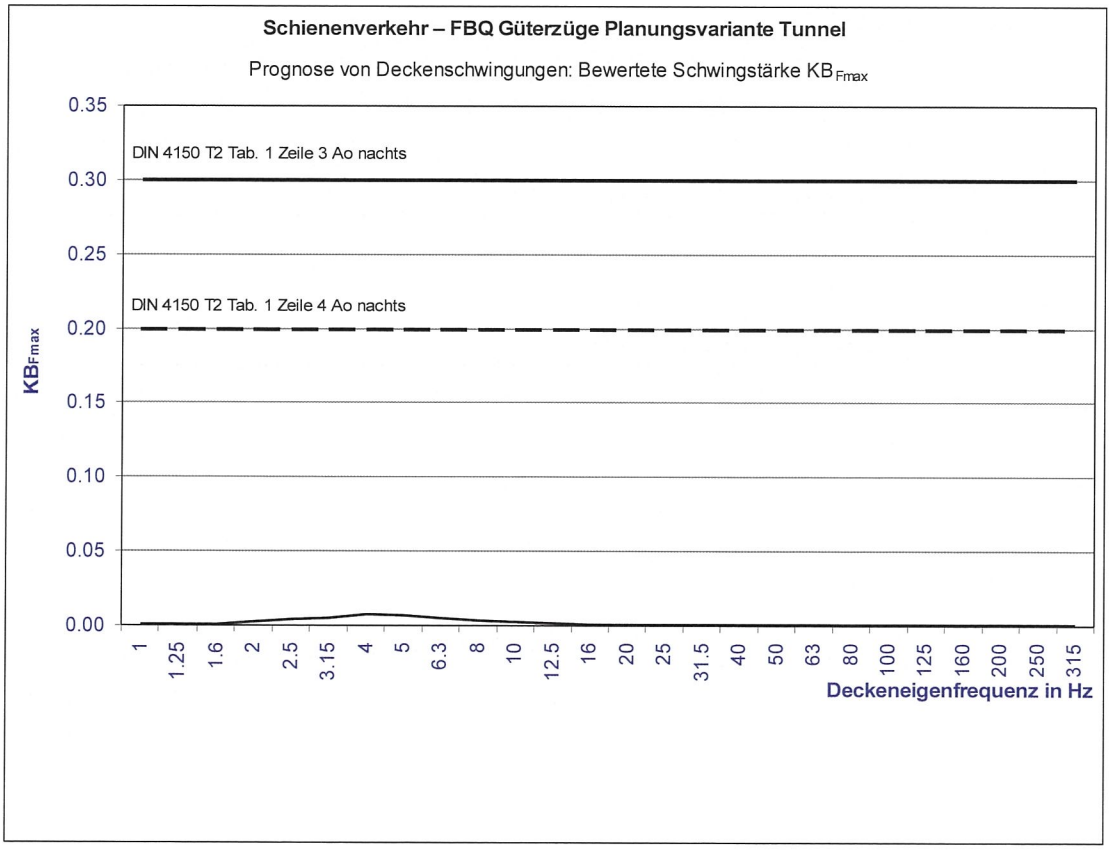
2.5.1.4 IP4 Puttgarden Süd



2.5.1.5 IP5 Todendorf

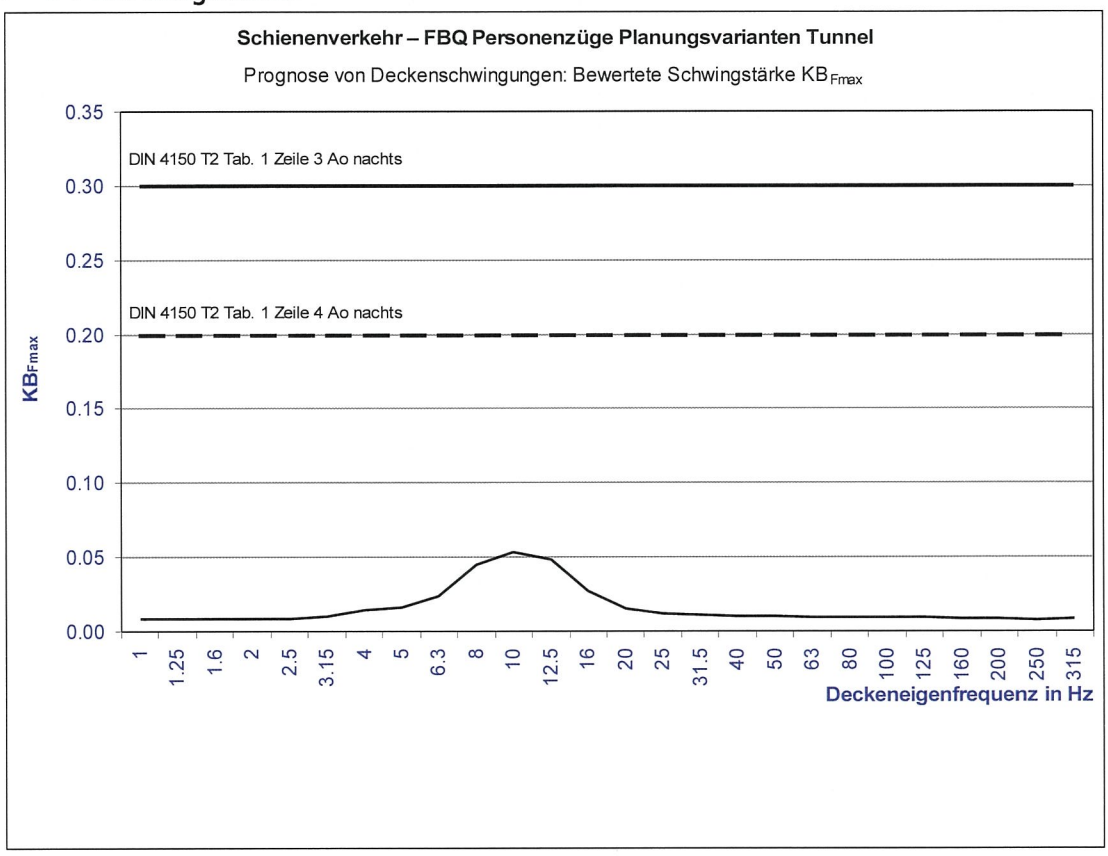


2.5.1.6 IP6 Presen

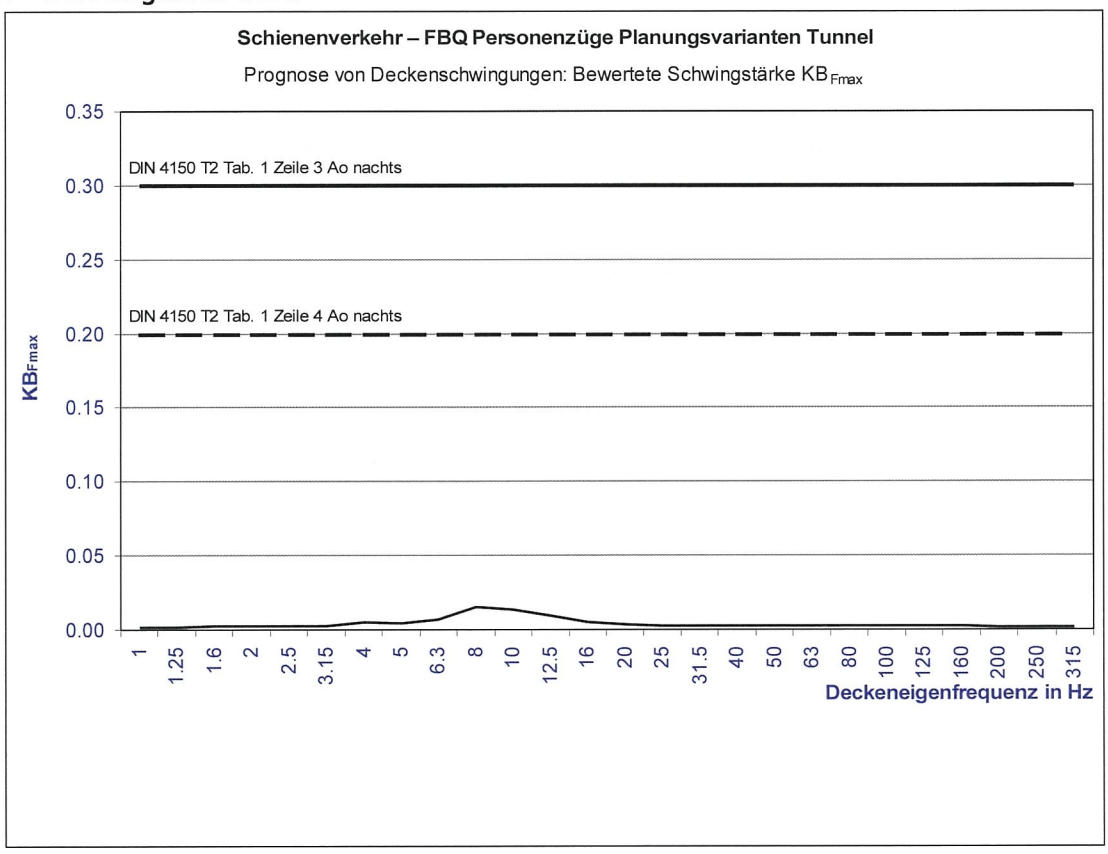


2.5.2 Schienenverkehr – FBQ Personenzüge Absenktunnel

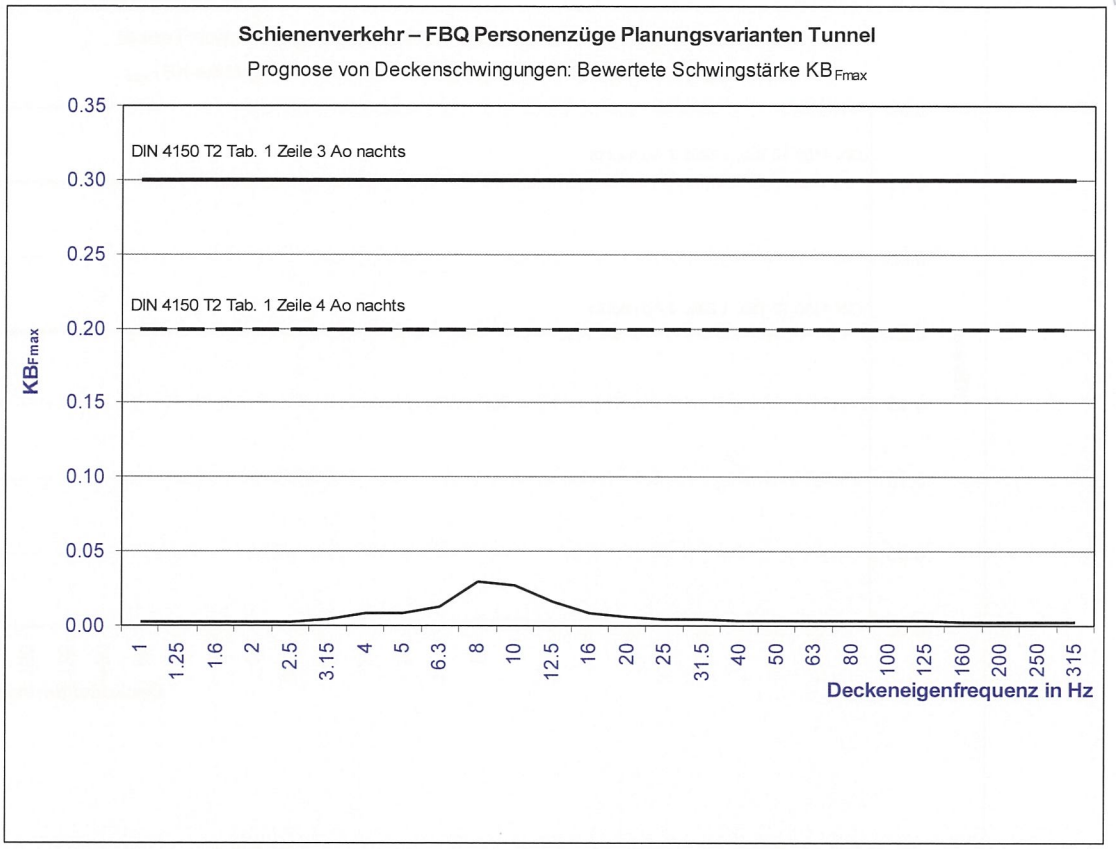
2.5.2.1 IP1 Betriebsgebäude



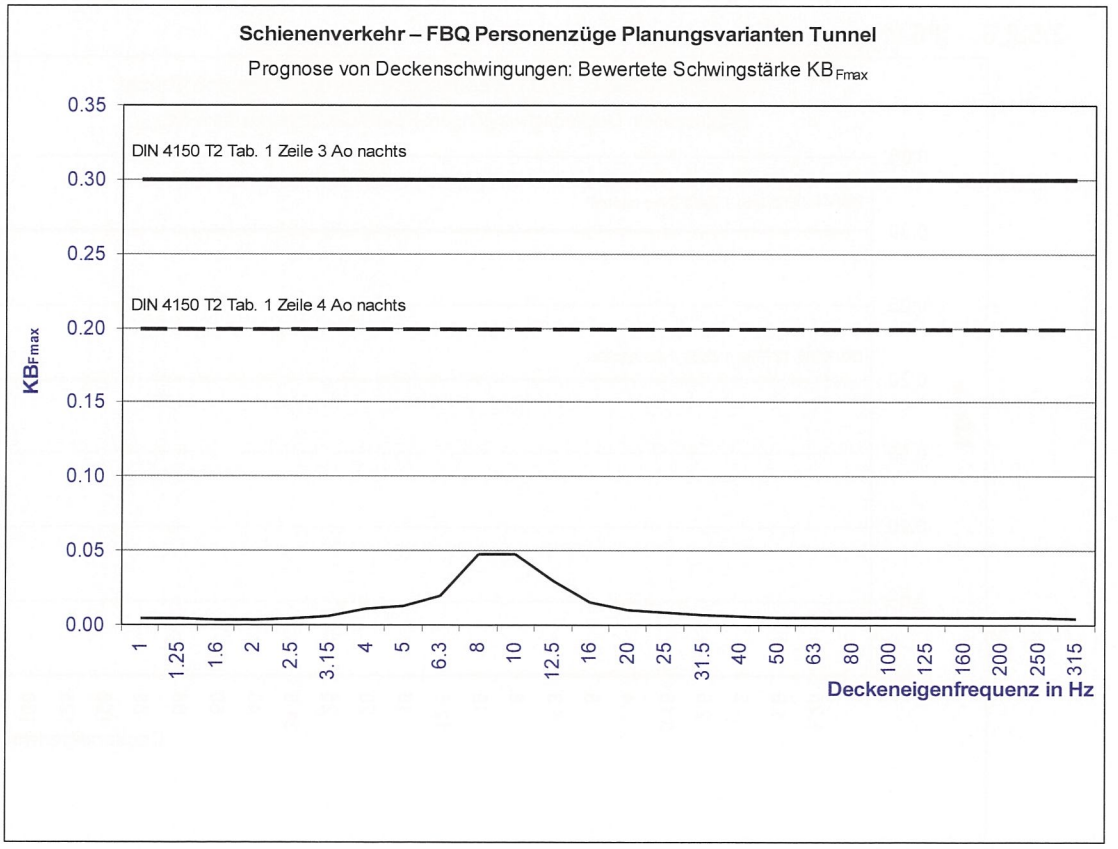
2.5.2.2 IP2 Puttgarden Nord



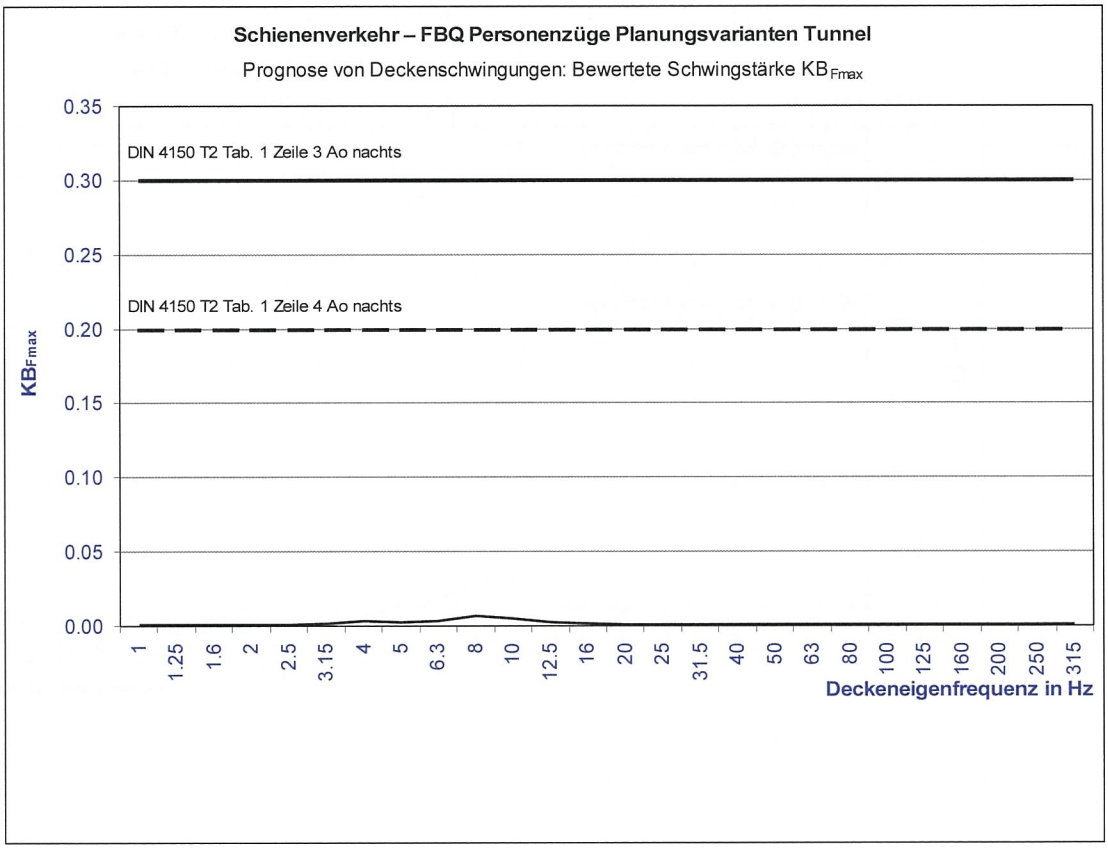
2.5.2.3 IP3 Marienleuchte



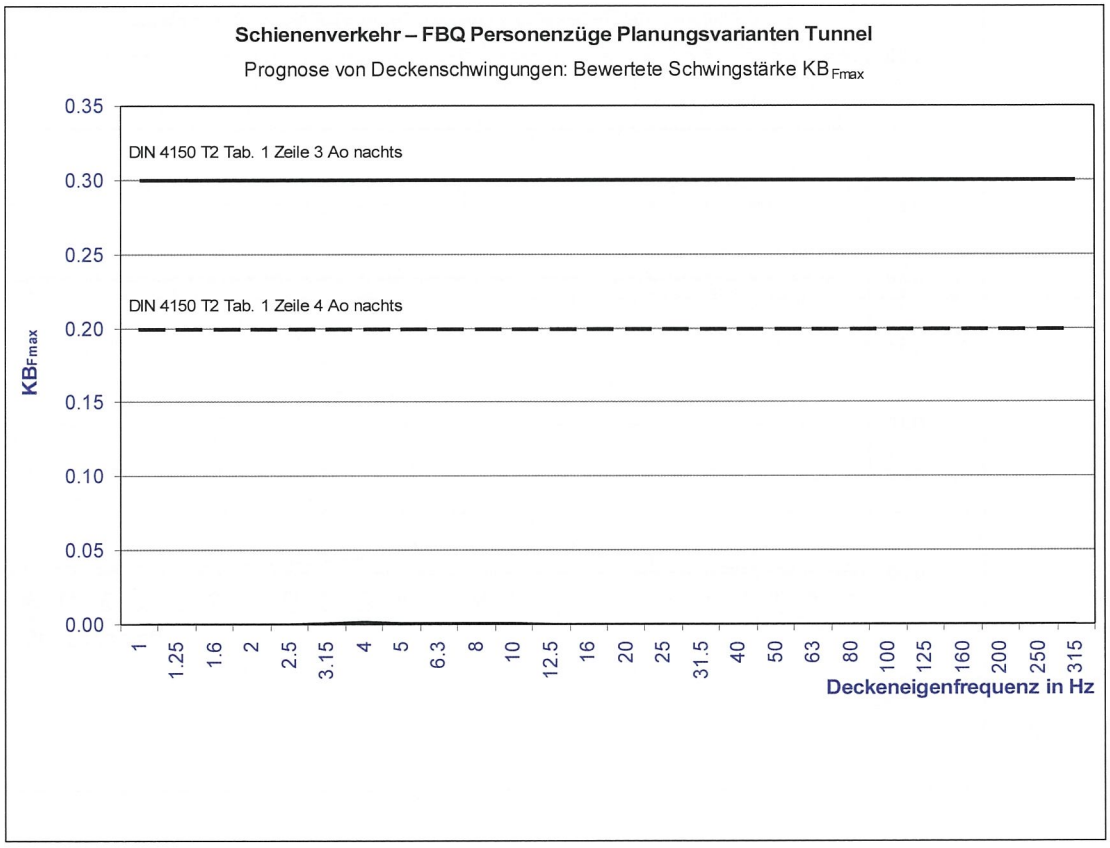
2.5.2.4 IP4 Puttgarden Süd



2.5.2.5 IP5 Todendorf

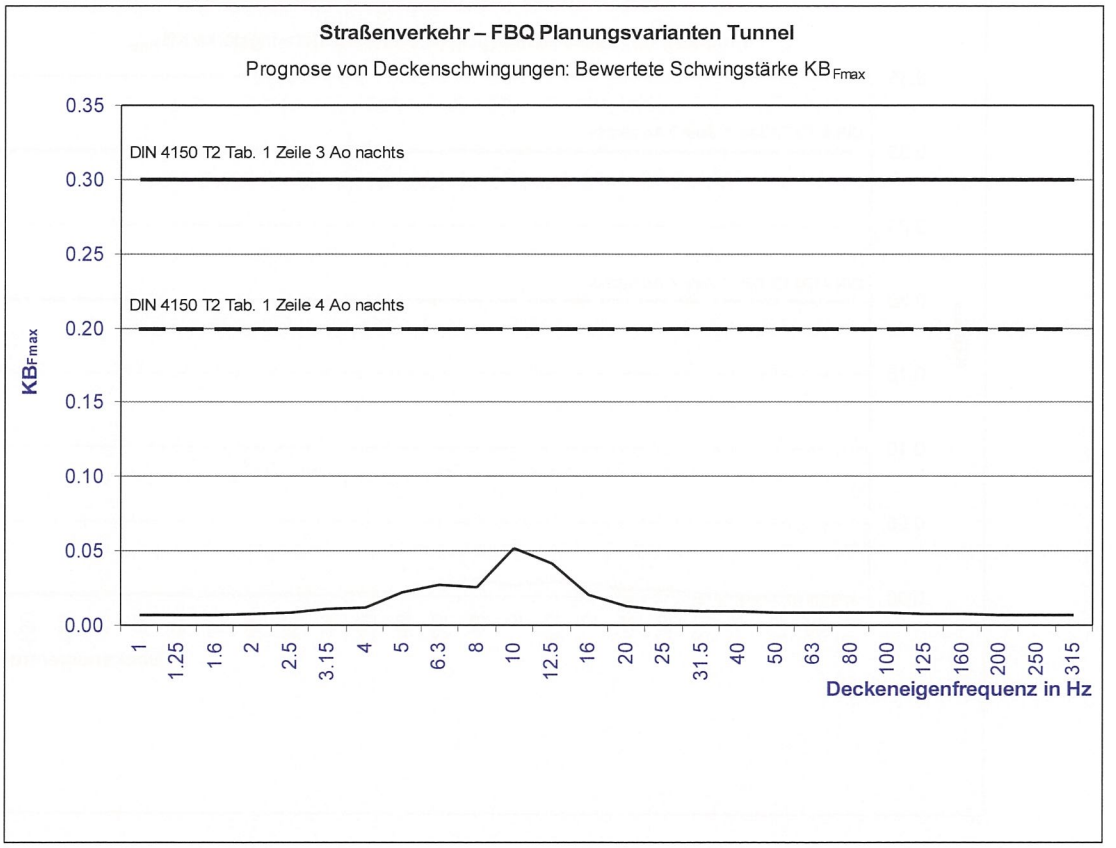


2.5.2.6 IP6 Presen

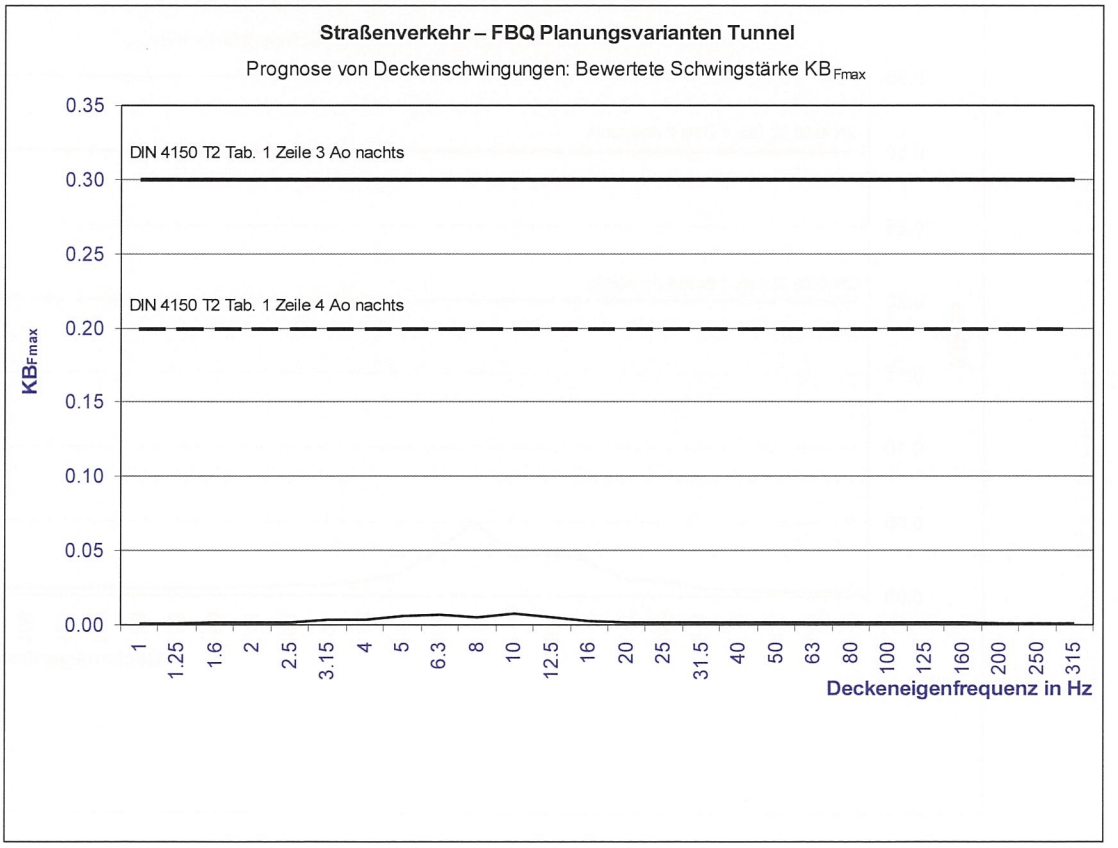


2.5.3 Straßenverkehr – FBQ Absenktunnel

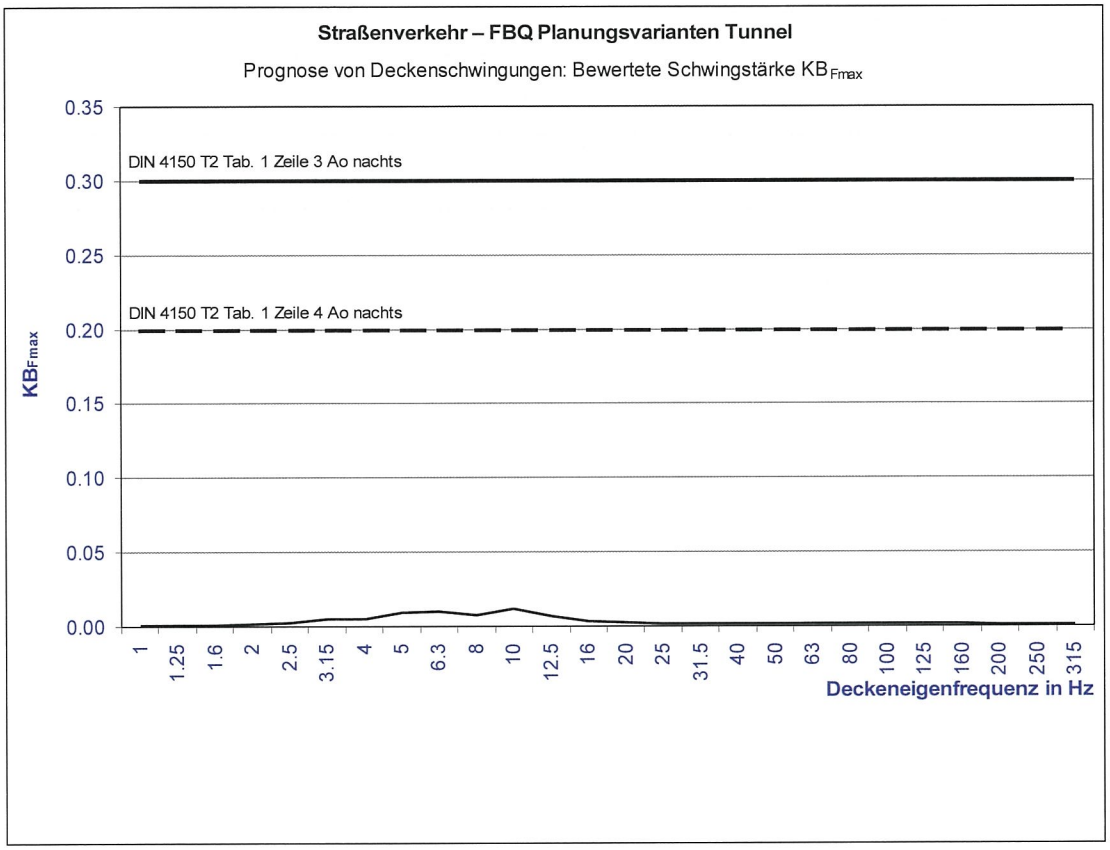
2.5.3.1 IP1 Betriebsgebäude



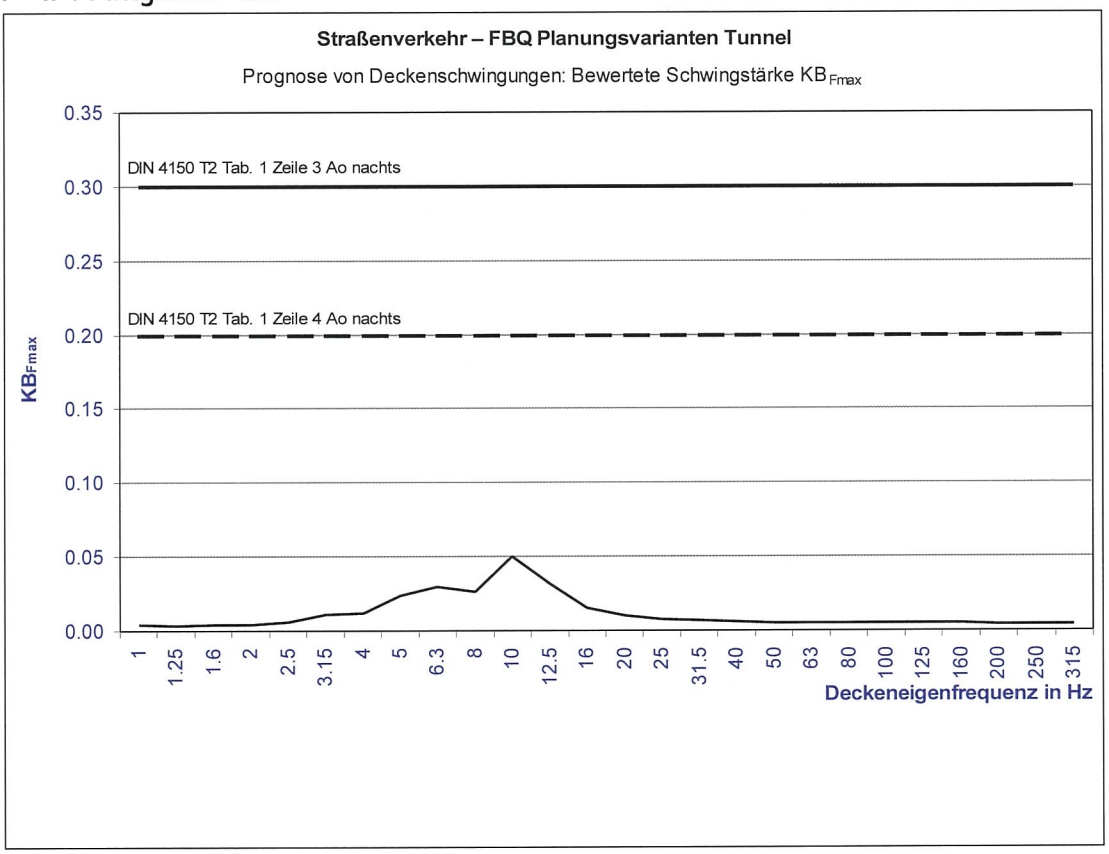
2.5.3.2 IP2 Puttgarden Nord



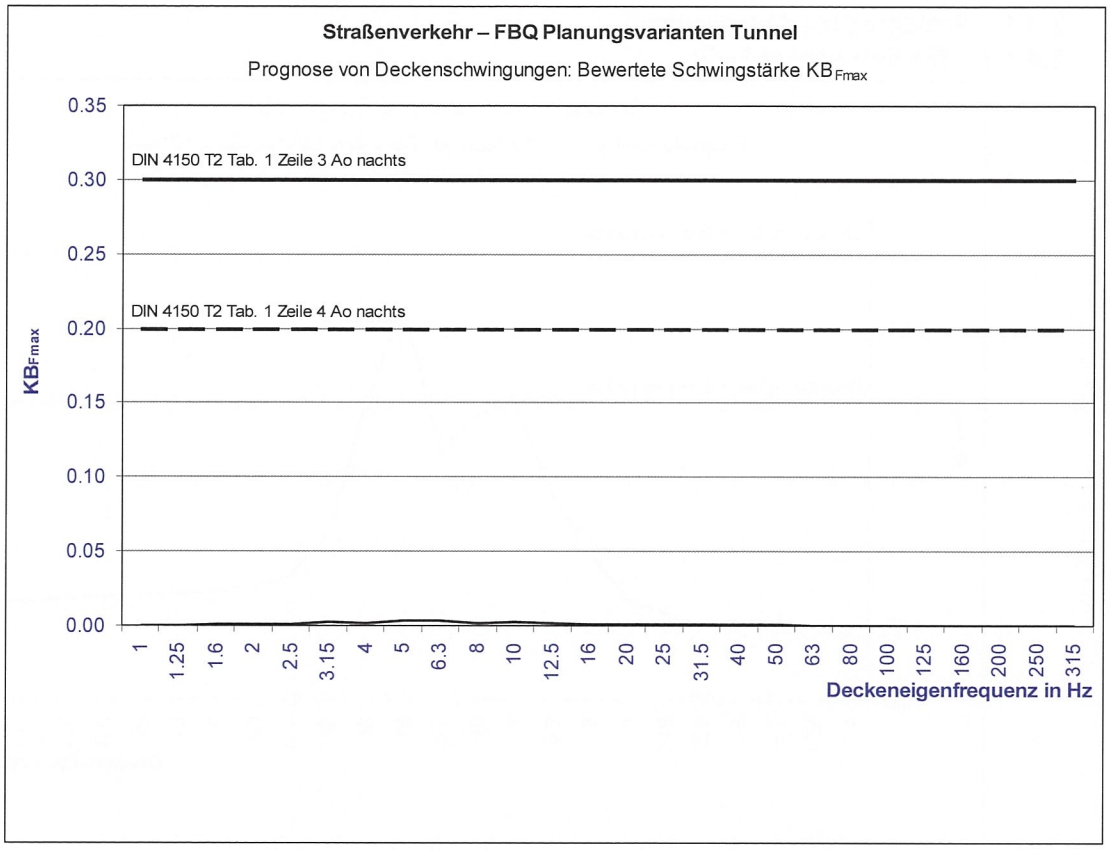
2.5.3.3 IP3 Marienleuchte



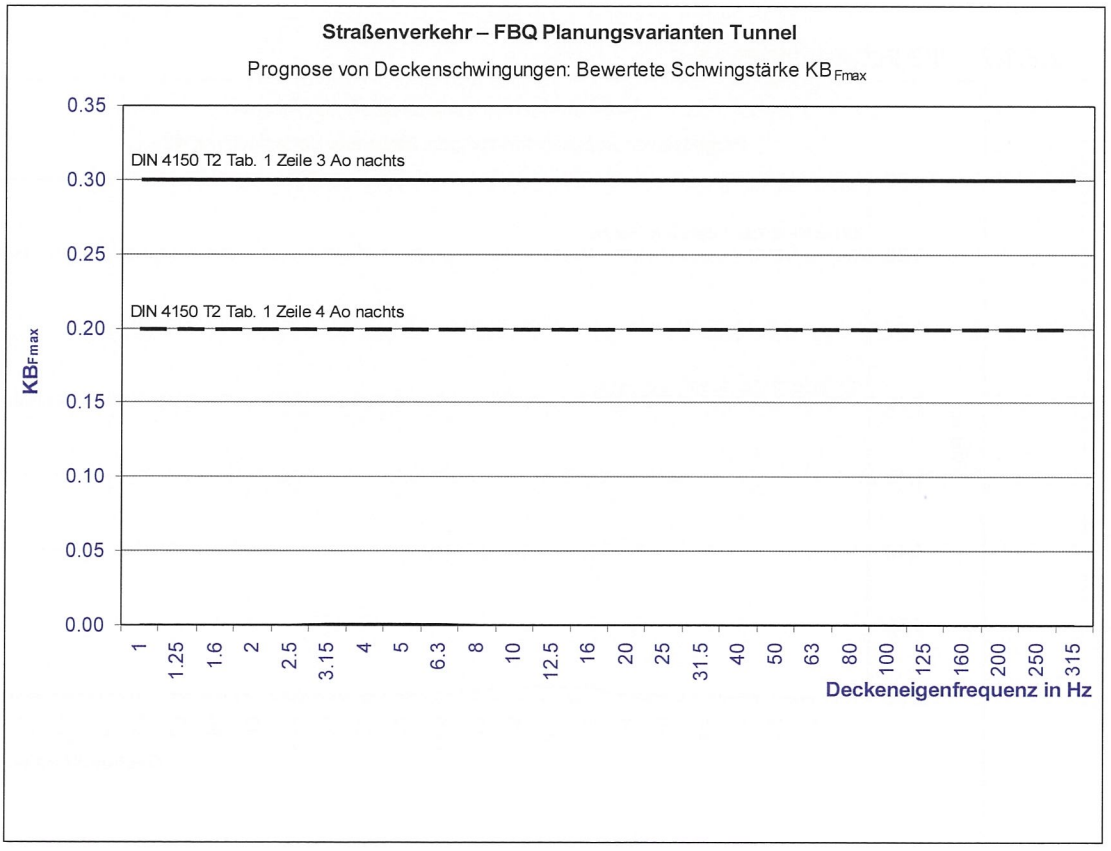
2.5.3.4 IP4 Puttgarden Süd



2.5.3.5 IP5 Todendorf



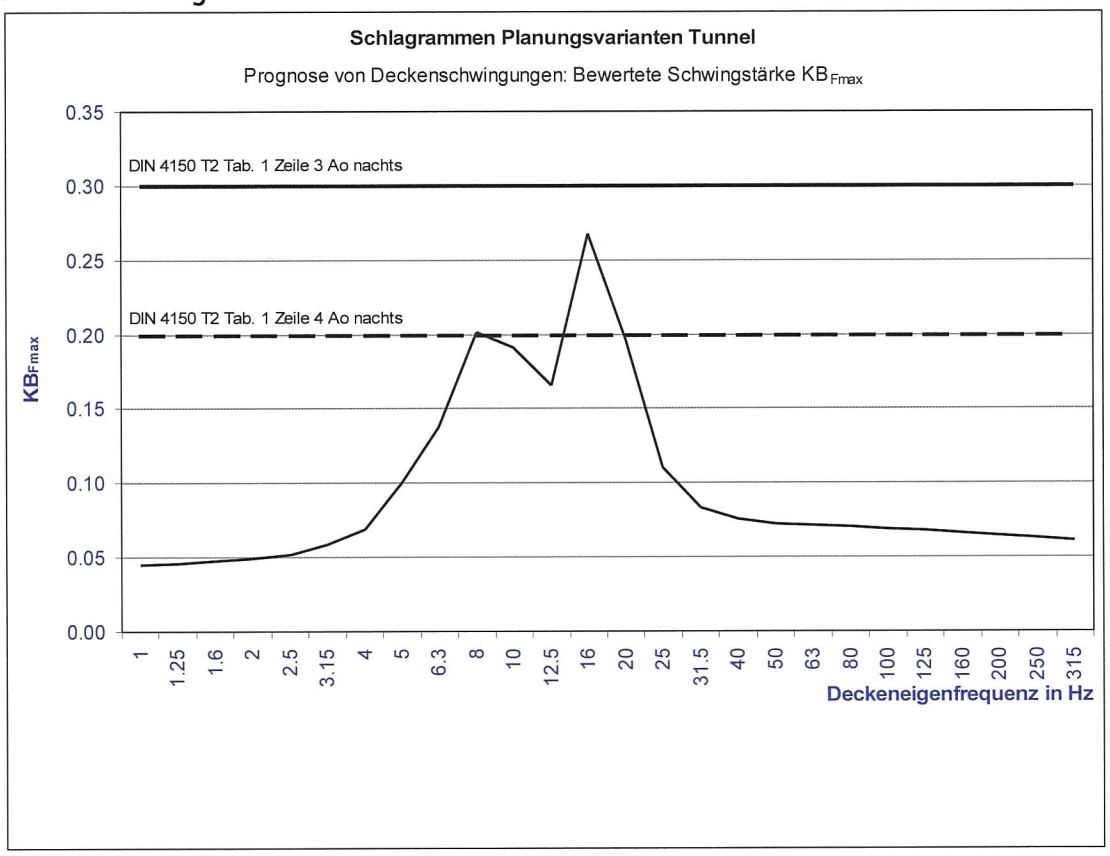
2.5.3.6 IP6 Presen



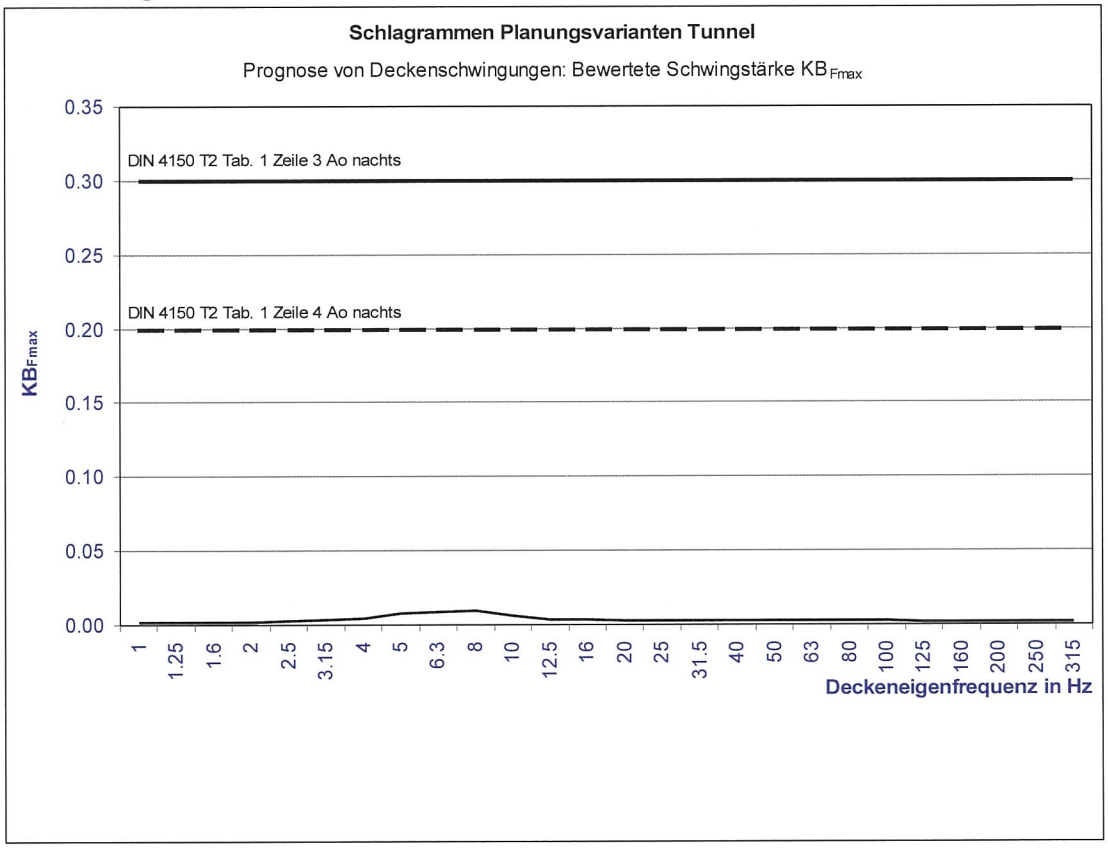
2.6 Baubetrieb

2.6.1 Schlagramme Absenktunnel

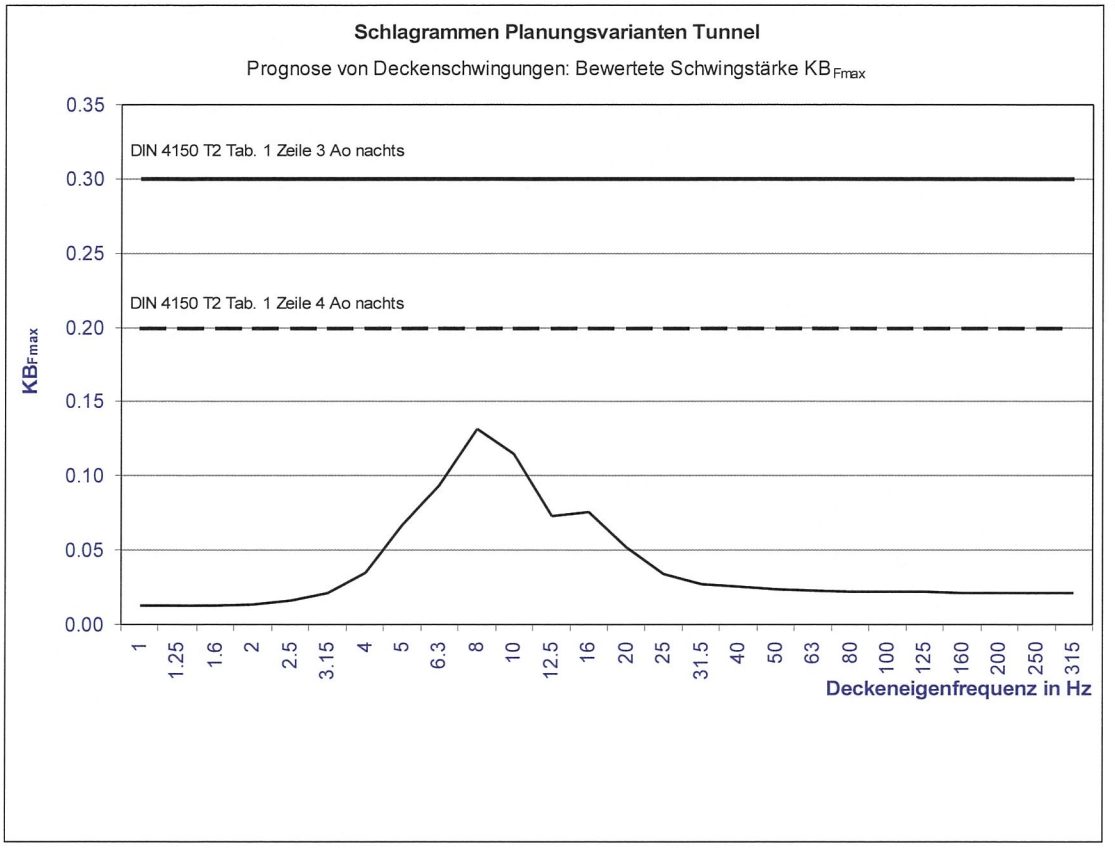
2.6.1.1 IP1 Betriebsgebäude



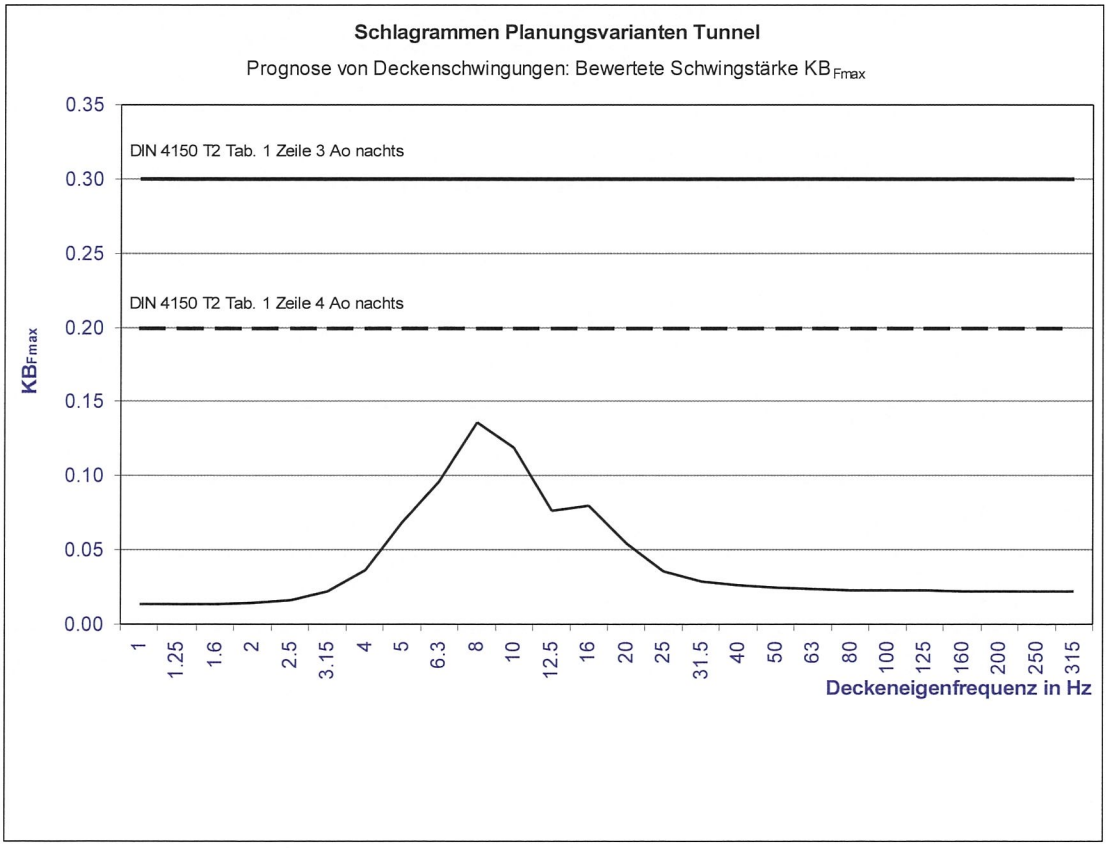
2.6.1.2 IP2 Puttgarden Nord



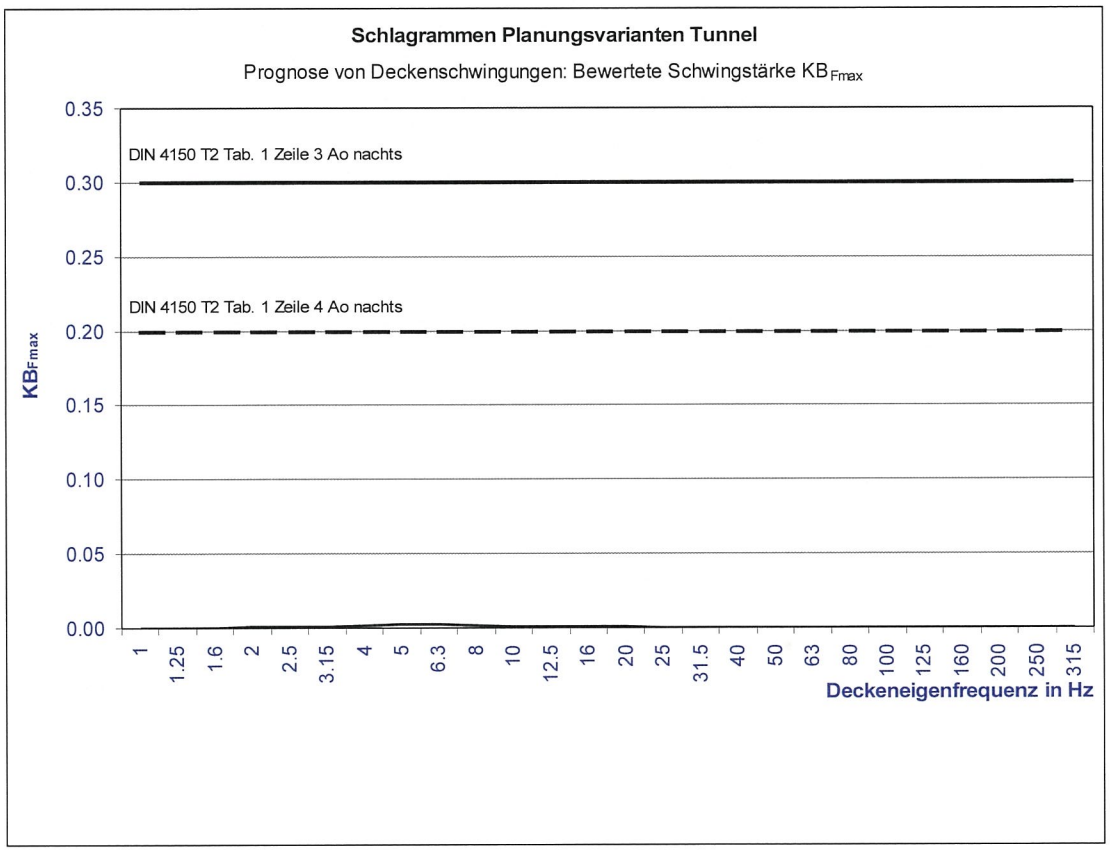
2.6.1.3 IP3 Marienleuchte



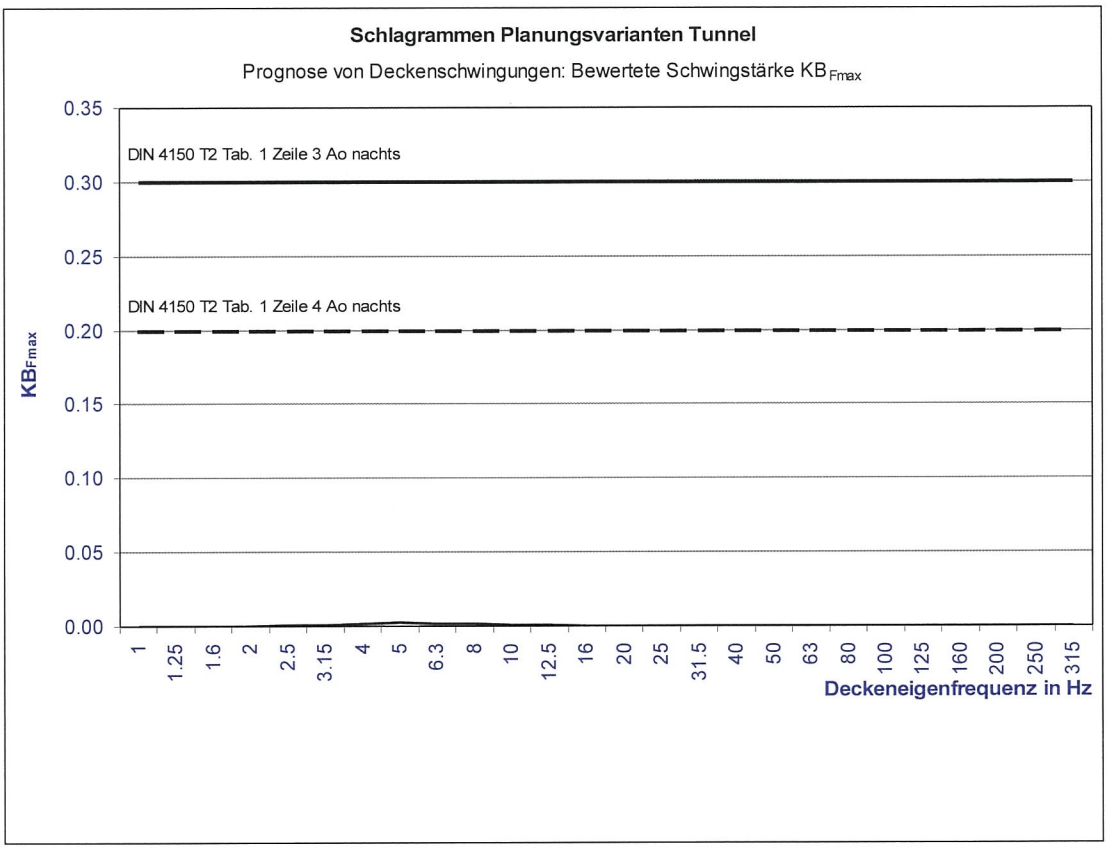
2.6.1.4 IP4 Puttgarden Süd



