

Neue Erschütterungsnormen: Anwendung und Interpretation

Dr. A. Ziegler; ZIEGLER CONSULTANTS, Zürich

1 Übersicht

Verschiedene Länder Europas – darunter auch die Schweiz - haben in den letzten Jahren neue Normen, Richtlinien oder Weisungen zur Beurteilung von Erschütterungen oder Körperschall herausgegeben. Im vorliegenden Beitrag sollen die Berechnungsverfahren und die Grenzwerte einiger dieser neuen Normen verglichen werden, denn durch den Vergleich lässt sich das Wesen einer Norm am besten erfassen. Am Schluss des Berichtes wird für einen konkreten Fall – für ein Wohnhaus über einem Eisenbahntunnel - ein zahlenmässiger Vergleich verschiedener Normen zusammengestellt.

Für Schweizer Ingenieure von besonderer Bedeutung ist sicherlich die neue Weisung des BUWAL vom Dezember 1999 für die Beurteilung der Immissionen aus dem Zugverkehr. Hier wird auch die Anwendung der neuen Norm DIN 4150-2 vom Juni 1999 vorgeschrieben. Interessant ist in diesem Zusammenhang der Vergleich mit der Ö-Norm S 9012 vom August 1996, die speziell auf die Immissionen aus dem Zugverkehr eingeht. Eine neue Norm ist im Dezember 1999 auch in Norwegen herausgekommen, die allerdings keine Grenzwerte für die Beurteilung von Erschütterungen angibt.

In Tabelle 1.1 sind die Normen, die im vorliegenden Beitrag besprochen werden sollen, zusammengestellt.

Tabelle 1.1 Im vorliegenden Beitrag besprochene Normen

Norm bzw. RL	Land	Titel	Ausgabe
BEKS	CH	Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen.	20.12.1999
SBB-RL	CH	Beurteilung von Erschütterungen und abgestrahltem Körperschall entlang von Eisenbahnlinien	29.6.1993
SN 640 312 a	CH	Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke	April 1992
SIA 181	CH	Schallschutz im Hochbau	Okt. 1988
DIN 4150-2	D	Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	Juni 1999
DIN 4150-3	D	Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf bauliche Anlagen	Feb. 1999
ÖN S 9010	A	Bewertung der Einwirkung mechanischer Schwingungen und Erschütterungen auf den Menschen	1.3.1982
ÖN S 9012	A	Beurteilung der Einwirkung von Schienenverkehrsimmissionen auf Menschen in Gebäuden / Schwingungen und sekundärer Luftschall	1.8.1996
ÖN S 9020	A	Bauwerkserschütterungen / Sprengerschütterungen und vergleichbare impulsförmige Immissionen	1.3.1982
NS 8176E	N	Vibration and shock / Measurement of vibration in buildings from landbased transport and guidance to evaluation of its effects on human beings	Dez. 1999

Die Normen in Tabelle 1.1 decken unterschiedliche Bereiche des Erschütterungsschutzes ab. Einige Normen sind auf die Einwirkungen auf Menschen andere auf die Einwirkungen

auf Bauwerke ausgelegt. Weitere Unterschiede finden sich bezüglich Erschütterungsquelle. Zumeist wird unterschieden zwischen Immissionen aus Verkehr (zumeist Schienenverkehr), von Baustellen, von Sprengungen und von Dauererschütterungen. Aus Tabelle 1.2 ist ersichtlich, welche Norm in den verschiedenen Länder die jeweiligen Aspekte abdeckt.

Zu beachten ist auch, dass nicht alle Normen verbindliche Grenzwerte für die Beurteilung der Erschütterungen angeben. Sehr oft werden Richtwerte lediglich im Normen-Anhang publiziert und sind nicht Bestandteil der Norm. In Tabelle 1.2 sind die Normen mit verbindlichen Grenzwerten gelb markiert.

Tabelle 1.2 Anwendungsbereiche der Normen in Tabelle 1.1

Quelle	Land	Mensch		Bauwerk
		Erschütterung	Körperschall	
Verkehr	CH	BEKS / DIN 4150-2	BEKS / SBB / SIA 181	SN 640 312a
	D	DIN 4150-2	„Geräusch-RL“	DIN 4150-3
	A	ÖN-S9012	ÖN-S9012	
	N	NS-8176 / ISO 2631		
Baustellen	CH		SIA 181	SN 640 312a
	D	DIN 4150-2		DIN 4150-3
	A	ÖN-S9010		ÖN-S9020
	N	NS-8176 / ISO 2631		
Sprengung	CH			SN 640 312a
	D	DIN 4150-2		DIN 4150-3
	A	ÖN-S9010		ÖN-S9020
	N	NS-8176 / ISO 2631		
Dauer-ES	CH		SIA 181	SN 640 312a
	D	DIN 4150-2		DIN 4150-3
	A	ÖN-S9010		
	N	NS-8176 / ISO 2631		

	Norm mit „Grenzwerten“
	Norm ohne „Grenzwerte“

2 Betrachtungs-Zeitraum

Die Wirkung einer Erschüttsimmission hängt nicht nur von ihrer Stärke (i.e. Erschütterungsamplitude) sondern – je nach betrachtetem Aspekt – auch von der Einwirkungsdauer ab. Dabei stellt der Betrachtungs-Zeitraum für die Einwirkung von Erschütterungen auf Gebäude sicherlich das eine Extrem der Zeit-Skala dar, da bereits ein Stoss von wenigen Milisekunden bei sprödem Material zu schweren Schäden führen kann. Hingegen tendieren wir bei der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen und noch viel mehr bei abgestrahltem Körperschall eher auf eine Mittelwertbildung über Minuten und Stunden.

In den Normen ist deshalb der Betrachtungs-Zeitraum – neben der Erschütterung selbst – von ganz zentraler Bedeutung. Man kommt deshalb bei der Festlegung von Grenzwerten nicht um eine differenzierte Betrachtung der Einwirkungszeit herum, mit Angabe von Grenzwerten für kurzzeitige, mittelfristige und langfristige Einwirkungen. Nicht ohne Grund liegen gerade in der Festlegung der zeitlichen Mittelung die grössten Unterschiede zwischen den einzelnen Normen.

Bild 2.1 zeigt die riesigen Unterschiede im Betrachtungs-Zeitraum für 6 häufig verwendete Grössen bei der Beurteilung von Erschütterungs-Immissionen. Die Mittelungszeiträume erstrecken sich über 8 Dekaden und reichen von wenigen Milisekunden bis zu 16 Stunden. Tabelle 2.1 zeigt die zugehörigen Anwendungsbereiche.

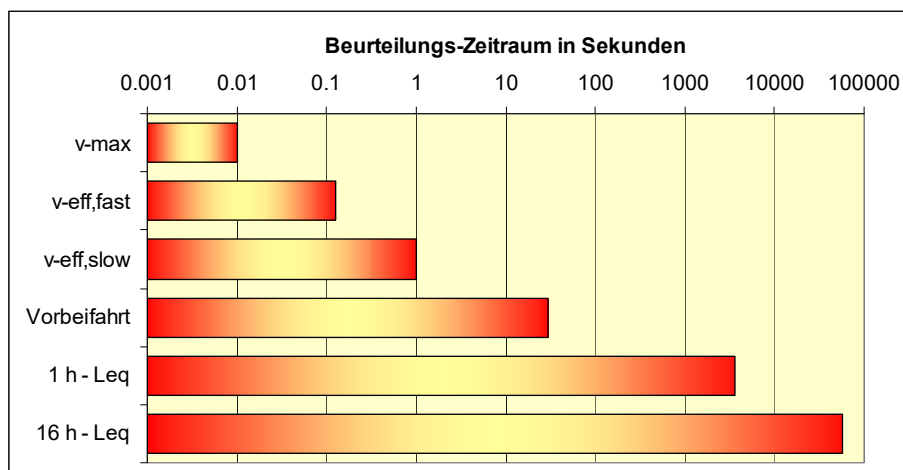


Bild 2.1 Unterschiede im Betrachtungs-Zeitraum für 6 häufig verwendete Grössen bei der Beurteilung von Erschütterungs-Immissionen