2.6.1.5 IP5 Todendorf

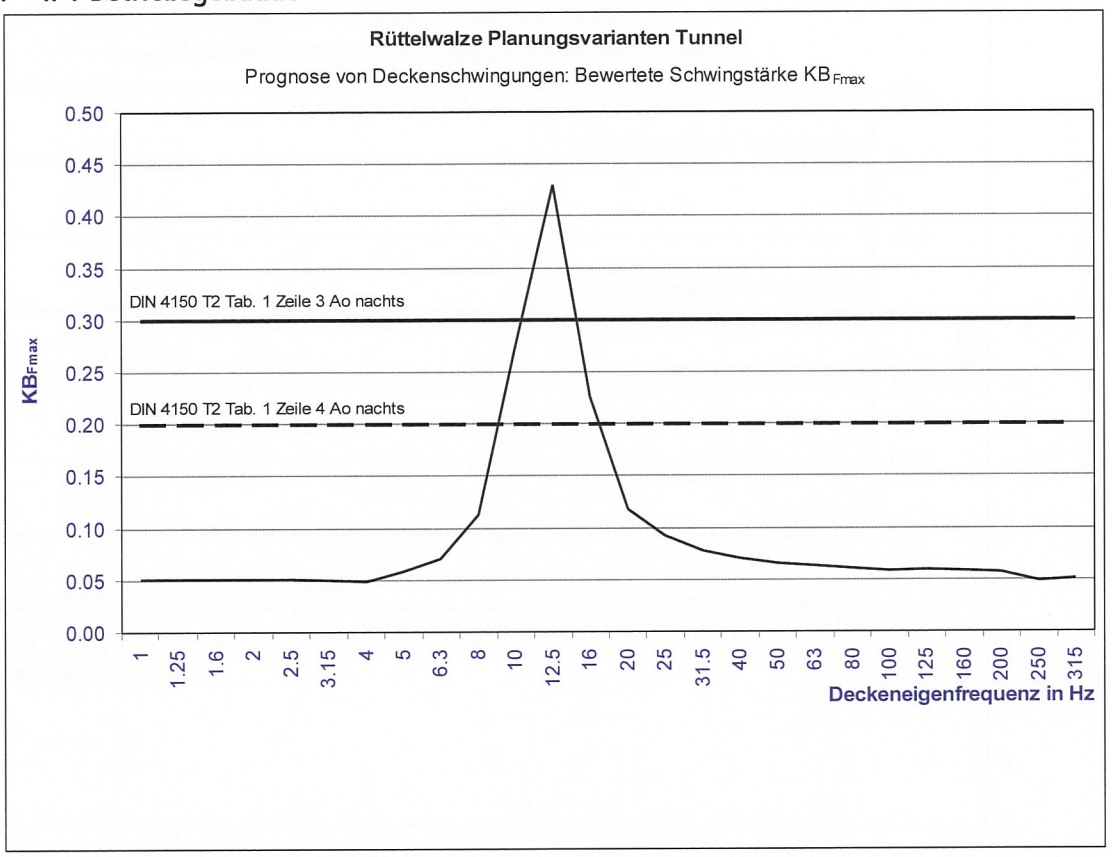


2.6.1.6 IP6 Presen

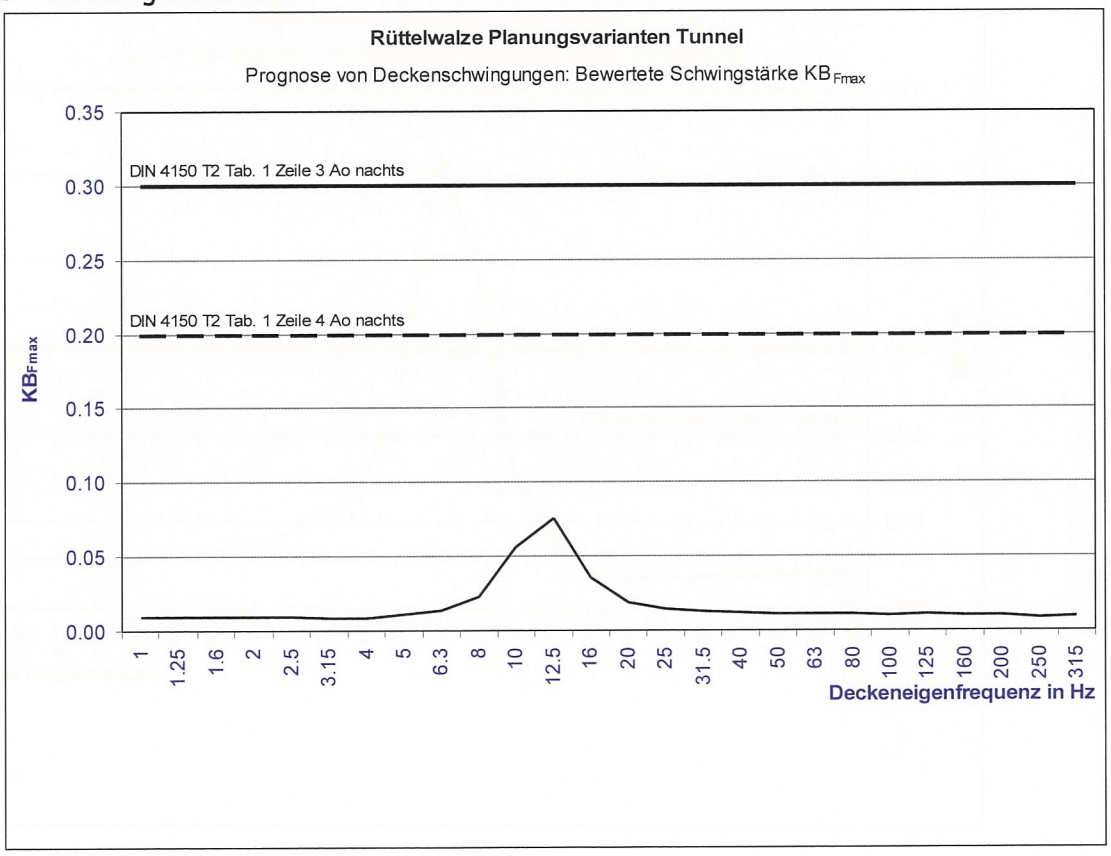


2.6.2 Rüttelwalze Absenktunnel

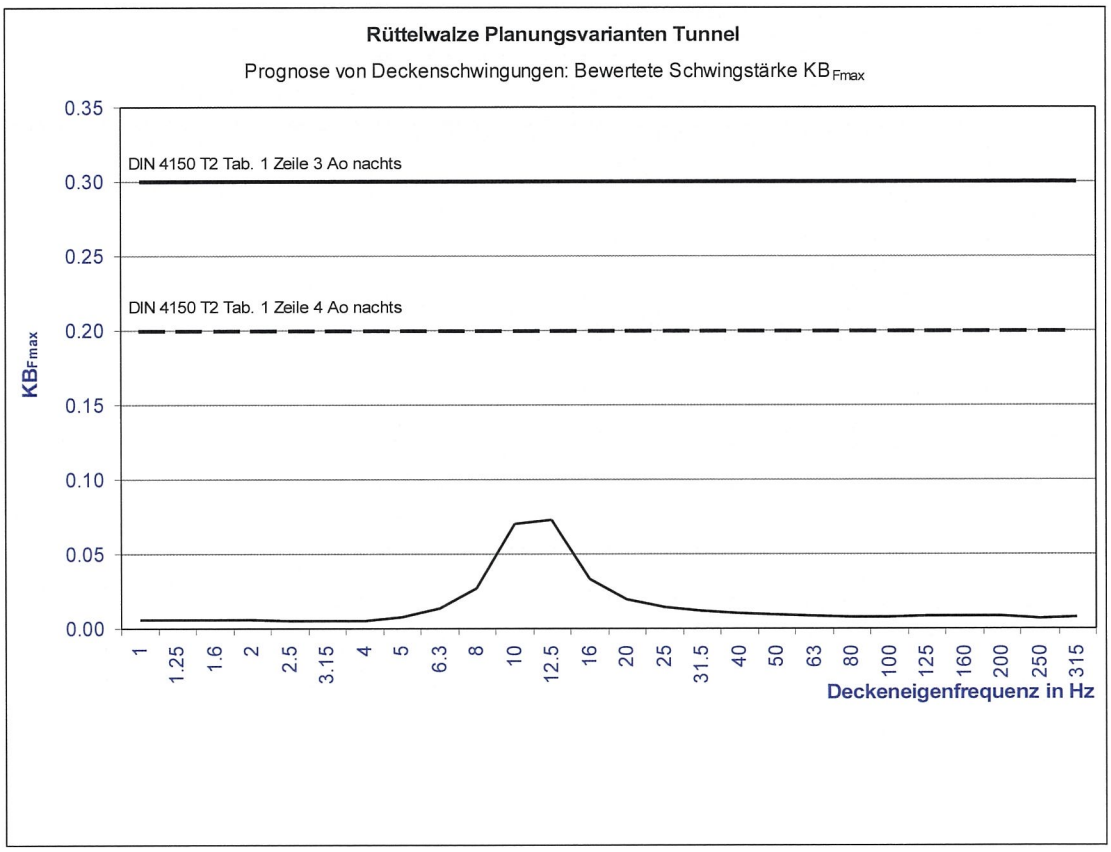
2.6.2.1 IP1 Betriebsgebäude



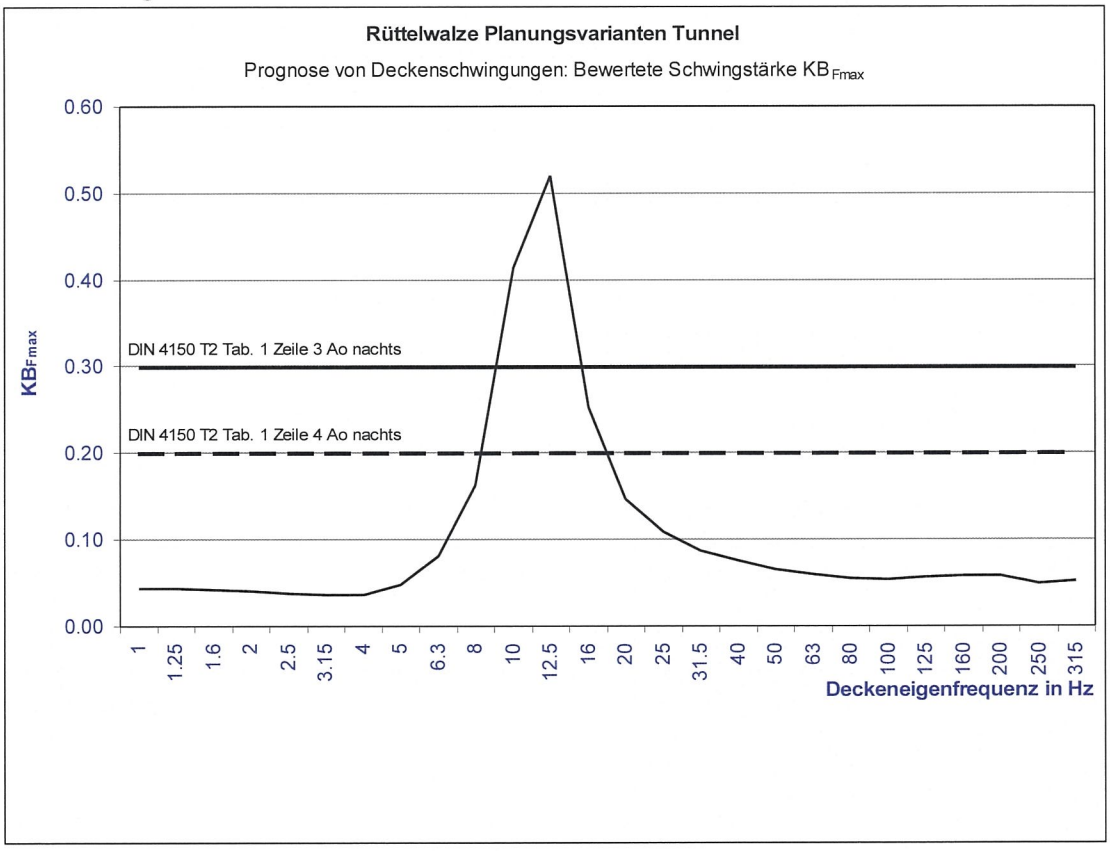
2.6.2.2 IP2 Puttgarden Nord



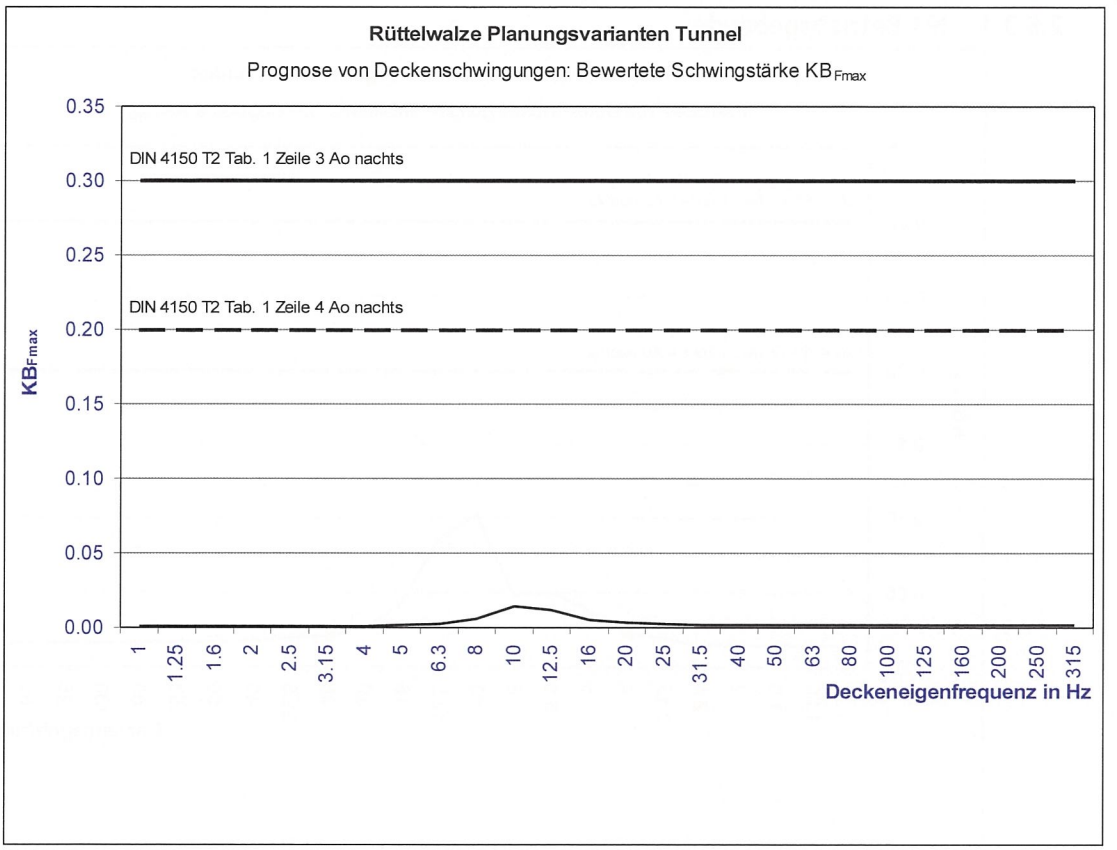
2.6.2.3 IP3 Marienleuchte



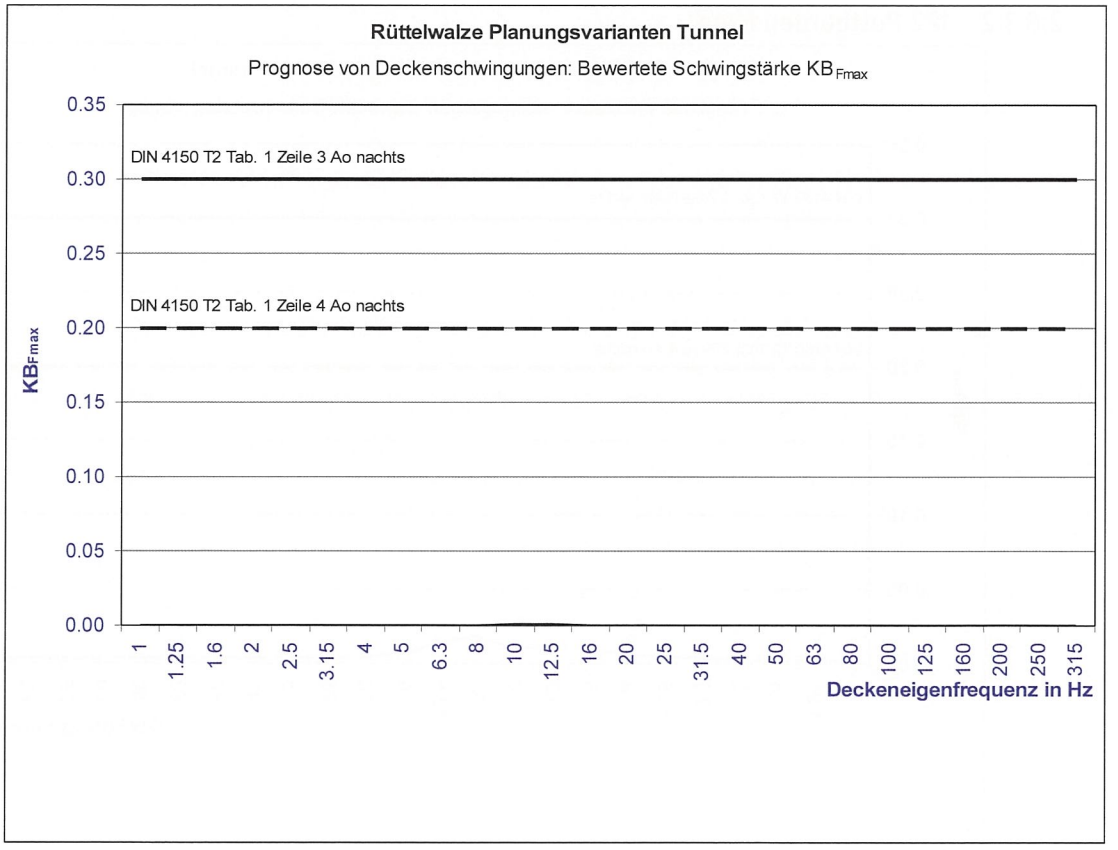
2.6.2.4 IP4 Puttgarden Süd



2.6.2.5 IP5 Todendorf

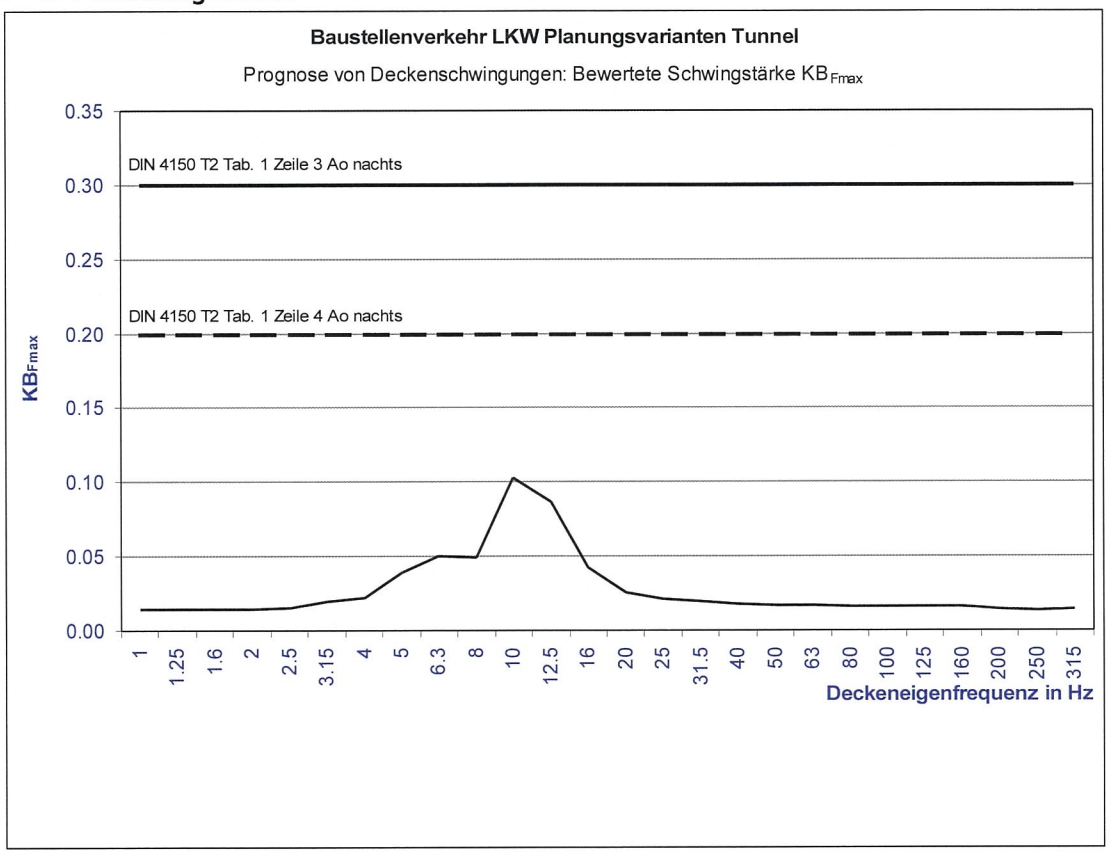


2.6.2.6 IP6 Presen

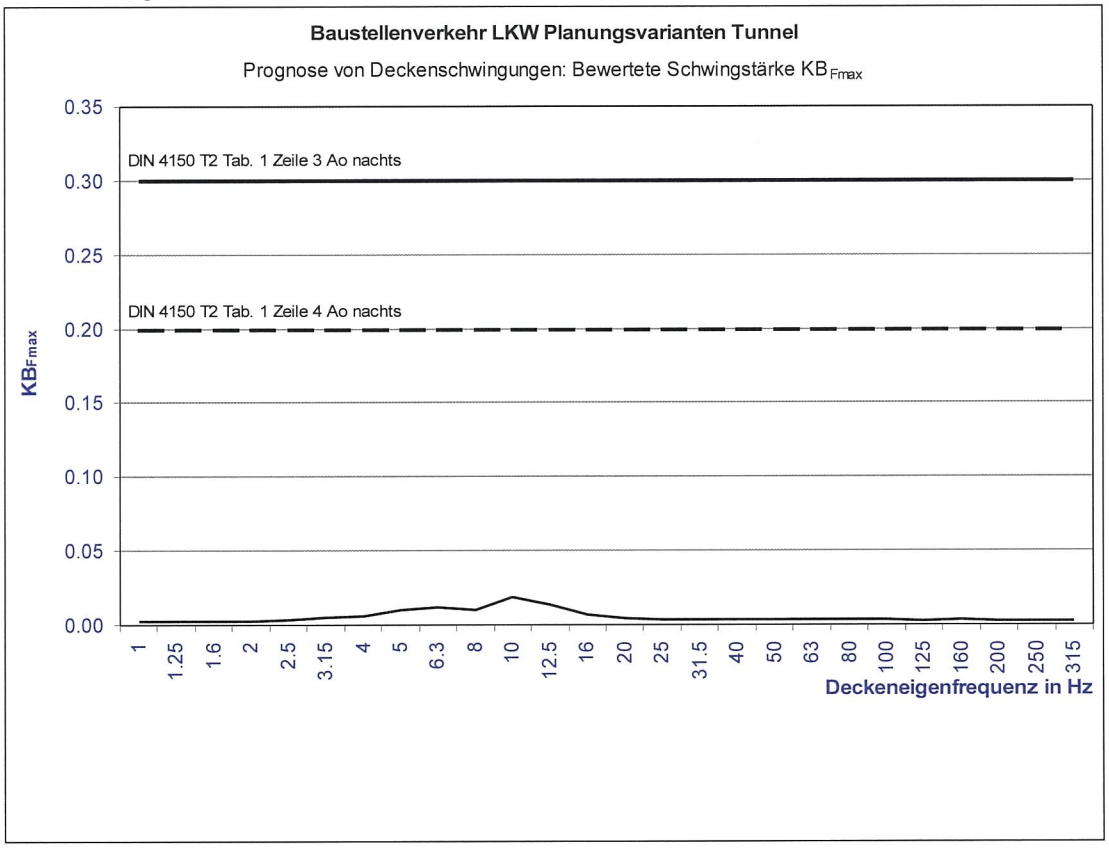


2.6.3 Baustellenverkehr LKW Absenktunnel

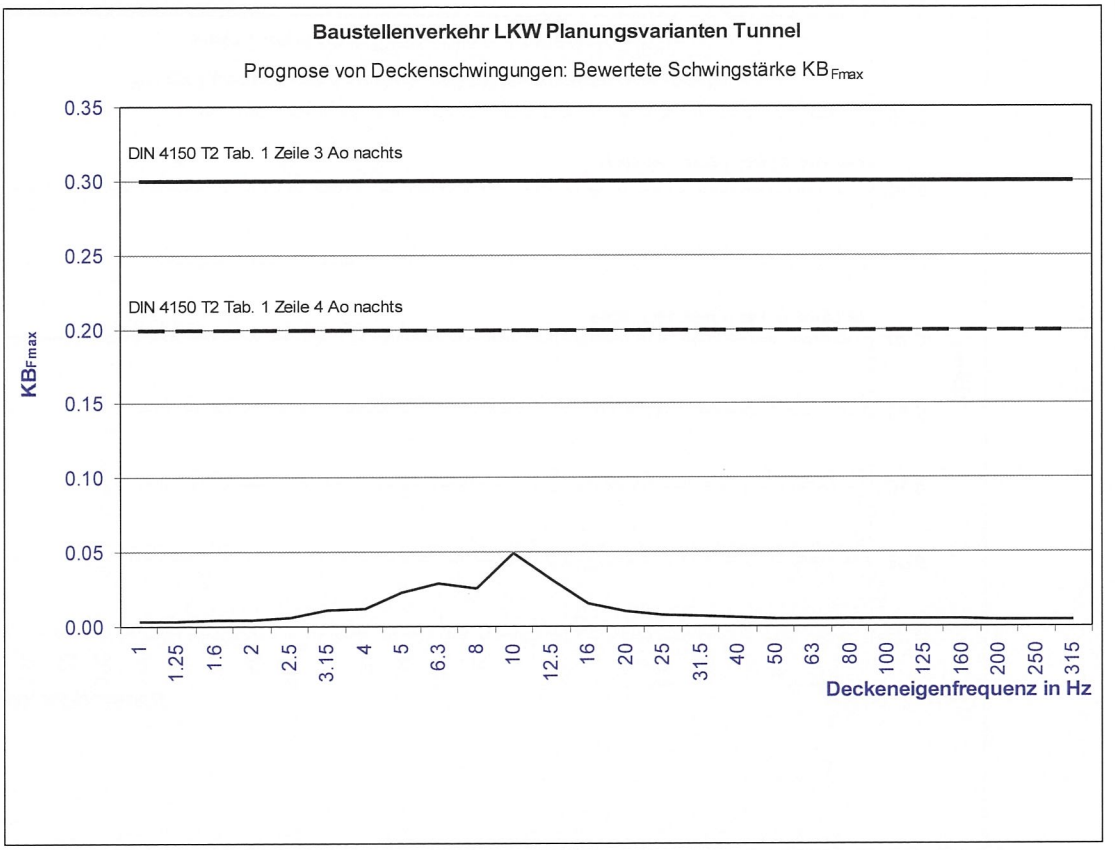
2.6.3.1 IP1 Betriebsgebäude



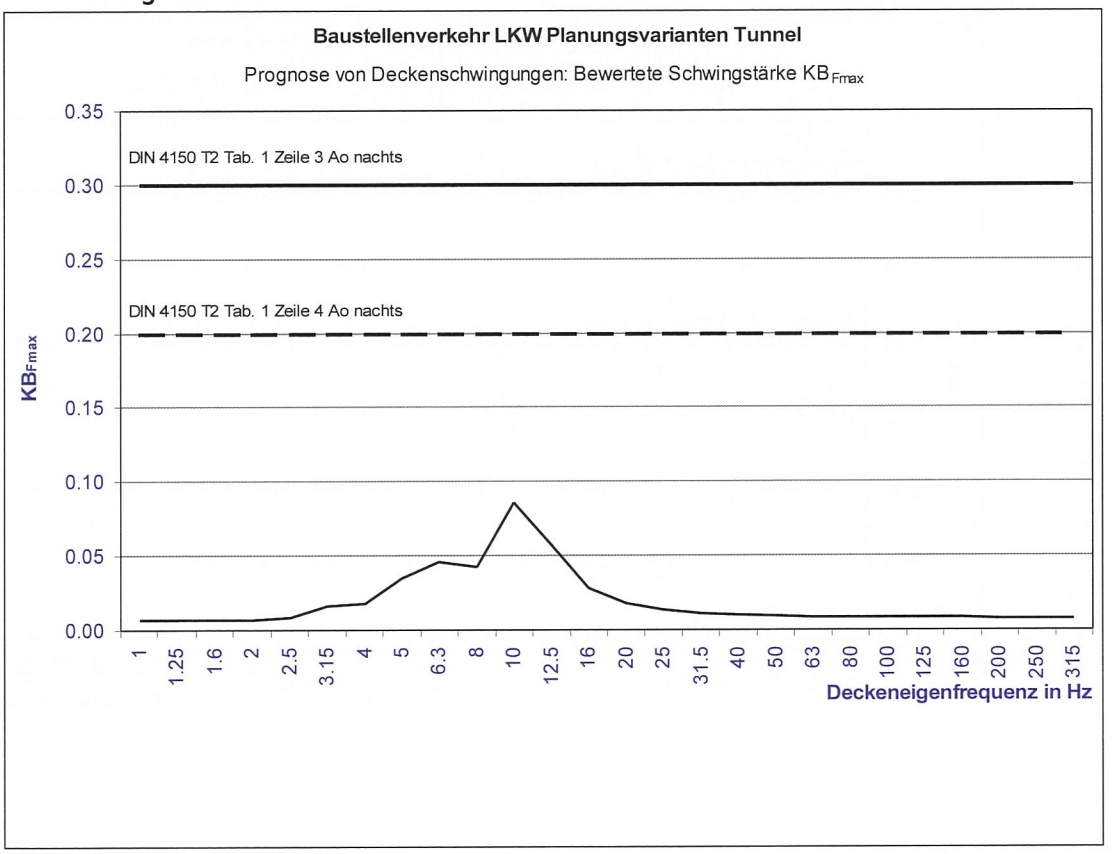
2.6.3.2 IP2 Puttgarden Nord



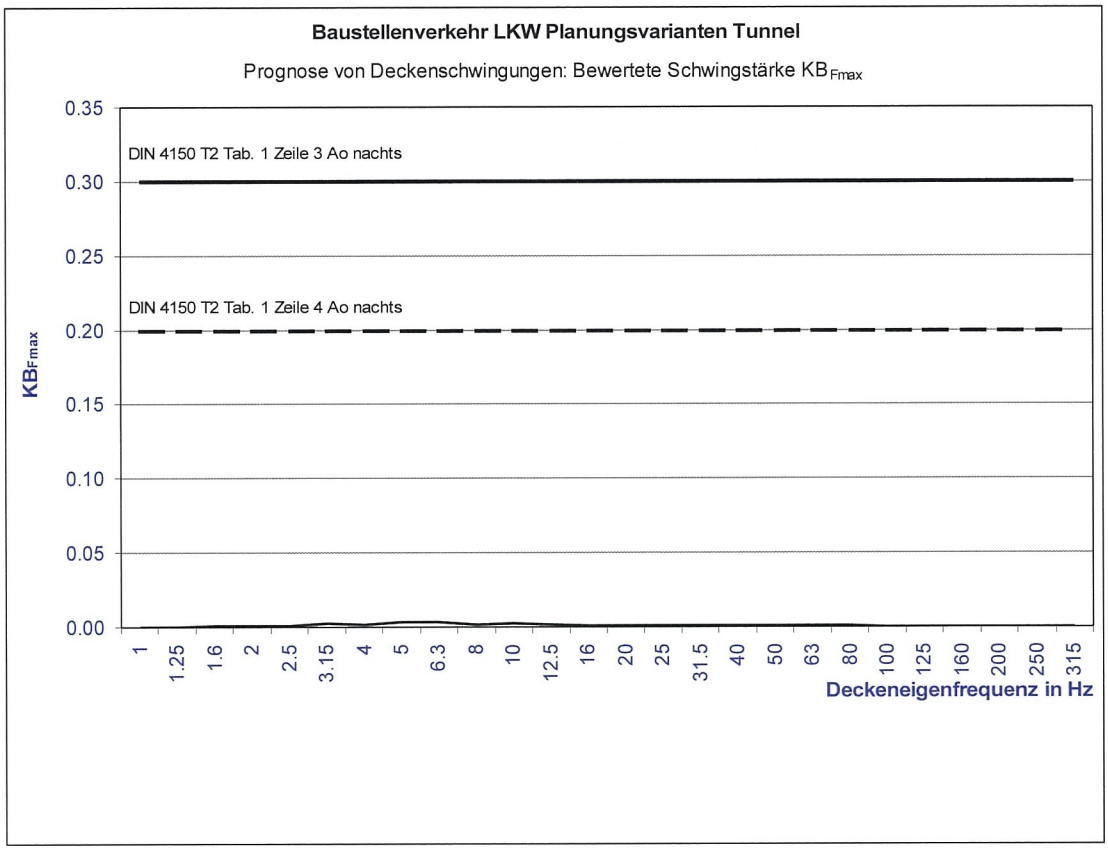
2.6.3.3 IP3 Marienleuchte



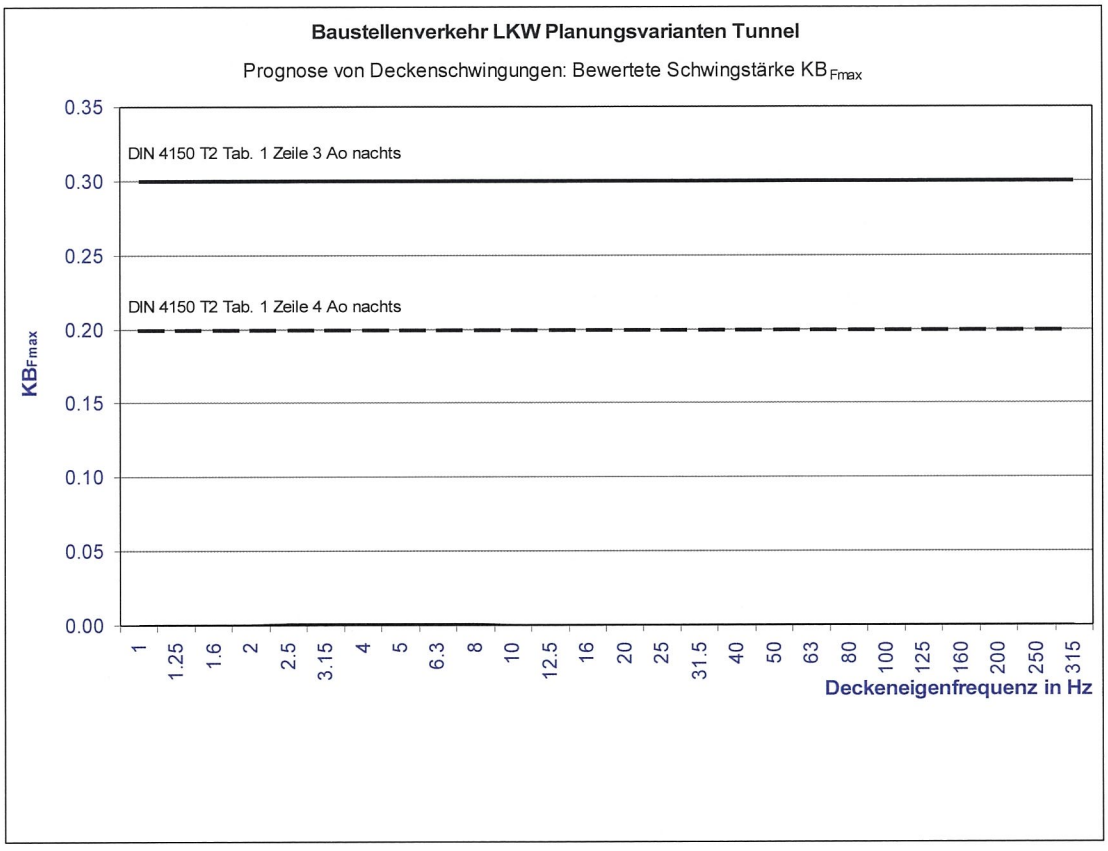
2.6.3.4 IP4 Puttgarden Süd



2.6.3.5 IP5 Todendorf

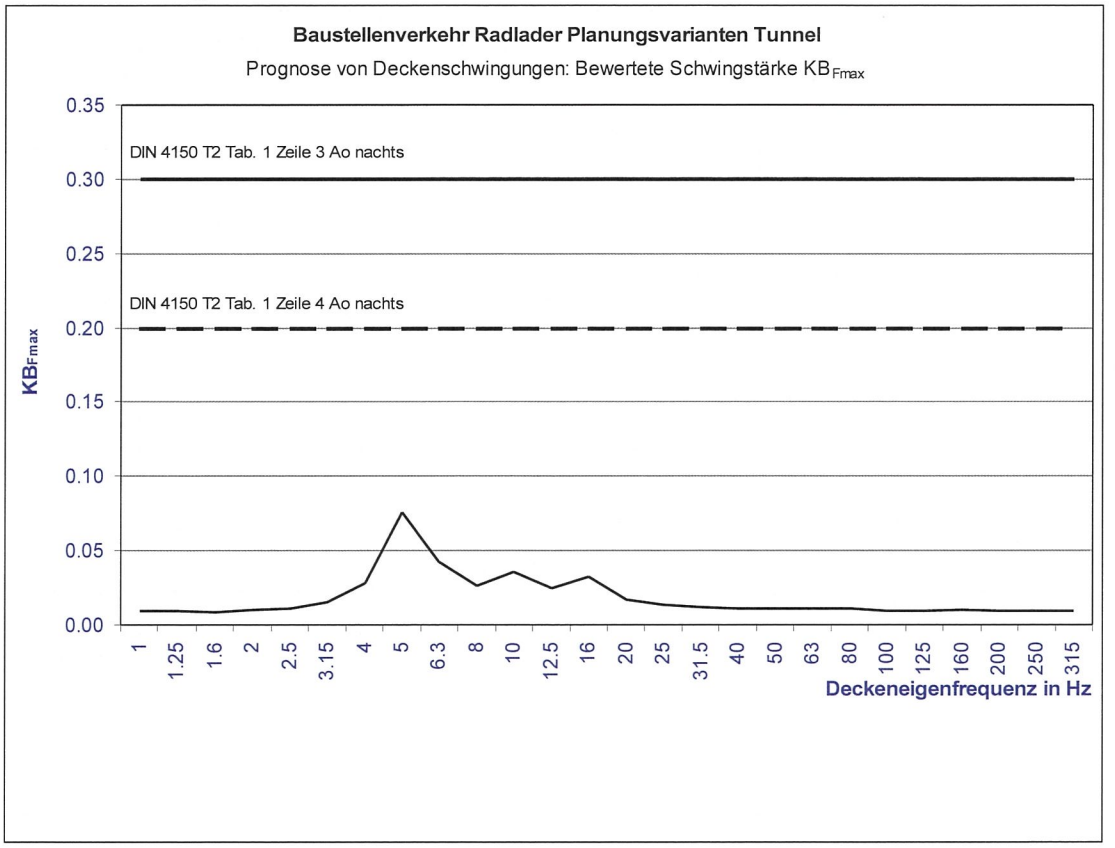


2.6.3.6 IP6 Presen

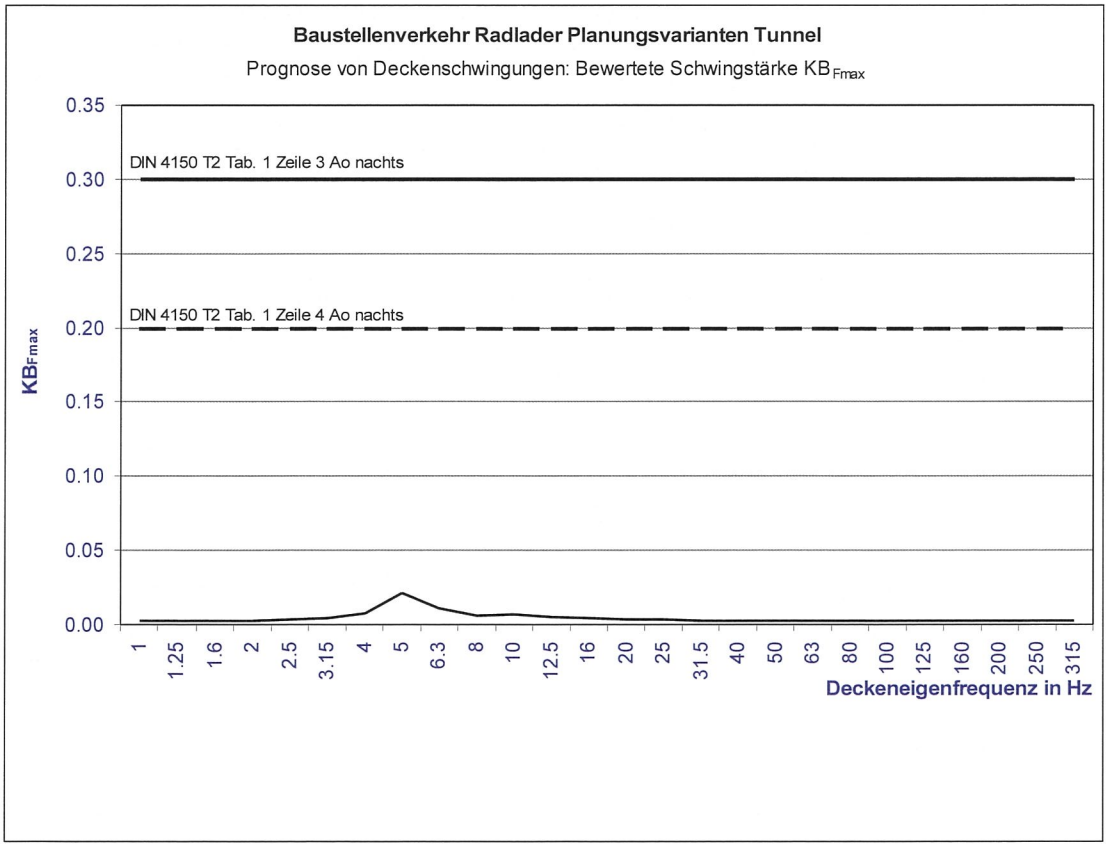


2.6.4 Baustellenverkehr Radlader Absenktunnel

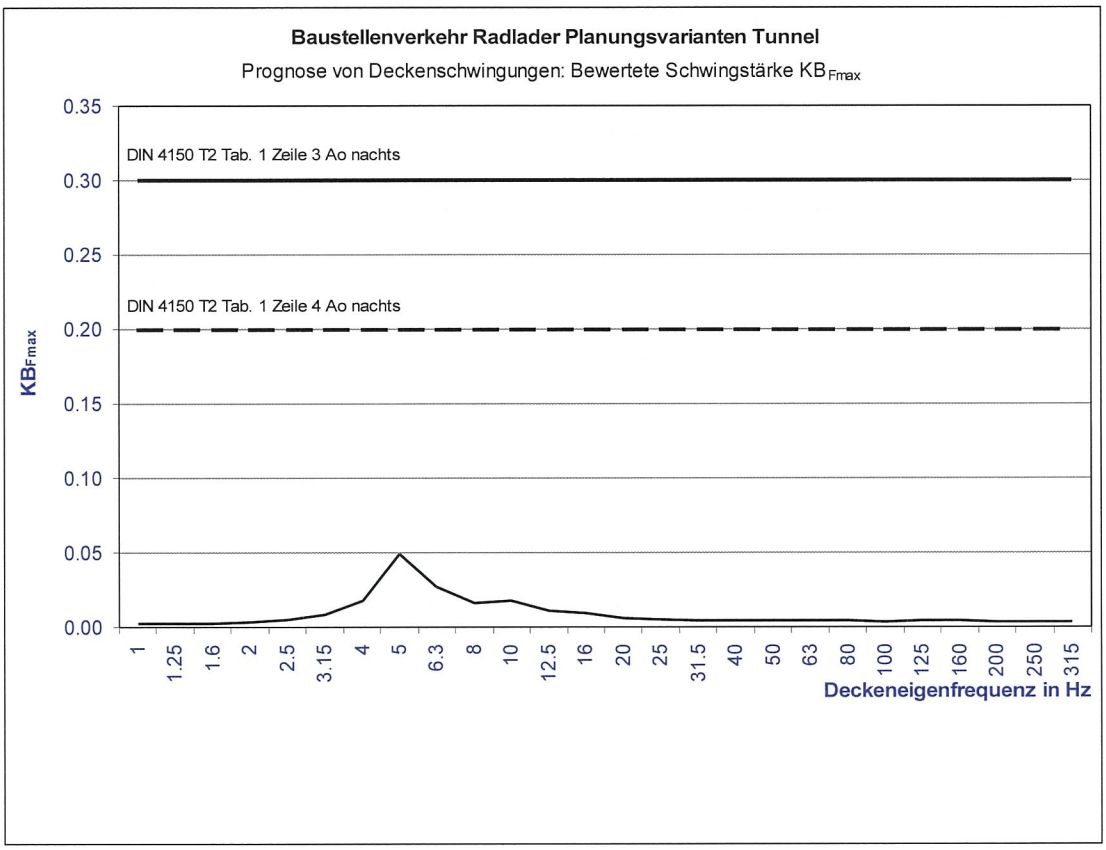
2.6.4.1 IP1 Betriebsgebäude



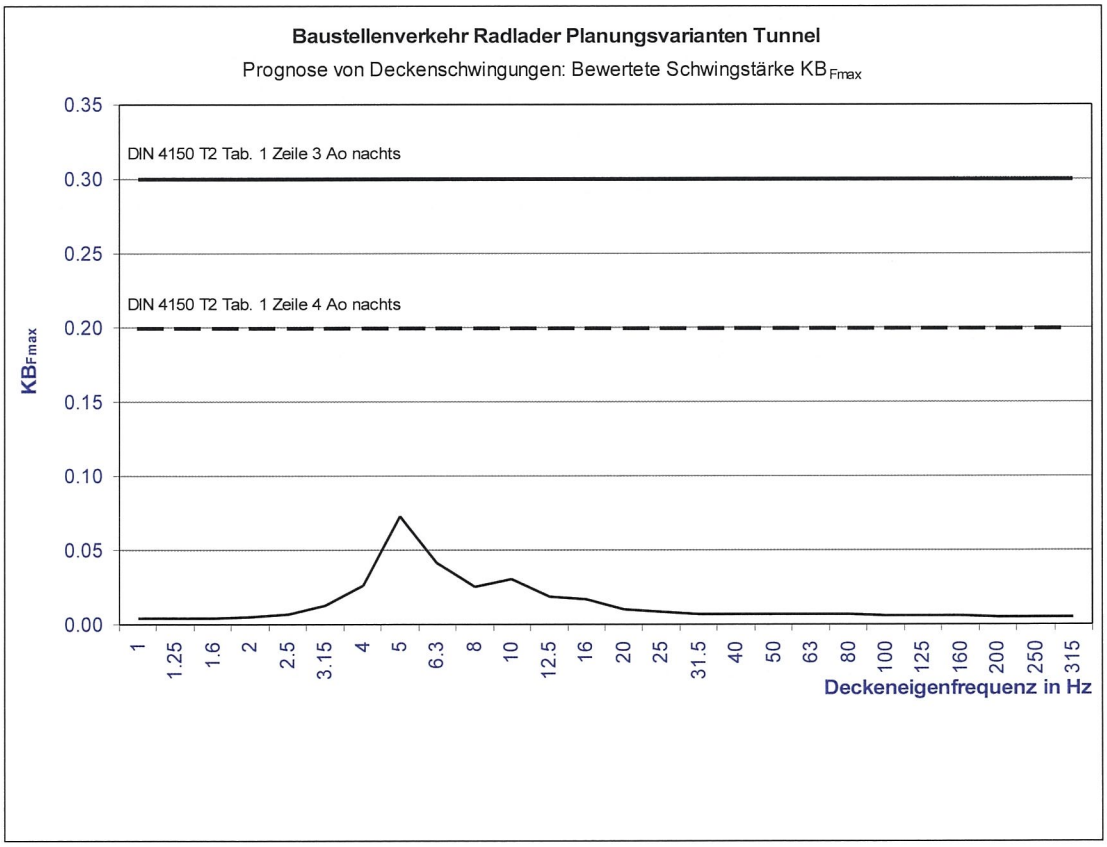
2.6.4.2 IP2 Puttgarden Nord



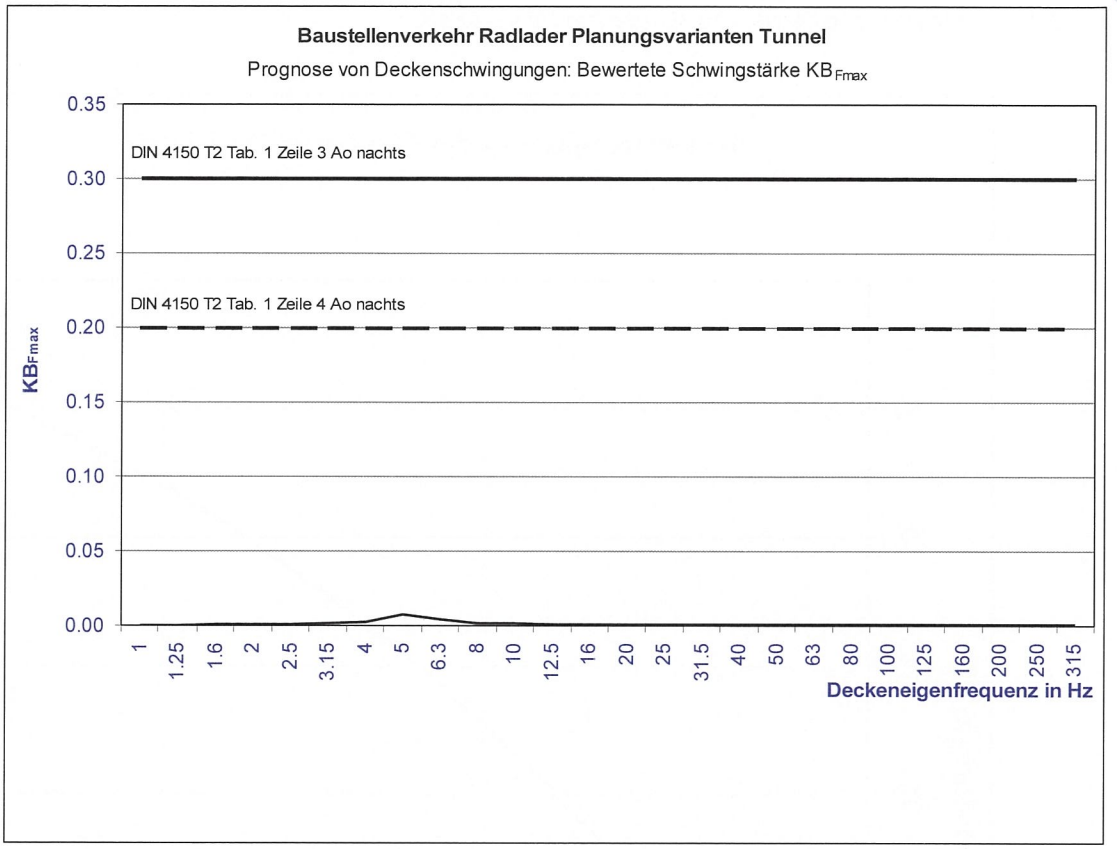
2.6.4.3 IP3 Marienleuchte



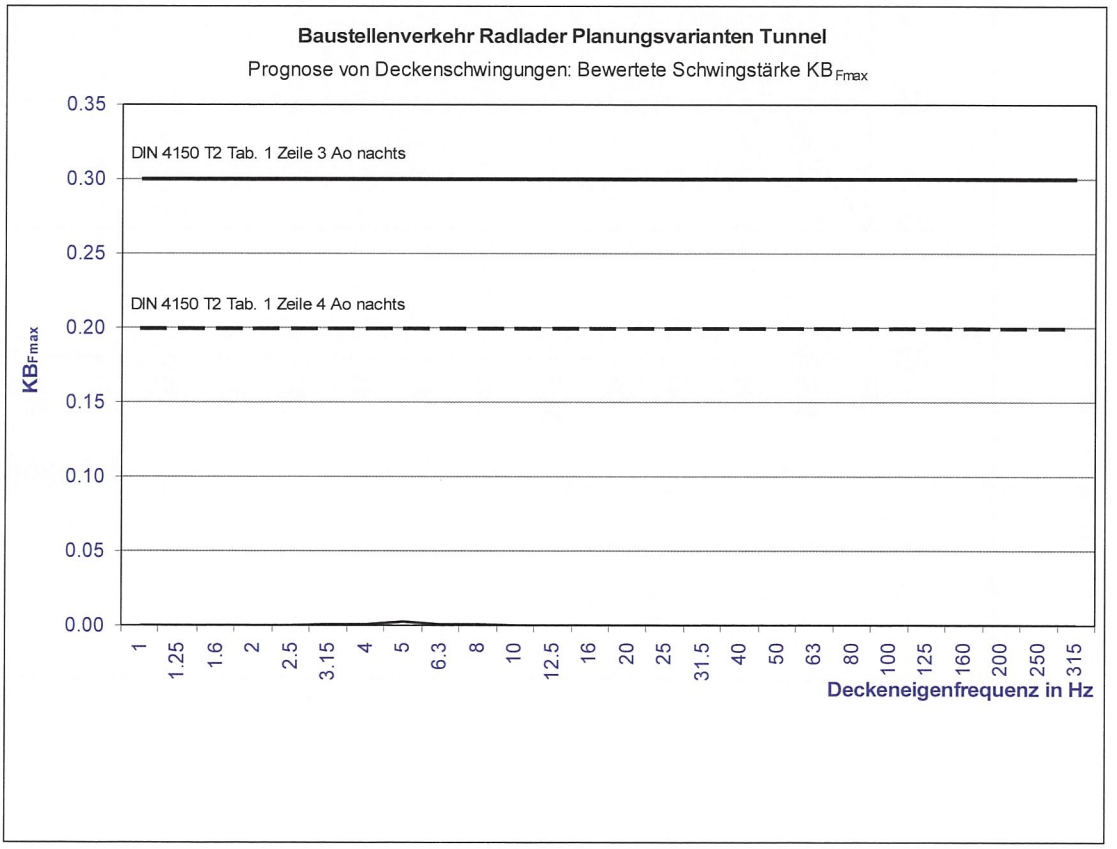
2.6.4.4 IP4 Puttgarden Süd



2.6.4.5 IP5 Todendorf

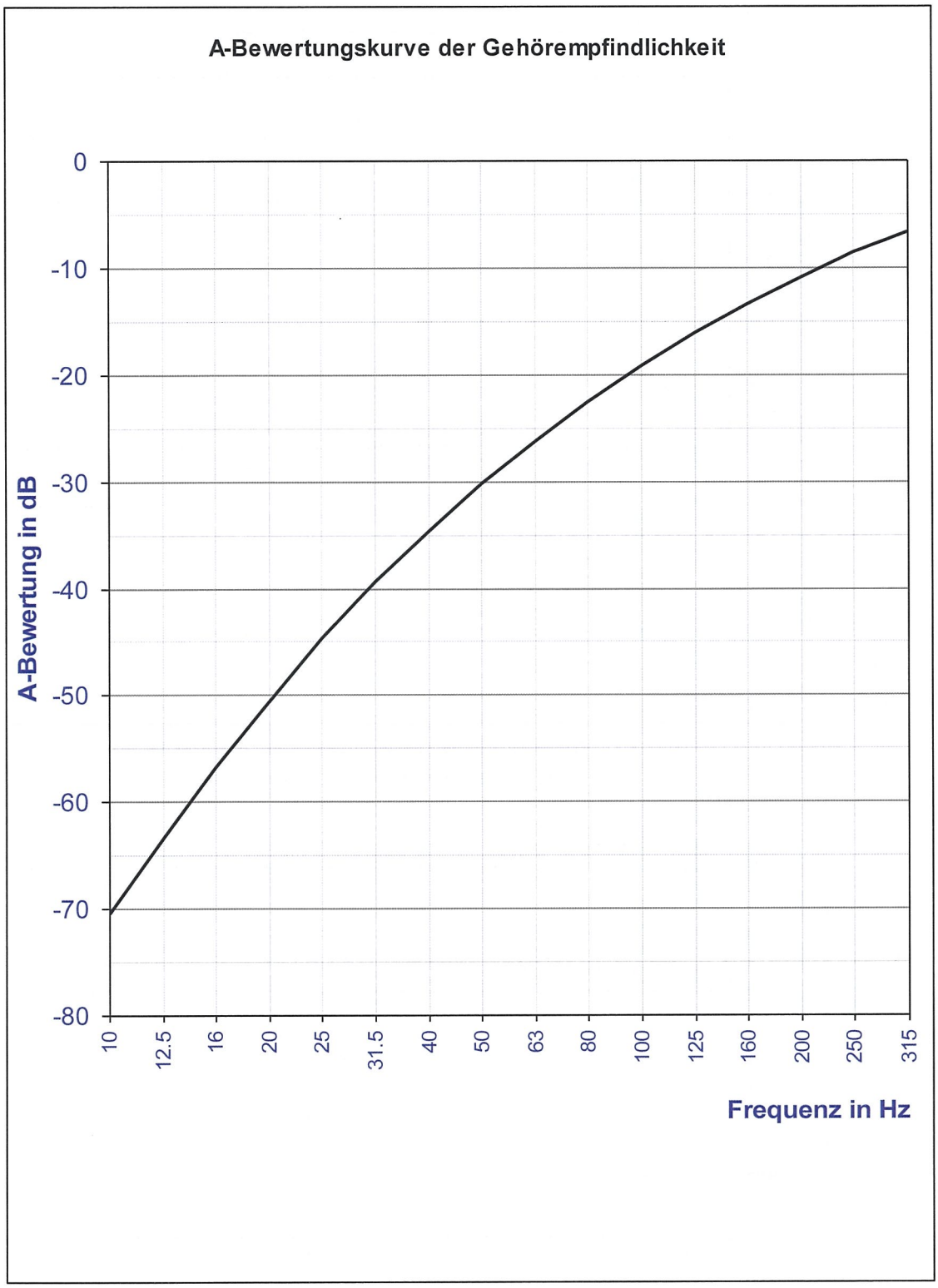


2.6.4.6 IP6 Presen

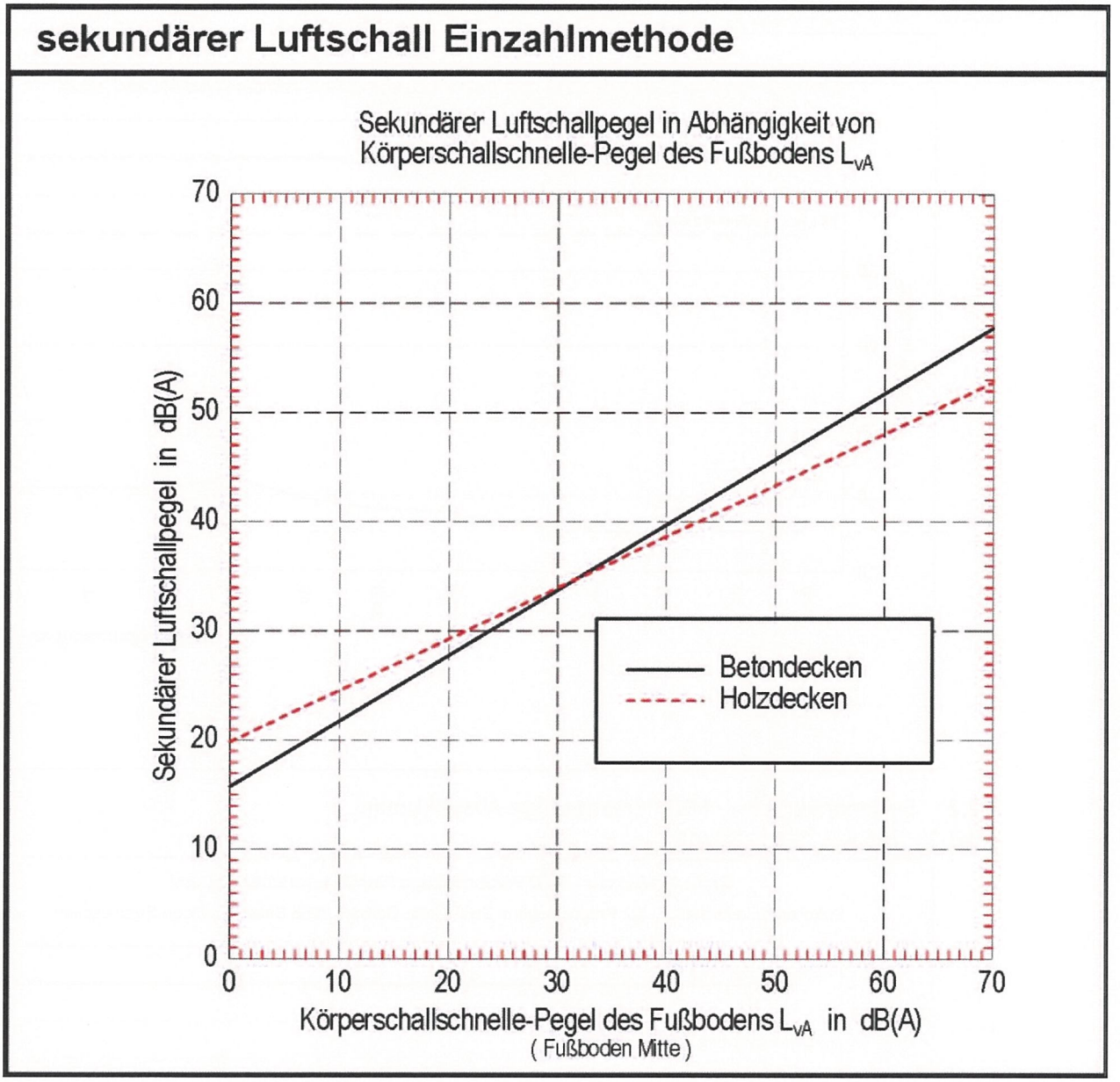


3 Prognose sekundärer Luftschall nach Said, Grütz, Garburg 2006

3.1 A-Bewertungskurve der Gehörempfindlichkeit



3.2 Verfahren: Ausgehend von Schnellepegel-Summen L_{vA} 25 Hz bis 100 Hz



Für Betondecke: L_{sekA}= 15.75 dB(A) + 0.60 L_{vA}

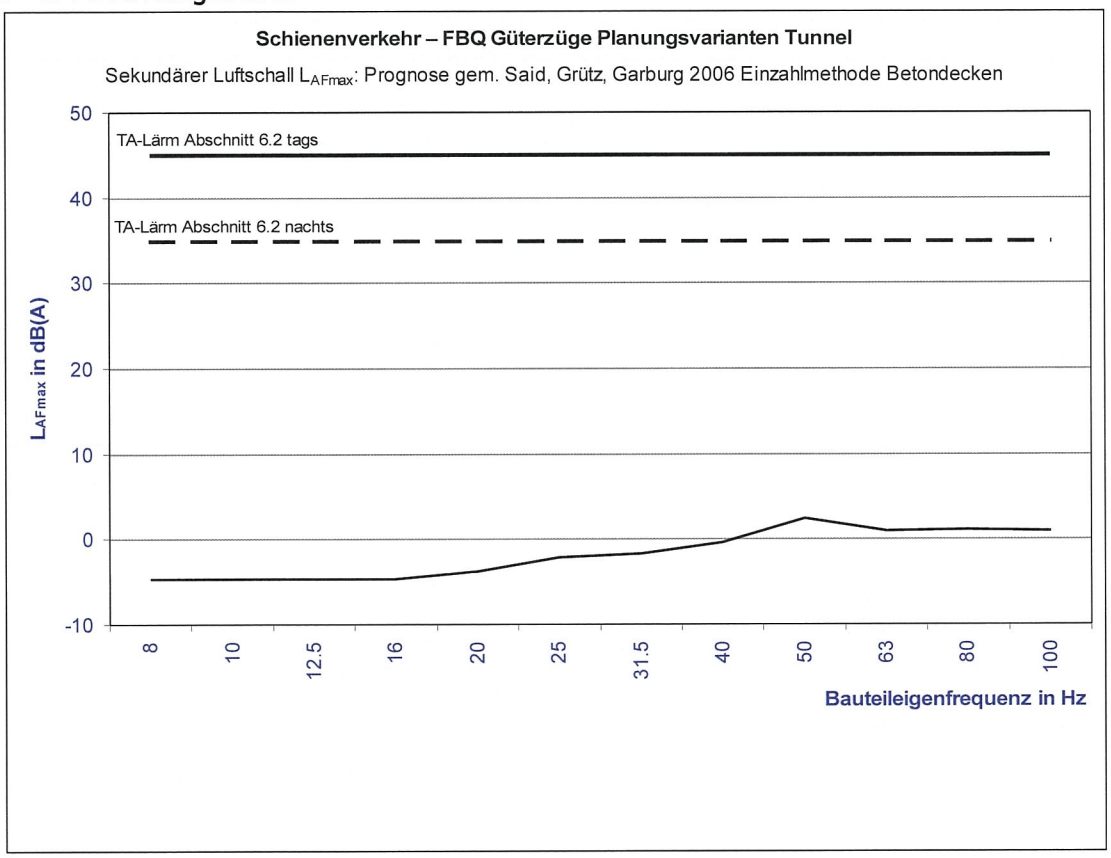
Für Holzbalkendecke: L_{sekA}= 19.88 dB(A) + 0.47 L_{vA}

Quelle: DB Leitfaden

3.3 Schienenverkehr

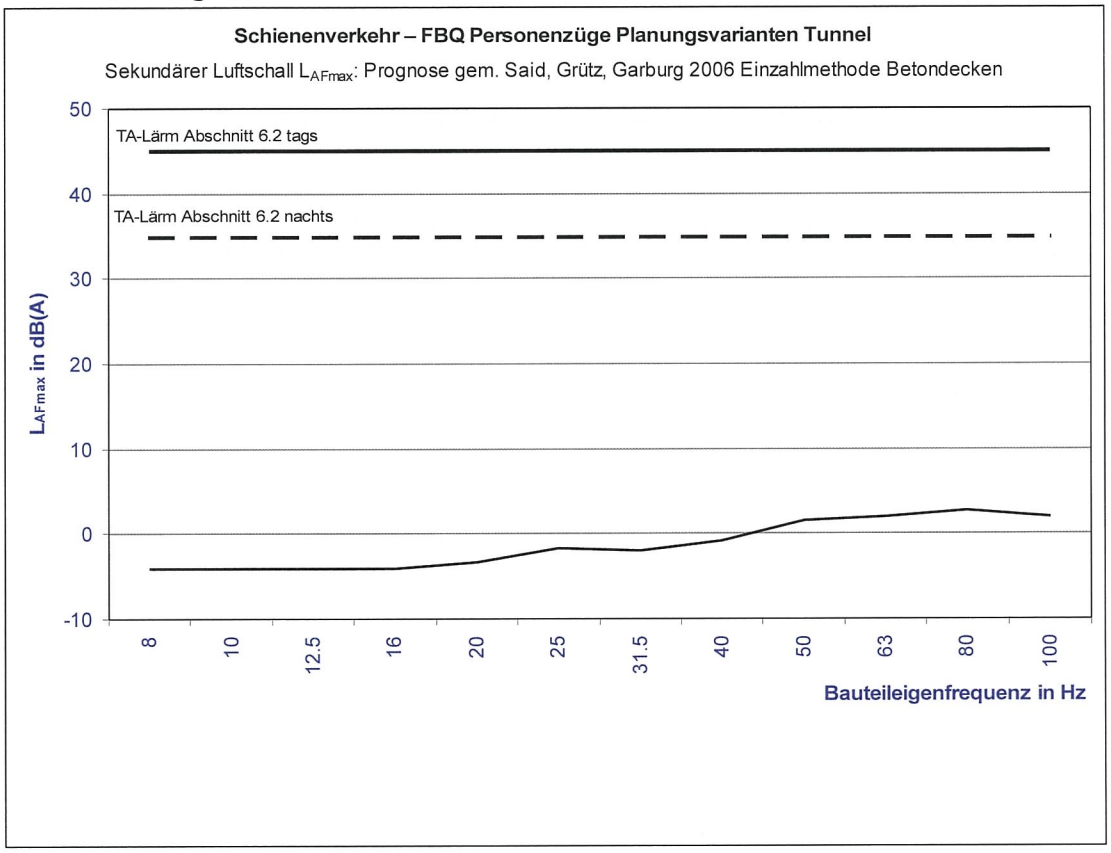
3.3.1 Schienenverkehr – FBQ Güterzüge Absenktunnel

3.3.1.1 IP1 Betriebsgebäude



3.3.2 Schienenverkehr – FBQ Personenzüge Absenktunnel

3.3.2.1 IP1 Betriebsgebäude



4 Ergebnistabellen

4.1 Verkehr

4.1.1 Schienenverkehr – FBQ Güterzüge

		baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung **Schienenverkehr – FBQ Güterzüge**				
		Absenktunnel				
Immissionspunkt		Entfernung	KB_{Fmax}	KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts	L_{AFmax}
				Einwirktakte (Anzahl Güterzüge)		
				52	26	
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Zeile 4			0.200	0.070	0.050	-
1	Betriebsgebäude	193 m	0.159	0.026	0.026	<10 dB(A)
2	Puttgarden Nord	585 m	0.036	0	0	<10 dB(A)
3	Marienleuchte	550 m	0.070	0	0	<10 dB(A)
4	Puttgarden Süd	402 m	0.103	0.017	0.017	<10 dB(A)
5	Todendorf	1066 m	0.023	0	0	<10 dB(A)
6	Presen	1684 m	0.009	0	0	<10 dB(A)

4.1.2 Schienenverkehr – FBQ Personenzüge

		baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung **Schienenverkehr – FBQ Personenzüge**				