Tabelle 2.1 Anwendungsgebiete für die Kennwerte in Bild 2.1

Kennwert	Zeitraum	Anwendung	Normen-Beispiel
v_{\max}	1/100 s	Erschütterungs-Einwirkung auf Gebäude	SN 640 312 a
$v_{\text{eff,fast}}$	1/8 s	Erschütterungs-Einwirkung auf Gebäude und Menschen	DIN 4150-2
$v_{\text{eff,slow}}$	1 s	Erschütterungs-Einwirkung auf Menschen	ÖN-S9012
V_E	10 s	Erschütterungs-Einwirkung auf Menschen	SBB-RL
1 h - Leq	1 h	Körperschall	BEKS
16 h - Leq	16 h	Körperschall; Erschütterungs-Einwirkung auf Menschen	BEKS; DIN 4150-2

3 Mathematische Grundlagen

Erschütterungsnormen sind – obwohl von der behandelten Materie eher einfach – alles andere als leicht zu lesen. Dies hängt primär damit zusammen, dass die Formeln für die Summierung und Mittelwertbildung - ganz besonders wenn Dezibelangaben summiert oder gemittelt werden sollen – nicht gerade einladend wirken. Deshalb sollen nachstehend die am häufigsten verwendeten Formeln kurz erläutert werden.

3.1 Vektorsumme

Beispiel: Summation der drei Geschwindigkeitsvektoren

$$v_R = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

3.2 Mittelwert-Bildung

(RMS-Methode; root – mean – square)

Beispiel 1: Effektivwert-Berechnung für eine Anzahl N von Messwerten

Beispiel 2: Taktmaximal-Effektivwert in DIN 4150-2

$$RMS(x_i) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

3.3 Mittelwert-Bildung mit Gewichtung

Beispiel 1: Mittlerer Schwingstärke-Scheitelwert in ÖNORM S 9012

$$RMS(x_i) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N t_i x_i^2}$$

3.4 Summierung

(RSS-Methode; root – sum – square)

Beispiel 1: Summation von Terzbändern

$$RSS(x_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2}$$

3.5 Gleitender Effektivwert

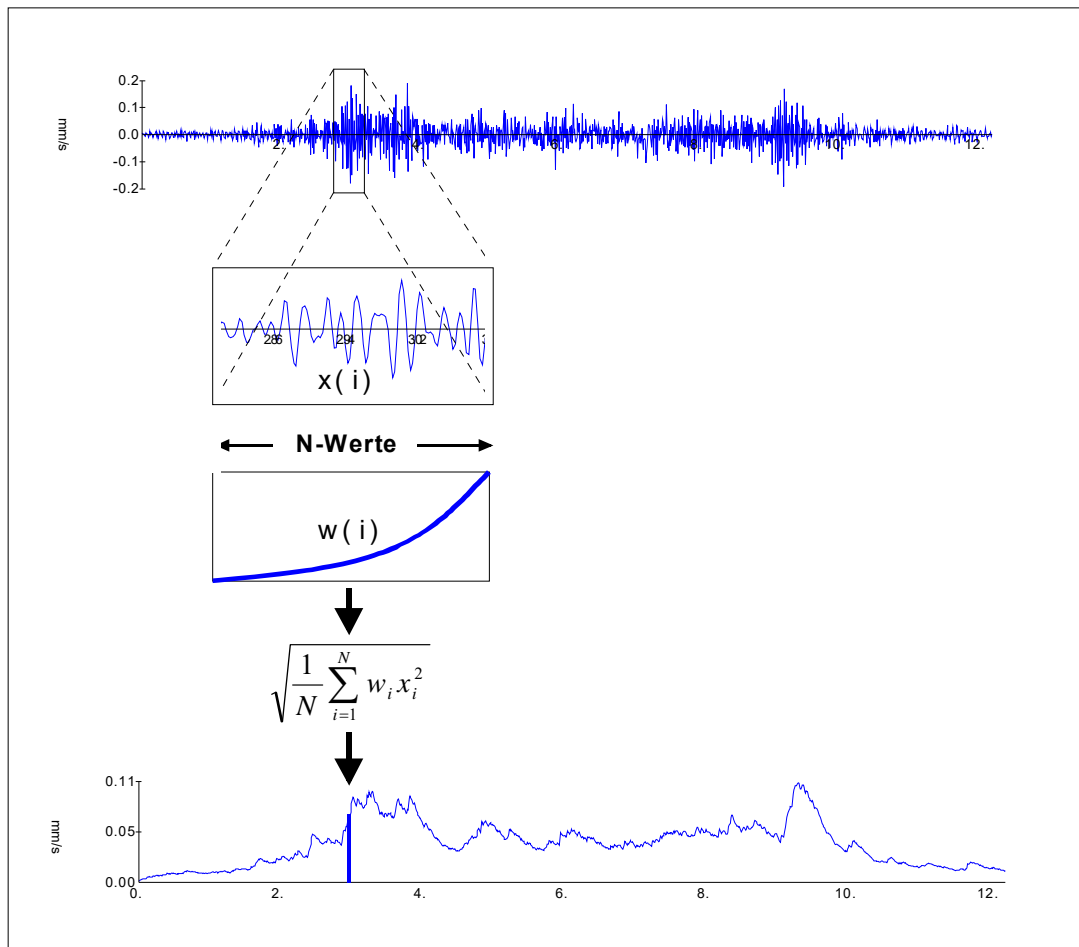


Bild 3.1 Gleitender Effektivwert

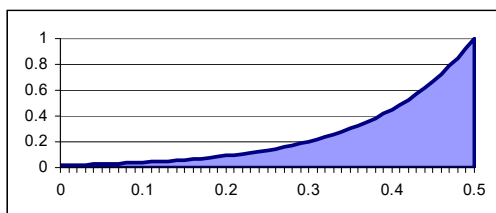
Mit Rechteckfenster:

1. Signalabschnitt wählen (1/8 s für „fast“; 1 s für „slow“)
2. RMS-Wert über Signalabschnitt bilden \rightarrow 1. Wert des gleitenden Effektivwertes
3. Signalabschnitt um 1 Messwert „verschieben“
4. RMS-Wert über Signalabschnitt bilden \rightarrow nächster Wert des gleitenden Effektivwertes
5. Zurück zu Punkt 3

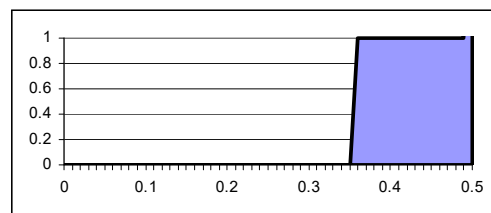
Mit Exponentialfenster:

$$v_{eff}(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{\xi=0}^t e^{-\frac{t-\xi}{\tau}} \cdot v^2(\xi) d\xi}$$