		Absenktunnel				
Immissionspunkt		Entfernung	KB_{Fmax}	KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts	L_{AFmax}
				Einwirktakte (Anzahl Personenzüge)		
				36	4	
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Zeile 4			0.200	0.070	0.050	-
1	Betriebsgebäude	193 m	0.066	0	0	<10 dB(A)
2	Puttgarden Nord	585 m	0.019	0	0	<10 dB(A)
3	Marienleuchte	550 m	0.038	0	0	<10 dB(A)
4	Puttgarden Süd	402 m	0.060	0	0	<10 dB(A)
5	Todendorf	1066 m	0.009	0	0	<10 dB(A)
6	Presen	1684 m	0.001	0	0	<10 dB(A)

4.1.3 Straßenverkehr – FBQ

		baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung **Straßenverkehr-FBQ**			
Immissionspunkt		**Absenktunnel**			
		Entfernung	KB_{Fmax}	KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts
				Einwirktakte (Anzahl LKW und Busse)	
				1562	343
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Zeile 4			0.200	0.070	0.050
1	Betriebsgebäude	148	0.051	0	0
2	Puttgarden Nord	539	0.008	0	0
3	Marienleuchte	578	0.012	0	0
4	Puttgarden Süd	256	0.050	0	0
5	Todendorf	1018	0.003	0	0
6	Presen	1864	0.001	0	0

4.2 Baubetrieb

4.2.1 Schlagramme

		baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung **Schlagramme**			
Immissionspunkt		**Absenktunnel**			
		Entfernung	KB_{Fmax}	KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts
				Einwirktakte (8 Stunden Betrieb)	
				960	0
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Zeile 4			0.200	0.070	0.050