Durchführung wie oben, jedoch mit Exponentialfenster



Exponentialfenster



Rechteckfenster

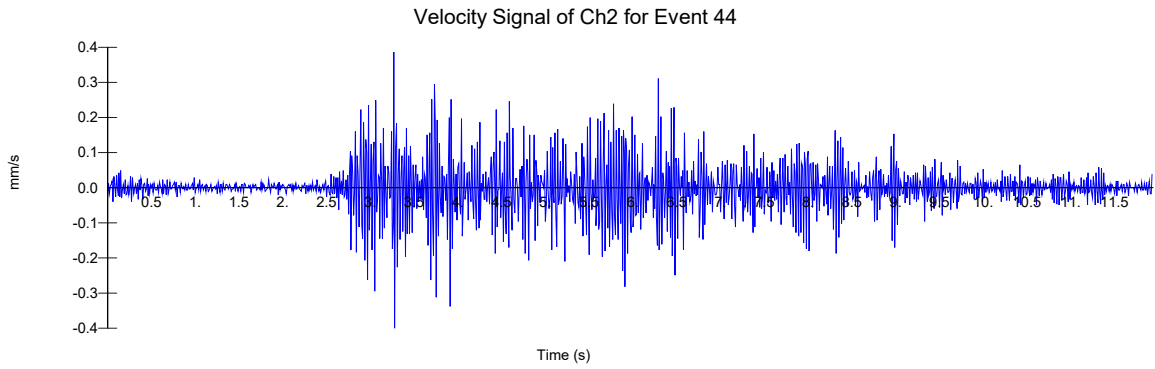


Bild 3.2 Aufzeichnung der Schwinggeschwindigkeit einer Zugvorbeifahrt

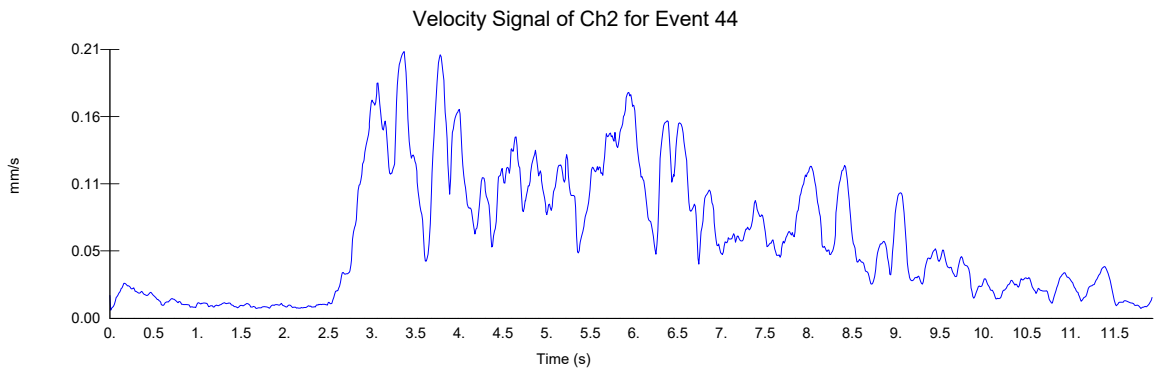


Bild 3.3 Gleitender Effektivwert mit Rechteckfenster, $T = 1/8$ s

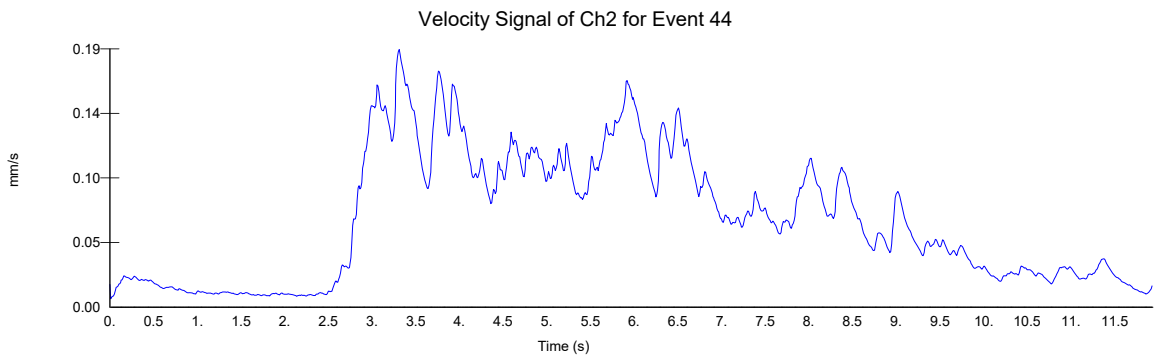


Bild 3.4 Gleitender Effektivwert mit Exponentialfenster, $T = 1/8$ s

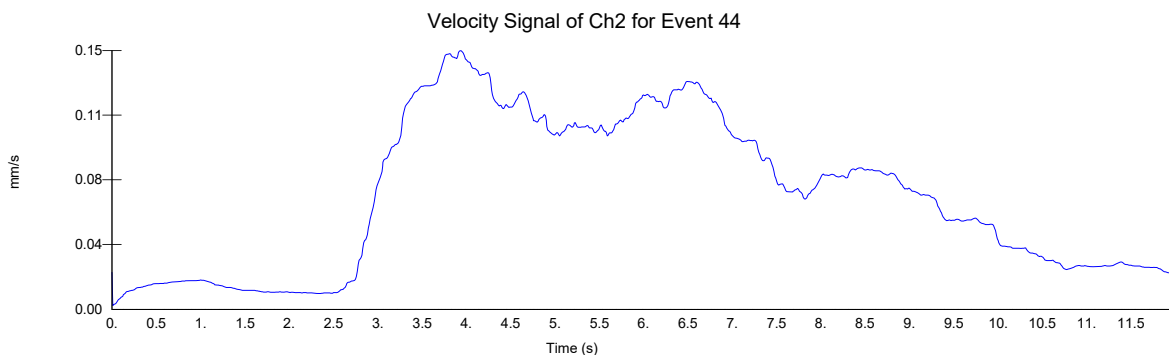


Bild 3.5 Gleitender Effektivwert mit Rechteckfenster, $T = 1$ s

Originalsignal	$v_{\max} = 0.426$ mm/s	
Effektivwert, rechteck, 1/8 s	$v_{\text{eff,max}} = 0.212$ mm/s	
Effektivwert, exponentiell, 1/8 s	$v_{\text{eff,max}} = 0.193$ mm/s	DIN 4150-2
Effektivwert, rechteck, 1 s	$v_{\text{eff,max}} = 0.153$ mm/s	ÖN-S9012
Effektivwert, rechteck, gesamt	$v_{\text{eff,max}} = 0.090$ mm/s	SBB-RL

3.6 Summen- und Mittelwertbildung bei Dezibelwerten

Dezibel: $L = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2}$ $\frac{P^2}{P_0^2} = 10^{0.1L}$

Summe: $S_n = \sum_{i=1}^N x_i$ $S_{dB} = 10 \log \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_i}$

Mittelwert: $S_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ $S_{dB} = 10 \log \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_i}$

Dauerschallpegel: $L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T_B} \sum_{i=1}^N t_i 10^{0.1L_i}$ $L_{eq} = L_m + 10 \log \left(\frac{n \cdot t_m}{T_B \cdot 3600} \right)$

3.7 Frequenz-Bewertung

Nach DIN 4150-2: $|H_{KB}(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (f_o / f)^2}}$

Nach ÖN-S9010: 1 bis 2 Hz: KB = 0.176 f v_{eff}
 2 bis 8 Hz: KB = 0.210 f^{3/4} v_{eff}
 8 bis 80 Hz: KB = 0.176 v_{eff}

Nach NS 8176 E: Werte-Tabelle

f	DIN 4150-2	NS-8176-E	ÖN-S9010	f	DIN 4150-2	NS-8176-E	ÖN-S9010
1	0.17579064	0.17	0.176	10	0.87250602	0.87	1
1.25	0.21785303	0.22	0.22	12.5	0.91260327	0.91	1
1.6	0.27472113	0.27	0.2816	16	0.94385836	0.94	1
2	0.3363364	0.33	0.352	20	0.96296402	0.96	1
2.5	0.40765084	0.4	0.41751713	25	0.97581829	0.98	1
3.15	0.49026124	0.49	0.49653768	31.5	0.98456251	0.98	1
4	0.58123819	0.57	0.5939697	40	0.99034175	0.99	1
5	0.66601577	0.66	0.70217732	50	0.9937864	0.99	1
6.3	0.74740932	0.74	0.83507351	63	0.99607264	1	1
8	0.81923192	0.81	0.99893398	80	0.99755897	1	1