1	Betriebsgebäude	123	0.268	0.190	0
2	Puttgarden Nord	928	0.009	0	0
3	Marienleuchte	319	0.131	0.093	0
4	Puttgarden Süd	311	0.136	0.096	0
5	Todendorf	1732	0.003	0	0
6	Presen	1858	0.002	0	0

4.2.2 Rüttelwalze

		baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung **Rüttelwalze**			
Immissionspunkt		**Absenktunnel**			
		Entfernung	KB_{Fmax}	KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts
				Einwirktakte (8 Stunden Betrieb)	
				960	0
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Zeile 4			0.200	0.070	0.050
1	Betriebsgebäude	127	0.430	0.304	0
2	Puttgarden Nord	420	0.075	0	0
3	Marienleuchte	499	0.073	0	0
4	Puttgarden Süd	149	0.519	0.367	0
5	Todendorf	891	0.015	0	0
6	Presen	1636	0.001	0	0

4.2.3 Baustellenverkehr LKW

		baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung **Baustellenverkehr LKW**			
Immissionspunkt		**Absenktunnel**			
		Entfernung	KB_{Fmax}	KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts
				Einwirktakte (Anzahl LKW 2x50)	
				100	0
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Zeile 4			0.200	0.070	0.050
1	Betriebsgebäude	64	0.103	0.024	0
2	Puttgarden Nord	339	0.019	0	0
3	Marienleuchte	259	0.049	0	0
4	Puttgarden Süd	159	0.086	0	0
5	Todendorf	1006	0.003	0	0
6	Presen	1639	0.001	0	0

4.2.4 Baustellenverkehr Radlader

		baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung **Baustellenverkehr Radlader**			
Immissionspunkt		**Absenktunnel**			