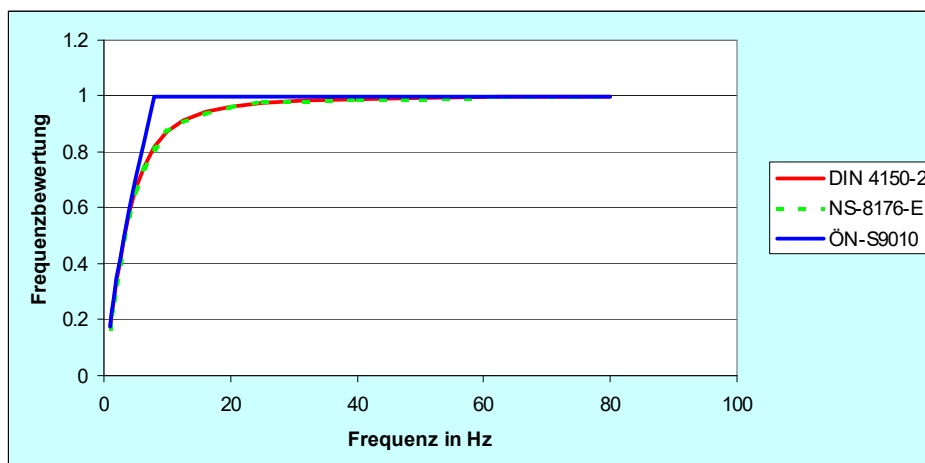


Bild 3.6 Frequenzbewertung nach verschiedenen Normen

4 Einwirkung auf Bauwerke

4.1 SN 640 312 a

Charakteristische Grösse: Vektorsumme der Schwinggeschwindigkeit

Messort: Am Ort der stärksten Störung, jedoch nicht in Deckenmitte

Häufigkeit der Einwirkung:

Klasse	Anzahl Ereignisse	Typische Erschütterungsquellen
gelegentlich	wesentlich kleiner als 1000	Sprengungen Verdichtungsgeräte und <u>Vibrationsrammen</u> , wenn sie nur beim Starten und Abstellen <u>grössere</u> Schwingungen erzeugen
häufig		Häufige Sprengungen Schlag- und <u>Vibrationsrammen</u> Verdichtungsgeräte Abbauhämmer bei gelegentlichem Einsatz <u>Notstromgruppen</u> , die häufig in <u>Betrieb</u> genommen werden
permanent	wesentlich grösser als 1000	Verkehr <u>festinstallierte</u> Maschinen Abbauhämmer bei längerem Einsatz

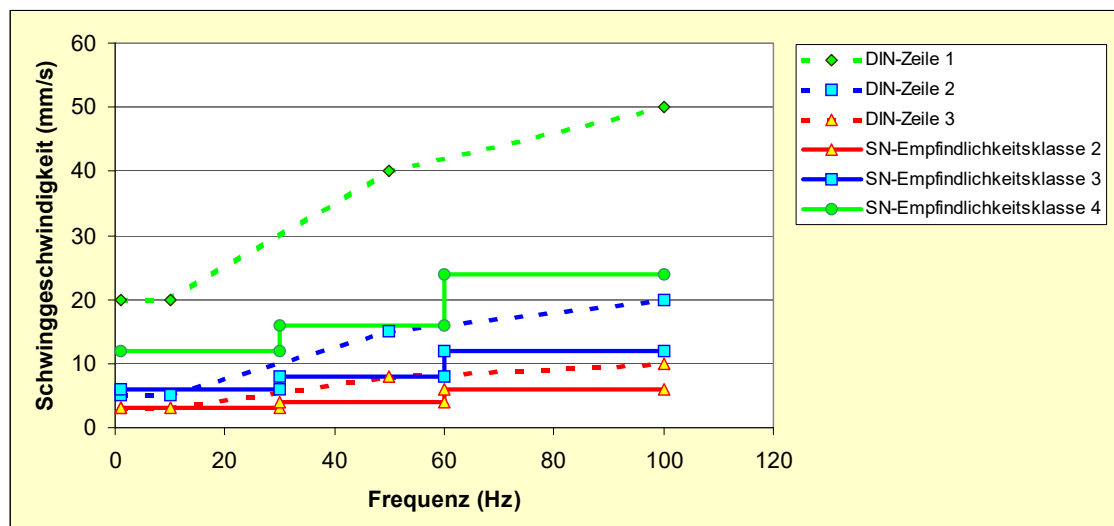
Empfindlichkeitsklassen:

Klassen	Hochbau	Tiefbau
(1) sehr wenig empfindlich		Brücken in Stahlbeton oder Stahl Stollen, Tunnels, <u>Kavernen</u> , Schächte in Festgestein oder gut <u>verfestigtem Lockergestein</u> Kran- und Maschinenfundamente Offen verlegte Rohrleitungen
(2) wenig empfindlich	Industrie- und Gewerbebauten Gittermasten	<u>Kavernen</u> , Tunnels, Schächte, Rohrleitungen in <u>Lockergestein</u> Unterirdische Parkbauten Werkleitungen, im Boden verlegt Trockenmauern
(3) normal empfindlich	Wohnbauten mit Mauerwerk in Beton, Stahlbeton oder künstlichen Bausteinen Bürogebäude, Schulhäuser, Spitäler, Kirchen mit Mauerwerk oder künstlichen Bausteinen mit Mörtelverputz	<u>Quellfassungen</u> Reservoire <u>Gussisenleitungen</u> <u>Kavernen</u> , Zwischendecken und Fahrbahndecken in Tunnels Empfindliche Kabel
(4) erhöht empfindlich	Häuser mit Gips- oder <u>Hohlrisdecken</u> Riegelbauten Neuerstellte und frisch renovierte Bauten der Klasse (3) Historische und geschützte Bauten	Alte Bleikabel Alte <u>Gussleitungen</u>

Richtwerte:

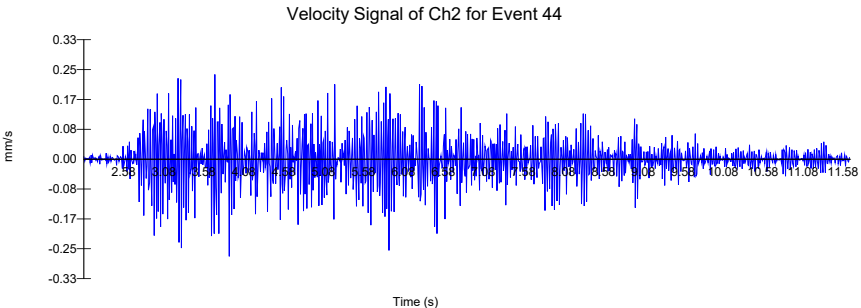
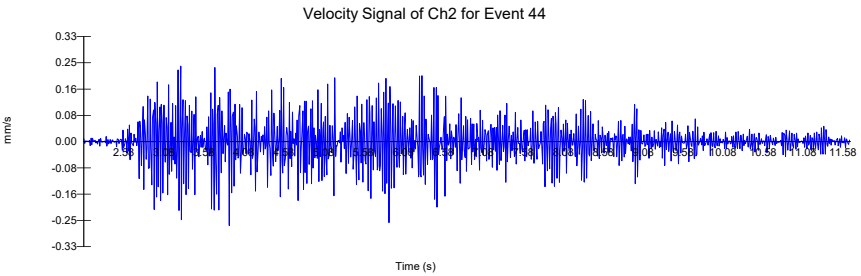
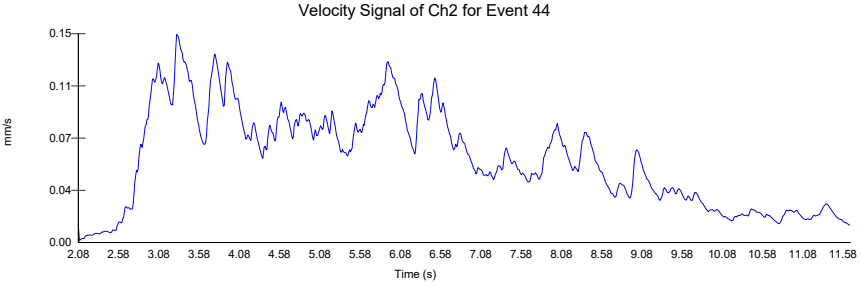
Frequenzbereich:	Permanent (>> 100'000)			Häufig			Gelegentlich (<< 1000)		
	< 30	30 - 60	> 60	< 30	30 - 60	> 60	< 30	30 - 60	> 60
Sehr wenig empfindlich	9	12	18	18	24	36	45	60	90
Wenig empfindlich	6	8	12	12	16	24	30	40	60
Normal empfindlich	3	4	6	6	8	12	15	20	30
Erhöht empfindlich	1.5	2	3	3	4	6	8	10	15

4.2 Vergleich zwischen SN 640 312 a und DIN 4150-3

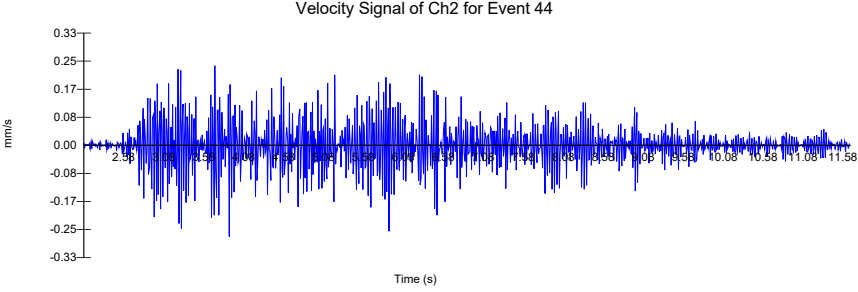
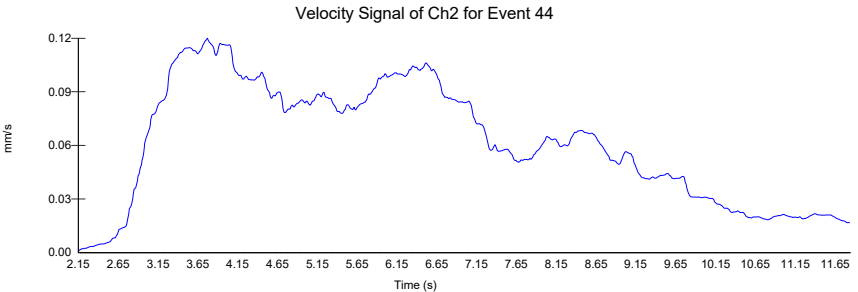
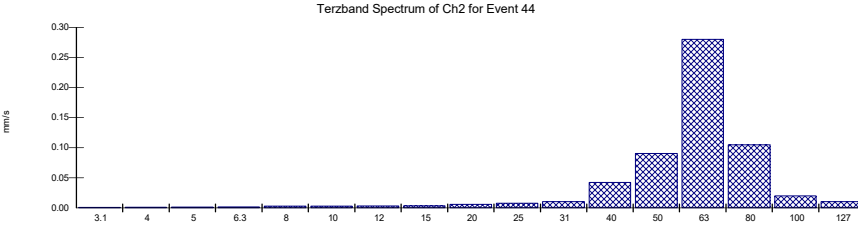
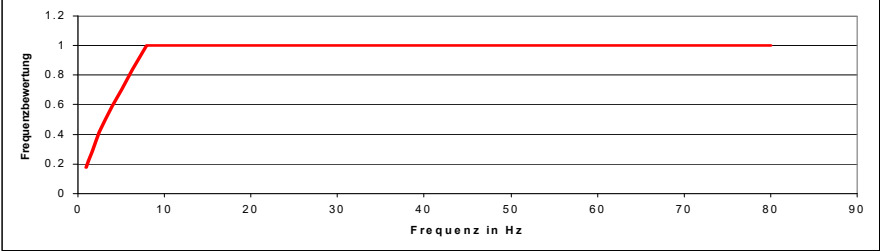


5 Einwirkung auf Menschen

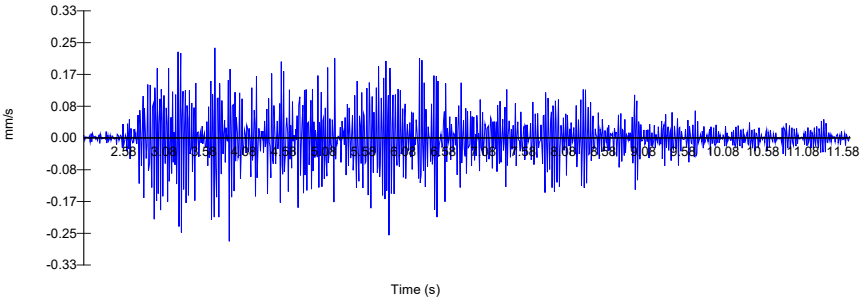
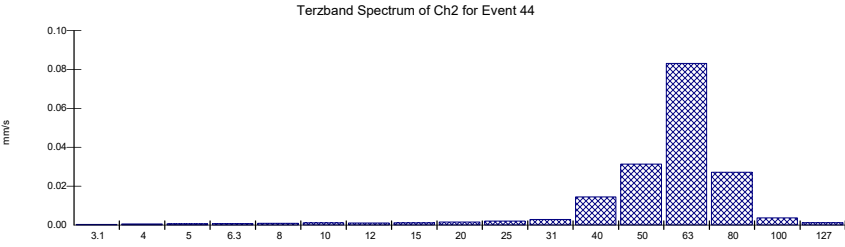
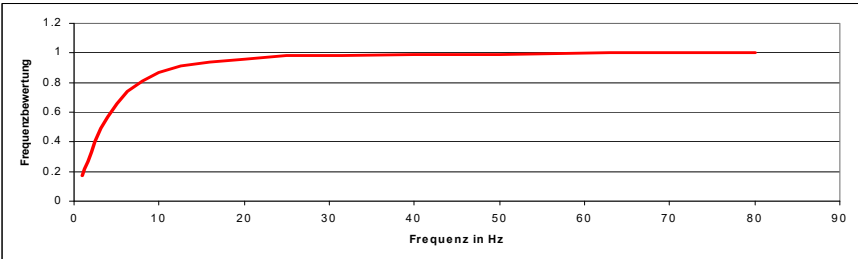
5.1 DIN 4150-2

Schritt	Symbol	Beschreibung
1	$v(t)$ 0.330 mm/s	Unbewertetes Erschütterungssignal; bandbegrenzt 1 – 80 Hz 
2	$KB(t)$ 0.327 mm/s	Frequenzbewertetes Erschütterungssignal 
3	$KB_e(t)$ 0.148 mm/s	Gleitender Effektivwert 
4	KB_{Fmax}	Maximale bewertete Schwingstärke (= Maxmax aus allen Takten)
5	KB_{FTi}	Taktmaximalwert (\Rightarrow N Maxima aus den N Takten)
6	KB_{FTm}	Taktmaximal-Effektivwert (= RMS aus den KB_{FTi} mit Berücksichtigung der Leertakte)
7	KB_{FTr}	Beurteilungsschwingstärke (= RMS aus den KB_{FTi} mit Berücksichtigung der Leertakte) <ul style="list-style-type: none"> - bezogen auf normierte Beurteilungszeit - mit Berücksichtigung von Ruhezeiten
		Kennwerte für den Vergleich mit Grenz- bzw. Anhaltswerten