		Entfernung	KB_{Fmax}	KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts
				Einwirktakte	
				1920	960
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Zeile 4			0.200	0.070	0.050
1	Betriebsgebäude	64	0.075	0	0
2	Puttgarden Nord	339	0.021	0	0
3	Marienleuchte	259	0.049	0	0
4	Puttgarden Süd	159	0.073	0	0
5	Todendorf	1006	0.008	0	0
6	Presen	1639	0.002	0	0

5 Anforderungen der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen"

5.1 Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden"

5.1.1 Tabelle 1: Gebietsabhängige Anforderungen

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" Teil 2„Einwirkung auf Menschen in Gebäuden"
Tabelle 1 (Ausgabe Juni 1999)

Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftpersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, § 9)	0.4	6	0.2	0.3	0.6	0.15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, § 8)	0.3	6	0.15	0.2	0.4	0.1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5)	0.2	5	0.1	0.15	0.3	0.07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Wohngebiet BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2)	0.15	3	0.07	0.1	0.2	0.05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0.1	3	0.05	0.1	0.15	0.05

In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

5.1.2 Tabelle 2: Baumaßnahmen außer Sprengungen

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden" Tabelle 2 (Ausgabe Juni 1999)									
Dauer	$D \leq 1$ Tag			6 Tage < D < 26 Tage[1]			26 Tage < $D \leq 78$ Tage[1]		
Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Beurteilungsgrößen	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 $A_o = 6$									

5.1.3 Anhang D: Erläuterung zur subjektiven Wahrnehmung

Eine Erläuterung der subjektiven Wahrnehmung von Erschütterungen wird im informativen Anhang D der aktuellen Ausgabe der DIN 4150 Teil 2 gegeben:

> „Einen Hinweis auf die Fühlbarkeit der Erschütterungseinwirkung gibt die Größe KB_{Fmax}. Die Fühlschwelle liegt bei den meisten Menschen im Bereich zwischen KB=0.1 und KB=0.2 [gemeint ist KB_{Fmax}]. In der Umgebungssituation „Wohnung" werden bereits gerade spürbare Erschütterungen als störend empfunden. Erschütterungseinwirkungen um KB=0.3 werden beim ruhigen Aufenthalt in Wohnungen überwiegend bereits als gut spürbar und entsprechend stark störend wahrgenommen."

1 Die Werte werden durch lineare Interpolation bestimmt und sind in der Norm in einem Diagramm angegeben.

5.2 Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen"

5.2.1 Kurzzeitige Erschütterungen

5.2.1.1 Anhaltswerte für Fundament und oberste Deckenebene horizontal

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen" (Ausgabe Februar 1999)

Tabelle 1: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s			
		Fundament Frequenzen			Oberste Deckenebene, horizontal
		1 Hz bis 10 Hz	10 Hz bis 50 Hz	50 Hz bis 100 Hz *)	alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/ oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltens-wert (z.B. unter Denkmal-schutz stehend) sind	3	3 bis 8	8 bis 10	8