5.2 ÖN S9010

Schritt	Symbol	Beschreibung
1	$v(t)$ 0.330 mm/s	Unbewertetes Erschütterungssignal; bandbegrenzt 1 – 80 Hz 
2	$v_{\text{eff},T}$ 0.117 mm/s	Effektivwert des Erschütterungssignal, $T = 0.8$ s 
3	r_i	Amplitude der Terzbänder 
4		Frequenzbewertung: 
5	K_i	Bewertete Schwingstärke für Frequenz i
6	K	Bewertete Schwingstärke: $K = \sqrt{\sum K_i^2}$ (= RSS aus allen Terzbändern)
7	K_{BR}	Resultierende bewertete Schwingstärke: $K_R = \sqrt{K_x^2 + K_y^2 + K_z^2}$

5.3 NS 8176E

Schritt	Symbol	Beschreibung
1	$v(t)$ 0.330 mm/s	Unbewertetes Erschütterungssignal; bandbegrenzt 1 – 80 Hz Velocity Signal of Ch2 for Event 44 
2	$v_{\max,i}$	Max. der Terzbandwerte, mit Zeitkonstante 1 s (slow) Terzband Spectrum of Ch2 for Event 44 
3	w_i	Frequenzbewertung: 
4	$v_{w,\max}$ 0.117 mm/s	Maximum der bewertete Schwingstärke: $v_{w,\max} = \sqrt{\sum_{i=1}^{20} (v_{\max,i} \cdot w_i)^2}$
5	$\bar{v}_{w,\max}$	Mittelwert der bewertete Schwingstärke
6	σ	Standardabweichung von $v_{w,\max}$
7	$v_{w,95}$	Statistisches Maximum: $v_{w,95} = \bar{v}_{w,\max} + 1.8 \cdot \sigma$

6 Schienenverkehr

6.1 BEKS

Geltungsbereich: Erschütterungen bei neuen Schienenverkehrsanlagen
 Erschütterungen bei bestehenden Anlagen, sofern $\Delta > 40\%$
 Körperschall bei neuen und bestehenden Schienenverkehrsanlagen

6.1.1 Erschütterungen

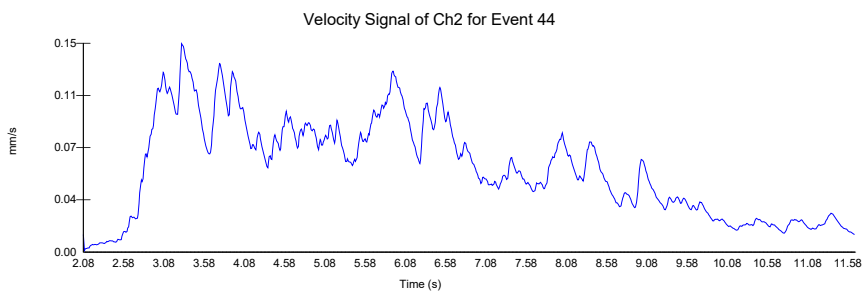
Gemäss DIN 4150-2 (Juni 1999)

6.1.2 Körperschall

Es wird nicht beschrieben, wie der Körperschall zu bestimmen ist. Die BEKS verwendet nur Schallpegel und nicht KS-Pegel. In der früheren Richtlinie der SBB fand sich ein Hinweis wie Körperschall berechnet werden kann.

Schritt	Symbol	Beschreibung
1	$L_{eq,i,j}$	Beobachteter, A-bewerteter Innenraum-Vorbeifahrts-Schallpegel des Zuges i der Kategorie j
2	$16h-L_{eq,tag}$	Bildung des Dauerschallpegels über 16 h tags unter Berücksichtigung aller Züge und Zugkategorien (siehe Mittelwertbildung bei dB-Werten)
3	$1h-L_{eq,nachts}$	Bildung des maximalen Dauerschallpegels über 1 h nachts

6.2 DIN4150-2

1	$KB_{\nu}(t)$ 0.148 mm/s	Gleitender Effektivwert für eine Zugsvorbeifahrt 
2	KB_{Fmax}	Maximale bewertete Schwingstärke (= Maxmax aus allen Takten)
3	KB_{FTi}	Taktmaximalwert (\Rightarrow N Maxima aus den N Takten)
4	KB_{FTm}	Taktmaximal-Effektivwert (= RMS aus den KB_{FTi} mit Berücksichtigung der Leertakte)
5	KB_{FTr}	Beurteilungsschwingstärke (= RMS aus den KB_{FTi} mit Berücksichtigung der Leertakte) Norm empfiehlt: RMS-Bildung über alle Züge einer Zugkategorie (ohne Leertakte) RMS-Bildung über alle Zugkategorien (mit Leertakten)

6.3 ÖN-S9012

6.3.1 Erschütterungen

1	$K_{BR,max}$	Schwingstärke-Scheitelwert (= K_{BR} während der Vorbeifahrt eines Zuges)
2	$\bar{K}_{B,S,j}$	Mittlerer Schwingstärke-Scheitelwert für eine Kategorie j (= RMS-Wert aus $K_{BR,max}$ gewichtet mit Vorbeifahrtdauer des einzelnen Zuges)
3	K_r	Beurteilungsschwingstärke (= RMS-Wert aus $\bar{K}_{B,S,j}$ gewichtet mit der Summe der Vorbeifahrtdauer aller Züge einer Kategorie)

6.3.2 Körperschall

1	$L_{A,E}$	A-bewerteter Schallereignispegel: $L_{A,E} = L_A + t_E$ L_A = mittlerer Vorbeifahrtspegel
2	$L_{A,E,m}$	Mittlerer A-bewerteter Schallereignispegel = RMS-dB von $L_{A,E,i}$
3	$L_{A,max}$	A-bewerteter Maximalpegel (= Maximalpegel mit „slow“ gemessen)
4	$L_{A,max,m}$	Mittlerer A-bewerteter Maximalpegel = RMS-dB von $L_{A,max,i}$
5	$L_{A,eq,j}$	A-bewerteter energie-äquivalenter Dauerschallpegel eines Zugtyp $L_{A,eq,j} = L_{A,E,m} + 10 \log \left(\frac{n}{T_B \cdot 3600} \right)$
6	$L_{A,eq}$	A-bewerteter energie-äquivalenter Dauerschallpegel $L_{A,eq}$ = RMS-dB von $L_{A,eq,j}$
7	L_v	Körperschall-Schnellepegel: $L_v = 10 \log \frac{v^2}{v_0^2}$

6.4 SIA 181

Charakteristische Grösse:

Einzelgeräusche:	$L_{r,H}$	=	$L_A + K1$
	L_A	=	Maximalwert des A-bewerteten Pegels mit Konstante „fast“
	K1	=	- 3dB Korrektur bei nicht möblierten Räumen

Grenzwerte für Wohnungen:

Anforderungen	tags	nachts
normal	40	35
erhöht	35	30

7 Normenvergleich für Schienenverkehr

7.1 Immissionsort, Zugverkehr und Messdaten

Das für den Normenvergleich verwendete Beispiel ist ein Mehrfamilienhaus mit Eigentumswohnungen in einer reinen Wohnzone. Es befindet sich über einem Eisenbahntunnel. Die Ueberdeckung beträgt ca. 20 m. Der Grundgeräuschpegel beträgt tags 25 dBA, nachts 20 dBA. Die Zugfrequenzen sind in Tabelle 7.1 zusammengestellt. Bild 7.1 zeigt die Schwingungsaufzeichnung für eine typische Zugvorbeifahrt und die zugehörigen Effektivwerte, Bild 7.2 für eine der stärksten Zugvorbeifahrten.