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

5.2.1.2 Anhaltswerte für Deckenschwingungen

„Treten bei kurzzeitigen Erschütterungen Deckenschwingungen auf, so ist bei $v_z \leq 20$ mm/s in vertikaler Meßrichtung am Ort der größten Schwinggeschwindigkeit – dies ist im allgemeinen in Deckenmitte – eine Verminderung des Gebrauchswertes der Decken nicht zu erwarten

Bei Bauten nach Tabelle 1, Zeile 3 kann zur Verhinderung leichter Schäden eine Abminderung dieses Anhaltswertes notwendig werden."

5.2.2 Dauererschütterungen

5.2.2.1 Anhaltswerte für die oberste Deckenebene horizontal

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen" (Ausgabe Februar 1999)

Tabelle 3: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s
		Oberste Deckenebene, horizontal, alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und / oder Nutzung gleichartige Bauten	5
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5

5.2.2.2 Anhaltswerte für Geschossdecken

„Vertikale Schwinggeschwindigkeiten bis 10 mm/s führen bei Geschoßdecken in Gebäuden nach Tabelle 3, Zeilen 1 und 2 erfahrungsgemäß nicht zu Schäden, selbst wenn die bei der statischen Bemessung zulässigen Spannungen voll in Anspruch genommen sind. Diese Schwingungen sind sehr stark spürbar. Bei Gebäuden nach Tabelle 3, Zeile 3 kann kein Anhaltswert gegeben werden"