Tabelle 7.1 Zugfrequenzen

Periode	Zeitraum	Frequenz
Tags	6:00 bis 22:00	7 Z/h
Nachts	22:00 bis 24:00	6 Z/h
Nachts	24:00 bis 5:00	0 Z/h
Nachts	5:00 bis 6:00	5 Z/h

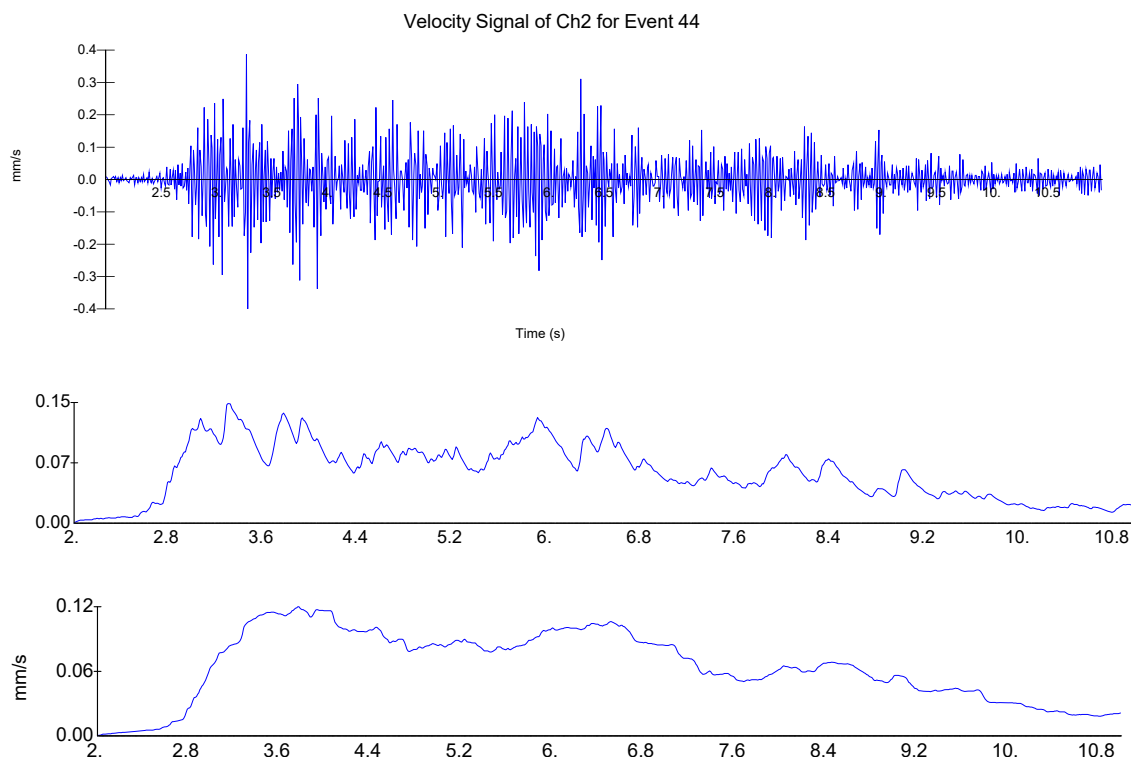


Bild 7.1 oben: Schwinggeschwindigkeits-Aufzeichnung einer typischen Zugvorbeifahrt ($v_{\max} = 0.43$ mm/s); **mitte:** Effektivwert gemäss DIN 4150-2 ($KB = 0.147$); **unten:** Effektivwert gemäss ÖNORM S9012 ($v_{\text{eff}} = 0.117$ mm/s)

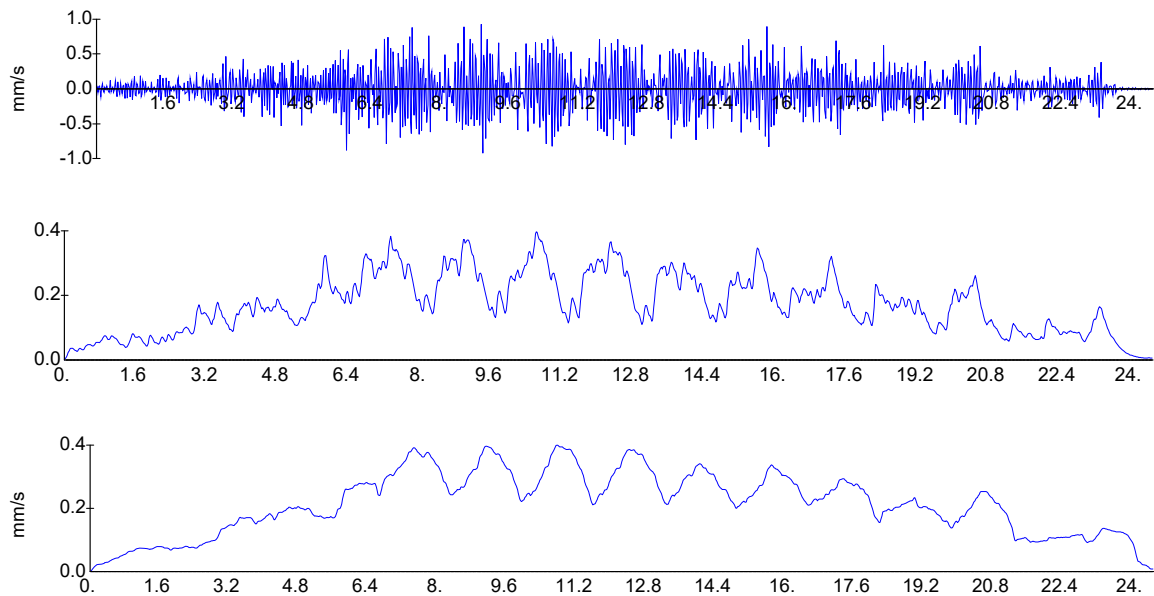


Bild 7.2 oben: Schwinggeschwindigkeitsaufzeichnung einer typischen Zugsvorbeifahrt ($v_{\max} = 0.97$ mm/s);
 mitte: Effektivwert gemäss DIN 4150-2 ($KB = 0.42$); unten: Effektivwert gemäss ÖNORM S9012 ($v_{\text{eff}} = 0.35$ mm/s)

Für RL-SBB berechnet sich:

ES-Vorbeifahrtspegel, Mittelwert	0.093 mm/s
ES-Vorbeifahrtspegel, 90-Percentile	0.125 mm/s
Schallpegel, Leq einer Vorbeifahrt, Mittelwert	52 dBA
Schallpegel, Leq einer Vorbeifahrt, Maximalwert	62 dBA

Für DIN 4150-2 berechnet sich:

Mittelwert von KB_{FTi}	0.147
$KB_{F\max}$	0.423

Für Ö-Norm berechnet sich:

Mittelwert von v_{eff}	0.117 mm/s
$K_{B,R,\max}$	0.35 mm/s
$L_{A,E} = 52$ dBA * 11 s	572 dBA s
$L_{A,\max,m}$	62 dBA

7.2 Beurteilung nach Weisung SBB 29.6.93

Periode	Immissionsart	Char. Grösse	Immission	Richtwert
Tag	Erschütterung	$V_{E,90}$	0.125 mm/s	0.40 mm/s
	Körperschall	L_K	37 dBA	40 dBA
Nacht	Erschütterung	$V_{E,90}$	0.125 mm/s	0.30 mm/s
	Körperschall	L_K	32 dBA	30 dBA

7.3 Beurteilung nach Weisung BUWAL (BEKS) 20.12.99

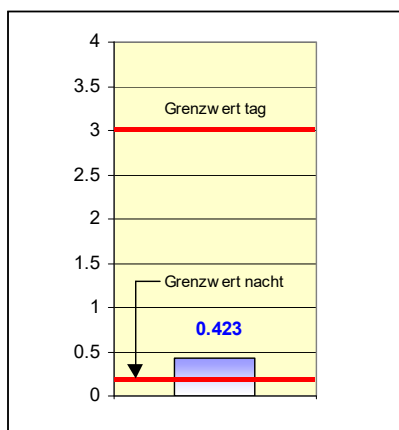
Periode	Immissionsart	Char. Grösse	Immission	Richtwert
Tag	Erschütterung	KB_{FTr}	0.0355	0.07
		KB_{Fmax}	0.423	3.0
	Körperschall	16 h – L_{eq}	37 dBA	40 dBA
Nacht	Erschütterung	KB_{FTr}	0.0268	0.05
		KB_{Fmax}	0.423	0.2
	Körperschall	1 h – L_{eq}	36 dBA	30 dBA

7.4 Beurteilung nach SIA 181

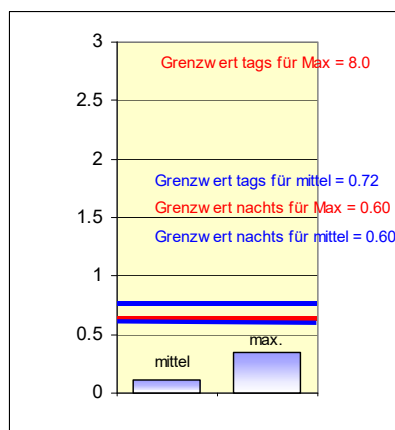
Periode	Immissionsart	Char. Grösse	Immission	Richtwert
Tag	Einzelgeräusche	$L_{r,H}$	62 dBA	40 dBA
Nacht	Einzelgeräusche	$L_{r,H}$	62 dBA	35 dBA

7.5 Beurteilung nach ÖN-S9012

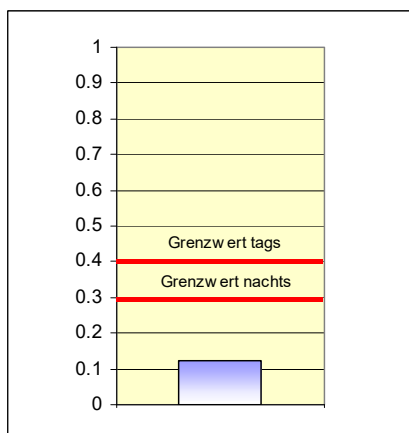
Periode	Immissionsart	Char. Grösse	Immission	Richtwert für ausreichenden Schutz
Tag	Erschütterung	$K_{B,S}$	0.117	8.0
		K_r	0.117	0.72
	Körperschall	$L_{A,max,m}$	62 dBA	70 dBA
		L_{eq}	37 dBA	35 dBA
Nacht	Erschütterung	$K_{B,S}$	0.117	0.6
		K_r	0.117	0.60
	Körperschall	$L_{A,max,m}$	62 dBA	55 dBA
		L_{eq}	32 dBA	30 dBA



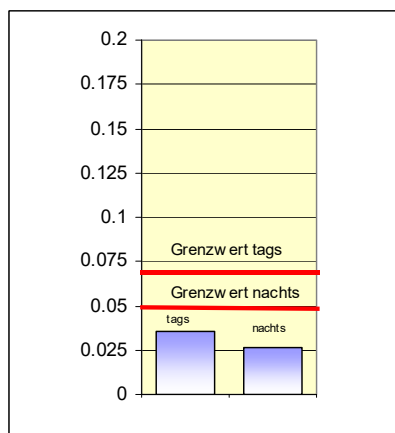
DIN 4150-2:
Zeitfenster 1/8 s



ÖNORM S9012:
Zeitfenster 1 s

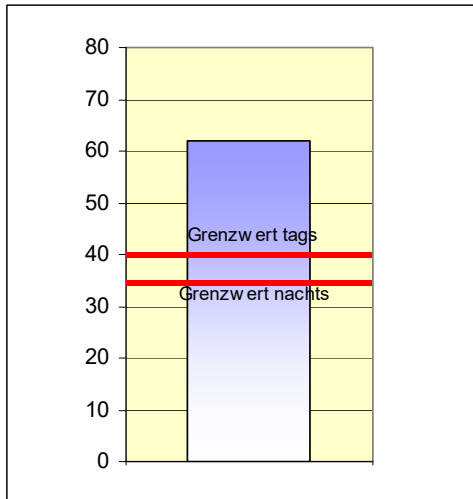


SBB-RL:
Zeitfenster: 10 s

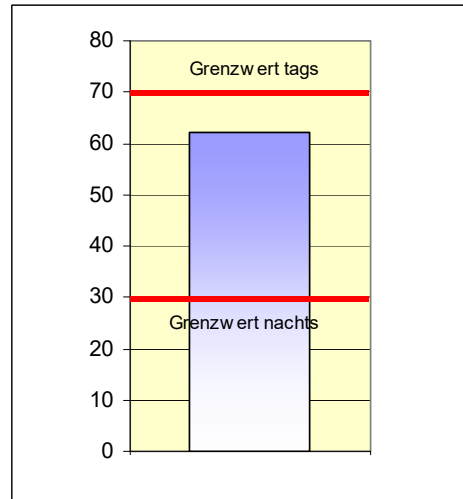


DIN 4150-2:
Zeitfenster 8 bzw. 16 h

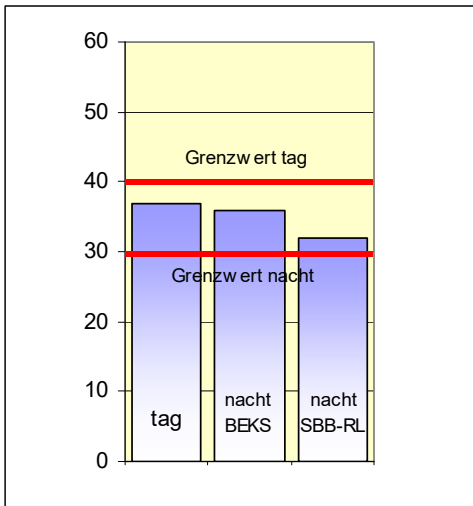
Bild 7.3 Vergleich der Normen für Erschütterungen



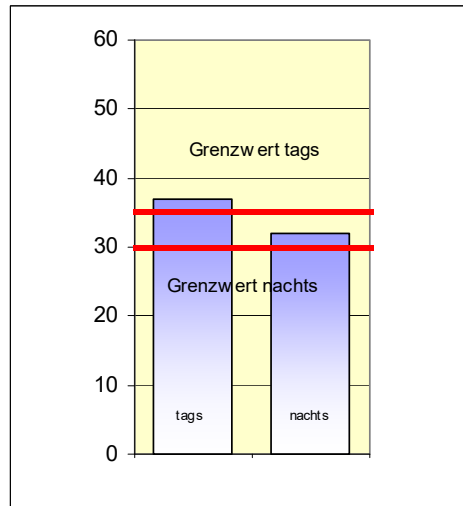
SIA 181
Zeitfenster 1 s



ÖNORM S9012:
Zeitfenster 1 s



BEKS
Zeitfenster 1h / 16 h



ÖNORM S9012:
Zeitfenster 8 h / 16 h

Bild 7.4 Vergleich der Normen für Körperschall